ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 3 / 2023

Основан в марте 1933 года

Журнал выходит шесть раз в год

УЧРЕДИТЕЛИ

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации

Российское геологическое общество

Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:
А.И.Иванов

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

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

Содержание

ОРГАНИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ЭКОНОМИКА, НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

Иванов А. И., Алексеев Я. В., Черных А. И., Наумов Е. А., Куликов Д. А., Голубева Ю. Ю., Корчагина Д. А., Мигачёв И. Ф., Барышев А. Н., Донец А. И., Конкин В. Д., Звездов В. С.
Алмазы, благородные и цветные металлы Российской Федерации – прогноз развития минерально-сырьевой базы и добычи 3

Богуславский А. Е., Шиганова О. В., Шварцева О. С., Спирин А. О.
Уникальное Кучукское месторождение озёрных солей и правовые аспекты его разработки 17

МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Ивлева Е. А., Пак Н. Т.
Этапы формирования золотого оруденения и крупные месторождения золота в Кыргызстане 28

ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ

Голдырев В. Н., Осовецкий Б. М., Наумов В. А., Артемов А. Л., Заводов А. В.
Пирит эпитермального Au-Ag месторождения Жильное (Чукотский АО): морфология, стадийность образования, продукты преобразования 42

Петроченков Д. А., Барабошкин Е. Ю.
Минеральный состав, геммологические характеристики интерьерных и ювелирно-поделочных аммонитов Республики Кабардино-Балкария 57

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

К 90-летию со дня рождения Виктора Борисовича Чекваидзе 73

ИНФОРМАЦИЯ

XIV Всероссийская открытая полевая олимпиада юных геологов 74

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

Решением Высшей аттестационной комиссии Министерства образования науки Российской федерации журнал включён в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени доктора и кандидата наук»
Свидетельство о регистрации в средствах массовой информации № 01217 от 03 июня 1992 г.
Подписано в печать 12.07.2023
Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1
Телефон: (495) 315-28-47. Факс: (495) 315-43-47. E-mail: ogeo@tsnigri.ru
Сайт: http://tsnigri.ru/o_geology
Сайт электронной библиотеки: http://elibrary.ru

Типография ФГБУ «ЦНИГРИ»

DOI:10.47765/0869-7175-2023-10011

УДК 553.41/.82.04(043.2)
© Коллектив авторов, 2023

Алмазы, благородные и цветные металлы Российской Федерации – прогноз развития минерально-сырьевой базы и добычи

Рассмотрено современное состояние минерально-сырьевой базы алмазов, благородных (золота, металлов платиновой группы, серебра) и цветных (никель, кобальт, медь, свинец, цинк) металлов (АБЦМ). Выполнен прогноз её развития по 2040 г. Обоснована необходимость усиления геологоразведочных работ ранних стадий за счёт средств федерального бюджета для подготовки прогнозных ресурсов и создания «поискового задела» для АБЦМ.

Ключевые слова: алмазы, золото, металлы платиновой группы, серебро, никель, кобальт, медь, свинец, цинк, минерально-сырьевая база, добыча, прогноз.

ИВАНОВ АНАТОЛИЙ ИННОКЕНТЬЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, научный руководитель, tsnigri@tsnigri.ru

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

ЧЕРНЫХ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, генеральный директор, tsnigri@tsnigri.ru

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

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

ГОЛУБЕВА ЮЛИЯ ЮРЬЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, golubeva@tsnigri.ru

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

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

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

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

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

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

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

Diamonds, precious and base metals of the Russian Federation: forecast for the development of the mineral resource base and mine production

A. I. IVANOV, Ya. V. ALEKSEEV, A. I. CHERNYKH, E. A. NAUMOV, D. A. KULIKOV, Yu. Yu. GOLUBEVA, D. A. KORCHAGINA, I. F. MIGACHEV, A. N. BARYSHEV, A. I. DONETS, V. D. KONKIN, V. S. ZVEZDOV

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

The actual state of the mineral resource base of diamonds, precious (gold, platinum group metals, silver) and base (nickel, cobalt, copper, lead, zinc) metals (DPBM) is considered. A forecast of its development until 2040 is provided. The necessity is substantiated of intensifying the early phase geological exploration at the expense of the federal budget to prepare the DPBM forecasted resources and to create the "exploration targets fund".

Key words: diamonds, gold, platinum group metals, silver, nickel, cobalt, copper, lead, zinc, mineral resource base, mine production, forecast.

Введение. ФГБУ ЦНИГРИ (далее – ЦНИГРИ) в системе Роснедр является головным предприятием по группе твёрдых полезных ископаемых – алмазам, благородным (золото, металлы платиновой группы, серебро) и цветным (никель, кобальт, медь, свинец, цинк) металлам (АБЦМ).

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 30.08.2022 № 2473-р «Об основных видах стратегического минерального сырья» алмазы, золото, серебро, платиноиды, никель, кобальт, медь, свинец, цинк отнесены к таким видам.

Таким образом, вся группа полезных ископаемых (АБЦМ), курируемых ЦНИГРИ, входит в число наиболее важных для экономики России твёрдых полезных ископаемых. Поэтому анализ состояния минерально-сырьевой базы этих полезных ископаемых и прогноз её развития на ближайшие десятилетия является важным в свете обеспечения минерально-сырьевой безопасности РФ.

В «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года», утверждённой Распоряжением Правительства Российской Федерации № 2914-р от 22 декабря 2018 г., в зависимости от обеспеченности добычи имеющимися балансовыми запасами выделены три группы полезных ископаемых. В первую группу входят полезные ископаемые, «запасы которых при любых сценариях развития экономики удовлетворят необходимые потребности до 2035 года и в последующий период». К этой группе отнесены в том числе медь, никель, кобальт и металлы платиновой группы (МПГ), а целевое значение показателя воспроизводства запасов в результате геологоразведочных работ устанавливается на уровне не ниже 50 %, что должно позволить поддерживать достигнутые уровни добычи на протяжении многих десятилетий.

Ко второй группе отнесены полезные ископаемые, достигнутые уровни добычи которых недостаточно обеспечены запасами разрабатываемых месторождений на период до 2035 г. К этой группе относятся в том числе алмазы, золото, серебро, свинец, цинк – для них целевое значение показателя воспроизводства запасов установлено на уровне 100 %, а предельно допустимое – на уровне 75 %, что позволит поддержать достигнутые уровни добычи на протяжении многих десятилетий.

В рамках своих задач ЦНИГРИ занимается анализом изменения и прогнозом развития минерально-сырьевой базы АБЦМ, которая характеризуется различным состоянием для тех или иных полезных ископаемых. В последние годы нами публиковались материалы по отдельным аспектам и проблемам минерально-сырьевой базы (МСБ) АБЦМ [1–8], но в связи с изменением ситуации с минерально-сырьевой безопасностью России, назрела необходимость более глубокого анализа устойчивости развития и разработки сценарного прогноза освоения МСБ этих полезных ископаемых. Кроме того, за прошедшие с момента утверждения «Стратегии…» 5 лет в определённой степени изменилась конъюнктура минерального сырья, в том числе в связи со значительным наращиванием добычи в РФ в целом по АБЦМ. Поэтому ЦНИГРИ выполнен специальный анализ развития МСБ АБЦМ с увеличением срока по сравнению со «Стратегией…» по 2040 г., результаты которого представлены в настоящей статье. При этом использована информация, находящаяся в открытом доступе – в Государственном балансе запасов

(ГБЗ), протоколах Центральной комиссии по разработке (ЦКР), опубликованных производственных планах предприятий. При прогнозе объёма добычи АБЦМ по 2040 г. рассчитаны три сценария развития ситуации – *базовый, консервативный (негативный)* и *прогрессивный*. В целом в *базовом* сценарии учитываются календарные планы добычных работ (технических проектов отработки) разрабатываемых и подготавливаемых (и разведываемых) месторождений. В *консервативном* – ввод новых месторождений отсутствует. В *прогрессивном* – в добычу будут вовлечены запасы, подготовленные по результатам геологоразведочных работ (ГРР) из прогнозных ресурсов (ПР) высоких категорий, а также учтено возможное вовлечение объектов, по которым не приняты инвестиционные решения, и отработка которых в настоящее время нерентабельна, и объекты нераспределённого фонда недр (НРФН). Прогноз изменения запасов АБЦМ в распределённом фонде отражает их погашение при базовом сценарии добычи.

Алмазы. Россия по запасам и добыче алмазов занимает одно из ведущих мест в мире (соответственно первое место по запасам и первое место по добыче), экспорт алмазов является важной статьёй дохода государственного бюджета. Поэтому рассмотрение дальнейших перспектив восполнения МСБ алмазов и их добычи является необходимым элементом планирования экономического развития Российской Федерации.

При анализе развития МСБ алмазов (рис. 1) все месторождения разделены на три группы.

Группа 1. Вовлечённые в эксплуатацию и находящиеся в инвестиционной стадии (имеются проектные решения): все разрабатываемые месторождения, включая подготавливаемое тело Майское (протоколы ЦКР-ТПИ). По количеству запасов эта группа месторождений занимает 51 % от всех балансовых запасов РФ на 01.01.2022 г. (рис. 2).

Группа 2. Находящиеся в предынвестиционной фазе и обладающие коммерческим потенциалом (ведётся проектирование): запасы глубоких горизонтов трубок Айхал, Юбилейная, Мир и др. (по данным АК «АЛРОСА» (ПАО)). По количеству запасов эта группа месторождений занимает 26 % от всех балансовых запасов РФ на 01.01.2022 г. (см. рис. 2).

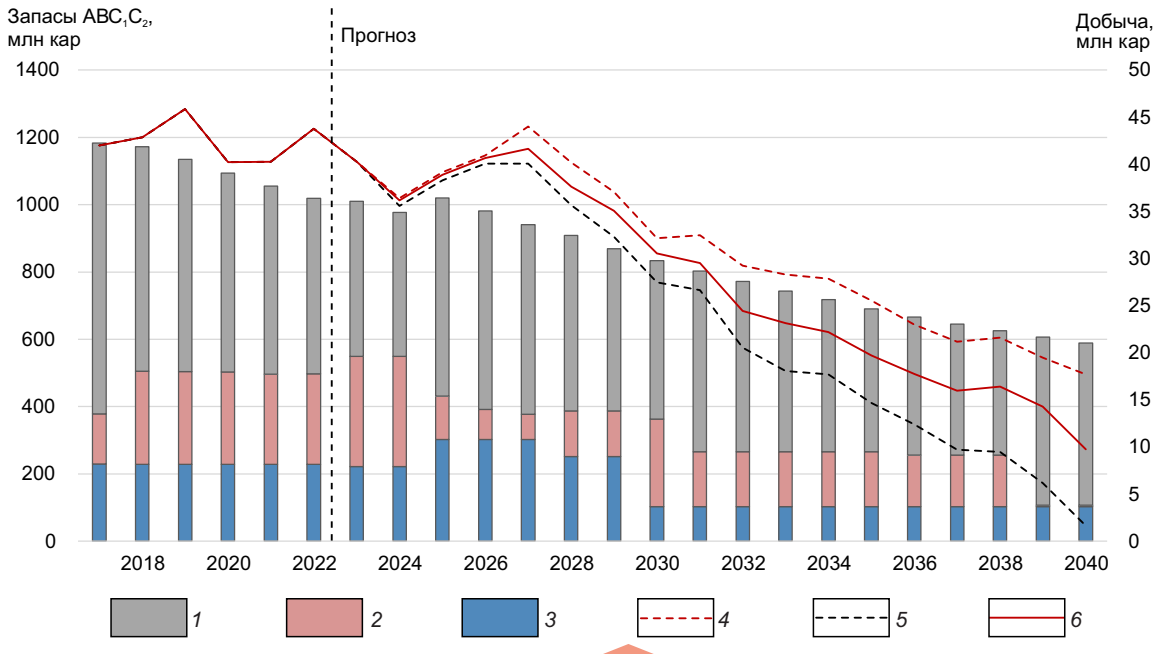


Рис. 1. Прогноз развития МСБ алмазов по 2040 г.:

прогнозируемое изменение запасов: *1* – группа 1 (запасы, вовлечённые в эксплуатацию, и запасы в инвестиционной стадии), *2* – группа 2 (запасы, находящиеся в предынвестиционной фазе, ведётся проектирование), *3* – группа 3 (запасы, по которым не приняты инвестиционные решения); добыча, сценарий: *4* – прогрессивный, *5* – консервативный, *6* – базовый

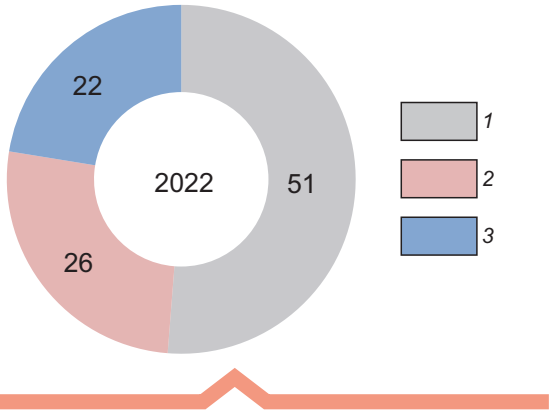


Рис. 2. Соотношение запасов месторождений различных инвестиционных групп:

1 – группа 1 (запасы, вовлечённые в эксплуатацию, и запасы в инвестиционной стадии (имеются проектные решения): все разрабатываемые месторождения, включая подготавливаемое тело Майское (протоколы ЦКР-ТПИ)); *2* – группа 2 (запасы, находящиеся в предынвестиционной фазе и обладающие коммерческим потенциалом (ведётся проектирование)): запасы глубоких горизонтов трубок Айхал, Юбилейная, Мир и др. (по данным АК «АЛРОСА» (ПАО)); *3* – группа 3 (запасы, по которым не приняты инвестиционные решения, отработка которых малоперспективна либо требует экономической оценки: НРФН, глубокие горизонты разрабатываемых месторождений)

Группа 3. Находящиеся в резерве – по ним не приняты инвестиционные решения, их отработка малоперспективна или требует экономической оценки: объекты НРФН, глубокие горизонты разрабатываемых месторождений. По количеству запасов эта группа месторождений занимает 22% от всех балансовых запасов РФ на 01.01.2022 г. (см. рис. 2).

Базовый сценарий (см. рис. 1) предполагает введение в эксплуатацию месторождений с уже существующими балансовыми запасами (Карпинского-2, Пионерская), переход на подземную отработку действующих (подземные рудники «Юбилейный», «Мир-Глубокий», глубокие горизонты трубок Удачная и Айхал). Суммарная добыча на этих объектах после 2035 г. вместе с действующими месторождениями составит 10–20 млн кар.

Согласно *консервативному (негативному) сценарию,* запасы отрабатываемых в настоящее время месторождений позволят поддерживать годовую добычу на текущем уровне 38–41 млн кар до 2027 г. с последующим снижением до 27 млн кар к 2031 г. и 9 млн кар к 2038 г., завершением добычи после 2040 г.

Прогрессивный сценарий предполагает ввод в эксплуатацию объектов, находящихся на балансе, для которых в данный момент нет планов по отработке и новых объектов с оценёнными ПР кат. P_1–P_2. Для поддержания текущего уровня добычи эти объекты должны увеличить добычу после 2035 г. примерно на 9–10 млн кар в год. *Таким образом, для полной компенсации выбывающих месторождений необходимо в ближайшее время открытие новых коренных месторождений алмазов.*

Золото. Золото не только используется в промышленности, но и является важной статьёй экспорта в Российской Федерации. По запасам золота РФ занимает первое место в мире, а по добыче – третье место.

Месторождения золота представлены тремя типами – собственно золоторудными, комплексными и россыпными. В последние десятилетия существовала отчётливая тенденция увеличения МСБ в целом за счёт собственно золоторудных и комплексных месторождений, несмотря на снижение балансовых запасов россыпных месторождений, которые составляли 7% от общих запасов (данные на 01.01.2022 г.) (рис. 3, А). Также почти непрерывно возрастала добыча золота из всех трёх типов месторождений (см. рис. 3, Б), причём доля россыпного золота в добыче составила 20% в 2022 г.

Прогноз изменения запасов золота по 2040 г. (рис. 4) учитывает несколько моментов. Во-первых, изменение запасов россыпного золота принимается относительно незначительным, исходя из отчётливой тенденции последних лет об их постоянном наращивании в результате проведения геологоразведочных работ и последующей быстрой отработки. Поэтому такой ежегодный прирост запасов и их списание в результате отработки не отражаются в ГБЗ, хотя реально добыча россыпного золота увеличивается. При отсутствии постоянных ГРР запасы россыпного золота распределённого фонда недр были бы полностью отработаны ещё до 2030 г. Во всех приведённых на рис. 4 сценариях добычи золота из россыпных месторождений учитывается именно факт постоянного наращивания в течение календарного года запасов в результате ГРР с последующей отработкой и списанием с баланса в этот же период времени.

Объём добычи золота по всем трём сценариям, как и изменение балансовых запасов во времени

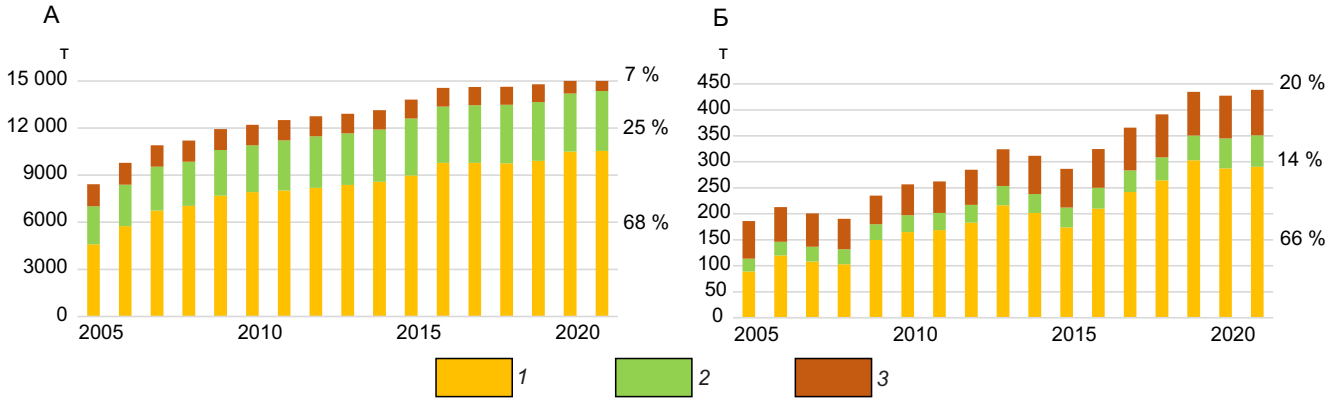


Рис. 3. Динамика запасов ABC_1C_2 золота по типам месторождений на 01.01.2022 (А) и динамика добычи золота в России по типам месторождений на 01.01.2022 (Б):

1 – собственно золоторудные; *2* – комплексные; *3* – россыпные

при базовом сценарии (см. рис. 4), рассчитан с учётом начала эксплуатации месторождения рудного золота Сухой Лог в 2026 г., доля которого в балансовых запасах составляет около 13 %. Соответственно, доля этого месторождения в добыче золота (среднегодовое значение в прогнозируемый период) превысит 17 %, что и должно привести к значительному возрастанию объёма добычи золота. Колебание же на графике общего объёма добычи золота по 2040 г. связано с планируемой в технико-экономическом обосновании (ТЭО) кондиций месторождения Сухой Лог её неравномерностью во времени в зависимости от производительности будущей золотоизвлекательной фабрики (ЗИФ).

При *прогрессивном* сценарии учитывается добыча из месторождений, подготовленных из объектов с прогнозными ресурсами золота (значимым примером является месторождение «имени Б. К. Михайлова», в июне 2023 г. выдана совмещённая лицензия после состоявшегося аукциона), а также из месторождений нераспределённого фонда недр и разведанных в перспективе. К этой же категории отнесено крупное Перекатное месторождение (Магаданское область), балансовые запасы золота которого составляют 108,2 т (при средних содержаниях 0,615 г/т) и серебра – 443,1 т (при средних содержаниях 2,519 г/т). Оно перешло в августе 2022 г. в нераспределённый фонд недр из-за отзыва лицензии по причине невыполнения условий лицензионного соглашения.

В связи со сложной международной обстановкой и возможными осложнениями при приобретении оборудования начало эксплуатации месторождения Сухой Лог может быть перенесено на более поздний срок, и тогда прогноз как добычи золота, так и состояния балансовых запасов может значительно скорректироваться.

В целом при базовом сценарии добычи запасы распределённого фонда недр (РФН), учтённые на коренных месторождениях (на 01.01.2022 г.), к 2040 г. сократятся почти в 2,3 раза: с 12 969 до 5737 т. При успешности ГРР на объектах с подготовленными прогнозными ресурсами к 2040 г. запасы новых месторождений могут составить более 2000 т.

Металлы платиновой группы (МПГ). МСБ этой группы металлов в РФ устойчива, по запасам мы занимаем второе место в мире, по добыче – также второе место.

В соответствии со «Стратегией…» МПГ относятся к полезным ископаемым первой группы, минерально-сырьевая база которых достаточна для обеспечения потребностей экономики в долгосрочной перспективе, и целевое воспроизводство запасов определено выше 50 % от погашения. Поэтому для МПГ геологоразведочные работы за средства федерального бюджета проводятся в ограниченном объёме, и основной прирост запасов обеспечивается недропользователями. За период с 2005 по 2021 г. ими подготовлено более 5000 т балансовых запасов – в основном в результате

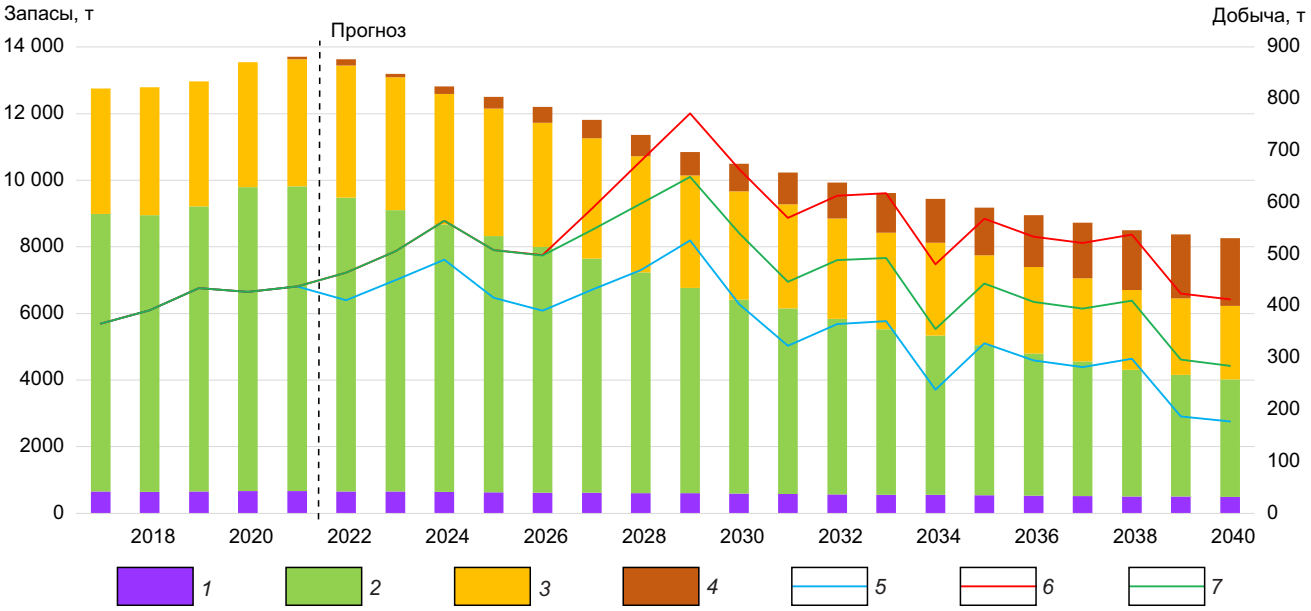


Рис. 4. Динамика запасов золота и добычи золота в 2017–2021 гг. и прогноз развития МСБ и добычи золота по 2040 г.:

запасы: *1* – россыпей, *2* – разрабатываемых месторождений, *3* – разведанных и подготавливаемых месторождений, *4* – нераспределённого фонда и из ПР; добыча, сценарий: *5* – консервативный, *6* – прогрессивный, *7* – базовый

доразведки известных месторождений Норильского промышленного района (Масловское, Черногорское, Норильск-1 (Северная и Южная часть)), а накопленная добыча за этот период составила 2600 т [1, 4]. Но потенциал дальнейшего наращивания запасов за счёт доразведки является ограниченным.

Объекты с апробированными прогнозными ресурсами, относящиеся в основном к малосульфидному платинометалльному геолого-промышленному типу, за счёт выявления новых месторождений не могут обеспечить значительного прироста запасов. Соответственно, вклад в добычу МПГ из этих месторождений будет также относительно небольшим. На современном уровне изученности территории РФ единственным регионом, обладающим необходимыми условиями для образования этого типа месторождений МПГ, является Карело-Кольский, где располагаются все разведанные месторождения и рудопроявления с локализованными прогнозными ресурсами.

Таким образом, при *базовом* сценарии добычи в обозримом будущем прогнозируется снижение балансовых запасов МПГ (рис. 5) на фоне возрастающей добычи. При этом запасы распределённого фонда недр (на 01.01.2022 г.) к 2040 г. сократятся в 1,4 раза с 15,9 до 11,0 тыс. т.

Серебро. Состояние МСБ серебра в РФ в целом устойчиво, по его запасам мы занимаем второе место в мире, по добыче – четвёртое место.

МСБ серебра представлена 552 месторождениями, в том числе 499 коренными и 53 россыпными [4], причём более 50 % запасов сосредоточены в девяти крупных месторождениях: Удоканское, Нойон-Тологой, Быстринское, Прогноз, Верхне-Менкече, Вертикальное, Дукатское, Озерное и Холоднинское (разработка последнего невозможна из-за нахождения в Центральной экологической зоне оз. Байкал). Серебро, по «Стратегии…», относится к той же группе, что и золото – для них необходимо обеспечить 100 %-ное воспроизводство запасов.

При *базовом* сценарии добычи (рис. 6) запасы распределённого фонда недр (на 01.01.2022 г.) к 2040 г. сократятся в 2,0 раза с 107,7 до 53,4 тыс. т. При успешности ГРР и с учётом возможного

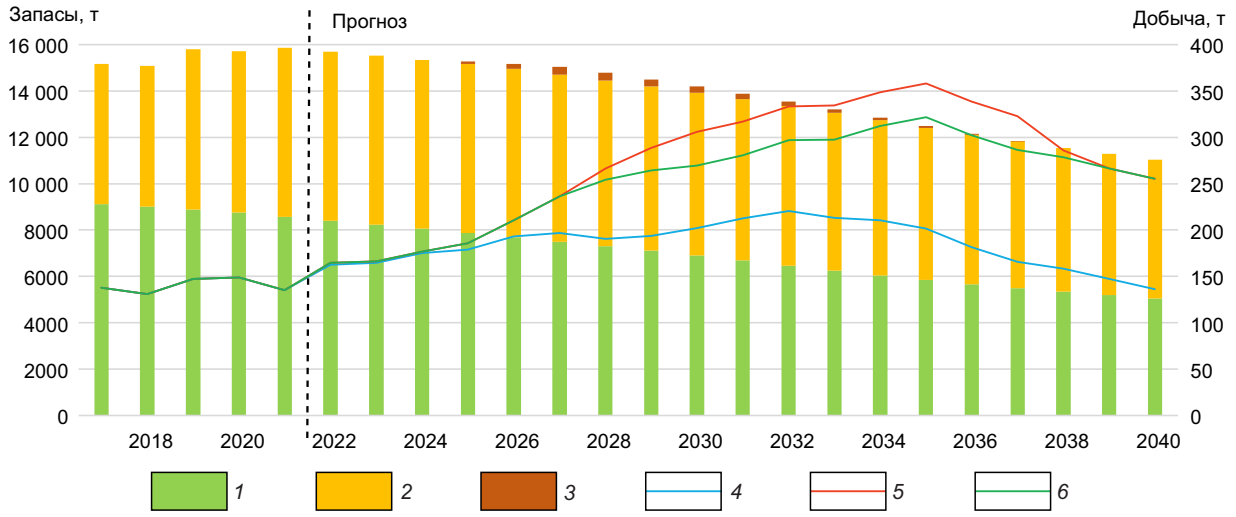


Рис. 5. Динамика запасов и добычи МПГ в 2017–2021 гг. и прогноз развития МСБ и добычи МПГ по 2040 г.:

запасы: *1* – разрабатываемых месторождений, *2* – разведанных и подготавливаемых месторождений, *3* – подготавливаемых из ПР; добыча, сценарии: *4* – консервативный, *5* – прогрессивный, *6* – базовый

начала добычи на объектах, подготовленных из ПР к 2040 г., количество новых запасов может составить чуть менее 6,6 тыс. т.

Никель. По запасам никеля Российская Федерация занимает первое место в мире, по добыче – третье место.

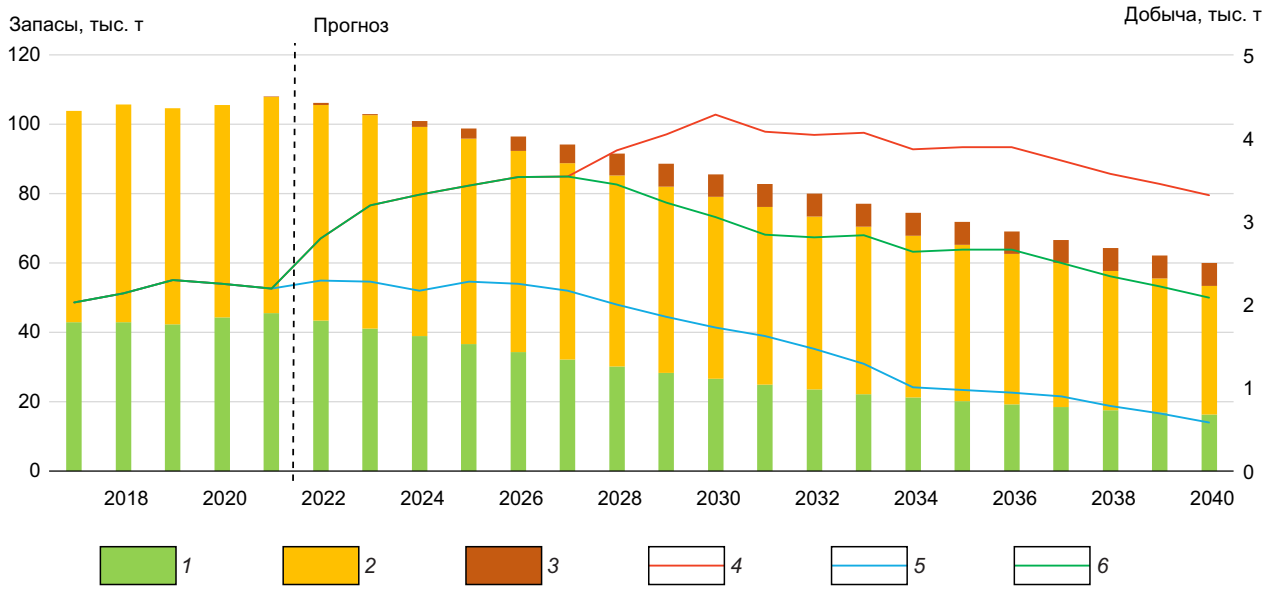


Рис. 6. Динамика запасов и добычи серебра в 2017–2021 гг. и прогноз развития МСБ и добычи серебра по 2040 г.:

запасы: *1* – разрабатываемых месторождений, *2* – разведанных и подготавливаемых месторождений, *3* – нераспределённого фонда и из ПР; добыча, сценарий: *4* – консервативный, *5* – прогрессивный, *6* – базовый

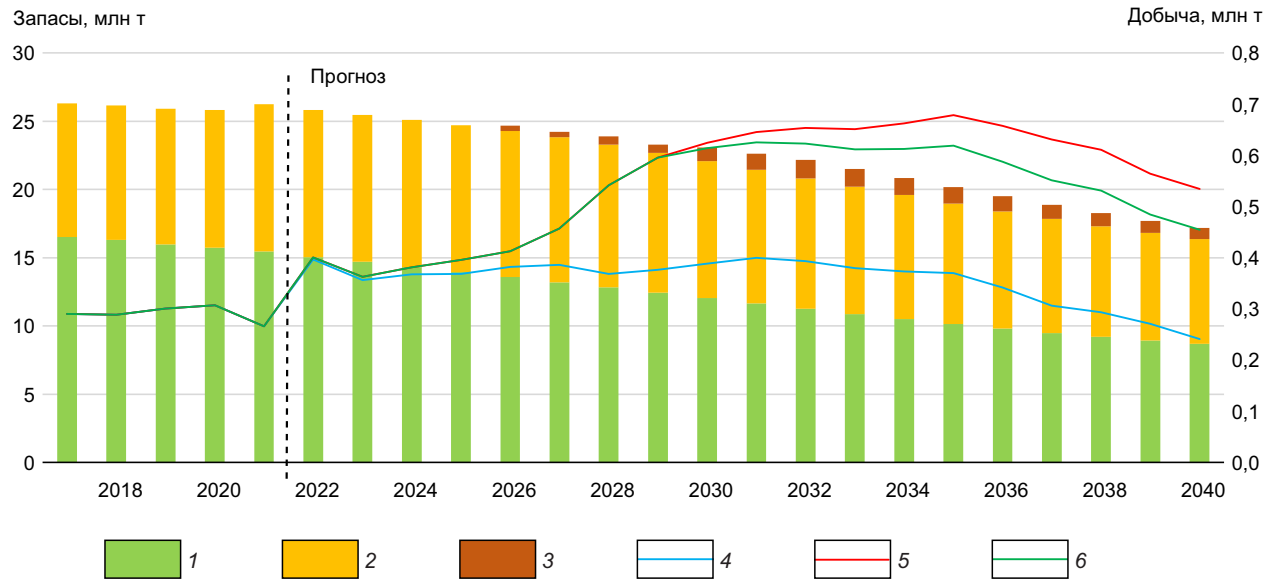


Рис. 7. Динамика запасов и добычи никеля в 2017–2021 гг. и прогноз развития МСБ и добычи никеля по 2040 г.:

запасы: *1* – разрабатываемых месторождений, *2* – разведанных и подготавливаемых месторождений, *3* – подготавливаемых из ПР; добыча, сценарий: *4* – консервативный, *5* – прогрессивный, *6* – базовый

Основные запасы никеля находятся в комплексных медно-никелевых месторождениях Норильского промышленного района, Красноярского края, Мурманской, Воронежской и Амурской областей. Балансовые запасы никеля также имеются в месторождениях силикатного геолого-промышленного типа в пределах трёх регионов Уральского и Приволжского федеральных округов.

В настоящее время добычу никеля в значимом масштабе осуществляет только ПАО «ГМК “Норильский никель”», действующие мощности которого в Норильском рудном районе и Мурманской области обеспечены собственным сырьём на длительный срок. Готовятся к реализации новые проекты освоения месторождений Норильского рудного района (Черногорское, южная часть Норильск-I – Холдинг ООО «Русская платина»; Масловское – ПАО «ГМК “Норильский никель”»), на юге Красноярского края (Кингашское и Верхнекингашское – ООО «Кингашская ГРК»), в Воронежской области (Еланское и Ёлкинское – ОАО «УГМК») и в Амурской области (Кун-Манье – АО «Кун-Манье»). В перспективе возможно возобновление добычи на силикатных никелевых месторождениях при успешности результатов технологических испытаний ПАО «Комбинат “Южуралникель”» по получению гранулированного ферроникеля и чугуна из руд Буруктальского месторождения.

Введение в строй этих объектов позволит в ближайшие годы нарастить добычу никеля в РФ (рис. 7).

В то же время степень разведанности и поисковой изученности известных рудных районов территории России достаточно высока, поэтому вероятность обнаружения новых крупных месторождений никеля с запасами более миллиона тонн, которые могли бы дать ощутимый прирост МСБ, незначительна. Возможные приросты связаны с доразведкой известных месторождений. А ресурсный потенциал никеля РФ является ограниченным, апробированные прогнозные ресурсы высоких категорий P_1 и P_2, локализованные на флангах и глубоких горизонтах известных месторождений, составляют соответственно 2027,6 и 5674 тыс. т. При успешности ГРР на объектах с подготовленными ПР к 2040 г. количество новых запасов может составить около 0,8 млн т.

Поэтому, несмотря на значительную МСБ никеля, при базовом сценарии добычи запасы распределённого (на 01.01.2022 г.) фонда недр к 2040 г. сократятся в 1,6 раза с 26,2 до 16,4 млн т. В случае

реализации *консервативного* сценария развития добычи это снижение может быть меньше.

Кобальт. По запасам кобальта РФ занимает второе место в мире, по добыче – также второе место.

Кобальт с получением товарного продукта (концентрата или металла) в РФ добывается из комплексных медно-никелевых месторождений, поэтому и состояние, и МСБ, и добыча во многом аналогичны, как и прогноз их развития по 2040 г. (рис. 8). При анализе МСБ и добычи никеля и кобальта необходимо учитывать три момента. Во-первых, отсутствие эффективной и рентабельной промышленной технологии переработки руд месторождений силикатного никеля; во-вторых, прогнозные ресурсы кобальта в РФ не учитываются; в-третьих, для кобальта возможно наращивание добычи при лицензировании и освоении единственного значимого собственного месторождения сульфидного типа – Кара-Кульского в Республике Алтай (Со 25,656 тыс. т), которое находится в нераспределённом фонде недр. Лицензирование и освоение этого объекта сдерживается недостаточной исследовательностью технологии извлечения из руд кобальта и сопутствующих элементов.

Но эти моменты могут лишь незначительно повлиять на прогноз развития МСБ и добычи кобальта. При *базовом* сценарии добычи она в ближайшие годы, как и у никеля, будет возрастать, в связи с чем товарные запасы распределённого (на 01.01.2022 г.) фонда недр к 2040 г. сократятся в 1,5 раза с 1114 до 736 тыс. т.

Медь. Масштаб балансовых запасов и действующего производства меди, включая полный производственный цикл последнего «руда–концентрат–металл–изделие», позволяет РФ занимать одно из ключевых мест в мире по следующим показателям (второе место в мире по запасам и шестое место по добыче) [2]. В структуре сырьевой базы меди РФ определяющую позицию занимают сульфидные медно-никелевые (34,4%), медно-порфировые (23,9%), медистых песчаников и сланцев (19,6%) и медноколчеданные (14,5%) месторождения, заключающие в целом 92,3% балансовых запасов страны. Свыше 94% балансовых запасов меди страны переданы в недропользование.

Главными регионами добычи меди в России являются Красноярский край (Норильский рудный район), Южный и Средний Урал (Челябинская, Оренбургская и Свердловская области и Республика Башкортостан), Забайкальский край

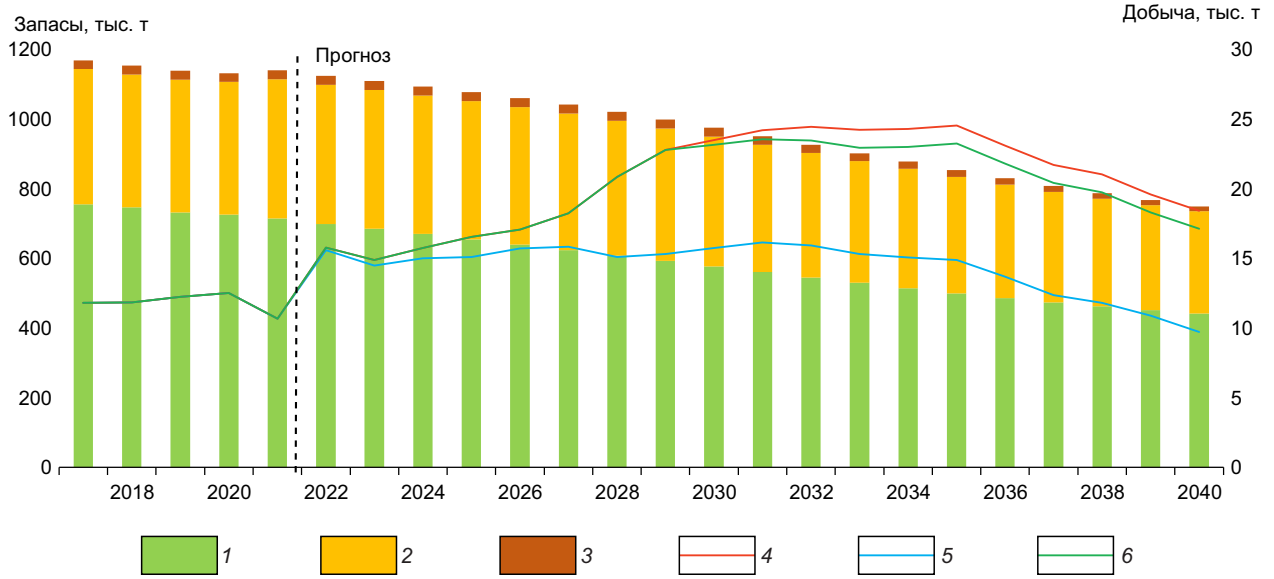


Рис. 8. Динамика запасов и добычи кобальта в 2017–2021 гг. и прогноз развития МСБ и добычи кобальта по 2040 г.:

запасы: *1* – товарные разрабатываемые, *2* – товарные подготавливаемые и разведанные, *3* – товарные нераспределённого фонда; добыча товарная, сценарий: *4* – консервативный, *5* – прогрессивный, *6* – базовый

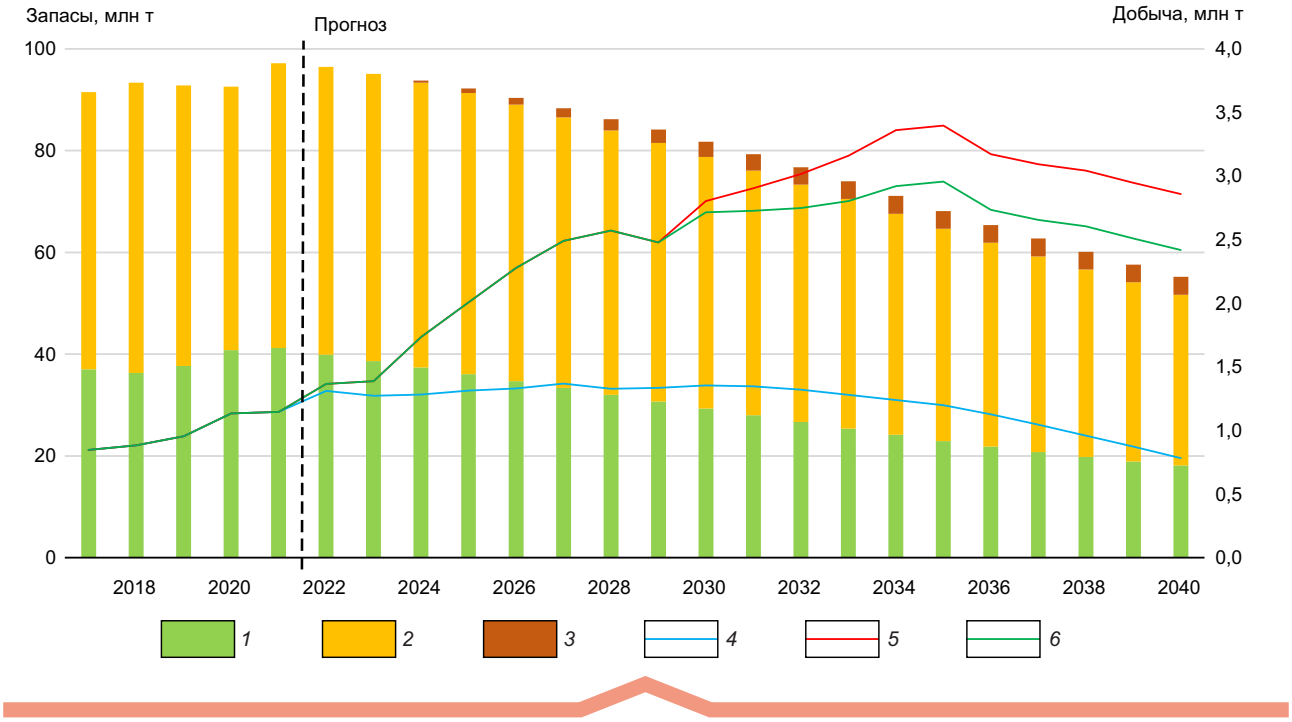


Рис. 9. Динамика запасов и добычи меди в 2017–2021 гг. и прогноз развития МСБ и добычи меди по 2040 г.:

запасы: *1* – разрабатываемых месторождений, *2* – разведанных и подготавливаемых месторождений, *3* – подготавливаемых из ПР; добыча, сценарий: *4* – консервативный, *5* – прогрессивный, *6* – базовый

и Мурманская область (Печенгский район). Основной объём добычи меди в России обеспечивают предприятия трёх вертикально-интегрированных холдингов: ПАО «ГМК “Норильский никель”», АО «Русская медная компания» (АО «РМК»), ОАО «Уральская горно-металлургическая компания» (ОАО «УГМК»). Добываемые руды перерабатываются на собственных обогатительных фабриках (ОФ) компаний, а получаемые концентраты в основном направляются на принадлежащие им же металлургические предприятия. По мере ввода новых мощностей число значимых продуцентов возрастет.

Апробированные прогнозные ресурсы (АПР) высоких категорий меди по состоянию на 01.01.2022 г. составляют (в тыс. т): по кат. P_1 – 10 624,6, кат. P_2 – 22 217,6. Из этих ресурсов могут быть подготовлены при проведении ГРР около 13,5 тыс. т запасов [2]. Основная часть АПР меди РФ кат. P_1 находится в Республике Башкортостан (20,3 %), Челябинской (15,6 %) и Оренбургской областях (12 %); кат. P_2 – локализованы в Чукотском АО (20 %), Челябинской области (19,8 %) и в Красноярском крае (14 %). Объекты с АПР меди указанных регионов представлены медно-цинково-колчеданным, медно-порфировым и сульфидным медно-никелевым оруденением. В результате проведения ГРР на объектах с прогнозными ресурсами могут быть подготовлены балансовые запасы меди в количестве около 3,5 млн т. (рис. 9), которые к 2040 г. могут быть вовлечены в эксплуатацию.

В последние годы запасы меди возрастали (рис. 9), что связано с разведкой медно-порфировых (Малмыжское, Песчанка и др.), медно-никелевых (Норильск-1 (Южная часть), Кун-Манье и др.), скарновых (Быстринское, Култуминское) месторождений. На ряде объектов медно-цинково-колчеданных руд ГРР в настоящее время продолжаются, их положительное завершение внесёт вклад в укрепление МСБ меди. В связи с подготовкой к эксплуатации целой группы месторождений различных промышленных типов в ближайшие годы планируется значительный рост добычи (см. рис. 9), вследствие чего начнётся снижение балансовых запасов.

При *базовом* сценарии добычи запасы распределённого фонда к 2040 г. сократятся в 1,9 раза с 97,2 до 51,7 млн т.

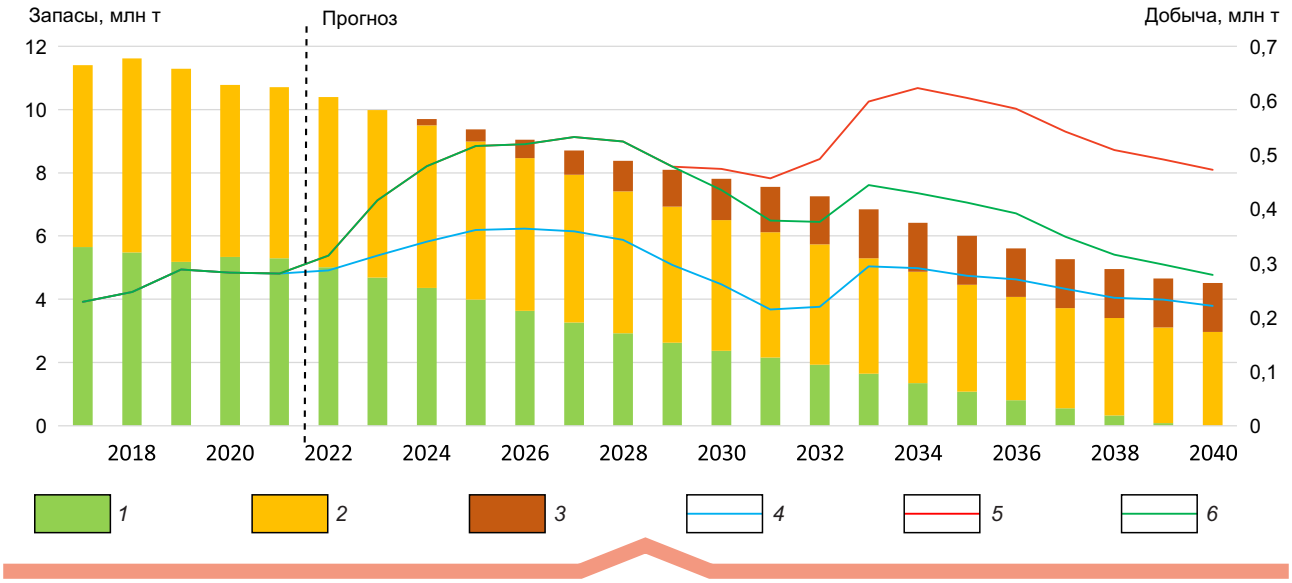


Рис. 10. Динамика запасов и добычи свинца в 2017–2021 гг. и прогноз развития МСБ и добычи свинца по 2040 г.:

запасы: *1* – разрабатываемых месторождений, *2* – разведанных и подготавливаемых месторождений, *3* – подготавливаемых из ПР; добыча, сценарий: *4* – консервативный, *5* – прогрессивный, *6* – базовый

Свинец. Россия располагает значительной сырьевой базой свинца (третье место в мире по запасам и шестое место по добыче) и входит в десятку крупнейших продуцентов металла в концентратах. При этом из-за отсутствия в РФ предприятий по переработке концентратов все они экспортируются, и Россия занимает второе (после Перу) место в мире по их экспортным поставкам. Основным сырьевым источником металла в стране являются свинцово-цинковые руды; полиметаллические и другие руды имеют подчинённое значение.

Особенностью минерально-сырьевой базы свинца в РФ (рис. 10) является наличие значительных «замороженных» запасов в Холоднинском месторождении (3358,9 тыс. т или 19,6% от балансовых запасов РФ и 52,4% от запасов в нераспределённом фонде недр), которое расположено в центральной экологической зоне оз. Байкал, где запрещена добычная деятельность. Поэтому в РФН находятся (на 01.01.2022 г.) лишь 62,6% балансовых запасов свинца. Почти 89% из них распределены между 7 компаниями: АО «Горевский ГОК», Группа Highland Gold и АО «ОзГРК», ОАО «УГМК», ООО «Байкалруд», ООО «Якутский газоперерабатывающий комплекс» (ООО «ЯГПК»), АО «Первая горнорудная компания», АО «ГМК “Дальполиметалл”». Без учёта Холоднинского месторождения сырьевая база свинца имеет высокий уровень лицензирования – 77,8%.

Апробированные прогнозные ресурсы (АПР) высоких категорий свинца по состоянию на 01.01.2022 г. составляют (в тыс. т): по кат. P_1 – 4068,1, кат. P_2 – 9664 и локализованы на колчеданно-полиметаллических и свинцово-цинковых месторождениях. АПР категории P_1 приурочены в основном к флангам и глубоким горизонтам разрабатываемых месторождений.

Основным центром добычи свинца является Красноярский край, где АО «Горевский ГОК», разрабатывает свинцово-цинковое месторождение Горевское – 184,3 тыс.т в год (65,6% от РФ). Вторым по размеру добычи является месторождение Нойон-Тологой (ООО «Байкалруд») в Забайкальском крае (35,8 тыс. т или 12,7%). Остальной объём обеспечивается попутной добычей свинца на месторождениях различных геолого-промышленных типов Приморского, Алтайского и Забайкальского краёв, Республик Тыва, Саха (Якутия), Бурятия, Башкортостан, Магаданской, Оренбургской и Челябинской областей.

Балансовые запасы свинца в последние годы непрерывно снижаются, и это снижение будет продолжаться в обозримой перспективе, в том числе за счёт планово возрастающей добычи (см. рис. 10). При *базовом* сценарии добычи запасы

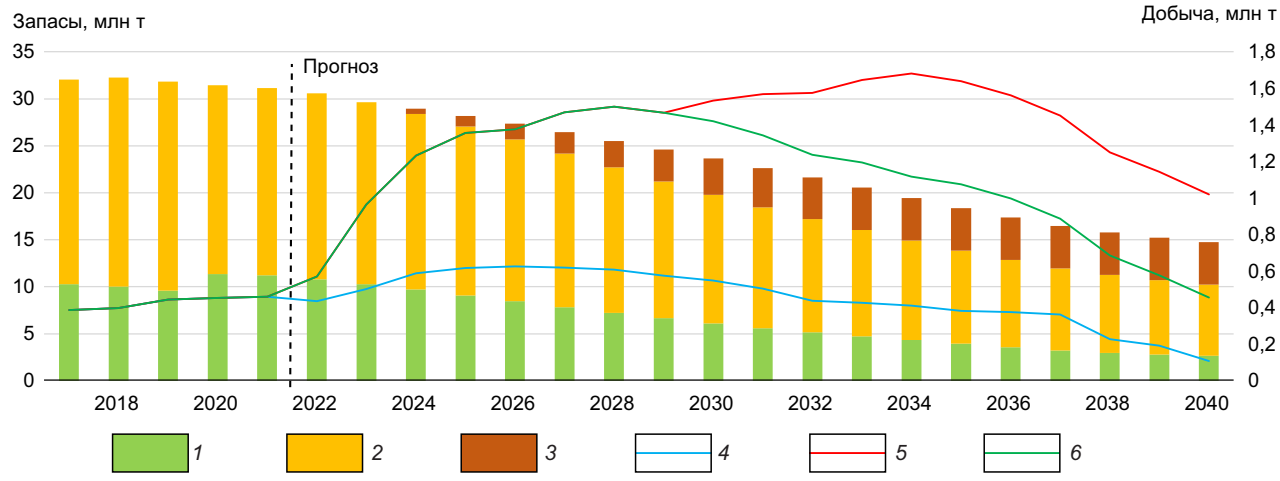


Рис. 11. Динамика запасов и добычи цинка в 2017–2021 гг. и прогноз развития МСБ и добычи цинка по 2040 г.:

запасы: *1* – разрабатываемых месторождений, *2* – разведанных и подготавливаемых месторождений, *3* – подготавливаемых из ПР; добыча, сценарий: *4* – консервативный, *5* – прогрессивный, *6* – базовый

распределённого фонда к 2040 г. сократятся в 3,6 раза с 10,7 до 3,0 млн т. При этом все запасы разрабатываемых месторождений будут погашены к 2039 г., а добыча на таких объектах будет обеспечиваться за счёт участков, находящихся на начало 2022 г. в подготовительной или разведываемой стадии, но и её продолжительность не превысит 6 лет (2045 г.). При положительных результатах ГРР и с учётом возможного начала добычи на объектах, подготовленных из ПР к 2040 г., количество новых запасов может составить около 1,5 млн т.

Цинк. Россия по запасам цинка занимает второе место в мире, уступая только Китаю, по добыче – девятое место. Качество руд отечественных объектов в целом сопоставимо с зарубежными аналогами, однако главным источником цинка являются медно-цинково-колчеданные месторождения со сравнительно невысоким содержанием металла в рудах.

По производству цинка в концентратах и металлического цинка Россия входит в десятку основных мировых продуцентов. В структуре сырьевой базы цинка РФ преобладают полиметаллические (46,9 %), свинцово-цинковые (29,7 %) и медно-цинково-колчеданные (20,5 %) месторождения, заключающие 97,1 % балансовых запасов страны.

Особенностью минерально-сырьевой базы цинка, как и свинца, в РФ (рис. 11) является наличие значительных «замороженных» запасов в Холоднинском месторождении (21 195,2 тыс. т или 36,3 % от всех запасов РФ на 01.01.2022 г. или 77,7 % от НРФН), которое расположено в центральной экологической зоне оз. Байкал, где запрещена добычная деятельность. Поэтому в РФН находятся (на 01.01.2022 г.) лишь 53,3 % балансовых запасов цинка. Почти 93 % из них распределены между 8 компаниями: ОАО «УГМК», Группа Highland Gold и АО «ОзГРК», АО «Первая горнорудная компания», ООО «ЯГПК», АО «Горевский ГОК», ООО «Байкалруд», ООО «Лунсин» и АО «ГМК «Дальполиметалл». Без учёта Холоднинского месторождения сырьевая база цинка имеет высокий уровень лицензирования – 83,6 %. Остальные объекты нераспределённого фонда представлены мелкими (до 100 тыс. т – 45 объектов) и средними (102,9–712,4 тыс. т – 22 объекта) по балансовым запасам месторождениями, которые характеризуются низким инвестиционным интересом.

АПР высоких категорий цинка по состоянию на 01.01.2022 г. составляют (в тыс. т): по кат. P_1 – 17 166, кат. P_2 – 25 423,2. Большая часть АПР цинка РФ кат. P_1 находится в трёх регионах – Красноярском крае (25,6 %), Архангельской области (18,7 %), Республике Башкортостан (14,4 %), Алтайском крае (12,1 %). Прогнозные ресурсы категории P_2 локализованы в основном в Алтайском (20,5 %) и Красноярском (14,9 %) краях и в Челябинской области (14,8 %). Объекты с АПР цинка

указанных регионов представлены колчеданно-полиметаллическим, медно-цинково-колчеданным и свинцово-цинковым геолого-промышленными типами.

Балансовые запасы цинка в последние годы снижаются, и это снижение будет продолжаться в обозримой перспективе, в том числе за счёт планово возрастающей добычи (см. рис. 11). Основные центры добычи цинка расположены на Южном и Среднем Урале, в Республике Тыва, Красноярском, Забайкальском и Алтайском краях.

При *базовом* сценарии добычи запасы распределённого фонда к 2040 г. сократятся в 3,0 раза с 31,1 до 10,2 млн т. (см. рис. 11). При положительных результатах ГРР и с учётом возможного начала добычи на объектах, подготовленных из ПР к 2040 г., количество новых запасов может составить около 4,5 млн т.

Выводы. Представленные в настоящей статье материалы по минерально-сырьевой базе и рассмотрение сценариев её развития и добычи АБЦМ в РФ показали:

- согласно документам планирования недропользователей по вводу в строй новых мощностей по добыче АБЦМ, в ближайшие годы ожидается рост добычи по всей этой группе полезных ископаемых;
- несмотря на высокую обеспеченность запасами АБЦМ, на 01.01.2022 г. во временном интервале по 2040 г. в разные годы для разных полезных ископаемых прогнозируется снижение добычи из-за сокращения балансовых запасов в связи с истощением месторождений;
- тенденция на сокращение МСБ АБЦМ в обозримой перспективе свидетельствует о необходимости выявления новых, прежде всего крупных, месторождений и подготовки их к эксплуатации;
- в связи с исчерпанием «поискового задела» по АБЦМ необходимо усиление геологоразведочных работ ранних стадий – прогнозных, прогнозно-минерагенических и поисковых;
- необходимо в новой редакции «Стратегии…» провести корректировку первой группы полезных ископаемых с переводом части из них во вторую группу с плановым воспроизводством запасов в 100%.
- поддержание устойчивого состояния МСБ рассмотренных видов полезных ископаемых будет обеспечивать поступление платежей в бюджеты различных уровней, снижая их дефицитность, а полученный доход может быть перераспределён не только на воспроизводство МСБ АБЦМ, но и на финансирование работ на другие виды минерального сырья, являющихся дефицитными для экономического развития страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев Я. В., Заскинд Е. С., Конкина О. М.* Сырьевая база металлов платиновой группы России: состояние, освоение и перспективы развития до 2040 г. // Отечественная геология. – 2022. – № 2. – С. 3–11.
2. *Алексеев Я. В., Корчагина Д. А.* Сырьевая база меди: состояние и перспективы развития // Отечественная геология. – 2023. – № 1. – С. 3–19.
3. *Иванов А. И., Алексеев Я. В., Черных А. И., Наумов Е. А., Куликов Д. А., Барышев А. Н., Донец А. И., Конкин В. Д.* Российские золоторудные месторождения – аспекты открытия // Отечественная геология. – 2022. – № 3. – С. 3–21.
4. *Иванов А. И., Алексеев Я. В., Черных А. И., Наумов Е. А., Куликов Д. А., Тарасов А. С., Конкина О. М., Минкин К. М., Попов И. В.* Благородные металлы Российской Федерации – состояние минерально-сырьевой базы и перспективы ее развития // Отечественная геология. – 2022. – № 1. – С. 3–25.
5. *Иванов А. И., Вартанян С. С., Черных А. И., Волчков А. Г., Голубев Ю. К., Звездов В. С.* Перспективы развития минерально-сырьевой базы алмазов и золота Российской Федерации // Минеральные ресурсы. Экономика и управление. – 2016. – № 3. – С. 15–23.
6. *Иванов А. И., Черных А. И., Вартанян С. С.* Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации // Смирновский сборник. – 2018. – С. 10–29.
7. *Иванов А. И., Черных А. И., Вартанян С. С.* Состояние, перспективы развития и освоения минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации // Отечественная геология. – № 1. – 2018. – С. 18–28.
8. *Михайлов Б. К., Иванов А. И., Вартанян С. С., Беневольский Б. И.* Проблемы минерально-сырьевой базы золота России // Руды и металлы. – 2015. – № 1. – С. 93–99.

REFERENCES

1. *Alekseyev Ya. V., Zaskind Ye. S., Konkina O. M.* Syr'yevaya baza metallov platinovoy gruppy Rossii: sostoyaniye, osvoyeniye i perspektivy razvitiya do 2040 g. [Raw materials base of platinum group metals in Russia: state, development and development prospects up to 2040] Otechestvennaya geologiya [Domestic geology], 2022, No. 2, pp. 3–11. (In Russ.)
2. *Alekseyev Ya. V., Korchagina D. A.* Syr'yevaya baza medi: sostoyaniye i perspektivy razvitiya [Raw material base of copper: state and development prospects]. Otechestvennaya geologiya [Domestic geology], 2023, No. 1, pp. 3–19. (In Russ.)
3. *Ivanov A. I., Alekseyev Ya. V., Chernykh A. I., Naumov Ye. A., Kulikov D. A., Baryshev A. N., Donets A. I., Konkin V. D.* Rossiyskiye zolotorudnyye mestorozhdeniya – aspekty otkrytiya [Russian gold deposits – opening aspects]. Otechestvennaya geologiya [Domestic geology], 2022, No. 3, pp. 3–21. (In Russ.)
4. *Ivanov A. I., Alekseyev YA. V., Chernykh A. I., Naumov Ye. A., Kulikov D. A., Tarasov A. S., Konkina O. M., Minkin K. M., Popov I. V.* Blagorodnyye metally Rossiyskoy Federatsii – sostoyaniye mineral'no-syr'yevoy bazy i perspektivy yeye razvitiya [Precious metals of the Russian Federation - the state of the mineral resource base and the prospects for its development]. Otechestvennaya geologiya [Domestic geology], 2022, No. 1, pp. 3–25. (In Russ.)
5. *Ivanov A. I., Vartanyan S. S., Chernykh A. I., Volchkov A. G., Golubev Yu. K., Zvezdov V. S.* Perspektivy razvitiya mineral'no-syr'yevoy bazy almazov i zolota Rossiyskoy Federatsii [Prospects for the development of the mineral resource base of diamonds and gold in the Russian Federation]. Mineral'nyye resursy. Ekonomika i upravleniye, 2016, No. 3, pp. 15–23. (In Russ.)
6. *Ivanov A. I., Chernykh A. I., Vartanyan S. S.* Sostoyaniye i perspektivy razvitiya mineral'no-syr'yevoy bazy zolota v Rossiyskoy Federatsii [Status and prospects for the development of the mineral resource base of gold in the Russian Federation]. Smirnovskiy sbornik, 2018, pp. 10–29. (In Russ.)
7. *Ivanov A. I., Chernykh A. I., Vartanyan S. S.* Sostoyaniye, perspektivy razvitiya i osvoyeniya mineral'no-syr'yevoy bazy zolota v Rossiyskoy Federatsii [Status, prospects for the development and development of the mineral resource base of gold in the Russian Federation]. Otechestvennaya geologiya [Domestic geology], No. 1, 2018, pp. 18–28. (In Russ.)
8. *Mikhaylov B. K., Ivanov A. I., Vartanyan S. S., Benevol'skiy B. I.* Problemy mineral'no-syr'yevoy bazy zolota Rossii [Problems of the mineral resource base of gold in Russia]. Rudy i metally [Ores and metals], 2015, No. 1, pp. 93–99. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 25.06.23; одобрена после рецензирования 01.07.23; принята к публикации 01.07.23.
The article was submitted 25.06.23; approved after reviewing 01.07.23; accepted for publication 01.07.23.

DOI:10.47765/0869-7175-2023-10012

УДК 553.63
© Коллектив авторов, 2023

Уникальное Кучукское месторождение озёрных солей и правовые аспекты его разработки

Приведены данные по процессам перераспределения полезного ископаемого в Кучукском месторождении озёрных солей и сложности, возникающие в связи с этим при его учёте и списании. Озёрные месторождения солей являются достаточно уникальными объектами, обладающими своей спецификой. На Кучукском месторождении разработана уникальная технология добычи сульфата натрия геотехнологическим способом, при котором добыча полезного ископаемого проходит с минимальным воздействием на окружающую среду. Этот способ позволяет без ущерба для месторождения и окружающей среды изменять объёмы добычи основного полезного ископаемого.

Ключевые слова: Кучуксульфат, сульфат натрия, запасы, учёт полезного ископаемого, озёрные соли.

БОГУСЛАВСКИЙ АНАТОЛИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник[1], boguslav@igm.nsc.ru

ШИГАНОВА ОЛЬГА ВИКТОРОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, старший эксперт[2], ol.vik@mail.ru

ШВАРЦЕВА ОЛЬГА СЕРГЕЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник[3], olgnaim@mail.ru

СПИРИН АЛЕКСАНДР ОЛЕГОВИЧ, инженер[1]

[1] Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск

[2] АО «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», (АО "СНИИГГиМС"), г. Новосибирск

[3] Тюменский государственный университет, г. Тюмень

The unique Kuchuk lake salt deposit and legal aspects of its exploitation

A. E. BOGUSLAVSKY[1], O. V. SHIGANOVA[2], O. S. SHVARTSEVA[3], A. O. SPIRIN[1]

[1] Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Novosibirsk

[2] Rosgeologiya, Joint Stock Company "Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources" (JSC "SNIIGGiMS"), Novosibirsk

[3] Tyumen State University, Ttyumen

Data on the processes of mineral redistribution in the Kuchuk lake salt deposit are presented, and the difficulties arising in this regard during the mineral reserve accounting and write-off are discussed. Lake salt deposits are quite unusual objects with individual specifics. A unique technology using a geotechnological method for the sodium sulfate extraction with minimal environment impact has been developed for the Kuchuk deposit. This method allows one to change the volume of extraction of the main mineral without a damage for the deposit and the environment.

Key words: Kuchuksulphate, sodium sulfate, reserves, mineral accounting, lake salts.

Введение. На сегодняшний день в мире из природных источников производят порядка 4 млн т Na_2SO_4 в год. Крупнейшим производителем и поставщиком сульфата натрия в мире является Китай. В 2008 г. Китай отправил на внешний рынок немногим более 2,6 млн т Na_2SO_4 [13]. В Китае находятся внушительные запасы мирабилита и глауберита, которые используются в качестве минерального сырья для получения сульфата натрия. Причём две трети сульфата натрия в мире производятся после переработки мирабилита. Группа компаний Nafine GroupInternational Co., Ltd. (Китай) располагает самыми крупными мощностями производства сульфата натрия в Китае (3 млн т в год). Группа разрабатывает отложения хлорид-сульфатного типа солёного оз. Юньчэн

площадью 132 км^2 в северной провинции Шаньси (КНР) [14]. Важное значение имеют месторождения природного сульфата натрия Казахстана, балансовые запасы которого на 01.01.2010 г. суммарно составляли 5776,2 тыс. т, забалансовые – 22 811 тыс. т. Забалансовые запасы в рапе 11 746 тыс. т [2].

Ведущими производителями сульфата натрия из природного сырья в странах СНГ на сегодняшний день остаются два предприятия АО «Кучуксульфат» и ПО «Карабогазсульфат». На этих предприятиях сульфат натрия производится из мирабилита, полученного в результате самосадки из сульфатоносной рапы. ПО «Карабогазсульфат» эксплуатирует месторождения минерального сырья залива Кара-Богаз-Гол, освоение которого было начато ещё в 1924 г. Предприятие перерабатывало рапу, образующуюся при испарении морской воды. После строительства дамбы, отделяющей залив от морской акватории, перерабатывались межкристальные рассолы из скважин. Технологические мощности по производству промышленного сульфата натрия на ПО «Карабогазсульфат» составляют 237,5 тыс. т в год (Марка А) и природного сульфата натрия – 66,5 тыс. т в год (Марка Б) [12].

АО «Кучуксульфат» эксплуатирует Кучукское месторождение, промышленная эксплуатация которого начата с 1960 г. геотехнологическим способом из рапы озера, позволяющим выполнять добычу сульфата натрия без существенной трансформации гидрологического и гидрохимического режима озера. В настоящее время предприятие ведёт переработку вторично садочного мирабилита с получением сульфата натрия. В предыдущие периоды производилась добыча Br, отработка которого прекращена в силу экономической конъюнктуры. При этом запасы прочих солей и брома при добыче сульфата натрия сохраняются и могут добываться при изменении экономической ситуации или появлении новых технологий. Технические мощности АО «Кучуксульфат» позволяют получать ~800 000 т в год сульфата натрия.

Объект исследования. *Природно-климатические условия.* Кучукское месторождение минеральных солей приурочено к одноимённому озеру и находится в пределах Кулундинской степи, ближе к её восточной окраине. Поверхность рельефа имеет уклон к юго-западу и западу и расчленена хорошо выраженными долинообразными понижениями. Развитая речная сеть сопровождается большим количеством проточных озёр. Поверхностный сток аккумулируется в бессточных озёрах, к которым относится и оз. Кучукское. Климат Кулундинской степи сформировался как резко континентальный, отличается сухостью, резкой изменчивостью как по сезонам, так и по годам. Открытость Кулундинской степи к вторжению бедных влагой южных среднеазиатских и северных полярных масс сформировала условия для аридизации климата. Основная особенность климата Кулундинской степи – отрицательный баланс между поступлением водных масс и их потерей на испарение, определивший активность процессов соленакопления как в поверхностных, так и подземных водах бессточных зон [1]. Так, за период 1980–2020 гг. среднегодовые осадки в бассейне оз. Кучукское составили 278 мм при испарении с рапы – 561 мм [8]. Следствием этого является накопление солей в котловинах с формированием рапы и пластов твёрдых солей разного химического состава, преимущественно хлоридного и сульфатного.

Дополнительным, но не менее значимым природным фактором в процессе соленакопления можно считать литологический состав неогеновых отложений, среди которых наиболее распространены глины таволжанской и павлодарской свит с известково-мергелистыми конкрециями и друзами гипса.

Район месторождения приурочен к Кулундинской впадине. Месторождение представлено бессточным горько-солёным озером в системе р. Кулунда–оз. Кулундинское–оз. Кучукское. Форма озера – эллипсоидальная, вытянутая в меридиональном направлении на 18 км при ширине до 12 км. Площадь озера составляет 175 км^2, глубина – до 2,5 м. Полезная толща месторождения представлена слоем высокоминерализованной рапы мощностью до 2,4 м (в среднем 1,3 м) и современными соляно-илистыми отложениями, залегающими непосредственно на терригенных отложениях карасукской свиты аллювиально-озёрного генезиса. Сложена свита неравномерно чередующимися суглинками, глинами и песками.

Корневые донные отложения озера подразделяются на 3 типа (снизу вверх): ил с мирабилитом средней мощностью 1,8 м, мирабилит с илом средней мощностью 0,7 м, мирабилит-стеклец средней мощностью 2,5 м. Переходы между разностями – постепенные. К мирабилиту-стеклецу

отнесены отложения, содержащие Na_2SO_4 не менее 32% и нерастворимого в воде остатка – не более 12%, к мирабилиту с илом – содержащие нерастворимый в воде остаток от 12 до 50% и к илу с мирабилитом – более 50% [10].

Корневые отложения перекрыты покровными отложениями, которые подразделяются на новосадку (отложения мирабилита, выпавшие в течение последнего года) и старосадку (отложения мирабилита, выпавшие более года назад), содержащие в среднем Na_2SO_4 44,54% и имеющие мощность 0–0,6 м (в среднем 0,2 м).

Корневая залежь, в которой сосредоточены основные запасы мирабилита Кучукского месторождения, образует эллипсовидную линзу, имеющую общую площадь 125 км^2. Максимальные мощности мирабилитовой линзы (4,0–5,2 м) отмечаются в её наиболее опущенных южной и юго-западной частях, минимальные (≤1,0 м) характерны для прибрежных участков, а также приурочены к зонам притока грунтовых вод (устье рек Кучук и Солоновка).

История разведки месторождения. Исследования на оз. Кучукское начали проводиться с 1927 г. Кулундинской соляной экспедицией под руководством И. Н. Гладцина. В 1928–1931 гг. была выполнена первая детальная разведка оз. Кучукское Кулундинской партией под руководством М. И. Кучина с определением запасов солей в рапе и мирабилита-стеклеца в донных отложениях. Материалы разведки на утверждение не представлялись из-за некоторых неточностей и недоработок. В 1931–1933 гг. Кулундинской комплексной экспедицией АН СССР под руководством академика Н. С. Курнакова была разработана схема использования рассолов оз. Кучукское и проведена разведка котловины оз. Селитренное. В 1938 г. сотрудники ВНИИГ выполнили разведку поверхностной рапы оз. Кучукское с подсчётом запасов хлористого натрия, хлористого магния и сульфата натрия. В 1939 г. оба отчёта с подсчётом запасов солей в рапе и в корневой линзе были представлены на рассмотрение в ВКЗ и протоколом от 23.08.1939 № 1416 утверждены. В 1947 г. ВНИИГ приступил к составлению проектного задания на строительство Кучукского сульфатного завода и проведению детальной разведки поверхностной рапы оз. Кучукское. В 1959 г. выполнена детальная разведка поверхностной рапы оз. Кучукское, по материалам которой протоколом ГКЗ от 18.01.1962 № 3563 утверждены запасы солей в рапе по категории А в количестве: NaCl – 56,8 млн т, $MgCl_2$ – 17,3 млн т и запасы Na_2SO_4 – 21,6 млн т. В 1963–1970 гг. Нерудная геологоразведочная экспедиция провела на оз. Кучукское детальную разведку поверхностной рапы и донной залежи мирабилита. По результатам работ были подсчитаны запасы солей в твёрдой фазе на основании кондиций, разработанных ВНИИГ и утверждённых ГКЗ (протокол от 03.04.1970 № 475). Протоколом от 02.06.1971 № 6264 ГКЗ утвердила запасы мирабилита корневой залежи и поверхностной рапы по состоянию на 18–26 августа 1968 г. Протоколом ГКЗ Минприроды России от 13.04.1994 № 235 утверждены (для геотехнологического способа отработки) балансовые запасы поверхностной рапы, которые признаны подготовленными к промышленному освоению [3].

Динамика сезонного перераспределения солей в Кучукском озере. Особенностью солевого баланса Кучукского озера является существенное изменение химического состава рапы в течение года, эта особенность связана с заметным изменением растворимости сульфата натрия в интервале температур -20…+30 °С. В зимний период растворимость снижается до 0,5 вес.% и из рапы кристаллизуется минерал мирабилит ($Na_2SO_4 \times 10\ H_2O$). В летний период растворимость увеличивается до 8–9% и происходит растворение выпавшего в зимний период мирабилита (так называемая новосадка), а так же подстилающих его отложений старосадки и корневой линзы мирабилита-стеклеца. Концентрация остальных ионов в ходе сезонных колебаний изменяется в более низких пределах (табл. 1).

Такое сезонное изменение состава рапы позволило проводить отработку месторождения геотехнологическим способом. Он заключается в перекачке части рапы в период наибольшего насыщения сульфатом и натрием в садочный бассейн, а после выпадения мирабилита при снижении температуры, обеднённая рапа откачивается обратно в оз. Кучукское. Осадок выпавшего мирабилита поступает в дальнейшую переработку.

Ведущие процессы, влияющие на перераспределение сульфата натрия, показаны на рис. 1. Важно отметить, что процессы перераспределения солей между рапой и донными отложениями (I–V) являются природными, протекавшими до начала отработки и продолжающимися в современный период. Отработка месторождения озера изменила их интенсивность, при этом изъятие сульфата

1. Состав рапы оз. Кучукское в летнее и зимнее время

Параметры	Единицы измерения	Рапа	
		летняя	зимняя
Плотность	г/см^3	1,231 1,181–1,262	1,169 1,123–1,193
Mg^{2+}	вес.%	1,20 0,96–1,48	1,29 0,74–1,67
SO_4^{2-}	вес.%	4,82 3,39–6,29	0,40 0,17–0,77
Cl^-	вес.%	12,7 10,4–13,9	13,1 9,1–15,1
Na^+	вес.%	8,28 6,69–9,21	6,23 4,87–7,23
Сумма	вес.%	27,0 21,8–30,7	21,0 15,5–24,4

Примечание. Числитель – среднее значение, знаменатель – диапазон 1960–2022 гг.

натрия из рапы компенсируется растворением мирабилита-стеклеца и покровных отложений. Поэтому структура водно-солевого баланса озера в общем виде сохранила свои черты. Процессы, связанные с получением сульфата натрия, – перемещение обогащённой по сульфату и натрию рапы в садочный бассейн и возврат в Кучукское озеро обеднённого по этим компонентам маточного раствора (VI и VII).

Далее дадим характеристику выделенных процессов. *I и II – процессы сезонного осаждения и растворения мирабилита в акватории Кучукского озера.* В течение года химический состав рапы изменяется в широких пределах вследствие зависимости растворимости солей от температуры, при этом температура рапы изменяется от -16…-20 до +22…+30 °С. Наиболее сильные колебания отмечаются в составе ионов SO_4^{2-} от 2,5 до 77 г/л и Na^+ от 77 до 111 г/л. Концентрации Mg и Cl изменяются в более узких пределах от 15 до 20 г/л и 146 до 184 г/л соответственно. Установлено, что в течение года химический состав рапы в основном изменяется за счёт выпадения и растворения мирабилита [4]. Средний состав рапы оз. Кучукское в летнее и зимнее время, по данным ГРР, к подсчёту запасов представлен в табл. 1.

Осаждение мирабилита из рапы под действием сезонного снижения температуры (формирование новосадки) начинается с октября и происходит до января–февраля. При этом концентрация сульфата натрия в рапе снижается с 6–8 до 0,3–1,1 %. Соответственно, запасы Na_2SO_4 в поверхностной рапе изменяются в годовом цикле в широких пределах от 0,8–4,1 млн т в зимние месяцы до 17,4–28,4 млн т летом. Объём сульфата натрия в 14,5–26,9 млн т, который ежегодно перераспределяется между рапой и покровными отложениями, является своего рода динамической составляющей. Поскольку при таких значительных колебаниях проблематично оценить запасы озера, при подсчёте запасов принято среднее содержание сульфата натрия в «летней» рапе в размере 7,5 %, хотя фактически запасы в рапе меняются в достаточно широких пределах как в течение года, так и от года к году, на что влияют два основных фактора: температурный режим рапы и обводнённость года (рис. 2).

Применительно к рапе термин «запасы $MgCl_2$, Na_2SO_4, NaCl» использован условно, поскольку в жидкой фазе соли представлены анионами

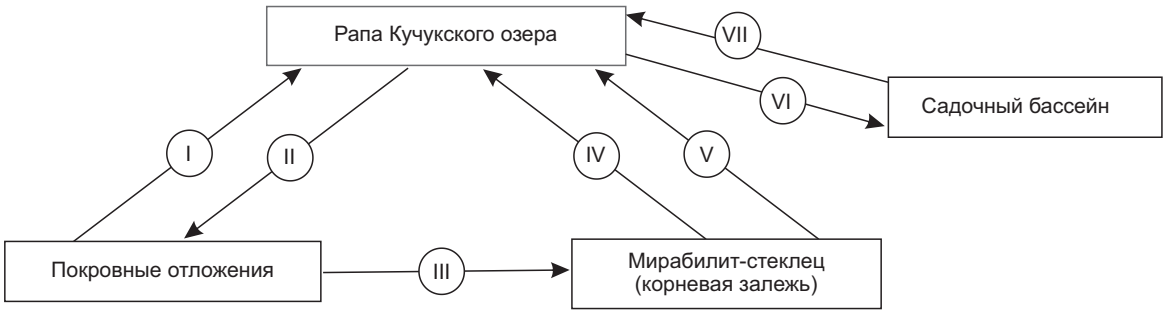


Рис. 1. Основные процессы, определяющие перемещение сульфата натрия

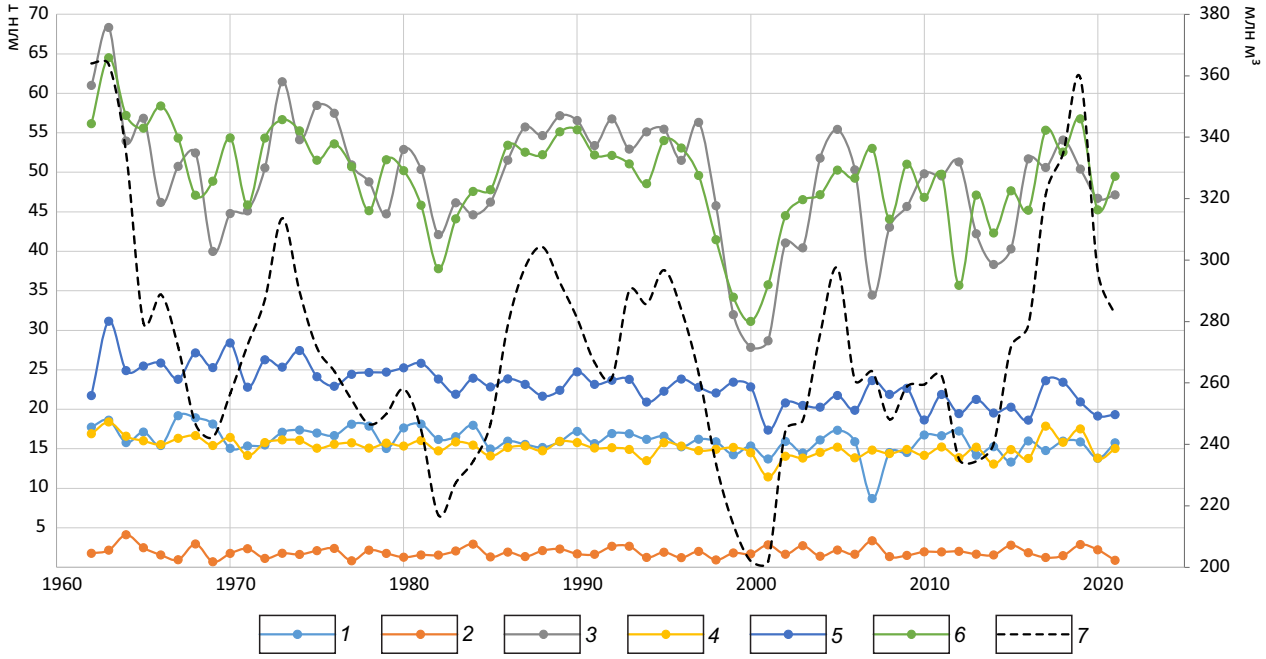


Рис. 2. Динамика изменения запасов основных солей в рапе Кучукского озера в летний и зимний период и объём рапы Кучукского озера за 1960–2021 гг.:

январь: *1* – $MgCl_2$, *2* – Na_2SO_4, *3* – NaCl; август: *4* – $MgCl_2$, *5* – Na_2SO_4, *6* – NaCl; *7* – средний объём рапы

и катионами Mg^{2+}, Na^+, Cl^-, SO_4^{2-}, и только для удобства характеристика состава даётся в пересчёте на соли [10].

III – перекристаллизация мирабилита и переход его из старосадки в мирабилит-стеклец. Преобразование старосадки в мирабилит-стеклец обуславливается уменьшением поверхностной энергии вещества при возрастании величины кристаллов. Перекристаллизация с укрупнением зёрен может совершаться в разных условиях: в присутствии растворителя и в твёрдом состоянии [7]. В результате протекания данного процесса происходит переход мирабилита из покровных отложений в корневую залежь.

IV – растворение корневой залежи на участках, лишённых покровных отложений. Корневая линза мирабилита-стеклеца за время существования комбината, по данным исследований, уменьшилась в плане, что свидетельствует о снижении запасов мирабилита за эксплуатационный период [5].

По мнению ряда авторов, слой покровных отложений над линзой мирабилита-стеклеца экранирует линзу и препятствует её диффузионному растворению, что приводит к инконгруэнтному плавлению мирабилита-стеклеца корневой залежи [6]. Как следствие, обогащение рапы ионами сульфата происходит за счёт корневой линзы мирабилита-стеклеца по двум направлениям: а) при отсутствии покровного слоя – растворением корневой залежи мирабилита-стеклеца; б) в присутствии покровного слоя – инконгруэнтное плавление корневой залежи мирабилита-стеклеца при прогреве линзы до температуры 16,8 °С.

В работе, подготовленной с использованием материалов геологоразведочных работ за 1993 и 1999 гг., отмечено, что рельеф дна озера или линий равных отметок кровли покровных отложений, по результатам промеров, в августе 1968, 1992, 2002 и 2013 гг. показал, что в ложе озера выделяется ложбина-понижение, минимальные отметки которой вытянуты вдоль восточного берега, а глубина озера в ложбине приблизительно на метр больше, чем в центральной части акватории [5]. При этом прослеживается снижение абсолютных отметок его дна (поверхность солевых отложений): с 1969 до 1992 г. – резкое, минимальная зафиксированная отметка дна снизилась

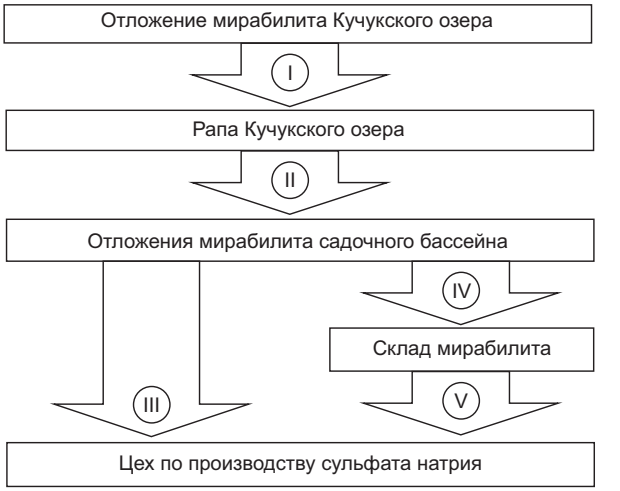


Рис. 3. Технологическая схема отработки Кучукского месторождения

на 0,5 м, а с 1992 до 2002 г. – на 10 см. За 45 лет (1968–2013 гг.) средняя отметка дна снизилась на 0,4 м – с 96,39 до 95,99 м, а подошвы покровных отложений – на 0,37 м (с 96,14 до 95,77 м).

V – растворение корневой залежи под воздействием разгружающихся грунтовых вод. По мнению Е. Е. Фроловского с соавторами, процесс подпитки Кучукского озера грунтовыми водами приводит к растворению мирабилита и выносу сульфата натрия из подошвенной части линзы мирабилита-стеклеца и из подстилающих эту линзу отложений. Ежегодное поступление сульфата натрия в рапу Кучукского озера из подстилающих отложений оценивается в 350 тыс. т в год [9].

VI–VII – изъятие «летней» рапы из Кучукского озера в садочный бассейн и возвращение в Кучукское озеро обеднённой «зимней» рапы (маточных рассолов). В существующей техно-природной системе, сложившейся в системе Кучукского озера, согласно проектным решениям, предусмотрен двухгодичный цикл изъятия рапы в садочный бассейн и возвращение назад обеднённого маточного рассола в зимний период. Эксплуатация месторождения начата Кучукским сульфатным заводом в 1960 г. Промышленное производство сульфата натрия начато в 1963 г. и осуществляется, согласно проектной документации, путём закачки летней рапы озера, содержащей наибольшую концентрацию сульфата натрия, по специальному рапопроводу в садочный бассейн – оз. Селитренное. При осенне-зимнем понижении температуры происходит садка мирабилита, после чего обессульфаченный маточник сбрасывают обратно в оз. Кучукское. Освобождённый от маточной рапы пласт мирабилита разрабатывается горной техникой.

Кроме обозначенных процессов, хотелось бы отметить современное поступление в озёрную котловину солей с подземным и поверхностным стоком. Ежегодно, согласно расчётам, в озеро поступает (в т): Mg ~ 2300, Na ~ 8500, Cl ~ 6300, SO_4 ~ 12 300.

Технологическая схема отработки месторождения. Разработка Кучукского месторождения ведётся геотехнологическим способом, являющимся, с одной стороны, наиболее рентабельным, а с другой, приводящим к минимальному нарушению режима озера. Геотехнологический способ отработки включает в себя (рис. 3):

- растворение линзы мирабилита-стеклеца и покровных отложений;
- цикличную (один раз в 2 года) закачку поверхностной рапы «летнего» состава (содержание сульфата натрия более 4 %) в садочный бассейн;
- осаждение (садку) мирабилита из рапы в осенне-зимний период в садочном бассейне;
- сброс маточных рассолов через питательно-сбросной канал в оз. Кучукское;
- отгрузку новоосаждённого мирабилита непосредственно на первичную переработку в производственный цех или через накопительный (береговой) склад.

I. Растворение покровных и корневых отложений мирабилита и обогащение сульфатом натрия рапы Кучукского озера.

II. С помощью подводящего канала и трубопроводов в комплексе с насосными установками, производятся перекачка рапы из озера и её транспортирование через питательно-сбросной канал в садочный бассейн. При общем объёме рапы Кучукского озера в летний период в среднем 267 млн м^3 (190–360 млн м^3 в зависимости от обводнённости года) в садочный бассейн закачивается 33,8 млн м^3 рапы. В садочный бассейн закачивается рапа летнего состава с максимальным содержанием сульфата натрия. После этого при снижении температуры вследствие уменьшения растворимости происходит осаждение мирабилита, а обеднённая зимняя рапа возвращается в Кучукское озеро. При двухлетнем цикле разработки закачка рапы в садочный бассейн, кристаллизация мирабилита, дренаж и сброс маточного

рассола в оз. Кучукское занимают 7,5 месяцев. В это время в качестве источника сырья в производстве используются складские запасы мирабилита. Подготовка, погрузка, транспортировка и отгрузка мирабилита на первичную переработку непосредственно или через открытый накопительный склад – 16,5 месяцев.

III. Разработка осаждённого в садочном бассейне мирабилита, который может поступать непосредственно в производственный цех либо накапливаться на временном складе (IV), служащим источником сырья во время заполнения рапой садочного бассейна (V). В зависимости от объёма сырья, накопленного на складе, можно без ущерба для месторождения изменять объём добычи путём перехода на трёх- или четырёхлетний цикл закачки.

Геотехнологический способ позволяет сохранять минимальное воздействие на окружающую среду. Это можно видеть на примере жизнедеятельности Artemia salina, которая является вторым по значимости природным ресурсом Кучукского озера. Безусловно, колебания озера, появляющиеся вследствие откачки рапы в садочный бассейн, могут влиять на её численность, однако независимо от деятельности АО «Кучуксульфат» добыча Artemia salina проводится двумя предприятиями, деятельность которых более значима для её популяции.

Отработка других солей, содержащихся преимущественно в рапе, при существующих технологиях возможна только путём закачки обеднённой по Na_2SO_4 рапы в испарительные бассейны с дальнейшей переработкой осадка. Такая отработка приведёт к значительной трансформации существующего водного баланса, что может вызвать полную ликвидацию озера. Даже замещение изъятой рапы пресной водой может привести к неконтролируемым последствиям, так как интенсивность растворения-кристаллизации мирабилита в условиях опреснения рапы может заметно измениться, что обусловит невозможность добычи основного полезного ископаемого [3]. Поэтому предприятием обосновано принята долгосрочная стратегия отработки месторождения, предполагающая добычу сульфата натрия до исчерпания линзы мирабилита-стеклеца, остальные соли из рапы будут добываться на заключительном этапе.

Учёт добычи полезного ископаемого. В настоящее время проблемы учёта добытого полезного ископаемого связаны, прежде всего, с уникальностью схемы добычи и переработки полезного ископаемого, основы которой были заложены в 1960-х годах. В советский период предприятие относилось к химической промышленности и работало на основании регламентов и нормативов Минхимпрома, а так как предприятие эксплуатирует уникальное месторождение, часть регламентов и нормативов формировалась специально для него. После распада Советского Союза и ликвидации Минхимпрома комбинат оказался среди горнодобывающих предприятий, нормативная база которых мало соответствовала существующим условиям эксплуатации, что породило массу проблем нормативного характера, связанных с категоризацией запасов, учётом добычи полезного ископаемого и даже с самим полезным ископаемым, используемым комбинатом.

По приведённой типизации месторождений, Кучукское месторождение солей относится ко второму типу – озёрные. Запасы мирабилита и солей утверждены протоколами ГКЗ от 02.06.1971 № 6264 и от 13.04.1994 № 235 по состоянию на 16–21 августа 1992 г. (табл. 2) [3].

Как видно из таблицы, рапа Кучукского озера отнесена к категории «А», хотя даже в отсутствии техногенного фактора, запасы существенно изменяются как в пределах года, так и в пределах многолетних климатических циклов.

Включение в систему водно-солевого баланса озера техногенного фактора в виде изъятия из рапы природного сульфата натрия переводит рапу в новое состояние – недонасыщение к солям сульфата натрия. В результате чего наблюдается включение в этот динамический баланс отложений мирабилита из покровных отложений и линзы мирабилита-стеклеца. Формально можно выделить начальный период отработки запасов рапы и последующий, связанный с отработкой уже отложений мирабилита-стеклеца. В процессе добычи эта стадия разработки месторождения не зафиксирована, то есть когда рапа озера вышла на уровень недонасыщения к минеральным формам сульфата натрия, в частности мирабилита. Более того, она может быть выделена только условно, так как динамику баланса рапа–мирабилит определяет объём добычи. После завершения этого этапа рапа из собственно объекта добычи перешла в категорию технологического раствора, позволяющего проводить добычу мирабилита донных отложений (покровные отложения, корневая залежь).

2. Запасы мирабилита и солей в Кучукском месторождении

Категория	Запасы рапы, тыс. м³	Содержание солей, %					Запасы, тыс. т			
		Na_2SO_4	NaCl	MgCl		Br	Na_2SO_4	NaCl	MgCl	Br
Балансовые										
Поверхностной рапы (тыс. м³)										
A	264563	7,443	16,558	4,782		0,024	24555	54626	15776	79,2
Мирабилит корневой залежи, тыс. т										
		Na_2SO_4	NaCl	MgCl	$MgSO_4$		Na_2SO_4	NaCl	$MgSO_4$	
B	27936	39,87	2,63		0,74		11122	733	206,5	
C_1	41780	41,08	2,44		0,77		17163	1019	322	
C_2	416320	41,19	2,04		0,6		171482	8493	2498	
Запасы покровных отложений (старосадка + новосадка), тыс. т										
C_1	32112	44,302	7,097		1,92		14321	2280	617	
Забалансовые										
Мирабилит корневой залежи, тыс. т										
B	1122	35,46	3,32		0,76		398	38	8,7	
Мирабилит корневой залежи по протоколу ГКЗ от 02.06.71 № 6264										

До 1988 г. извлечённый из оз. Кучукское сульфат натрия по государственному балансу списывался только из рапы. Однако, когда было установлено, что при общей добыче предприятием за 1961–1987 гг. 7,15 млн т сульфата натрия запасы в рапе в силу восстановления состава за счёт покровных и коренных отложений заметным образом не изменились, то Протоколом ЦКЗ Минхимпрома от 28.01.1988 № 27 запасы сульфата натрия в рапе были восстановлены по утверждённому ГКЗ в 1971 г. среднему содержанию в рапе и объёму рапы с учётом того, что стабилизация концентрации рапы достигается за счёт растворения мирабилита. Соответственно, из запасов мирабилита корневой залежи был списан объём добычи за этот период (17,39 млн т мирабилита или 7,15 млн т сульфата натрия). В дальнейшем списание проводилось из корневой залежи, а запасы сульфата натрия в рапе были приняты за константу (24,555 млн т) и далее не изменялись. Это решение, сняв часть несоответствий, не в полной мере исправило ситуацию. Диапазон изменений растворённых солей за период 1962–2021 гг. изменялся в интервале 17,37–28,4 млн т, что противоречит присвоению данным запасам категории «А». По нашему мнению, было бы корректнее динамический объём сульфата натрия добавить к покровным отложениям, а остающийся в зимней рапе сульфат натрия в объёме ~1,9 млн т перевести в забалансовые запасы, как это сделано на месторождении Аджбулат [2]. В этом случае рапа по документам, как это и фактически имеет место, являлась бы флюидом, при помощи которого проводились растворение покровных отложений и корневой залежи Кучукского озера и формирование отложений мирабилита в садочном бассейне (по аналогии с добычей полезных ископаемых методом подземного выщелачивания).

Следующий вопрос правовой неоднородности связан с собственно пониманием того, что в данном случае является полезным ископаемым. Согласно общероссийскому классификатору полезных ископаемых и подземных вод, полезным ископаемым может быть как непосредственно мирабилит (код 1430971), так и раствор сульфата натрия в рапе (код 1430972). Учитывая, что в данном случае мы имеем как отложения мирабилита, так и рапу, технологические кондиции которой восстанавливаются естественным способом за счёт запасов сульфата натрия корневой залежи мирабилита-стеклеца и (или) покровных отложений [10], ответ может быть двояким. С точки зрения физического процесса, имеется единая последовательность физико-химических превращений

форм сульфата натрия: мирабилит Кучукского озера→раствор сульфата натрия в рапе→мирабилит садочного бассейна→безводный сульфат натрия, полученный в ходе дальнейшей переработки. На каком этапе ставится граница между собственно добычными работами и дальнейшей переработкой сырья – это вопрос экономики и существующей нормативной базы, который решается непосредственно недропользователем.

Существующая на сегодняшний момент судебная практика (в том числе постановления Конституционного Суда Российской Федерации), отражённая в ряде постановлений, гласит: «При определении добытого полезного ископаемого в целях налогообложения необходимо принимать во внимание в совокупности сведения, содержащиеся в лицензии на пользование недрами, техническом проекте разработки месторождения, данных государственного баланса запасов полезных ископаемых, стандартах качества полезного ископаемого и иных документах налогоплательщика, являющегося недропользователем» [11]. Таким образом, недропользователь, получая лицензию и далее разрабатывая технический проект, вводя стандарт полезного ископаемого, имеет возможность сам определить границу между собственно добычей полезного ископаемого и его дальнейшей переработкой.

АО «Кучуксульфат» определило полезным ископаемым мирабилит, получаемый в садочном бассейне, соответствующим образом разработало технический проект и ввело стандарт качества мирабилита. Учёт полезного ископаемого, согласно принятой на предприятии технической документации, ведётся по объёму выпавшего мирабилита в садочном бассейне, который определяется маркшейдерами после сброса обеднённой рапы.

Однако, находясь в рамках правового поля, можно было определить, как полезное ископаемое и рапу, соответствующим образом оформить технический проект и разработать стандарт на содержащую сульфат натрия рапу. Так как мирабилит в садочном бассейне получен путём обогащения рапы криотермическим методом (то есть обогащением в осадочном бассейне при изменении термических условий), то при этом подходе он будет первой стадией обогащения в ряду технологического процесса получения основной продукции предприятия – сульфата натрия. При таком подходе оценка объёма, добытого полезного ископаемого должна проводится по объёму и содержанию солей в рапе, которая закачивается в садочный бассейн (с учётом солей, возвращаемых в Кучукское озеро с маточными растворами).

Выводы. Озёрные месторождения солей, формирующиеся по механизму эвапоритовых барьеров в бессточных условиях, являются достаточно специфичными объектами, обладающими уникальной спецификой. На Кучукском месторождении учёт физико-химических свойств сульфата натрия позволил разработать технологию добычи геотехнологическим способом, при котором добыча полезного ископаемого проходит с минимальным воздействием на окружающую среду. Данный способ позволяет, в соответствии с существующим спросом на сульфат натрия, без ущерба для месторождения изменять объём добычи основного полезного ископаемого. Рост добычи может быть достигнут путём увеличения объёма изъятой рапы, снижение – путём перехода с двухлетнего цикла закачки на трёх- или даже четырёхлетний цикл.

Динамический характер процессов перераспределения солей между рапой и донными отложениями при проведении оценки запасов не позволяет провести обоснованные оценки и вызывает неопределённости при списании запасов. В существующей нормативной базе нет понятий динамического перехода запасов между категориями и восстановления запасов одной категории за счёт другой.

Существующая нормативная база для горнодобывающих предприятий при разработке месторождений озёрных солей имеет ряд ограничений, вызывающих неоднозначность толкований. В частности, при добыче с последующей переработкой сырья границу между добычей полезного ископаемого и его дальнейшей переработкой недропользователь может определить по своему усмотрению, что привносит субъективность и может приводить к потенциальным рискам при дальнейшем налогообложении.

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400237–8) и НИР ГЗ проект FEWZ-2020–0007 Тюменского государственного университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамович Д. И.* Воды Кулундинской степи. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1960. – 214 с.

2. *Анощенко Ю. С., Дзекунов В. П., Кудабеков Д. М., Уразалин А. К.* Твердые отложения и рапа соляных озер как перспективное сырьё для получения сульфата натрия // Вестник КазНУ. Серия химическая. – 2011. – № 4 (64). – С. 20–23.
3. *Антонова И. С., Березин М. А., Ванифатьев А. Н.* и др. Производство сульфата натрия из рассолов озера Кучук : [Монография] / Под ред. Е. Е. Фроловского; ОАО «Кучуксульфат». – СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2001. – 440 с.
4. *Багринцева В. В.* Исследование водно-солевого баланса озера Кучук – сырьевой базы производства сульфата натрия : специальность 05.17.01 «Технология неорганических веществ» : дис. на соискание учён. степ. кандидата технических наук / Валентина Викторовна Багринцева. – СПб. : С.-Петерб. гос. технол. ин-т, 2007. – 203 с.
5. *Березин М. А.* Изменение морфологических характеристик котловины озера Кучук // Горный журнал. – 2016. – № 4. – С. 40–43.
6. *Зацепин В. В., Россошанская Е. С.* Исследование процесса плавления мирабилита в рапе озера Кучук // Ползуновский вестник. – 2008. – № 3. – С. 197–199.
7. *Кунц А. Ф., Терентьев А. В.* Процессы преобразования карбонатных пород при термических и гидротермальных воздействиях // Тр. Ин-та геологии Коми науч. центра УрО РАН. – 2001. – Вып. 107. – С. 166–192.
8. *Научно-прикладной* справочник по климату СССР : многолетние данные. Томская, Новосибирская, Кемеровская область, Алтайский край. – Серия 3, Выпуск 20. – Л. [СПб.] : Гидрометеоиздат, 1993. – 358 с.
9. *Фроловский Е. Е., Багринцева В. В.* Оценка запасов гидроминерального сырья озера Кучук // Горный журнал. – 2007. – № 8. – С. 62–67.
10. *Фроловский Е. Е., Багринцева В. В., Хорева Н. Н.* Изменение параметров месторождения сульфата натрия на озере Кучук при его долговременной экс-плуатации // Горный журнал. – 2007. – № 8. – С. 54–62.
11. *Письмо* ФНС России от 06.07.2022 № БВ-4-7/8529 «О направлении Обзора правовых позиций, отраженных в судебных актах Конституционного Суда Российской Федерации и Верховного Суда Российской Федерации, принятых в первом квартале 2022 года по вопросам налогообложения» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_422699/ Дата обращения 20.04.2023
12. *Производственное* объединение «Гарабогазсульфат» // Государственный концерн «Туркменхимия» [Электронный ресурс]. – URL: https://turkmenhimiya.gov.tm/factory/proizvodstvennoe-obedinenie-garabogazsulfat. Дата обращения 04.05.2023.
13. *Сульфат* натрия: обзор мирового производства // Евразийский химический рынок [Электронный ресурс]. – URL: https://chemmarket.info/ru/home/article/1383/ Дата обращения 04.05.2023.
14. *Nafine* лидирует на мировом рынке сульфата натрия // Marketpublishers. Маркетинговые исследования [Электронный ресурс]. – URL: https://marketpublishers.ru/lists/12043/news.html. Дата обращения 10.08.2020.

REFERENCES

1. *Abramovich D. I.* Vody Kulundinskoy stepi [Waters of the Kulunda steppe], Novosibirsk, SO RAN publ., 1960, 214 p.
2. *Anoshchenko Yu. S., Dzekunov V. P., Kudabekov D. M., Urazalin A. K.* Tverdyye otlozheniya i rapa solyanykh ozer kak perspektivnoye syr'yo dlya polucheniya sul'fata natriya [Solid deposits and brine of salt lakes as a promising raw material for obtaining sodium sulfate]. Vestnik KazNU. Seriya khimicheskaya, 2011, No. 4 (64), pp. 20–23.
3. *Antonova I. S., Berezin M. A., Vanifat'yev A. N.* et al. Proizvodstvo sul'fata natriya iz rassolov ozera Kuchuk: Monografiya [Production of sodium sulfate from the brines of Lake Kuchuk: Monograph]. Ed. Ye. Ye. Frolovskiy, St. Petersburg university publ., 2001, 440 p.
4. *Bagrintseva V. V.* Issledovaniye vodno-solevogo balansa ozera Kuchuk – syr'yevoy bazy proizvodstva sul'fata natriya [Study of the water-salt balance of Lake Kuchuk – the raw material base for the production of sodium sulfate]. St. Petersburg, St. Petersburg. State Technological Institute publ., 2007, 203 p.
5. *Berezin M. A.* Izmeneniye morfologicheskikh kharakteristik kotloviny ozera Kuchuk [Changes in the morphological characteristics of the Kuchuk Lake basin]. Gornyy zhurnal, 2016, No. 4, pp. 40–43.
6. *Zatsepin V. V., Rossoshanskaya Ye. S.* Issledovaniye protsessa plavleniya mirabilita v rape ozera Kuchuk [Study of the melting process of mirabilite in the brine of Lake Kuchuk]. Polzunovskiy vestnik, 2008, No. 3, pp. 197–199.
7. *Kunts A. F., Terent'yev A. B.* Protsessy preobrazovaniya karbonatnykh porod pri termicheskikh i gidrotermal'nykh vozdeystviyakh [Processes of transformation of carbonate rocks under thermal and hydrothermal impacts] Tr. In-ta geologii Komi nauch. tsentra UrO RAN, 2001, Is. 107, pp. 166–192.
8. *Nauchno*-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR : mnogoletniye dannyye. Tomskaya, Novosibirskaya,

Kemerovskaya oblast', Altayskiy kray [Scientific and applied reference book on the climate of the USSR: long-term data. Tomsk, Novosibirsk, Kemerovo region, Altai Territory]. Ser. 3, Is. 20, L. [SPb.] : Gidrometeoizdat, 1993, 358 p.

9. *Frolovskiy Ye. Ye., Bagrintseva V. V.* Otsenka zapasov gidromineral'nogo syr'ya ozera Kuchuk [Estimation of reserves of hydromineral raw materials of Lake Kuchuk]. Gornyy zhurnal, 2007, No. 8, pp. 62–67.
10. *Frolovskiy Ye. Ye., Bagrintseva V. V., Khoreva N. N.* Izmeneniye parametrov mestorozhdeniya sul'fata natriya na ozere Kuchuk pri yego dolgovremennoy ekspluatatsii [Changes in the parameters of the sodium sulfate deposit on Lake Kuchuk during its long-term operation]. Gornyy zhurnal, 2007, No. 8, pp. 54–62.
11. *Letter* of the Federal Tax Service of Russia dated 06.07.2022 No. BV-4-7/8529 "On the submission of the Review of legal positions reflected in judicial acts of the Constitutional Court of the Russian Federation and the Supreme Court of the Russian Federation adopted in the first quarter of 2022 on taxation issues", available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_422699/ (20.04.2023)
12. *Production* association "Garabogazsulfat", available at: https://turkmenhimiya.gov.tm/factory/proizvodstvennoe-obedinenie-garabogazsulfat. (04.05.2023)
13. *Sodium* sulfate: a review of world production, available at: https://chemmarket.info/ru/home/article/1383/ (04.05.2023)
14. *Nafine* leads the global sodium sulfate market, available at: https://marketpublishers.ru/lists/12043/news.html (10.08.2020)

Статья поступила в редакцию 31.05.23; одобрена после рецензирования 21.06.23; принята к публикации 23.06.23.
The article was submitted 31.05.23; approved after reviewing 21.06.23; accepted for publication 23.06.23.

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

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

DOI:10.47765/0869-7175-2023-10013

УДК 553.078:553.41
© Е. А. Ивлева, Н. Т. Пак, 2023

Этапы формирования золотого оруденения и крупные месторождения золота в Кыргызстане

В Кыргызстане имеется около 100 месторождений золота, в том числе крупные и суперкрупные. По времени их формирования выделяется несколько этапов, основными из которых являются палеозойские. Приводится краткий обзор этих этапов, геодинамическая обстановка, примеры месторождений с описанием нескольких крупных объектов.

Ключевые слова: Тянь-Шань, геодинамическая обстановка, интрузия, возраст, запасы.

ИВЛЕВА ЕЛЕНА АЛЕКСАНДРОВНА, старший научный сотрудник

ПАК НИКОЛАЙ ТИМОФЕЕВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, paknikolay50@mail.ru

Институт геологии Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек

Stages of formation of gold mineralization and large gold ore deposits in Kyrgyzstan

E. A. IVLEVA, N. T. PAK

Institute of Geology, National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek.

There are about 100 gold deposits in Kyrgyzstan, including large and super large ones. According to the time of their formation, several stages are distinguished, the main of which are Paleozoic. A brief overview of these stages, the geodynamic setting, and examples of the gold deposits with description of several large objects are provided.

Key words: Tien-Shan, geodynamic setting, intrusion, age, reserve.

Кыргызстан расположен в Тянь-Шаньской горной системе, входящей в состав Урало-Монгольского складчатого пояса, а в современных трактовках в Центрально-Азиатский орогенный пояс. По особенностям геологического строения Тянь-Шань делится на Северный, Срединный и Южный Тянь-Шань, которые отделены друг от друга сутурами древних океанических палеобассейнов. На территории Кыргызстана известно множество золотых месторождений, в том числе крупных и суперкрупных (рис. 1).

В последние годы появились новые датировки возраста магматизма и рудообразования, которые позволили несколько по-иному ранжировать золотое оруденение Кыргызстана. Выделяется несколько основных этапов формирования месторождений золота.

В докембрии известны два золоторудных месторождения Джамгыр и Бекбулактор и несколько рудопроявлений, расположенных в Северном Тянь-Шане.

Месторождение Джамгыр золото-кварцевого типа находится в среднерифейских гранитоидах Бешторского комплекса. U-Pb возраст гранитов по циркону составляет 815 ± 6 млн лет, а Ar-Ar датировка мусковита из ореолов изменения золотоносных кварцевых жил в гранитах – 804 ± 3 и 805 ± 3 млн лет [9].

Месторождение Бекбулактор представляет собой минерализованную зону, сложенную золотоносными кварц-полевошпатовыми и кварц-серицитовыми метасоматитами в среднерифейских гранитоидах Оттукского массива Сарыджазского комплекса, который является аналогом вышеупомянутого Бешторского комплекса [6].

В докембрийских породах известны также несколько зон с повышенным геохимическим фоном золота, особенно в углеродистых отложениях.

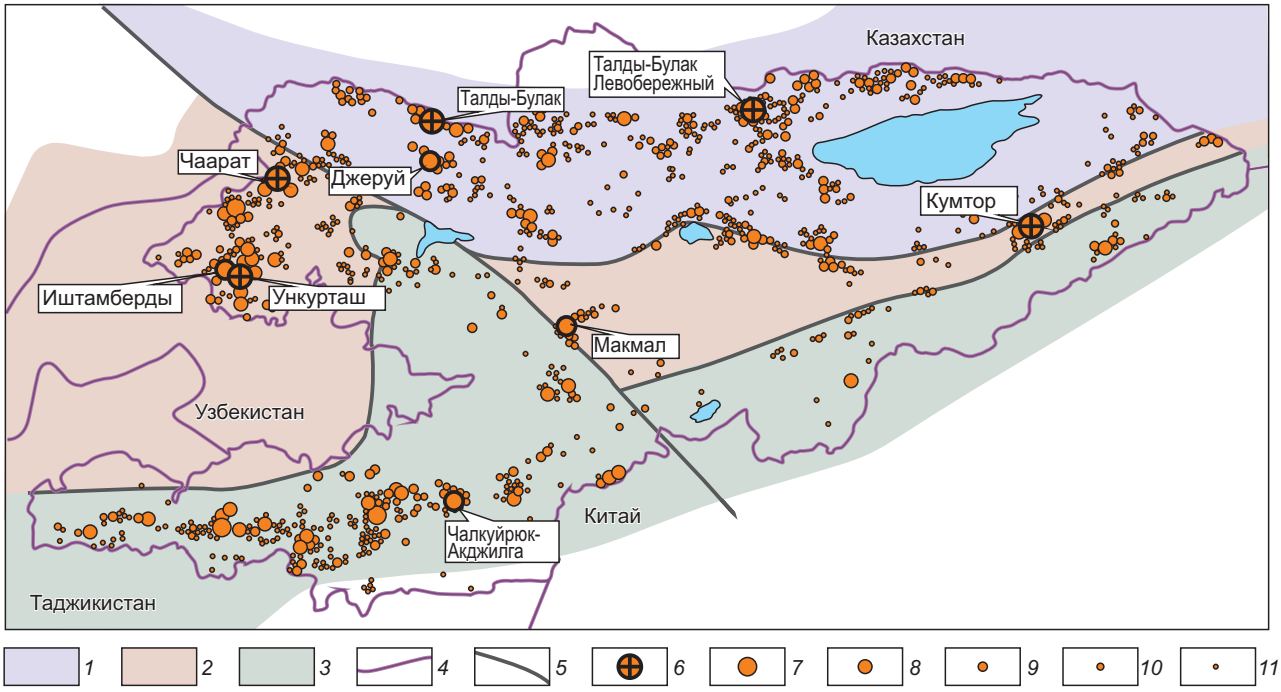


Рис. 1. Месторождения золота в Кыргызстане:

1 – Северный Тянь-Шань; *2* – Срединный Тянь-Шань; *3* – Южный Тянь-Шань; *4* – государственные границы; *5* – региональные разломы; запасы и прогнозные ресурсы (в т) : *6* – >100, *7* – 30–100, *8* – 10–30, *9* – 1–10, *10* – <1; *11* – пункты минерализации Au

Кембрий–средний ордовик (Є–O_2). Золотоносность данного этапа широко проявлена в Северном Тянь-Шане и связана с субдукционными процессами, приведшими к образованию островодужных комплексов [1, 2].

В среднем ордовике благодаря известково-щелочному островодужному магматизму была сформирована золото-медно-порфировая система, к которой приурочена большая группа месторождений в Таласском регионе. Золото-медно-порфировые месторождения размещаются, как правило, в небольших порфировых субинтрузиях и во вмещающих вулканогенно-осадочных образованиях ордовика. К ним относятся месторождения Талды-Булак (крупное), Андаш, Узунбулак, Каракол и др. К золото-медно-порфировой системе приурочены также скарновые месторождения (Тохтонысай, Акташ и др.). Особо в островодужной обстановке сформированы крупное золото-кварцевое месторождение Джеруй и ряд других месторождений и рудопроявлений [3]. Все эти месторождения принадлежат к порфировой мантийно-коровой рудообразующей системе с комбинированными источниками рудного вещества.

Месторождение Талды-Булак является типичным медно-порфировым объектом, сформированным в островодужной обстановке. Ведущую роль на месторождении играет золото, запасы и ресурсы которого оцениваются в 250 т золота при среднем содержании 0,64 г/т и 750 тыс. т меди. Месторождение приурочено к ордовикскому штоку монцодиорит-порфиров, прорывающему породы нижнего ордовика. Абсолютный возраст штока по циркону (данные Schloderer, J. в отчёте для компании Gold Fileds Ltd., 2009) составляет 467–473 млн лет. Вмещающие породы представлены туфоалевролитами, аргиллитами, туфопесчаниками и гравелитами (рис. 2), среди них в подчинённом количестве отмечены горизонты и линзы туфов, андезитовых порфиритов, реже базальтовых порфиритов.

Монцодиорит-порфиры содержат в себе многочисленные ороговикованные ксенолиты вмещающих пород размером от первых сантиметров до 120 м в поперечнике. Их количество возрастает

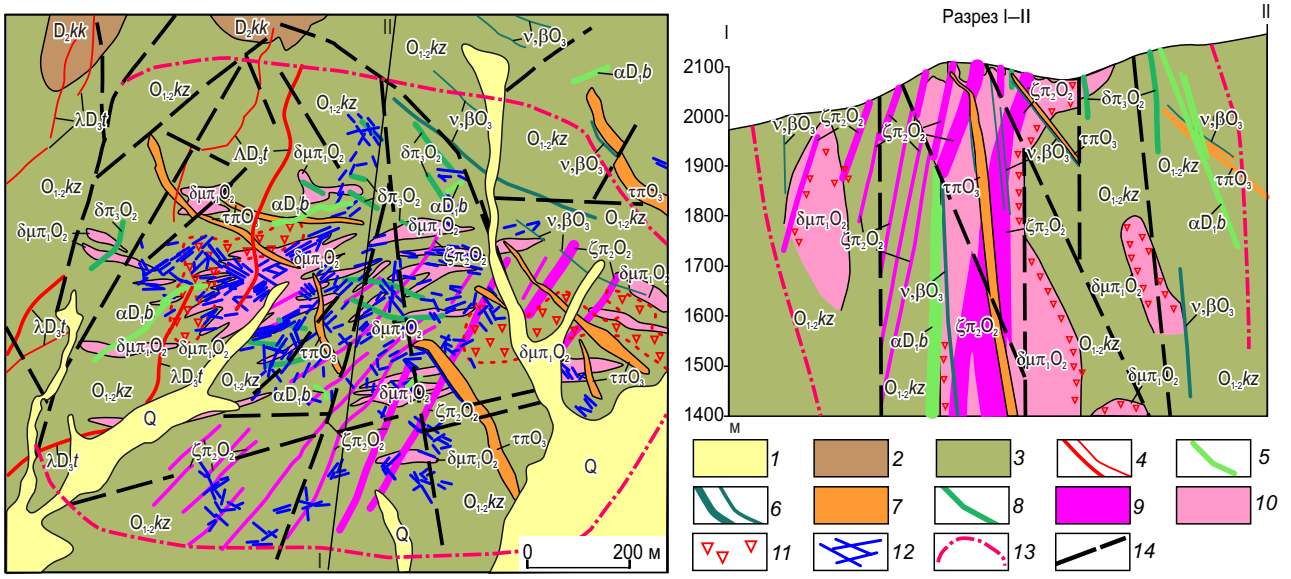


Рис. 2. Схематическая геологическая карта месторождения Талды-Булак. *По данным Gold Fileds Ltd., 2009*:

1 – четвертичные отложения (Q); *2* – каракольская свита: конгломераты, гравелиты, песчаники (D_2kk); *3* – кызылкайнарская свита: алевролиты, песчаники, туфопесчаники, туфоалевролиты ($Q_{1-2}kz$); *4* – талдысуйский субвулканический комплекс: риолит-порфиры, микрограниты, граниты, аплиты (λD_3t); *5* – баркольский субвулканический комплекс: андезитовые порфириты (αD_1b); талдыбулакский субвулканический комплекс: *6* – габбро-диабазы, диабазовые порфириты ($\nu, \beta O_3$); *7* – трахиты, трахит-порфиры ($\tau\pi O_3$); алмалинский субвулканический комплекс, фазы: *8* – третья: диоритовые и монцодиоритовые порфириты и микрограниты ($\delta\pi_3O_2$), *9* – вторая: дайки дацит-порфиров ($\zeta\pi_2O_2$), *10* – первая: шток и дайки монцодиорит-порфиров ($\delta\mu\pi_1O_2$); *11* – брекчии разные; *12* – штокверки рудоносных кварцевых прожилков; *13* – контуры порфировой рудоносной зоны; *14* – разрывные нарушения

до 80% ближе к контактам с вмещающими породами и в апикальных частях апофиз штока. В центральной части штока количество ксенолитов уменьшается до 5–7% от общего объёма породы. Породы штока вблизи ксенолитов и контактов с вмещающими породами становятся более порфировидными, а базис – более мелкозернистым; размеры же и количество порфировых вкрапленников крайне изменчивы. Эта резко выраженная неоднородность является одной из характерных черт этого штока монцодиорит-порфиров. В апикальных частях штока сформированы эруптивные брекчии [3].

Оруденение развито в прожилковой зоне окварцевания, приуроченной к эруптивным брекчиям и метасоматитам в монцодиоритах. На месторождении отчётливо проявлена гидротермально-метасоматическая зональность. Самую внешнюю зону изменений слагают аргиллизиты, затем следуют альбит-хлорит-эпидотовые с серицитом пропилиты и филлизиты. Во внутренней части интрузии встречаются кварц-калишпатовые метасоматиты, на которые наложены пропилиты альбит-хлорит-эпидотовой фации. Помимо этого на месторождении наблюдаются кварц-турмалиновые прожилки и зоны кварц-турмалиновых метасоматитов, которые пространственно тяготеют к приконтактовым частям интрузии, апикальным частям её даек-апофиз и служат цементом в эруптивных брекчиях.

Рудная минерализация, развитая в штокверковой прожилковой зоне окварцевания и приуроченная к эруптивным брекчиям и метасоматитам, занимает центральную часть в штокообразном теле монцодиоритов. Зона окварцевания сложена крутопадающими прожилками и жилами серого кварца мощностью до 10 см. Общая масса прожилков составляет 3–7%. Рудная минерализация находится в прямой зависимости от степени окварцевания. Текстуры руд – вкрапленная, прожилково-

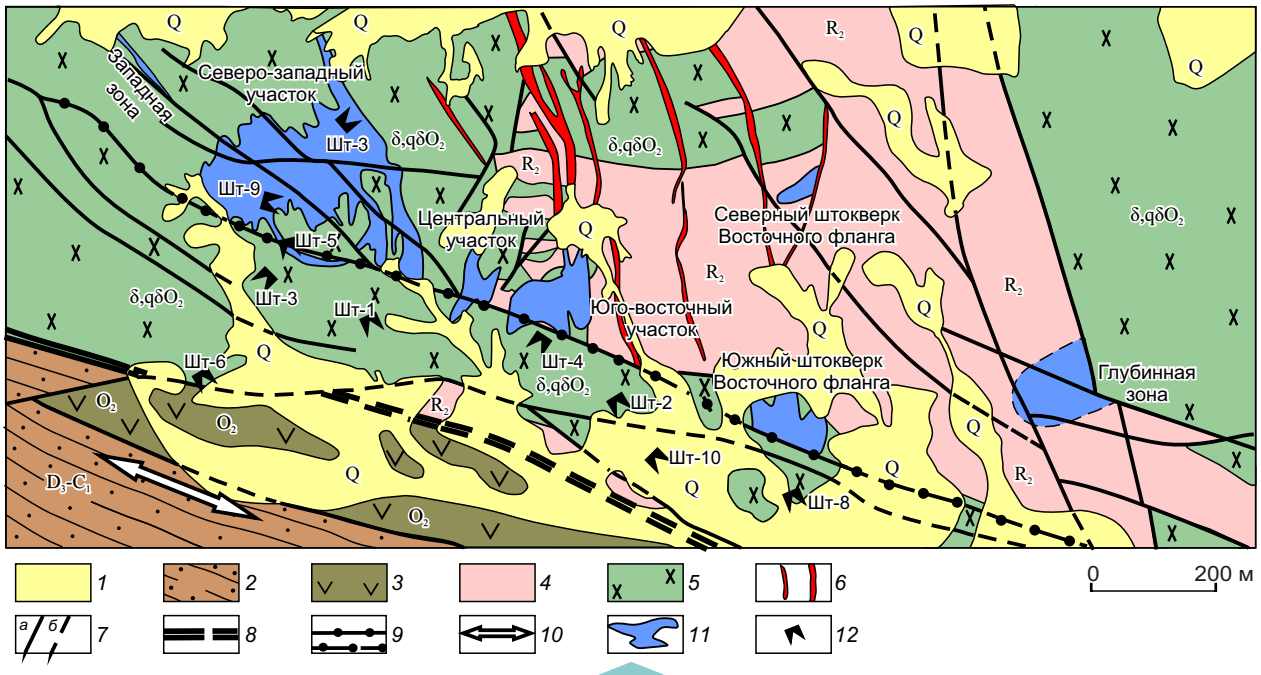


Рис. 3. Схематическая карта месторождения Джеруй. *Составлена с использованием материалов Джеруйской ГРП*:

1 – четвертичные отложения: глины, щебни, суглинки (Q); *2* – алевролиты, песчаники, туфопесчаники (D_3–C_1); *3* – туфы андезитовых порфиритов, туффиты, кремни (O_2); *4* – кварц-слюдистые сланцы, мраморы, парагнейсы, мигматиты, кварцитовидные песчаники (R_2); *5* – джеруйский комплекс: диориты, кварцевые диориты, монцониты (δ, qδ O_2); *6* – дайки разного состава; *7* – тектонические нарушения: *а* – видимые, *б* – предполагаемые; *8* – северный краевой разлом Ичкелетау-Сусамырской тектонической зоны; *9* – рудоконтролирующий разлом; *10* – Ичкелетау-Сусамырская тектоническая зона; *11* – золоторудные тела; *12* – штольни

вкрапленная, прожилковая. Главные рудные минералы представлены золотом, халькопиритом, молибденитом, хризоколлой, малахитом, азуритом, реже встречаются борнит, халькозин, сфалерит, лимонит. Золото в основном содержится в халькопирите, реже встречается самородное золото в кварцевых жилах и в зоне аргиллизации. Содержание золота на месторождении составляет от 0,04 до 1,5 г/т, меди от 0,13 до 0,4 %, молибдена от следов до 0,17 %.

Месторождение Джеруй было сформировано на окраине островной дуги в среднем ордовике и, вероятно, поэтому является не совсем типичным для порфировых систем. Оно относится к золото-кварцевому типу и имеет запасы золота около 90 т при среднем содержании 6,5 г/т. В строении месторождения (рис. 3) принимают участие породы ортотауской свиты (R_2or), представленные кварцево-слюдистыми гнейсами, мигматитами, известковистыми сланцами. Они прорываются кварцевыми диоритами и монцодиоритами, имеющими U-Pb возраст (O_2) по циркону 462,2–466,9 млн лет [7], и серией разновозрастных даек различного состава.

На месторождении широко развиты метасоматически изменённые породы. На контакте диоритов с вмещающими породами наряду с ороговикованием проявлены процессы скарнирования. На контакте с известняками и мраморами формируются известковые скарны и скарнированные породы с гранатом, реже с пироксеном. По доломитам образуются магнезиальные скарны, а впоследствии по ним развиваются серпентинизация и флогопитизация. Среди метасоматических околорудных золотоносных образований выделяются две основные разновидности: кварц-калишпатовые метасоматиты и березиты. Наибольшую распространённость получили процессы березитизации – от слабопроявленной степени до сильной переработки вплоть до развития внутренних зон березитов, состоящих полностью из кварца. Березитизация затрагивает в основном интрузивные

тела: кварцевые диориты, монцодиориты и др., реже вмещающие породы: гнейсы, сланцы и др.

Оруденение на месторождении сосредоточено на нескольких участках, вытянутых цепочковидно в северо-западном направлении на два километра. Участки представляют собой конусообразные перевёрнутые и трубообразные штокверковые тела, сложенные сетью золотоносных кварцевых жил, прожилков и зонами окварцевания, сопровождающихся кварц-калишпатовыми метасоматитами и березитами. Большая часть штокверков находится в пределах интрузивных пород – кварцевых диоритов и монцодиоритов, но на отдельных участках штокверки располагаются и во вмещающих терригенно-карбонатных породах. Наибольшее практическое значение имеет Северо-Западный участок, содержащий около 90% запасов золота.

Основной промышленный компонент – золото. Оно находится в самородном виде и относительно равномерно распределено в рудном кварце в виде тонкой вкрапленности размерами от 0,001 до 0,2 мм. Количество сульфидов составляет всего 1–2%. Они весьма разнообразны и представлены висмутином, пиритом, галенитом, халькопиритом, арсенопиритом, тетрадимитом, пирротином. Среди рудных минералов встречаются также сульфосоли висмута, свинцово-сурьмяные сульфосоли, теллуриды.

Поздний ордовик–силур (O_3–S). Этот этап в Северном Тянь-Шане характеризуется внедрением крупных коллизионных гранитоидных батолитов (O_3) и более мелких постколлизионных интрузий лейкогранитов, сиенитов и монцонитов (S). Золотая минерализация, связанная с этими интрузиями, концентрируется в основном в Актюз-Боординском рудном районе, Кунгейском хребте, реже встречаются мелкие рудопроявления в Кыргызском хребте.

Месторождение Талды-Булак Левобережный является самым крупным месторождением этого возрастного интервала с запасами до 130 т золота при средних содержаниях 6–7 г/т. Оно характеризуется многостадийным развитием, но основное промышленное оруденение было сформировано в условиях постколлизионной активизации в силурийское время. В строении месторождения участвуют докембрийские метаморфические породы: амфиболиты, биотит-амфиболовые и хлорит-амфиболовые сланцы, мигматиты, слюдистые сланцы и гнейсы и др. Метаморфические породы прорываются дайками, мелкими штоками и силлами монцодиоритов, U-Pb возраст которых по циркону составляет 440 млн лет (S), и палеогеновыми дайками долеритов. Считается, что силурийские интрузивные породы являются материнскими для золоторудной минерализации, Re-Os возраст золотоносного пирита на месторождении составляет 434 млн лет [12].

Золотое оруденение располагается в крупной зоне смятия, общей мощностью более 700 м. Зона смятия представляет собой хаотичное нагромождение обломков различных пород: сланцев, амфиболитов, гнейсов и др. В этой зоне выделяются три локальные зоны дробления: Нижняя, Средняя и Верхняя. Основное промышленное оруденение приурочено к Нижней зоне, а верхи рудных залежей размещаются в средней зоне дробления. Рудные тела не имеют чётких границ, представлены сульфидной вкрапленной и прожилково-вкрапленной минерализацией. Наблюдаются две системы рудных тел – крутопадающие и пологие. Система пологих рудных тел имеет главное значение, рудные тела этой системы пластообразные и в целом субсогласны элементам зоны смятия. Система крутопадающих тел имеет резко подчинённое значение, она контролируется в основном разрывными структурами. Золото-сульфидное вкрапленное оруденение тяготеет к кровле зоны смятия и часто контролируется кварц-турмалиновыми жилами, которые имеют единый структурный план со штоками и дайками монцодиоритов.

На месторождении развиты интенсивные метасоматические изменения. Березитизация затрагивает интрузивные образования, сланцы, гнейсы, мигматиты, а по амфиболитам развивается лиственитизация. Затем образовались кварц-турмалиновые метасоматиты с золото-пирит-халькопиритовой минерализацией. Далее формировались кварцевые, кварц-турмалиновые прожилки с интенсивной сульфидной минерализацией. Закончился процесс отложением безрудных кварцевых и карбонатных прожилков. В рудах месторождения содержание сульфидов достигает 12–15%. Наиболее распространённый минерал – пирит, это главный минерал-концентратор золота. Гораздо в меньших количествах встречаются халькопирит, пирротин, арсенопирит, галенит, сфалерит, молибденит и другие рудные минералы

Девон–карбон (D–C). Золотое оруденение этого возраста наиболее развито в Срединном

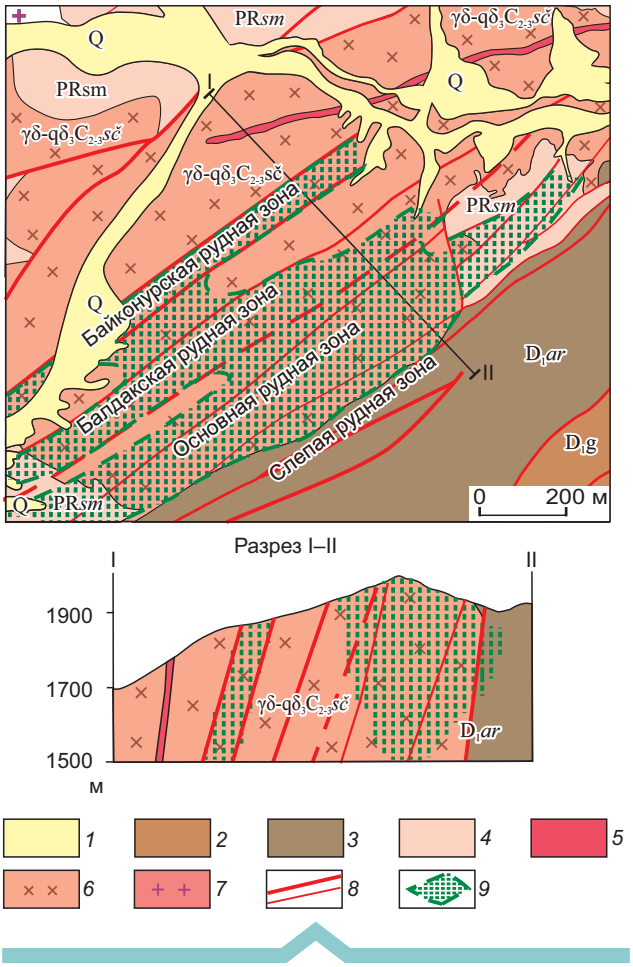


Рис. 4. Схематическая карта месторождения Ункурташ [11]:

1 – четвертичные отложения (Q); *2* – живетский ярус: алевролиты, известняки, с прослоями мергелей, глинистых сланцев, доломитов и известняков (D_1g); *3* – арчаконушская свита: андезиты, трахидациты, и их туфы, конгломераты, песчаники (D_1ar); *4* – семизсайская свита: метаморфические породы (PR*sm*); сандалаш-чаткальский комплекс: *5* – кварцевые диорит-порфириты, гранит-порфиры ($q\delta\pi$-$\gamma\pi C_{2-3}s\check{c}$), *6* – гранодиориты, кварцевые диориты ($\gamma\delta$-$q\delta_3C_{2-3}s\check{c}$); *7* – зексайский комплекс: гранодиориты, тоналиты ($\gamma\delta C_1z$); *8* – разломы; *9* – рудная зона

(Чаткальский регион), реже в Северном и Южном Тянь-Шане (Туркестано-Алай).

В Северном Тянь-Шане в этот период сформировался ряд месторождений и рудопроявлений в обстановке активной континентальной окраины – Мироновское (D_2), Куранджайляу (C_2) и др.

В Срединном Тянь-Шане наиболее богатое золотое оруденение формировалось при субдукционных процессах в Бельтау-Кураминском окраинно-континентальном вулкано-плутоническом комплексе, где в золотообразующей системе выделяются два типа месторождений: плутоногенные и вулканогенные. Для плутоногенных месторождений карбонового возраста наиболее характерна золото-медно-сульфидная минерализация в скарнах (Бозымчак, Каратюбе, Куру-Тегерек, Сулу-Тегерек и др.), золото-кварцевая и золото-сульфидно-кварцевая минерализация в метасоматически переработанных гранитоидах (Ункурташ, Андагул), золото-сульфидно-кварцевая и золото-сульфидная во вмещающих их породах (Иштамберды, Джалама и др.). Вулканогенная золоторудная минерализация на территории Кыргызстана проявлена слабо, известны лишь мелкие месторождения золота в вулканитах девона и карбона (Кызылташ и др.).

Месторождение Ункурташ имеет запасы и ресурсы 150 т золота при среднем содержании 2–3 г/т. Золотое оруденение находится в гранодиоритах Андагульского массива, имеющего возраст по циркону 306,9 ± 2,3 [8] и 305,1 ± 2,7 млн лет [11] и прорывающего кристаллические сланцы, гнейсы, амфиболиты семизсайской свиты (PR_1?) и алевролиты, туфопесчаники, туфы дацитов арчаконушской свиты (D_1). Гранодиориты секутся несколькими разломами северо-восточного простирания, вдоль которых развиты гидротермальные изменения: калишпатизация, окварцевание, каолинизация, березитизация, пропилитизация.

На месторождении выделены 4 зоны с промышленной золоторудной минерализацией между этими разломами (рис. 4). В случаях сопровождения гидротермальных изменений вкрапленностью мелкокристаллического пирита содержания золота в породе могут достигать 5–7 г/т. Без пирита и прожилкового окварцевания содержания золота не превышают 1,0–1,5 г/т. В гранодиоритах, не затронутых процессами метасоматоза, даже с вкрапленностью крупнокристаллического пирита содержание золота не достигает промышленных параметров, рядовые же содержания обычно не превышают первых десятых долей г/т. Рудные тела представляет собой систему золотоносных кварцевых и кварц-полевошпатовых метасоматических прожилков с сульфидами, выполняющих субпараллельные или ветвящиеся трещины (см. рис. 4). Строение жил и прожилков зональное: центральная часть обычно выполнена светло-серым кварцем, нередко с тонкими прожилками

мелкокристаллического пирита, краевые части – розовым калишпатом. Границы зон расплывчатые. Мелкие прожилки могут не содержать кварцевой сердцевины, а состоять только из калишпата. Протяжённость отдельных прожилков и жил достигает десятка метров, мощность от миллиметров до 0,5 м. Основная часть золота связана с такими жилами и прожилками, но повышенные содержания обнаруживаются и вне таких жил. Прожилкованию подвергнуты не только гранодиориты, но и сланцы семизсайской свиты, реже породы девона.

В совокупности рудные тела слагают минерализованные зоны, которые все вместе образуют крупное штокверкообразное тело. Наиболее мощной и богатой является минерализованная зона «Основная». Её протяжённость составляет 1150 м, мощность – 100–200 м, длина по падению прослежена до 600 м. Верхняя часть месторождения состоит из зоны окисленных руд мощностью от 20 до 50 м, а по зонам тектонических нарушений граница распространения зоны окисления опускается до глубин 50–80 м.

В целом по минеральному составу руды на месторождении относятся к золото-кварцевому малосульфидному типу. Рудные минералы представлены золотом, пиритом, молибденитом, арсенопиритом, антимонитом, шеелитом и др. Выделяются две основные золотосодержащие минеральные ассоциации: ранняя золото-арсенопиритовая и поздняя золото-кварцевая. Последняя – наиболее продуктивная на месторождении. В небольших количествах золото наблюдается также в кварц-молибденитовой ассоциации. Рудная минерализация образует прожилково-вкрапленные руды, реже пятнистые текстуры. Золото самородное, размеры золотин мелкие (0,1–0,9 мм) и пылевидные (0,1–0,05 мм), в основном менее 0,25 мм, но иногда встречаются до 2 мм.

В Южном Тянь-Шане имеется лишь несколько золоторудных объектов приуроченных к малым гранитоидным интрузиям карбона и андезито-базальтам ($D–C_1$).

Пермь–ранний триас ($P–T_1$). В этот интервал на всей территории Тянь-Шаня происходили коллизионные процессы, связанные с закрытием Палеоазиатского океана и последующей постколлизионной тектоно-магматической активизацией на всей территории Тянь-Шаня. На этом этапе образовалось большое количество разнообразных золоторудных месторождений в Срединном и Южном Тянь-Шане, гораздо реже в Северном Тянь-Шане.

Наиболее крупным месторождением пермского возраста в Северном Тянь-Шане является золото-кварцевое малосульфидное месторождение Солтон-Сары.

В Срединном Тянь-Шане известен ряд крупных месторождений и рудопроявлений, связанный с постколлизионными процессами. Благодаря ремобилизации рудного вещества из вмещающих черносланцевых толщ и привносу золотосодержащих гидротерм с глубины в это время в Срединном Тянь-Шане было сформировано гигантское месторождение Кумтор. Возраст гранитной интрузии, вскрытой скважиной в районе месторождения, составляет 292 ± 3 млн лет [4], а возраст околорудного серицита 284–288 млн лет [10]. Наиболее крупными объектами в скарнах на контакте с пермскими интрузиями являются месторождения Макмал с запасами золота 80 т и Кумбель.

Месторождение Кумтор относится к суперкрупным месторождениям золота в чёрных сланцах (рис. 5). Золотое оруденение на месторождении является полигенным и полихронным, но пермский этап постколлизионной тектоно-магматической активизации явился основным для формирования промышленного оруденения золота. Главная особенность геологической структуры Кумторского рудного поля – многочисленные шарьяжи, по которым древние породы надвинуты на более молодые. Нижнепротерозойские метаморфические породы совместно с древними гранитоидами надвинуты на верхнерифейские метаэффузивы, зеленокаменные толщи и метапесчаники, а они, в свою очередь, по пологому надвигу надвинуты на вендские толщи и отложения кембрия–ордовика, под которыми под другим надвигом вскрываются терригенные каменноугольные отложения. Среди многочисленных надвигов в районе выделяется Кумторский надвиг, являющийся рудоконтролирующим.

Золотая минерализация концентрируется в рудоносной зоне, вытянутой вдоль Кумторского надвига почти на 20 км. Эту зону принято делить на несколько участков. С поверхности участки разделены ледниками, под которыми рудоносная зона практически не изучена. Наиболее богатыми участками являются: Центральный (см. рис. 5, А), Юго-Западный, Сарытор и Северо-Восточный (см. рис. 5, Б). Эти участки расположены рядом

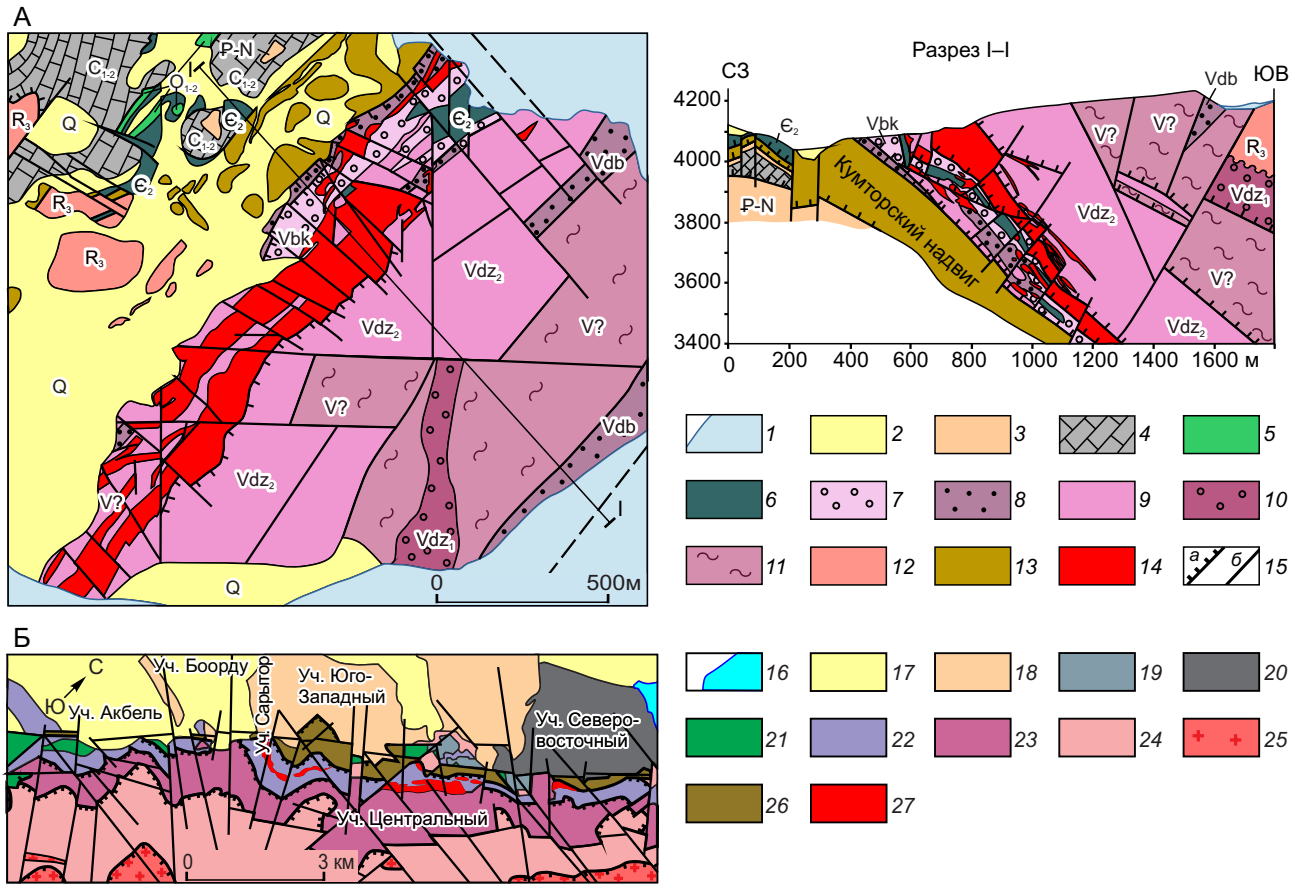


Рис. 5. Схематические карты участка Центральный месторождения Кумтор (А) и Кумторского рудного поля (Б). *По материалам Кумтор Оперейтинг Компани*:

А: *1* – ледники; *2* – морены и коллювий (Q); *3* – глины палеогена–неогена (₽–N); *4* – известняки (C_{1-2}); *5* – алевролиты (O_{1-2}); *6* – чёрные кремни и известняки ($Є_2$); *7* – верхние диамикты (Vbk); *8* – углистые филлиты с пиритом (Vdb); *9* – филлиты, карбонатно-терригенные ритмы (Vdz_2); *10* – нижние диамикты (тиллиты) (Vdz_1); *11* – кристаллические сланцы (V?); *12* – метариолиты (R_3); *13* – зона альпийских тектонитов; *14* – рудоносная зона; *15* – тектонические нарушения: *а* – надвиги, *б* – прочие разломы; Б: *16* – озеро; *17* – четвертичные отложения; *18* – глины, конгломераты, брекчии (₽–N); *19* – известняки (C_{1-2}); *20* – алевролиты, песчаники (C_1); *21* – алевролиты (O_{1-2}), лидиты, чёрные кремни (Є–O_1); *22* – рудовмещающие тиллитоподобные конгломераты, филлиты (V–Є); *23* – тиллитоподобные конгломераты, филлиты (V); *24* – аркозы, туфы, базальты, риолиты (R_3–V); *25* – граниты, диориты (R_2); *26* – альпийский тектонический меланж; *27* – зона оруденения, выходящая на поверхность

друг с другом и содержат основную часть разведанных запасов золота месторождения Кумтор. Разработка месторождения Кумтор начиналась с участка «Центральный» (см. рис. 5, А), запасы по которому составляли 717 т при среднем содержании 4,4 г/т. [5]. На данный момент добыто около 420 т золота. В последнее десятилетие запасы и ресурсы на месторождении Кумтор увеличены до 1000 т, во многом благодаря разведке соседних участков.

Рудные тела на месторождении находятся в висячем боку Кумторского надвига, сложенного породами джетымской серии венда: алевролитами, тиллоидами, углеродистыми и кремнистыми сланцами, филлитами, ритмитами карбонат-сланцевого состава (см. рис. 5). В лежачем боку Кумторского надвига находятся мелкие глыбы известняков и кремней нижнего палеозоя и песчаники нижнего карбона, которые в свою очередь надвинуты на палеоген-неогеновые отложения.

Кумторский надвиг выражен мощной (100–250 м) зоной дробления, будинажа и лимонитизации пород, возникшей на месте более древнего надвига и неоднократно возобновлявшийся в позднегерцинское и альпийское время. Рудные тела образуют штокверки и минерализованные зоны преимущественно в углеродсодержащих породах с рассеянной пиритовой минерализацией. На месторождении широко проявлены гидротермальные изменения пород, здесь выделяются четыре этапа формирования метасоматических пород: дорудный, предрудный, рудный и пострудный. Золотая минерализация, образованная в рудный этап, сопровождается кварц-альбит-калишпат-карбонатными, кварц-калишпат-карбонатными и кварц-карбонатными метасоматитами. Совмещение в пространстве этих метасоматитов даёт наиболее богатое оруденение. Месторождение относится золото-сульфидному типу. Около 90% всего золота приурочены к гидротермальному пириту, остальное находится в кварце, карбонате, полевом шпате, шеелите. В метасоматитах золотоносный пирит развит в виде гнёзд, прожилков и вкрапленности. Золото в рудах находится в самородном, тонкодисперсном виде и в форме теллуридов золота. Перспективы всего Кумторского рудного поля нами оцениваются в 2000 т золота.

В Чаткальском секторе Срединного Тянь-Шаня большее значение имеют золото-антимонитовые месторождения. На некоторых из них выявлена связь оруденения с пермскими интрузивными комплексами (сиенитами, диоритами, гранитами) (крупное месторождение Чаарат, Тереккан и др.), на других интрузивные тела этого возраста не обнаружены (Терек, Кассан, Чапчама).

На ***месторождении Чаарат*** запасы и ресурсы золота составляют более 140 т, при среднем содержании 4,2 г/т. Вторым по значимости металлом является сурьма, запасы которой составляют 240 т. В строении месторождения принимают участие породы сандалашской серии: кремни, доломиты, известняки чакмакской свиты (Є) и песчаники с прослоями кремней, алевролитов чааратской свиты (O_1), а также аркозовые и кварцевые песчаники тюлькубашской свиты (D_{2-3}). Породы узкими полосами вытянуты в северо-восточном направлении, отделены друг от друга разломами и имеют крутое северо-западное падение. На северо-востоке месторождения обнажаются диориты чалмансайского комплекса (Р), с которым связывается образование месторождения. Породы этого комплекса представлены в основном дайками и небольшими вытянутыми телами диоритов, реже гранодиоритов и сиенитов. Наиболее крупное тело диоритов этого комплекса расположено в северо-восточной части месторождения Чаарат в виде вытянутого тела протяжённостью около одного километра. В диоритах вдоль разломов субширотного и субмеридионального простирания имеются зоны дробления, в которых отмечается окварцевание, калишпатизация, хлоритизация и березитизация пород. В окварцованных и березитизированных диоритах часто присутствует рудная минерализация, представленная арсенопиритом, пиритом, антимонитом, пирротином, реже молибденитом. В таких породах установлены и значимые содержания золота.

Определяющую роль в рудолокализации на месторождении играют разрывные структуры надвигового или взбросо-надвигового характера. Швы этих разломов сопровождаются аргиллизацией, березитизацией и осветлением вмещающих стратифицированных толщ. Все без исключения рудные зоны приурочены к зонам дробления и милонитизации пород. Протяжённость зон минерализации до 6 км при мощности 120–160 м. Глубина рудных зон прослежена до 600 м. На месторождении выделены три наиболее крупные рудные зоны (Основная, Контактовая, Северная) и ряд более мелких рудных тел, при этом для Основной рудной зоны характерен золото-антимонит-арсенопиритовый тип оруденения, для Контактовой зоны – халькопирит-арсенопирит-антимонитовый золотосодержащий тип и для Северной зоны – антимонит-кварцевый золотосодержащий тип.

По минеральному составу руды относятся к кварц-золото-сульфидному типу. Рудные минералы представлены золотом, арсенопиритом, антимонитом, скородитом, марказитом, пиритом, гидроксидами железа, реже отмечаются халькопирит, сфалерит, блёклые руды, буланжерит, галенит и шеелит. Золото встречается в арсенопирите, кварце и редко в пирите. Оно представлено двумя разновидностями: видимым (мелким и пылевидным) и тонкодисперсным.

Большая часть известных в Южном Тянь-Шане промышленных золоторудных месторождений образовались в пермское время, и основная их часть сосредоточена в Туркестано-Алайском секторе. Чаще всего месторождения приурочены к эндо- и экзоконтактовым зонам (в том числе скарнам) вокруг гранитоидных и сиенит-монцонитоидных

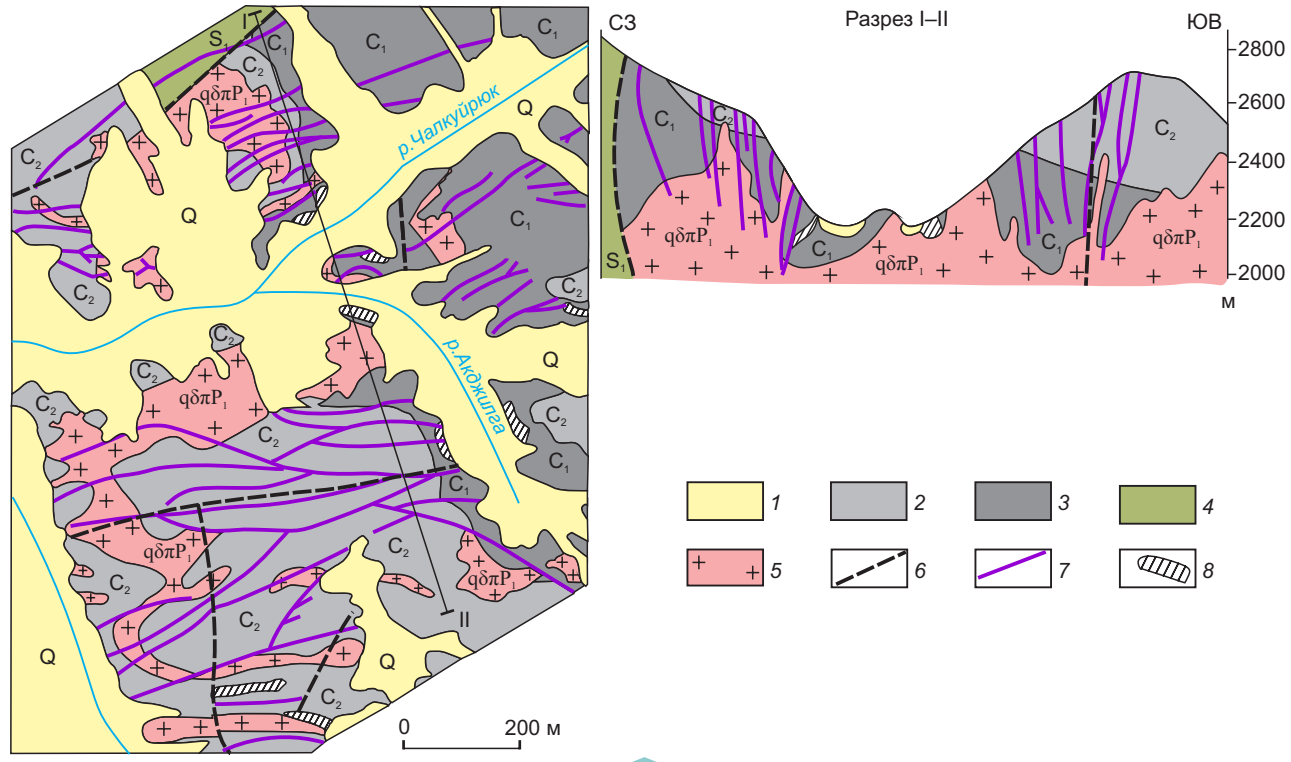


Рис. 6. Схематическая геологическая карта месторождения Чалкуйрук-Акджилга [5]:

1 – четвертичные отложения (Q); *2* – конгломераты вулканомиктовые (C_2); *3* – алевролиты с прослоями и глыбами известняков, олистостромовый горизонт (C_1); *4* – сланцы углеродистые (S_1); *5* – кварцевые диоритовые порфириты ($q\delta\pi P_1$); *6* – разрывные нарушения; *7* – кварц-карбонатные жилы с полисульфидной минерализацией; *8* – скарновые залежи

массивов, прорывающих карбонатно-терригенные, реже вулканогенные и углеродистые толщи среднего–позднего палеозоя (месторождения Алтын-Джилга, Ничкесу, Апрельское, Караказык, Джангарт и др.). На крупном месторождении Чалкуйрук-Акджилга золото содержится в кварц-карбонатных жилах и в скарнах.

Месторождение Чалкуйрук-Акджилга является крупнейшим в Туркестано-Алайском регионе. Запасы золота на нём составляют 112 т при среднем содержании 5,75 г/т. В геологическом строении месторождения принимают участие сланцево-алевролитовые толщи с прослоями и линзами известняков (C_1) и несогласно перекрывающие их конгломераты (C_2). Осадочные породы прорваны большим количеством мелких интрузивных тел (рис. 6), представленных штокообразными и дайковыми телами кварцевых диоритов, порфиритов и гранодиоритов чалкуйрюкского комплекса (P_1). Контакты интрузивных пород сопровождаются роговиками и гранат-эпидот-пироксеновыми скарнами. Осадочные и интрузивные породы разбиты большим количеством субширотных и северо-восточных разломов, по которым развиты кварц-карбонатные жилы [3].

Рудные тела месторождения представлены крутопадающими жилами и скарново-рудными залежами, протяжённость которых составляет десятки метров при мощности до одного метра. Основную роль в локализации оруденения на месторождении играют крутопадающие разрывные нарушения субширотного простирания, выполненные кварц-карбонатными жилами с преобладанием карбонатной составляющей. Жилы несут неравномерную, иногда очень богатую, сульфидную минерализацию. Золотая минерализация отмечается также в скарнах. В общей сложности на месторождении выявлены более 150 кварц-карбонатных жил и скарновых залежей. Однако только 9 кварц-карбонатных жил на сегодняшний день

имеют практическое значение. Наиболее крупные жилы и скарновые тела имеют протяжённость 45–1500 м при мощности 0,1–2,2 м. Для рудных тел характерно неравномерное распределение мышьяковых и кобальтсодержащих минералов. В зависимости от преобладания этих минералов жилы делятся на арсенопиритовые и кобальтсодержащие. Руды – золото-сульфидные, на отдельных участках с промышленными скоплениями и содержаниями кобальта присутствуют теллуриды золота. Содержание золота в жилах неравномерное и колеблется от десятых долей до 19,5 г/т, в обогащённых гнездах содержание достигает 40–90 г/т, в единичных линзах с арсенидами кобальта золота может быть более 2000,0 г/т. На месторождении обнаружено большое количество разнообразных рудных минералов, среди которых преобладают сульфиды. Главные рудные минералы: пирротин, арсенопирит, пирит, скородит; второстепенные: саффлорит, данаит, тетрадимит, сильванит, эритрин, калаверит, леллингит, халькопирит; редкие: скуттерудит, висмут, фармаколит, станнин, сфалерит, галенит, борнит, антимонит, джемсонит. По всем жилам с поверхности развита зона окисления, представленная глинисто-лимонитовой массой.

Небольшая группа месторождений в Южном Тянь-Шане располагается в метаморфических сланцах нижнего палеозоя прорванных пермскими интрузиями (Тохтазан, Акджол, Курпсай). На этих месторождениях развито золото-кварцевое, золото-сульфидное, золото-сульфидно-сульфосольное, золото-редкометалльное и золото-сурьмяно-полиметаллическое оруденение. Существует также ряд месторождений, которые оторваны от породивших их интрузий на большие расстояния, такие месторождения часто находятся среди среднепалеозойских терригенных и карбонатных отложений и контролируются крупными зонами разломов (месторождения Савоярды, Иркеташ, Каракала и др.). Иногда золото-сурьмяная минерализация развивается в меж- и внутриформационных джаспероидных залежах (месторождение Абшир). В Атбаши-Кокшальском секторе Южного Тянь-Шаня наиболее значимыми месторождениями являются кварц-сульфидные жильные месторождения Джангарт и Тоголок и скарновое месторождение Каратор.

Юра–мел (J–K). Для этого этапа известно лишь несколько небольших коренных проявлений золота в Южном Тянь-Шане: в Ферганском, Алайском и Заалайском хребтах. Это либо кварцевые жилы с сульфидами, либо окварцованные и сульфидизированные зоны дробления среди юрских и меловых отложений [5].

Выводы. Металлогения золота Кыргызстана определяется сложным и многоэтапным геодинамическим развитием территории. На такой ограниченной площади (0,2 млн км^2) сформировано многочисленное разнотипное, разновременное (начиная с докембрия и кончая мезозоем) золотое оруденение в связи с различными геодинамическими процессами: субдукционными, коллизионными, а также с внутриплитной тектоно-магматической активизацией.

Выделение докембрийского этапа является новым в металлогении золота Кыргызстана. Наиболее продуктивным на золото был палеозойский интервал, в котором сосредоточены основные запасы золота Кыргызстана (см. таблицу). Однако

Типизация крупных месторождений золота Кыргызстана

Геодинамические обстановки, возраст	Золото-медно-порфировые	В парагенезисе с интрузиями	В осадочных и метаморфических толщах
Островодужные обстановки раннего палеозоя	Талды-Булак	Джеруй	
Внутриплитная активизация среднего палеозоя		Талдыбулак Левобережный	
Активные континентальные окраины среднего палеозоя		Ункурташ	Иштамберды
Пермская внутриплитная тектоно-магматическая активизация		Макмал, Чалкуйрюк-Акджилга	Чаарат, Кумтор

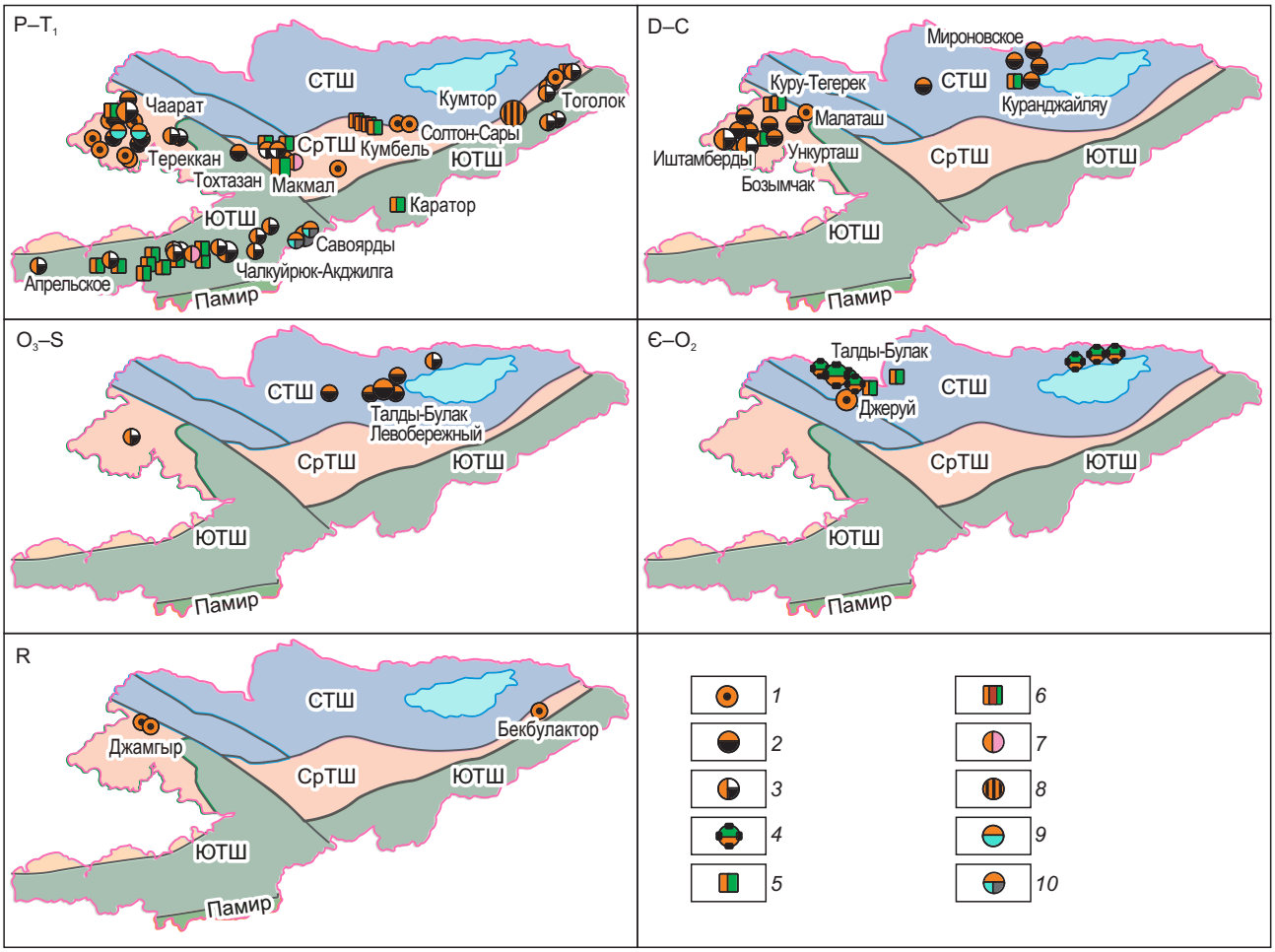


Рис. 7. Этапы формирования золоторудных месторождений Кыргызстана:

1 – золото-кварцевые; *2* – золото-сульфидные; *3* – золото-сульфидно-кварцевые; *4* – золото-медно-порфировые; *5* – золото-медные в скарнах; *6* – золото-медно-вольфрамовые в скарнах; *7* – золото-вольфрамовые; *8* – золото-сульфидные в чёрных сланцах; *9* – золото-антимонитовые в джаспероидах; *10* – золото-антимонит-сульфосольные; СТШ – Сверный Тянь-Шань, СрТШ – Срединный Тянь-Шань, ЮТШ – Южный Тянь-Шань

в течение палеозоя золотые месторождения формировались не равномерно по всей территории, а были приурочены к определённым геодинамическим обстановкам, существовавшим в различных областях современного Тянь-Шаня (рис. 7).

Подробное изучение времени образования месторождений и их связь с той или иной геодинамической обстановкой позволяют совершенствовать металлогенические построения и дают дополнительные критерии для поисковых работ на золото.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геодинамика* и оруденение Тянь-Шаня (Кыргызстан) : коллективная монография // Отв. ред. А. Б. Бакиров, ред. Н. Т. Пак. – Бишкек : Илим, 2014. – 280 с.
2. *Дегтярев К. Е., Рязанцев А. В., Третьяков А. А.* и др. Строение каледонид Киргизского хребта и тектоническая эволюция Северного Тянь-Шаня в позднем докембрии–раннем палеозое // Геотектоника. – 2014. – № 6. – С. 3–38.
3. *Дженчураева Р. Д., Пак Н. Т., Никоноров В. В., Ивлева Е. А.* Золоторудные месторождения Кыргызстана. – Бишкек : НАН КР, 2020. – 494 с.
4. *Ивлева Е. А., Пак Н. Т., Асилбеков К. А., Скрзипек Э., Хаузенбергер К., Орозбаев Р. Т.* Золотое оруденение

в связи с пермским магматизмом восточной части Южного и Срединного Тянь-Шаня (Кыргызстан) // Вестник КРСУ. – 2022. – Т. 22, № 4. – С. 180–191.
5. *Никоноров В. В., Караев Ю. В.* и др. Золото Кыргызстана. В 2 кн. Кн. 1. – Бишкек : Наси, 2004. – 271 с.
6. *Пак Н. Т.* Золотоносные метасоматиты в раннерифейских гранитоидах Кыргызстана // Актуальные проблемы современной геологии и минерагении Казахстана. – Алматы : Институт Геологических Наук Им. К. И. Сатпаева, 2012. – С. 283–291.
7. *Пак Н. Т., Ивлева Е. А., Шатова Н. В., Шатов В. В.* Возраст интрузий табалыкского и джеруйского комплексов месторождения золота Джеруй (Кыргызстан) // Актуальные вопросы геологии, инновационные методы прогнозирования, добычи и технологии обогащения полезных ископаемых. – Ташкент : УГГ, 2022. – С. 105–108.
8. *Bo Zu, Chunji Xue, Guoxiang Chi, Nikolay Pak, Xiaobo Zhao, Xinli Wang.* Age and petrogenesis of the Andagul granodiorite and its implications on gold mineralization of the Kassan region, western Kyrgyzstan Tian Shan // Ore Geology Reviews. – 2018. – V. 101. – P. 54–73.
9. *Konopelko D., Klemd R., Petrov S. V., Apayarov F.* et al. Precambrian gold mineralization at Djamgyr in the Kyrgyz Tien Shan: Tectonic and metallogenic implications // Ore Geology Reviews. – 2017. – V. 86. – P. 537–547.
10. *Mao J., Konopelko D., Seltmann R., Lehmann B., Chen W., Eklund O., Usubaliev T.* Postcollisional age of the Kumtor gold deposit and timing of Hercinian events in Tien Shan, Kyrgyzstan // Economic Geology. – 2004. – V. 99. – P. 1771–1780.
11. *Zhao X., Xue C., Bo Zu, Seltmann R., Chi G., Dolgopolova A, Jens C., Andersen O., Pak N., Ivleva E.* Geology and Genesis of the Unkurtash Intrusion-Related Gold Deposit, Tien Shan, Kyrgyzstan // Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology, 2022. – V. 117. – P. 1073–1103.
12. *Zhao X., Xue C., Chi C.* et al. Multi-stage gold mineralization in the Taldybulak Levoberezhny deposit, Tien Shan, Kyrgyzstan // Ore Geology Reviews. – 2017. – V. 82. – P. 217–231.

REFERENCES

1. *Geodinamika* i orudeneniye Tyan'-Shanya (Kyrgyzstan) : kollektivnaya monografiya [Geodynamics and mineralization of the Tien Shan (Kyrgyzstan): collective monograph]. ed. A. B. Bakirov, N. T. Pak, Bishkek, Ilim publ., 2014, 280 p. (In Russ.)
2. *Degtyarev K. Ye., Ryazantsev A. V., Tret'yakov A. A.* et al. Stroyeniye kaledonid Kirgizskogo khrebta i tektonicheskaya evolyutsiya Severnogo Tyan'-Shanya v pozdnem dokembrii-rannem paleozoye [The structure of the Caledonides of the Kirghiz Range and the tectonic evolution of the Northern Tien Shan in the Late Precambrian-Early Paleozoic], Geotektonika, 2014, No. 6, pp. 3–38. (In Russ.)
3. *Dzhenchurayeva R. D., Pak N. T., Nikonorov V. V., Ivleva Ye. A.* Zolotorudnyye mestorozhdeniya Kyrgyzstana [Gold deposits of Kyrgyzstan], Bishkek, NAN KR publ., 2020, 494 p. (In Russ.)
4. *Ivleva Ye. A., Pak N. T., Asilbekov K. A., Skrzipek E., Khauzenberger K., Orozbayev R. T.* Zolotoye orudeneniye v svyazi s permskim magmatizmom vostochnoy chasti Yuzhnogo i Sredinnogo Tyan'-Shanya (Kyrgyzstan) [Gold mineralization in connection with Permian magmatism in the eastern part of the Southern and Middle Tien Shan (Kyrgyzstan)], Vestnik KRSU, 2022, V. 22, No. 4, pp. 180–191. (In Russ.)
5. *Nikonorov V. V., Karayev Yu. V.* et al. Zoloto Kyrgyzstana [Nikonorov V.V., Karaev Yu.V. and others. Gold of Kyrgyzstan]. In two books. Book one, Bishkek, Nasi publ., 2004, 271 p. (In Russ.)
6. *Pak N. T.* Zolotonosnyye metasomatity v ranneriфeyskikh granitoidakh Kyrgyzstana, Aktual'nyye problemy sovremennoy geologii i minerageniі Kazakhstana [Gold-bearing metasomatites in the early Riphean granitoids of Kyrgyzstan, Actual problems of modern geology and minerageny of Kazakhstan], Almaty, Institut Geologicheskikh Nauk Im. K. I. Satpayeva publ., 2012, pp. 283–291. (In Russ.)
7. *Pak N. T., Ivleva Ye. A., Shatova N. V., Shatov V. V.* Vozrast intruziy tabalykskogo i dzheruyskogo kompleksov mestorozhdeniya zolota Dzheruy (Kyrgyzstan), Aktual'nyye voprosy geologii, innovatsionnyye metody prognozirovaniya, dobychi i tekhnologii obogashcheniya poleznykh iskopayemykh [Age of intrusions of the Tabalyk and Dzherui complexes of the Dzherui gold deposit (Kyrgyzstan), Actual issues of geology, innovative methods of forecasting, mining and technology of mineral processing], Tashkent, UGG publ., 2022, pp. 105–108. (In Russ.)
8. *Bo Zu, Chunji Xue, Guoxiang Chi, Nikolay Pak, Xiaobo Zhao, Xinli Wang.* Age and petrogenesis of the Andagul granodiorite and its implications on gold mineralization of the Kassan region, western Kyrgyzstan Tian Shan, Ore Geology Reviews, 2018, V. 101, pp. 54–73.

9. *Konopelko D., Klemd R., Petrov S. V., Apayarov F.* et al. Precambrian gold mineralization at Djamgyr in the Kyrgyz Tien Shan: Tectonic and metallogenic implications, Ore Geology Reviews, 2017, V. 86, pp. 537–547.
10. *Mao J., Konopelko D., Seltmann R., Lehmann B., Chen W., Eklund O., Usubaliev T.* Postcollisional age of the Kumtor gold deposit and timing of Hercinian events in Tien Shan, Kyrgyzstan, Economic Geology, 2004, V. 99, pp. 1771–1780.
11. *Zhao X., Xue C., Bo Zu, Seltmann R., Chi G., Dolgopolova A, Jens C., Andersen O., Pak N., Ivleva E.* Geology and Genesis of the Unkurtash Intrusion-Related Gold Deposit, Tien Shan, Kyrgyzstan, Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology, 2022, V. 117, 5, pp. 1073–1103.
12. *Zhao X., Xue C., Chi C.* et al. Multi-stage gold mineralization in the Taldybulak Levoberezhny deposit, Tien Shan, Kyrgyzstan, Ore Geology Reviews, 2017, V. 82, pp. 217–231.

Статья поступила в редакцию 17.05.23; одобрена после рецензирования 29.05.23; принята к публикации 29.05.23.
The article was submitted 17.05.23; approved after reviewing 29.05.23; accepted for publication 29.05.23.

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

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

DOI:10.47765/0869-7175-2023-10014

УДК 553.3`3/`9
© Коллектив авторов, 2023

Пирит эпитермального Au-Ag месторождения Жильное (Чукотский АО): морфология, стадийность образования, продукты преобразования

Месторождение Жильное относится к Амгуэмо-Канчаланской металлогенической зоне, в пределах которой существуют различные по показателю Ag/Au типы золото-серебряных руд. Они были сформированы на различных стадиях минералообразования. Изучение особенностей пирита может быть использовано для понимания условий формирования месторождения и совершенствования методики их прогнозирования в пределах зоны. Цель работы – выделение основных форм нахождения и генераций пирита, воссоздание стадийности минералообразования. В результате были обнаружены разнообразные морфологические типы и формы нахождения пирита (одиночные кристаллы, зёрна округлой формы, сплошные зоны пиритизации, сростки, формы замещения, коррозии и преобразования) и выделены пять его генераций. В пределах месторождения и Амгуэмо-Канчаланской зоны существуют 3 продуктивные стадии минералообразования, из них серебряно-золотые руды месторождения Жильное были сформированы на серебро-сульфидно-полиметаллической стадии.

Ключевые слова: пирит, золото, серебро, руды, эпитермальные месторождения, Охотско-Чукотский вулканический пояс, Чукотка.

ГОЛДЫРЕВ ВИТАЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ, геолог[1], аспирант[2], vg121297@yandex.ru

ОСОВЕЦКИЙ БОРИС МИХАЙЛОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, руководитель центра коллективного пользования уникальным научным оборудованием, заведующий лабораторией[2], opal@psu.ru

НАУМОВ ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора[3], профессор[2], naumov@psu.ru

АРТЕМОВ АРТЕМ ЛЕОНИДОВИЧ, магистрант[2], artiomarteomow@yandex.ru

ЗАВОДОВ АНДРЕЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ, магистрант[2], zavodovav_31@mail.ru

[1] ООО «ГРК “Быстринское”», г. Чита

[2] Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ), г. Пермь

[3] Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого, г. Екатеринбург

Pyrite of the epithermal Zhilnoe Au-Ag deposit (Chukotka Autonomous Okrug (AO): the morphology, formation stages, and transformation products

V. N. GOLDYREV[1, 2], B. M. OSOVETSKY[2], V. A. NAUMOV[2, 3], A. L. ARTEMOV[2], A. V. ZAVODOV[2]

[1] GRK “Bystrinskoe”, Chita

[2] Perm State National Research University, Perm

[3] The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (UB RAS), Yekaterinburg

The Zhilnoye ore deposit belongs to the Amguema-Kanchalan metallogenic zone with gold-silver ores of different types in terms of the Ag/Au index. They were formed at various stages of the mineral formation. Studying the pyrite features can be used to understand the formation conditions of the mineral deposits and to improve the methodology of their forecasting within the zone. The objective of the work is to identify the main occurrence forms of pyrite and the pyrite generations and to reconstruct the staging of the mineral formation. As a result, various morphological types and occurrence forms of the pyrite were found (single crystals; rounded grains; zones of massive pyritization; intergrowths; and forms of substitution, corrosion, and transformation) and 5 pyrite generations were identified. Within the ore deposit and the Amguema-Kanchalan zone as a whole, 3 productive stages of the mineral formation took place, of which the silver-gold ores of the Zhilnoye deposit were formed at the silver-sulfide-polymetallic stage.

Key words: pyrite, gold, silver, ores, epithermal deposits, Okhotsk-Chukotka volcanic belt, Chukotka.

Введение. Месторождение Жильное относится к Амгуэмо-Канчаланской металлогенической зоне [2, 19]. В её пределах расположены три Au-Ag эпитермальных месторождения (Валунистое, Горное, Жильное), а также множество золото-полиметаллических проявлений (Кремовое, Раздольное, Донное, Лунное, Центральное) различных типов минерализации. На 2020 г. суммарные запасы (Indicated + Inferred) условного золота месторождений района составляют около 46,3 т, добыто около 25 т золота. Апробированные ЦНИГРИ прогнозные ресурсы золота Валунистого рудного узла составляют: категории P_1 – 13 т, P_2 – 100 т (при средних содержаниях золота 9,9–10,6 г/т). В сумме ресурсы и запасы (добытые, разведанные и оценённые) составляют 180 т золота. Однако ресурсный потенциал района далеко не исчерпан – результаты полевых работ, выполненных различными предприятиями, свидетельствуют о высокой перспективности данной территории на выявление мелких и средних месторождений золото-серебряных руд, сопоставимых по масштабам с главным месторождением – Валунистое. В то же время нельзя исключать возможности выявления новых крупных объектов.

Руды объектов различаются по показателю Ag/Au: серебряно-золотые руды месторождения Жильное – более 50, золото-серебряные руды месторождений Валунистое и Горное – 10–50. По нашему мнению, данные руды относятся к различным продуктивным стадиям минералообразования.

Настоящая работа направлена на изучение особенностей пирита, актуальна для понимания условий формирования месторождения Жильное и совершенствования методики прогнозирования других проявлений в пределах Амгуэмо-Канчаланской металлогенической зоны. Цель работы – выделение основных морфологических типов и генераций пирита, воссоздание стадийности минералообразования на месторождении Жильное.

Объект исследования. Материалы по геологии района месторождения содержатся в научных работах [1, 2, 4, 15, 16, 19 и др.] и производственных отчётах (В. П. Шабалин, Н. И. Романов, Е. С. Андреева, П. П. Полковой, В. П. Худоногов и др.).

Месторождение Жильное расположено в пределах субширотного сегмента Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП), представляющего собой пограничную структуру в области максимального сжатия земной коры на северо-восточной окраине Азии, обусловленного расширением Тихоокеанской плиты. В свою очередь, ОЧВП наложен на вещественные комплексы Кони-Танюрерской складчатой системы Корякско-Камчатской складчатой области [1, 15].

В геологическом строении месторождения принимают участие вулканогенные и вулканогенно-обломочные образования амгеньской толщи (K_2am_3) и локально развитые отложения экитыкинской свиты (K_2ek), прорванные плутоническими интрузивами, субвулканическими телами и дайками экитыкинской вулкано-плутонической ассоциации. Породы рудовмещающей амгеньской толщи представлены лавовыми покровами дацитов с прослоями лапиллиевых туфов и лавобрекчий дацитового состава, породы экитыкинской свиты – вулканитами андезит-базальтового состава.

В геолого-структурном плане месторождение расположено в зоне меридиональных дугообразных разломов, пересекающих фланг вулканокупольной структуры и сопровождаемых полями гидротермально изменённых пород, кварцевыми жилами и зонами прожилкового окварцевания с установленной золото-серебряной минерализацией. Характерной особенностью месторождения Жильное является резкое преобладание Ag над Au. Среднее значение Ag/Au по результатам повариантного подсчёта запасов составляет 237,4–244,9.

На месторождении Жильное распространены чёрные кварц-сульфидные прожилки (рис. 1, А). В центре месторождения находится зона гидротермальных брекчий с сульфидно-кварцевым цементом (см. рис. 1, Б, В). Чёрный цемент этих брекчий представляет собой гидротермальные образования, аналогичные таковым в прожилках. Чёрные кварц-сульфидные прожилки перекрывают более ранние безрудные кварц-адуляровые прожилки предыдущей стадии минералообразования, а также внедряются в них (см. рис. 1, Г). Суммарно они характеризуют развитую на месторождении серебро-сульфидно-полиметаллическую стадию минералообразования.

Предшественники относили брекчии к эксплозивным образованиям и считали их рудовмещающими. Подобные брекчии встречаются на многих вулканогенных объектах [16, 18], в том числе и на соседнем месторождении Валунистое, однако, в отличие от Жильного, их состав пирит-гематитовый.

Результаты кернового и бороздового опробования указывают на высокое содержание благородных

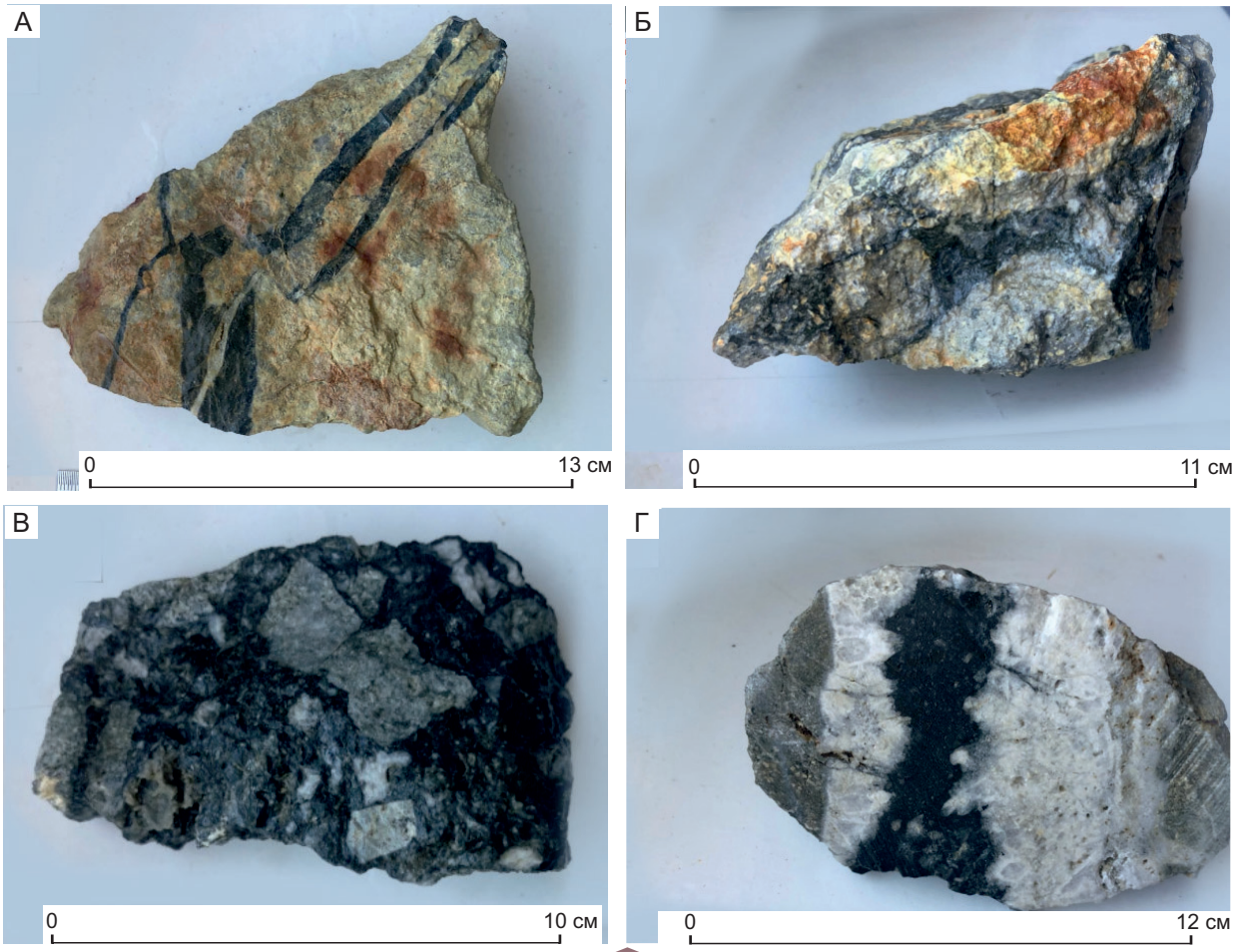


Рис. 1. Проявление серебро-сульфидно-полиметаллической стадии:

А – кварц-сульфидные прожилки; Б, В – кварц-сульфидный цемент гидротермальных брекчий; Г – полосы и просечки в жилах дорудных стадий

металлов в данных брекчиях (в г/т): Au – до 20, Ag – до 3500. Максимальные концентрации $Au_{усл.}$ (40–90 г/т) отмечаются в центральной части трубок брекчий.

Ранее нами [8] было установлено, что существует пространственная связь брекчий и благороднометалльной минерализации, причём брекчии играют роль коллекторов оруденения и могут рассматривать как косвенный поисковый признак.

Методика исследования. Полевые работы на месторождении Жильное были выполнены В.Н. Голдыревым в процессе проведения геологоразведочных работ ООО «Канчалано-Амгуэмская площадь» и включали отбор образцов из полотна траншеи и канав. В частности, были взяты образцы гидротермальных образований (жил, брекчий, зон прожилкования) различных стадий минералообразования, а также вмещающих пород, представленных метасоматически изменёнными дацитами и туфами.

Лабораторные работы были проведены в лаборатории осадочных полезных ископаемых (ЛОПИ) кафедры поисков и разведки полезных ископаемых и в Центре коллективного пользования (ЦКП) Пермского государственного национального исследовательского университета.

Минеральный состав пород определён в шлифах (аналитик Е.М. Томилина) с использованием поляризационного микроскопа Nikon Eclipce LV 100 Pol (Nikon, Япония). Формы нахождения, морфология кристаллов, вещественный состав образцов проанализированы в аншлифах (аналитик

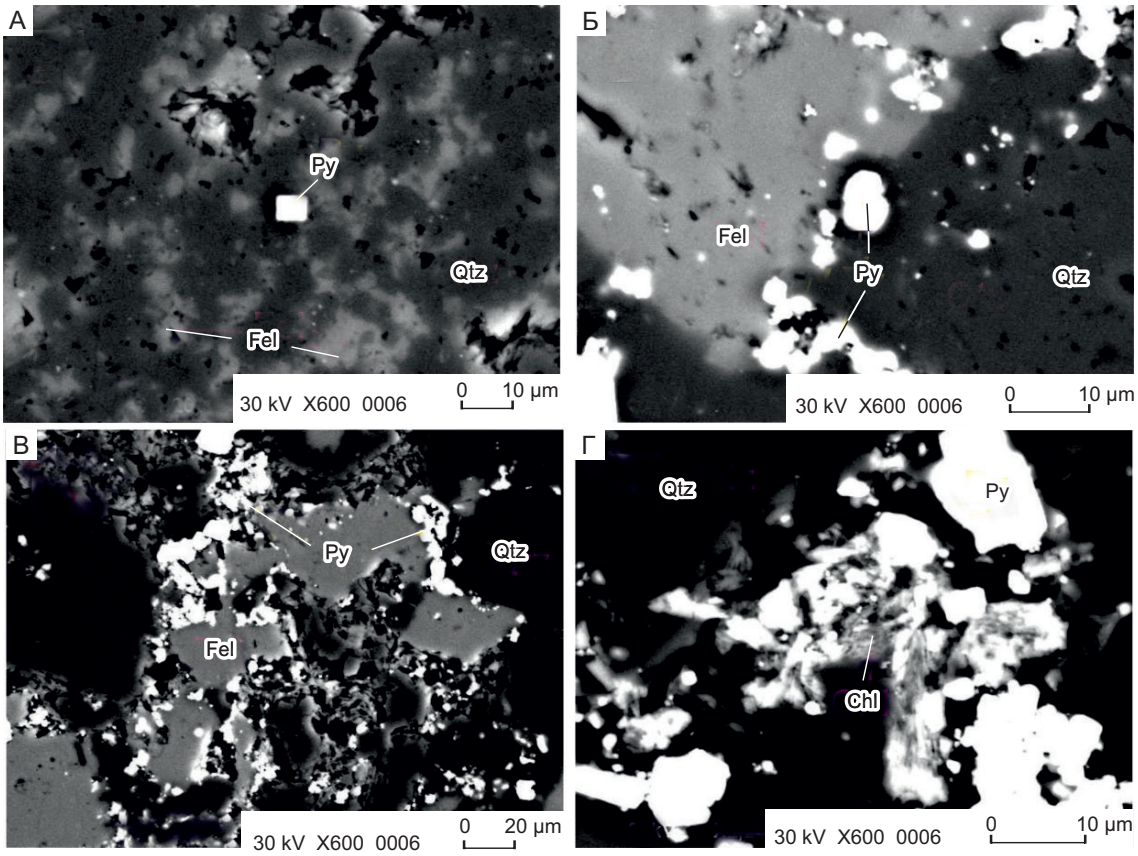


Рис. 2. Выделения пирита:

А – одиночный кристалл пирита кубической формы в кварц-полевошпатовой зоне; Б – скопления мелких зёрен пирита округлой формы на контакте кварца и полевого шпата; В – сплошная зона пиритизации на контакте кварца и полевого шпата; Г – зона интенсивной пиритизации с хлоритом; Py – пирит, Qtz – кварц, Fel – полевой шпат, Chl – хлорит

Б. М. Осовецкий) с использованием СЭМ JSM 7500F (Jeol) с холодной эмиссией и JSM 6390LV (Jeol) с ЭДС INCA ENERGY 350 (Oxford Instruments).

Результаты. Морфологические типы и формы нахождения пирита. Пирит исключительно широко распространён в породе, среднее содержание в рудах составляет 3 %. Были выделены следующие морфологические типы и формы нахождения пирита.

1. Одиночные кристаллы, часто кубической формы размером до 50 мкм (рис. 2, А).

2. Мелкие кристаллики и зёрна округлой формы, образующие различные скопления (см. рис. 2, Б). Округлые, овальные формы пирита характерны для многих месторождений палеогидротермальных рудообразующих систем [14]. Им обычно приписывается метаколлоидное происхождение.

3. Сплошные зоны пиритизации (см. рис. 2, В, Г) в виде цепочек мелких кристалликов или на контакте породообразующих минералов (кварца и полевых шпатов).

4. Сростки с другими минералами: галенитом, халькопиритом, сфалеритом (рис. 3, А). Наиболее часто отмечаются сростки с галенитом.

5. Формы замещения титансодержащих железистых минералов (см. рис. 3, Б–Г). Пирит наблюдается во вмещающих породах в виде зёрен, расположенных по краям выделений (см. рис. 3, Б) титансодержащих минералов (рутила, сфена). При условии более интенсивного замещения описываемый пирит образует скелетообразные зернистые агрегаты с остатками рутила (см. рис. 3, В). Кроме того, встречаются овальные скопления мелких зёрен (см. рис. 3, Г).

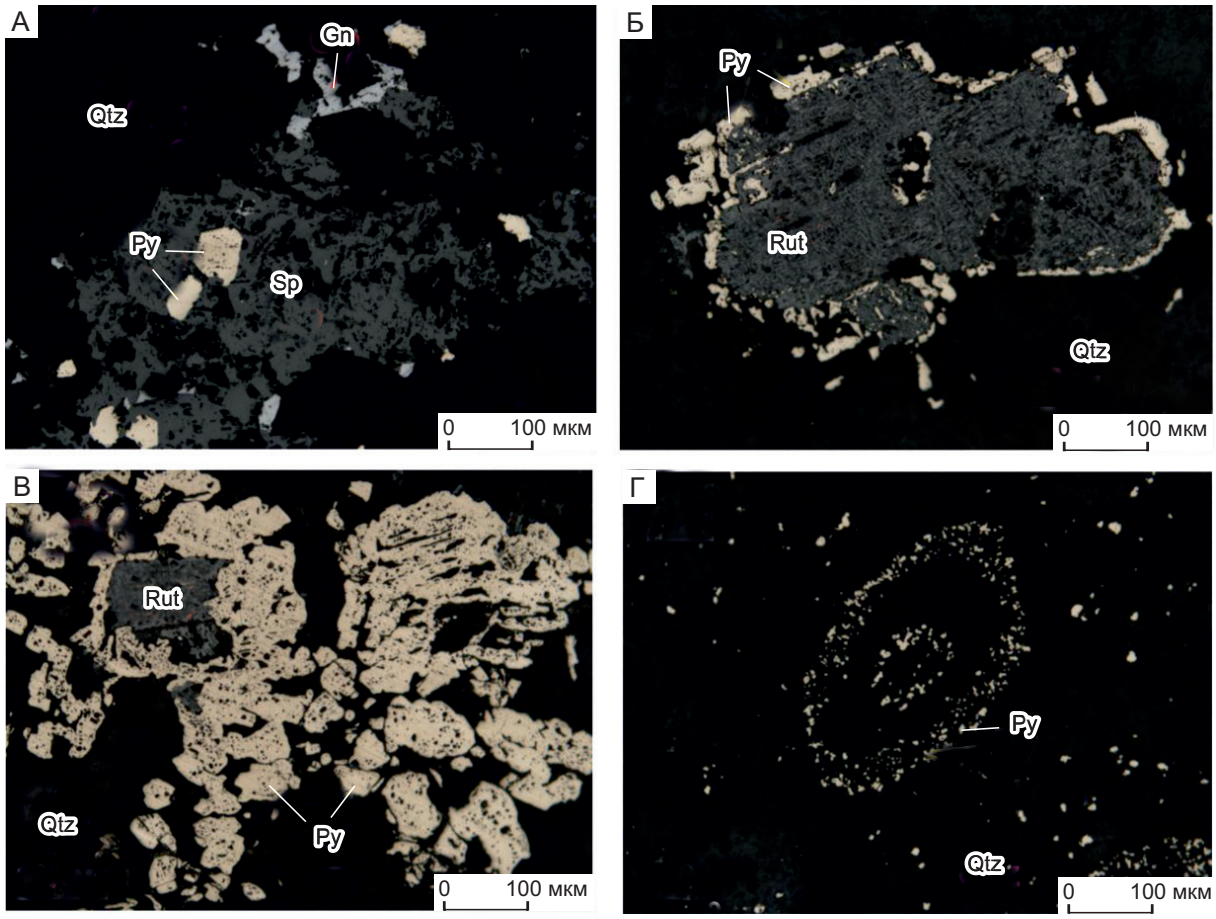


Рис. 3. Выделения пирита:

А – сросток пирита с галенитом и сфалеритом; Б – пирит, расположенный по краю рутилового агрегата; В – зернистый агрегат пирита с остатками рутила; Г – тонкозернистый агрегат пирита в виде «кругов»; Py – пирит, Qtz – кварц, Gn – галенит, Sp – сфалерит, Rut – рутил

6. Корродированные формы. Пирит нередко сильнотрещиноватый, иногда встречаются интенсивно «раздробленные» кристаллы. Трещины в пирите часто заполнены минералами благородных металлов, местами содержат включения и прожилковидные выделения акантита (рис. 4, А) и самородного серебра. Иногда акантит замещает пирит (см. рис. 4, Б) и заполняет пустоты в нём (см. рис. 4, В). Наблюдаются признаки регенерации пирита – обрастания зёрен каймой следующей генерации. Кроме того, пирит образует кристаллы корродированной кубической формы либо их сростки, а также корродированные пентагондодекаэдры (см. рис. 4, Г).

Минералы благородных металлов в пирите. В кристаллах пирита часто наблюдаются включения акантита размером более 10 мкм, которые занимают пустоты (см. рис. 4, В). Вероятно, они были захвачены в процессе роста кристалликов пирита. Нередко акантит также присутствует в кристаллах халькопирита и галенита, обрастает их в виде каёмок, корродирует эти минералы, иногда выполняет промежутки между зёрнами кварца.

Химический состав включений акантита в пирите, определённый микрозондовым методом, несколько искажает истинное соотношение элементов из-за влияния компонентов вмещающего пирита (особенно Fe и S), однако даёт вполне достоверное представление о диагностике данного минерала (табл. 1).

Кроме того, нередко в пирите присутствуют микровключения акантита размером менее 10 мкм.

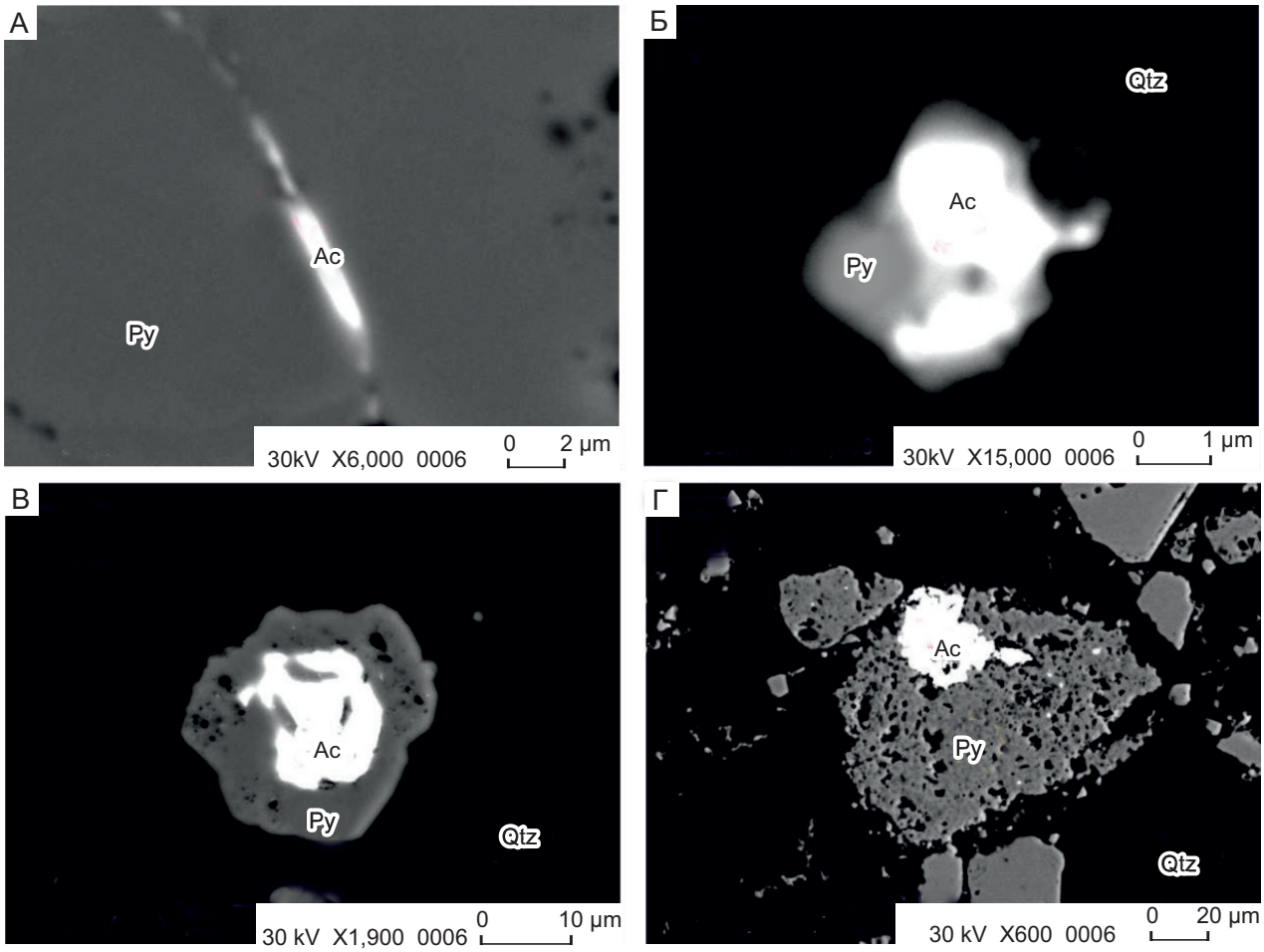


Рис. 4. Акантит в пирите:

А – акантит в трещине пирита; Б – замещение пирита акантитом; В – акантит в пирите; Г – акантит в корродированном пирите; Py – пирит, Qtz – кварц, Arg – акантит

Они обычно имеют неправильную или удлинённую, нередко овальную форму, приурочены к микротрещинам, а также встречаются на контактах зёрен кварца и пирита (см. рис. 4, А). Их диагностика представляет определённые трудности в связи с тем, что основными определяемыми микрозондовым методом элементами являются Fe и S, то есть компоненты матричного пирита. Поэтому диагностика таких включений производилась на основе определения содержаний только двух элементов – Au и Ag. Во всех случаях, кроме одного, из этих элементов во включениях было обнаружено только серебро, что позволяет сделать однозначный вывод о принадлежности включения к акантиту.

Исключением является один анализ, в котором наряду с серебром обнаружено также золото (рис. 5) в соотношении Au:Ag = 1:1,4. Данное включение может быть диагностировано как электрум или кюстелит, возможными вариантами являются также сульфиды Ag и Au (например, петровскаит или ютенбогардтит).

На контактах зёрен пирита и халькопирита встречаются минералы золота, представленные электрумом. Форма обнаруженных золотин чаще всего близка к изометричной, обычно округлая, но присутствуют и удлинённые выделения.

Размер золотин достигает 0,7 мм, но, как правило, колеблется в пределе 1–20 мкм, существуют и более мелкие разности. Нередко наряду с зёрнами

1. Химический состав включений акантита в пирите

Элемент	1	2	3	4	5	6
Fe	0,60	1,14	1,81	1,05	6,69	4,40
S	9,52	9,74	12,69	10,98	15,54	13,41
As	0,63					
Ni						0,09
Co						
Zu		0,13		0,14		0,55
Cu	0,27		0,17			
Hg		0,28				0,24
Bi						0,54
Pb				0,64		0,48
Au	0,45					
Ag	88,53	88,70	84,94	87,19	77,77	76,68
Cd						3,61
Se			0,39			

Примечание. 1–6 – номера выполненных анализов.

размером около 10 мкм «распылены» субмикроскопические частицы, в составе которых присутствуют Au и Ag.

Генерации пирита. Анализ взаимоотношений различных форм нахождения пирита с другими минералами позволил выделить следующие его генерации.

Пирит-1 (первая генерация) представлен зёрнами, расположенными по краям выделений титансодержащих минералов (рутила, сфена). Они распространены во вмещающих породах. Часто встречаются кольцеобразные гнёзда (рис. 6, А).

Пирит-2 (вторая генерация) дорудного комплекса присутствует в виде тонко- и мелковкрапленных скоплений в обломках окварцованных пород. Пирит образует идиоморфные и гипидиоморфные зёрна, вкрапленные во вмещающую породу. Они отчётливо выделяются по характерным прямоугольным и пятиугольным сечениям.

Пирит-3 (третья генерация) раннего рудного комплекса имеет разнообразные формы выделений.

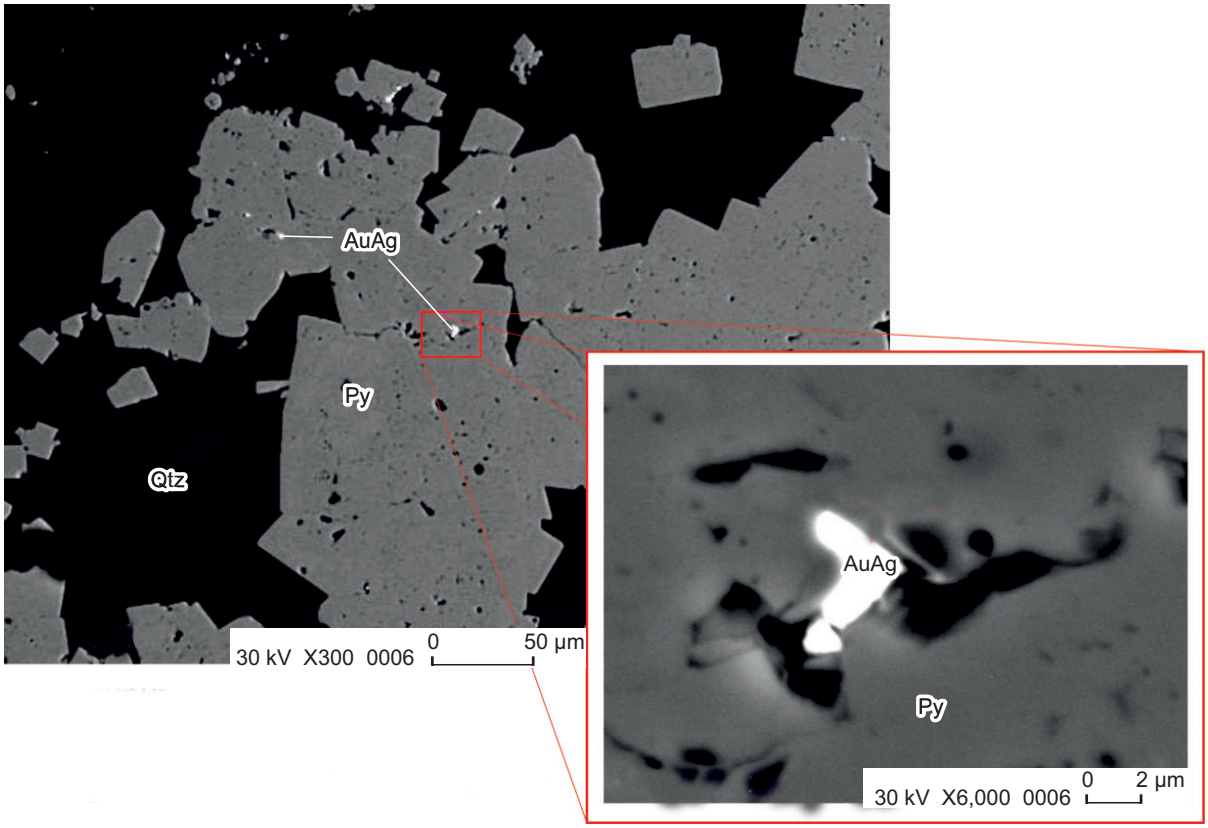


Рис. 5. Высокосеребристое золото в пирите:

Py – пирит, Qtz – кварц, AuAg – высокосеребристое золото

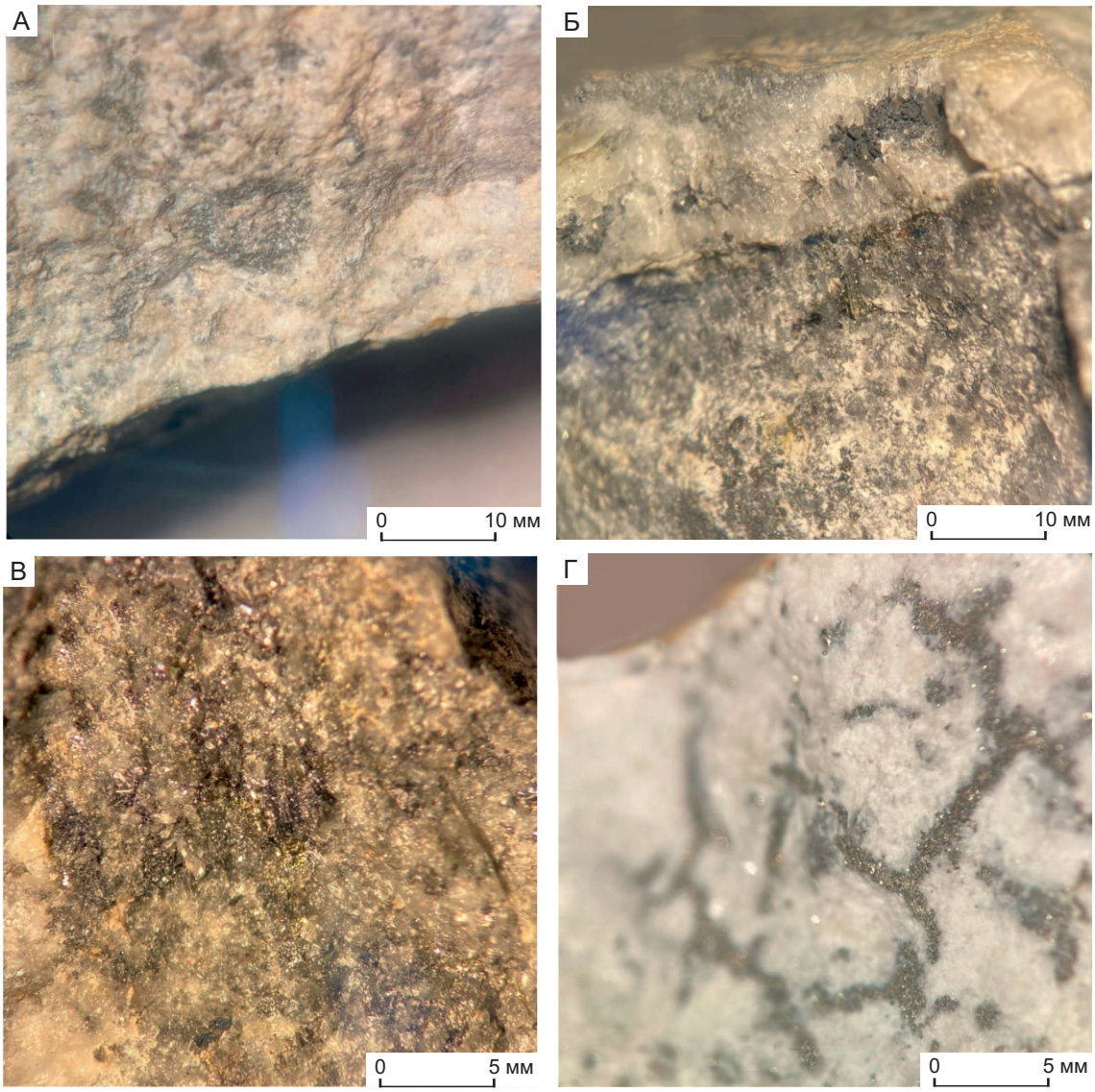


Рис. 6. Генерации пирита:

А – кольцеобразные гнёзда пирита; Б – вкрапленники пирита и галенита в прожилке; В – сростки пирита и галенита; Г – трещины, заполненные пиритом

Как правило, представлен он бластозёрнами с ситовидным сетчатым строением, расположенными по прожилкам (см. рис. 6, Б). Характерны как мономинеральные агрегаты, так и сростки с халькопиритом, сфалеритом и галенитом (см. рис. 6, В). В прожилках отмечен мелкозернистый пирит и халькопирит в тесном срастании с галенитом. Прожилковидные выделения галенита вторичны по отношению к данной генерации пирита и секут его. Пустоты в пирите выполнены вмещающей породой, реже галенитом и крайне редко сфалеритом. Иногда пирит является цементом, заполняя трещины и пустоты во вмещающей породе (см. рис. 6, Г).

Более поздние генерации развиты лишь на отдельных участках месторождения. Их описание даётся с использованием материалов производственных отчётов В. П. Шабалина, В. П. Худоногова.

Пирит-4 (четвёртая генерация) более позднего рудного комплекса отмечается в кварцевых жилах в виде бедной, неравномерно рассеянной мелкой

и тонкой вкрапленности идиоморфных и неправильных мономинеральных зёрен, реже кристаллических сростков. Иногда образует быстро выклинивающиеся послойные тонковкрапленные скопления.

Пирит-5 (пятая генерация) пострудного комплекса отмечается в более поздних минеральных образованиях (кварц-карбонатных жилах и брекчиях). Наряду с редкой рассеянной, преимущественно тонкой вкрапленностью иногда отмечаютсяболее заметные локальные скопления пирита, в том числе в виде умеренной вкрапленности относительно более крупных кристаллов, преимущественно пентагон-додекаэдрической формы.

Наиболее распространёнными генерациями на месторождении являются пирит-2 и пирит-3.

Стадийность рудообразования. Тема стадийности минералообразования в пределах Амгуэмо-Канчаланской металлогенической зоны рассматривалась в научных работах [3, 4, 9] и производственных отчётах по данной территории. Анализ результатов исследований, а также полевые наблюдения и комплексный подход к изучению минерального состава пород и руд и их взаимоотношений друг с другом позволили представить схему очерёдности осаждения рудных минералов в пределах месторождения Жильное, которая включает не менее 6 стадий (табл. 2).

Первая стадия – *постмагматическая* – характеризуется гидротермальными преобразованиями титансодержащих железистых минералов. Формируется пирит первой генерации за счёт титаномагнетита или ильменита, образующего с магнетитом структуры распада твёрдых растворов. Железо выделяется в виде пирита, а титан – в виде рутила и сфена. Пирит наблюдается во вмещающих породах в виде зёрен, расположенных по краям рутиловых агрегатов.

Данные образования обнаружены только в образцах месторождения Жильное. По-видимому, это связано с глубоким эрозионным срезом.

Вторая стадия – *предрудная метасоматическая* – характеризуется хлорит-гидрослюдисто-кварцевым метасоматозом. В эту стадию были образованы типичные кварц-адуляровые жилы и прожилки разнообразной морфологии с широким распространением брекчий, в том числе и эксплозивных. Формирование их сопровождалось пропилитизацией, то есть хлорит-эпидотовыми изменениями пород в околожильном пространстве, что хорошо согласуется с достаточно высокой температурой их образования (до 350 °С), судя по результатам микротермометрических исследований флюидных включений в кварцах [4]. На этой стадии образовались единичные кристаллы пирита второй генерации, как правило, кубической формы. На месторождении стадия представлена наиболее полно и широко, в последующем на неё накладываются продуктивные стадии.

Третья стадия – *серебро-сульфидно-полиметаллическая (продуктивная)* – характеризуется образованием сульфидной рудной минерализации. Вначале происходит неоднократное дробление жил с отложением преимущественно тонкопрожилковой рудной минерализации, и отлагаются сульфиды (пирит третьей генерации, сфалерит, халькопирит, галенит), затем минералы благородных металлов (акантит, полибазит, электрум). Принадлежность минералов благородных металлов к данной стадии подтверждается исследованиями химического состава пирита цемента брекчий – во всех зёрнах присутствует серебро, в единичных случаях было обнаружено золото.

Руды серебро-сульфидно-полиметаллической стадии в пределах Амгуэмо-Канчаланской металлогенической зоны, как правило, представлены мелкозернистыми кварц-адуляровыми жилами с тонкими, нитевидными прожилками и просечками рудных минералов [3, 4]. Высокий показатель Ag/Au (более 50) характерен для руд этой стадии. С этим периодом связано формирование серебряно-золотого оруденения месторождения Жильное.

На флангах месторождения, где эрозионный срез менее глубокий, встречаются образования четвёртой *(золото-серебро-сульфосолевая)* и пятой *(кальцит-флюоритовая)* стадий. Данные стадии также являются продуктивными, однако их вклад в формирование оруденения незначительный.

Четвёртая стадия – *золото-серебро-сульфосолевая* – характеризуется образованием электрума, в составе которого преобладает золото, при значительно меньшем количестве акантита и серебросодержащих сульфосолей, а также самородного серебра, Sb и Se- содержащими сульфосолями и амальгамами Ag и Au [3, 9, 10, 13]. Стадия имеет очевидный реювенационный характер, то есть формировалась в результате разрушения и переотложения рудных образований третьей стадии, что не исключает возможности дополнительного

2. Стадийность формирования рудных минералов месторождения Жильное

Минерал	Процесс					
	Гидротермальный					Экзогенный
	Дорудный		Рудный			
	Стадии					
	Постмагматическая	Предрудная метасоматическая	Серебро-сульфидно-полиметаллическая	Золото-серебро-сульфосолевая	Кальцит-флюоритовая	
Пирит	———	———	▬▬	——	——	
Магнетит	———					
Рутил	———					
Сфен	———					
Марказит			------			
Арсенопирит			------			
Сфалерит			———			
Халькопирит			———			
Галенит			———			
Акантит			▬▬	-----	-----	
Полибазит			———	-----		
Минералы системы Au-Ag			—	----	----	
Гидроксиды железа						▬▬

Примечание. Минерал: ▬▬ – главный, —— – второстепенный, ----- – редкий.

привноса гидротермальными растворами благородных металлов и других элементов: ртуть, селен, сурьма и др. В любом случае при пространственном их совмещении отмечается появление бонанцовых рудных интервалов с высоким содержанием золота.

Для стадии характерны типичные для эпитермальных месторождений колломорфно-полосчатые и параллельно-зональные текстуры [21–23], низкие значения индикаторного отношения Ag/Au, главным образом 10–50, то есть доминирование золота в рудах, а также появление проб (локальных интервалов) с высокими содержаниями золота (более 100 г/т). Рудные образования этой стадии слабо развиты в пределах месторождения Жильное, однако они являются доминирующими в пределах Амгуэмо-Канчаланской металлогенической зоны.

Кальцит-флюоритовая стадия характеризуются образованием карбонат-кварцевых, флюорит-карбонат-кварцевых жил и прожилков, появление которых связывают [3] с очередным тектоническим импульсом. В ходе данного процесса не происходят заметные преобразования рудных минералов, так как содержащаяся в кальците рудная минерализация (пирит, сфалерит, иногда электрум), вероятно, являются реликтовыми, а не продуктами переотложения. Однако среди минералогических типов гидротермальных образований месторождения Жильное наиболее высокие содержания серебра и золота (в среднем соответственно 275,7 и 1,16 г/т) фиксируются именно

3. Преобразование минерального состава в результате криогенеза

Минерал	Содержание, мас.%		
	Исходный состав	Состав в результате промораживания-оттаивания	Разница
Пирит	77	28	-49
Сфалерит	2	1	-1
Марказит	10	3	-7
Халькопирит	3	1	-2
Магнетит	8	8	0
Гидроксиды	0	59	+59
Сумма	100	100	

в кальцит-кварцевых жилах. Не исключено, что гидротермальные растворы данной стадии также привносили благороднометалльную минерализацию.

Шестая стадия – *гипергенная* – характеризуется образованием гидроксидов железа как продуктов окисления пирита. Гипергенные изменения руд на месторождении Жильное проявлены относительно слабо. Вода в ручье, размывающем рудную зону, имеет бурую окраску. Таким образом, бурожелезняковые образования (коры выветривания, ржавые выделения, кирасы) могут рассматриваться в качестве косвенного поискового признака на оруденение в пределах изучаемой территории и других районах Северо-Востока России [5, 7, 6].

Преобразование пирита. Нами был проведён эксперимент по промораживанию-оттаиванию рудных минералов месторождения Жильное, моделирующий характерные особенности климата и их влияние на гипергенную стадию минералообразования на данной территории. В результате длительного воздействия агентов выветривания минеральный состав концентрата значительно изменился (табл. 3). По данным рентгенофлюоресцентного анализа, процентное содержание сульфидов заметно сократилось (в %): пирита – на 49, марказита – на 7, халькопирита – на 2, сфалерита – на 1. Количество магнетита осталось неизменным. Пирит является наименее устойчивым в гипергенных условиях минералом месторождения. Произошло массовое образование гидроксидов железа, содержание которых после 8 циклов промораживания-оттаивания составило более 50 %.

Образовавшиеся в ходе эксперимента гидроксиды железа представлены следующими морфологическими группами (рис. 7).

1. Псевдоморфозы по сульфидным минералам (пирит, сфалерит, марказит, халькопирит, магнетит). Окраска, как правило, ярко-бурая, красновато-бурая (см. рис. 6, В, Г). Представлены натёчно-почковидными агрегатами, часто образуют рыхлые и комковатые скопления, иногда плотные массы. Данные образования цементируют мелкие зёрна сульфидов, в результате чего образуются агрегаты размером более 1 мм.

2. Агрегаты тёмно-бурого цвета. Разрушаются при надавливании иглой.

3. Железистые плёнки и налёты. Окраска, как правило, буровато-чёрная. Местами плёнки прозрачные. Иногда налёты полностью капсулируют мелкие минералы [12, 20]. В них могут содержаться минералы благородных металлов как наиболее устойчивые к гипергенным процессам [11].

Заключение. На месторождении Жильное формы нахождения пирита достаточно разнообразны: одиночные кристаллы (куб и пентагон-додекаэдр), зёрна округлой формы, сплошные зоны пиритизации, сростки с другими минералами. Широкое развитие форм замещения и корродированных форм говорит о многостадийной минерализации, которая развивалась в тесной связи с гидротермальным процессом.

Пирит является самым распространённым рудным минералом на месторождении и сквозным минералом в рудно-формационном процессе, поскольку входит в состав генетически разнородных комплексов минералообразования. Всего выделены

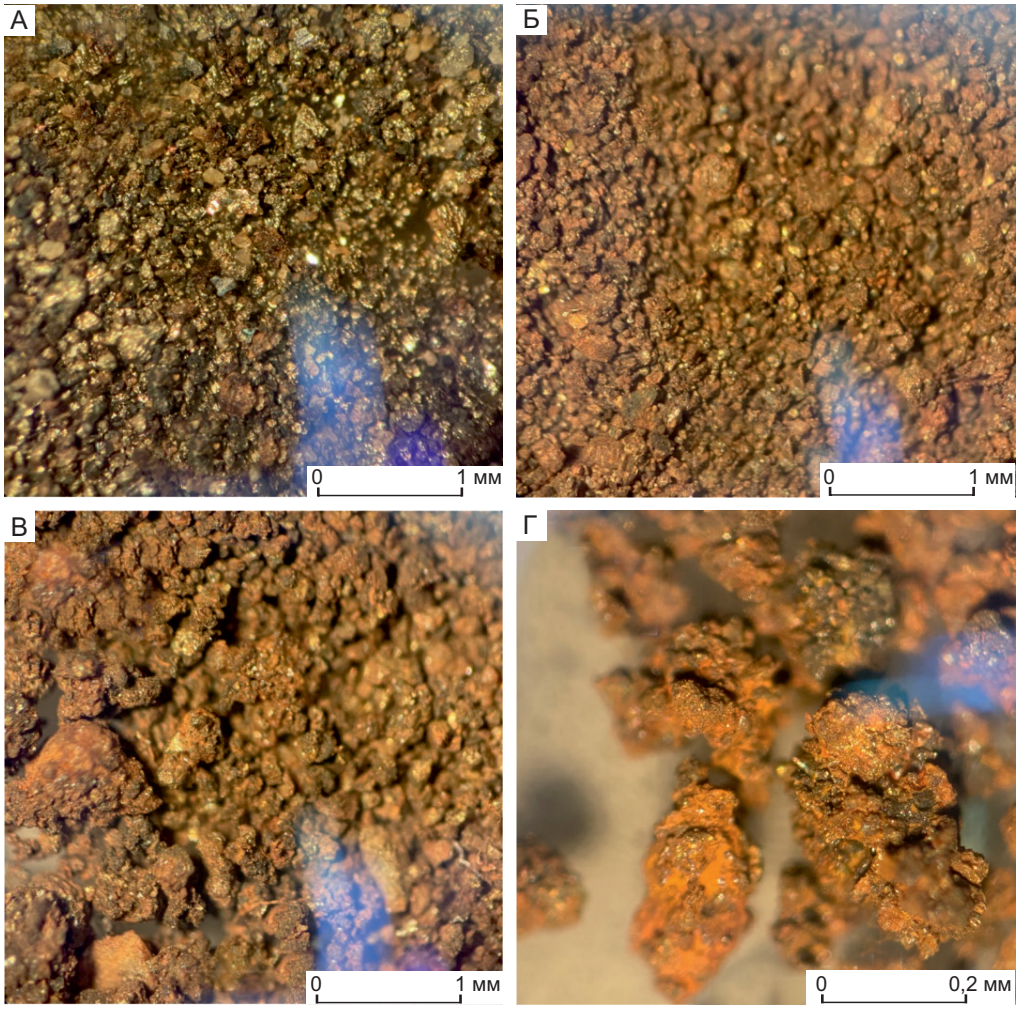


Рис. 7. Внешний вид исходных и преобразованных концентратов сульфидов:

А – исходный состав концентрата; Б – изменённый состав; В, Г – сцементированные железистым цементом сульфиды

пять генераций пирита. По результатам микроскопических исследований было продемонстрировано, что третья генерация пирита (пирит-3) связана с благороднометалльной минерализацией. Формы выделений пирита-3 разнообразны: идиоморфные и неправильные зёрна без выраженных кристаллических ограничений, кристаллические сростки и тонкозернистые выделения. Среди очень тонких вкрапленных скоплений пирита, обычно приуроченных к обломкам окварцованных пород, часто наблюдаются округлые формы метаколлоидного происхождения. Именно зёрна пирита третьей генерации часто бывают корродированы. Пустоты и трещины в кристаллах нередко заполнены акантитом.

На месторождении Жильное, в отличие от других известных объектов Амгуэмо-Канчаланской зоны, в химическом составе минералов благородных металлов доминирует серебро. Вероятно, руды месторождения Жильное и других объектов (Валунистое, Горное) были сформированы на различных стадиях минералообразования. До сих пор в большинстве фондовых материалов существовали представления об одной (золото-серебро-сульфосолевой) продуктивной стадии минералообразования в пределах металлогенической зоны.

Анализ результатов геологоразведочных работ на территории месторождения Жильное и материалов минералого-петрографического изучения отобранных образцов позволил авторам данного

исследования выделить три продуктивные стадии минералообразования. Кроме того, было установлено широкое развитие полисульфидной минерализации, которая характерна для объектов с глубоким эрозионным срезом.

Серебряно-золотые руды (серебряно-золотое отношение более 50) месторождения Жильное были сформированы на серебро-сульфидно-полиметаллической стадии минералообразования. Кварц-сульфидные жилы и брекчии данной стадии играют роль коллектора оруденения, на них местами накладывались последующие (золото-серебро-сульфосолевая и кальцит-флюоритовая) стадии минералообразования. Данные стадии слабо развиты в пределах месторождения, что объясняется глубоким эрозионным срезом.

Наиболее значительное преобразование пирита происходит на гипергенной стадии, для которой характерна дезинтеграция пирита с формированием гидроксидов железа. Таким образом, интенсивность преобразования пирита в настоящее время обусловлена криогенными процессами. Сформированные на территории бурожелезняковые образования несут признаки рудной минерализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белый В. Ф.* Геология Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1994. – 76 с.
2. *Волков А. В., Гончаров В. И., Сидоров А. А.* Месторождения золота и серебра Чукотки. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2006. – 221 с.
3. *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. 107–133.
4. *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.
5. *Голдырев В. Н.* Прогнозирование и поиск золотого оруденения в Амгуэмо-Канчаланской металлогенической зоне (Чукотка) // Вестник Пермского университета. Геология. – 2022. – Т. 21, № 1. – С. 72–89.
6. *Голдырев В. Н., Артемов А. Л., Заводов А. В., Коротаев В. С.* Аргиллизированные породы как критерий прогнозирования золотого оруденения в пределах рудного поля Кумроч (Центральная Камчатка) // Аэрокосмические методы в геологии : сборник научных статей IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / Под ред. И. С. Копылова. – Пермь : ПГНИУ, 2022в. – С. 103–111.
7. *Голдырев В. Н., Наумов В. А., Хусаинова А. Ш.* Бурожелезняковые образования – косвенный поисковый признак золотой эпитермальной минерализации // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. – 2022б. – № 25. – С. 46–54.
8. *Голдырев В. Н., Осовецкий Б. М., Наумов В. А.* Золотоносные эксплозивные брекчии месторождения Жильное (Чукотка) // Металлогения древних и современных океанов. – 2022а. – Т. 28. – С. 129–133.
9. *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.
10. *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.
11. *Наумов В. А.* Минерагения, техногенез и перспективы комплексного освоения золотоносного аллювия : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. д-ра геол.-минерал. наук / Наумов Владимир Александрович. – Пермь : Пермский государственный университет, 2010. – 42 с.
12. *Наумов В. А., Хусаинова А. Ш.* Влияние сезонного промораживания и прогревания сульфидов на частицы золота в техногенно-минеральных образованиях // Цветные металлы и минералы : сборник докладов IX междунар. конгресса. – Красноярск : Научно-инновационный центр, 2017. – С. 942–951.
13. *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.
14. *Округин В. М., Яблокова Д. А., Андреева Е. Д.* Новые данные о пирите современных и палеогидротермальных систем Камчатского края // Материалы ежегодной конференции, посвящённой Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». –

Петропавловск-Камчатский : ИВиС ДВО РАН, 2014. – С. 324–329.
15. *Полин В. Ф.* Петрология контрастной серии Амгуэмо-Канчаланского вулканического поля Чукотки. – Владивосток : ДВО АН СССР, 1990. – 228 с.
16. *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.
17. *Сахно В. Г., Полин В. Ф., Акинин В. В., Сергеев С. А., Аленичева А. А., Тихомиров П. Л., Молл-Столкап Е. Дж.* Разновременность формирования Амгуэмо-Канчаланского и Энмываамского вулканических полей ОЧВП по данным изотопного датирования // ДАН. – 2010. – Т. 434, № 2. – С. 365–371.
18. *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.
19. *Стружков С. Ф.* Провинция Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Золоторудные месторождения России. – М. : Акварель, 2010. – С. 213–242.
20. *Хусаинова А. Ш.* Поведение золота в техногенно-минеральных образованиях месторождений золото-сульфидного типа. : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Хусаинова Альфия Шамилевна. – Новосибирск : ИГМ СО РАН, 2020. – 19 с.
21. *Hedenquist J. W., Browne P. R. Allis R. G.* Epithermal gold mineralization. – New Zeland : Wairakei,. 1988. – 169 p.
22. *Simmons F. A., White N. C., John D. A.* Geological Characteristics of Epithermal Precious and Base Metal Deposits // Economic Geology. – 2005. – 100th Anniversary Volume. – P. 485–522.
23. *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 vulkanogennogo poyasa [Geology of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt], Magadan, SVKNII DVO RAN publ., 1994, 76 p. (In Russ.)
2. *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.)
3. *Volkov A. V., Prokof'yev V. Yu., Vinokurov S. F.* et al. Epitermal'noye Au-Ag mestorozhdeniye Valunistoye (Vostochnaya Chukotka, Rossiya): geologicheskoye stroyeniye, mineralogo-geokhimicheskiye osobennosti i usloviya rudoobrazovaniya [Epithermal Au-Ag deposit Valunistoye (Eastern Chukotka, Russia): geological structure, mineralogical and geochemical features and conditions of ore formation]. Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 2020, V. 62, No. 2, pp. 107–133. (In Russ.)
4. *Volkov A. V., Prokof'yev V. Yu., Sidorov A. A.* et al. Usloviya formirovaniya epitermal'noy Au-Ag mineralizatsii Amguemo-Kanchalanskogo vulkanicheskogo polya (Vostochnaya Chukotka) [Conditions for the 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.)
5. *Goldyrev V. N.* Prognozirovaniye i poisk zolotogo orudeneniya v Amguemo-Kanchalanskoy metallogenicheskoy zone (Chukotka) [Forecasting and prospecting for gold mineralization in the Amguemo-Kanchalan metallogenic zone (Chukotka)]. Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya, 2022, V. 21, No. 1, pp. 72–89. (In Russ.)
6. *Goldyrev V. N., Artemov A. L., Zavodov A. V., Korotayev V. S.* Argillizirovannyye porody kak kriteriy prognozirovaniya zolotogo orudeniya v predelakh rudnogo polya Kumroch (Tsentral'naya Kamchatka) [Argillized rocks as a criterion for predicting gold mineralization within the Kumroch ore field (Central Kamchatka)]. Aerokosmicheskiye metody v geologii, sbornik nauchnykh statey IV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, Perm', PGNIU publ., 2022, pp. 103–111. (In Russ.)
7. *Goldyrev V. N., Naumov V. A., Khusainova A. Sh.* Burozheleznyakovyye obrazovaniya – kosvennyy poiskovyy priznak zolotoy epitermal'noy mineralizatsii [Brown-iron formations are an indirect search sign of epithermal gold mineralization]. Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii. Nauchnyye chteniya pamyati P. N. Chirvinskogo, 2022, No. 25, pp. 46–54. (In Russ.)
8. *Goldyrev V. N., Osovetskiy B. M., Naumov V. A.* Zolotonosnyye eksplozivnyye brekchii mestorozhdeniya Zhil'noye (Chukotka) [Gold-bearing explosive breccias of the Zhilnoye deposit (Chukotka)]. Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov, 2022, V. 28, pp. 129–133. (In Russ.)
9. *Yelmanov A. A., Prokof'yev V. Yu., Volkov A. V., Sidorov A. A., Voskresenskiy K. I.* Pervyye dannyye ob usloviyakh formirovaniya Ag-Ag epitermal'noy mineralizatsii mestorozhdeniya Zhil'noye (Vostochnaya

Chukotka) Rossiya [First data on the formation conditions of Ag-Ag epithermal mineralization of the Zhilnoye deposit (Eastern Chukotka) Russia]. DAN, 2018, V. 480, No. 6, pp. 693–697. (In Russ.)
10. *Zhuravkova T. V., Pal'yanova G. A., Kalinin Yu. A., Goryachev N. A., Zinina V. Yu.* Fiziko-khimicheskiye usloviya obrazovaniya mineral'nykh paragenezisov zolota i serebra na mestorozhdenii Valunistoye (Chukotka) [Physical and chemical conditions for the formation of gold and silver mineral paragenesis at the Valunistoye deposit (Chukotka)]. Geologiya i geofizika, 2019, V. 60, No. 11, pp. 1565–1576. (In Russ.)
11. *Naumov V. A.* Minerageniya, tekhnogenez i perspektivy kompleksnogo osvoyeniya zolotonosnogo allyuviya [Minerageny, technogenesis and prospects for the in-tegrated development of gold-bearing alluvium]. Perm', Permskiy gosudarstvennyy universitet publ., 2010, 42 p. (In Russ.)
12. *Naumov V. A., Khusainova A. Sh.* Vliyaniye sezonnogo promorazhivaniya i progrevaniya sul'fidov na chastitsy zolota v tekhnogenno-mineral'nykh obrazovaniyakh [Influence of seasonal freezing and heating of sulfides on gold particles in technogenic mineral formations]. Krasnoyarsk, Nauchno-innovatsionnyy tsentr publ., 2017, pp. 942–951. (In Russ.)
13. *Novoselov K. A., Kotlyarov V. A., Belogub Ye. V.* Sul'foselenid serebra iz rud Valunistogo zoloto-serebryanogo mestorozhdeniya (Chukotka) [Silver sulfoselenide from ores of the Valunisty gold-silver deposit (Chukotka)]. Zap. RMO, 2009, Ch. 138, Is. 6, pp. 56–61. (In Russ.)
14. *Okrugin V. M., Yablokova D. A., Andreyeva Ye. D.* Novyye dannyye o pirite sovremennykh i paleogidrotermal'nykh sistem Kamchatskogo kraya [New data on pyrite of modern and paleohydrothermal systems of the Kamchatka region], Petropavlovsk-Kamchatskiy, IViS DVO RAN publ., 2014, pp. 324–329. (In Russ.)
15. *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.)
16. *Savva N. Ye., Kolova Ye. Ye., Fomina M. I.* et al. Zolotopolimetallicheskoye orudeneniye v eksplozivnykh brekchiyakh: mineralogo-geneticheskiye aspekty (mestorozhdeniye Sentyabr'skoye, SV, Chukotka) [Gold-polymetallic mineralization in explosive breccias: mineralogical and genetic aspects (Sentyabrskoye de-posit, SV, Chukotka)]. Vestnik SVNTS DVO RAN, 2016, No. 1, pp. 16–36. (In Russ.)
17. *Sakhno V. G., Polin V. F., Akinin V. V., Sergeyev S. A., Alenicheva A. A., Tikhomirov P. L., Moll-Stolkap Ye. Dzh.* Raznovremennost' formirovaniya Amguemo-Kanchalanskogo i Enmyvaamskogo vulkanicheskikh poley OCHVP po dannym izotopnogo datirovaniya [OChVB volcanic fields according to isotope dating]. DAN, 2010, V. 434, No. 2, pp. 365–371. (In Russ.)
18. *Sidorov A. A., Sidorov V. A., Volkov A. V.* Zolotonosnyye eksplozivnyye brekchii shtoka Vanin – novyy tip orudeneniya 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.)
19. *Struzhkov S. F.* Provintsiya Okhotsko-Chukotskogo vulkanogennogo poyasa [The province of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt]. Zolotorudnyye mestorozhdeniya Rossii, Moscow, Akvarel' publ., 2010, pp. 213–242. (In Russ.)
20. *Khusainova A. Sh.* Povedeniye zolota v tekhnogenno-mineral'nykh obrazovaniyakh mestorozhdeniy zoloto-sul'fidnogo tipa [Behavior of gold in technogenic-mineral formations of deposits of gold-sulfide type], Novosibirsk, IGM SO RAN publ., 2020, 19 p. (In Russ.)
21. *Hedenquist J. W., Browne P. R. Allis R. G.* Epithermal gold mineralization, New Zeland, Wairakei publ., 1988, 169 p.
22. *Simmons F. A., White N. C., John D. A.* Geological Characteristics of Epithermal Precious and Base Metal Deposits. Economic Geology, 2005, 100th Anniversary Volume, pp. 485–522.
23. *Sowkins F. J.* Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics. 2-d Revised, Berlin, Springer Verlag publ, 1990, 461 p.

Статья поступила в редакцию 20.04.23; одобрена после рецензирования 15.06.23; принята к публикации 15.06.23.
The article was submitted 20.04.23; approved after reviewing 15.06.23; accepted for publication 15.06.23.

DOI:10.47765/0869-7175-2023-10015

УДК 549:535.5(470.64)
© Д. А. Петроченков, Е. Ю. Барабошкин, 2023

Минеральный состав, геммологические характеристики интерьерных и ювелирно-поделочных аммонитов Республики Кабардино-Балкария

В статье впервые представлены результаты изучения аммонитов Республики Кабардино-Балкарии в качестве полезного ископаемого – ювелирно-поделочного сырья. Аммониты связаны с отложениями нижнего апта и встречаются в мергелистых конкрециях.

Комплекс исследований аммонитов включал определение плотности, микротвёрдости, люминесценции, минерального и химического состава, оптико-петрографические и электронно-зондовые исследования. Аммониты состоят преимущественно из кальцита (около 85 мас.%). В них установлены минеральные примеси: арагонит, кварц, иллит, каолинит, микроклин, альбит, хлорит, анатаз, пирит, доломит, апатит. Из элементов-примесей фиксируются повышенные содержания Sr и Ba. Стенки и перегородки раковин выполнены преимущественно кальцитом, фрагментарно сохраняется и арагонит.

Аммониты характеризуются широким диапазоном размеров, высокой декоративностью, положительными технологическими и экологическими характеристиками, позволяющими изготавливать широкий ассортимент интерьерных и ювелирных изделий. Сбор аммонитов проводится в долинах рек без горных выработок, что не требует значительных финансовых затрат и не нарушает экологию среды.

Ключевые слова: аммонит, ювелирные и поделочные материалы, отложения апта, Республика Кабардино-Балкария.

ПЕТРОЧЕНКОВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой[1], p-d-a@mail.ru

БАРАБОШКИН ЕВГЕНИЙ ЮРЬЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, профессор[2], barabosh@geol.msu.ru

[1] Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва

[2] Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (МГУ), г. Москва

The mineral composition and gemological characteristics of decorative-interior and jewelry-ornamental ammonites from the Republic of Kabardino-Balkaria

D. A. PETROCHENKOV[1], E. Yu. BARABOSHKIN[2]

[1] Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow

[2] Lomonosov Moscow State University

The article first presents results of a study of fossil ammonites from the Republic of Kabardino-Balkaria as a mineral resource – a jewelry and ornamental raw material. The ammonites are associated with Lower Aptian deposits and are encountered within marly concretions.

The complex of the study of the ammonites included determination of the density, microhardness, luminescence, and mineral and chemical composition; the optical-petrographic and electron-probe investigations. The ammonites mainly consist of calcite (about 85 % by weight). They contain mineral impurities: aragonite, quartz, illite, kaolinite, microcline, albite, chlorite, anatase, pyrite, dolomite, and apatite. Their impurity elements are represents by Sr and Ba in increased concentration. The walls and septa of the shells are made mainly of calcite, aragonite partly preserved as well.

The ammonites are characterized by a wide range of the sizes, high decorativeness, good technological and environmental characteristics, which make it possible to manufactor a diverse range of interior articles and jewelry. The ammonite collecting is carried out in river valleys without mining workings, which does not require significant financial costs and does not violate the environment.

Key words: ammonite, jewelry and ornamental materials, Aptian deposits, Republic of Kabardino-Balkaria.

Аммониты как поделочный и ювелирный материал входят в группу гидрогенных биоминеральных образований [1]. Аммониты характеризуются разнообразием цветовых оттенков, форм и размеров, структурными и текстурными особенностями внутреннего строения, положительными технологическими характеристиками, что позволяет изготавливать широкий спектр сувенирных и ювелирных изделий. Важным фактором является распространённость аммонитов и доступность их добычи [4–8].

Аммониты высокой декоративности, с положительными технологическими характеристиками, не уступающими зарубежным аналогам, известны в различных регионах России [4–8]. Тем не менее аммониты в России в настоящее время законодательно не рассматриваются в качестве полезного ископаемого – ювелирно-поделочного материала. В результате перспективные объекты детально не изучаются, их оценка в качестве месторождений не осуществляется, а сами аммониты как вид полезного ископаемого остаются неизученными. Сбор аммонитов проводится преимущественно стихийно, в незначительном количестве коллекционерами и индивидуальными предпринимателями. Основной объём аммонитов интерьерного и ювелирно-поделочного качества, в том числе с уникальными декоративными характеристиками, безвозвратно утрачивается.

В Республике Кабардино-Балкария в настоящее время проводится сбор аммонитов в небольших объёмах в качестве интерьерных образцов и поделочного материала (рис. 1). Он осуществляется в руслах и береговых обрывах рек, ручьёв в окрестностях с. Бабуген (р. Кудахурт с притоком Малая Жемтала), с. Кёнделен (р. Ажого), с. Лашкута (правые притоки р. Баксан), без использования горных выработок, что не требует значительных финансовых вложений и не нарушает экологию среды.

Цель настоящей работы – установление минерального и химического состава аммонитов, их структурных и текстурных особенностей, определяющих декоративные и технологические характеристики, проведение экологической экспертизы. Задачами проведённых исследований являлись также изучение процессов фоссилизации (минерализации) раковин аммонитов ювелирно-поделочного качества в ходе диагенеза морских отложений, разработка критериев их поиска и методов оценки.

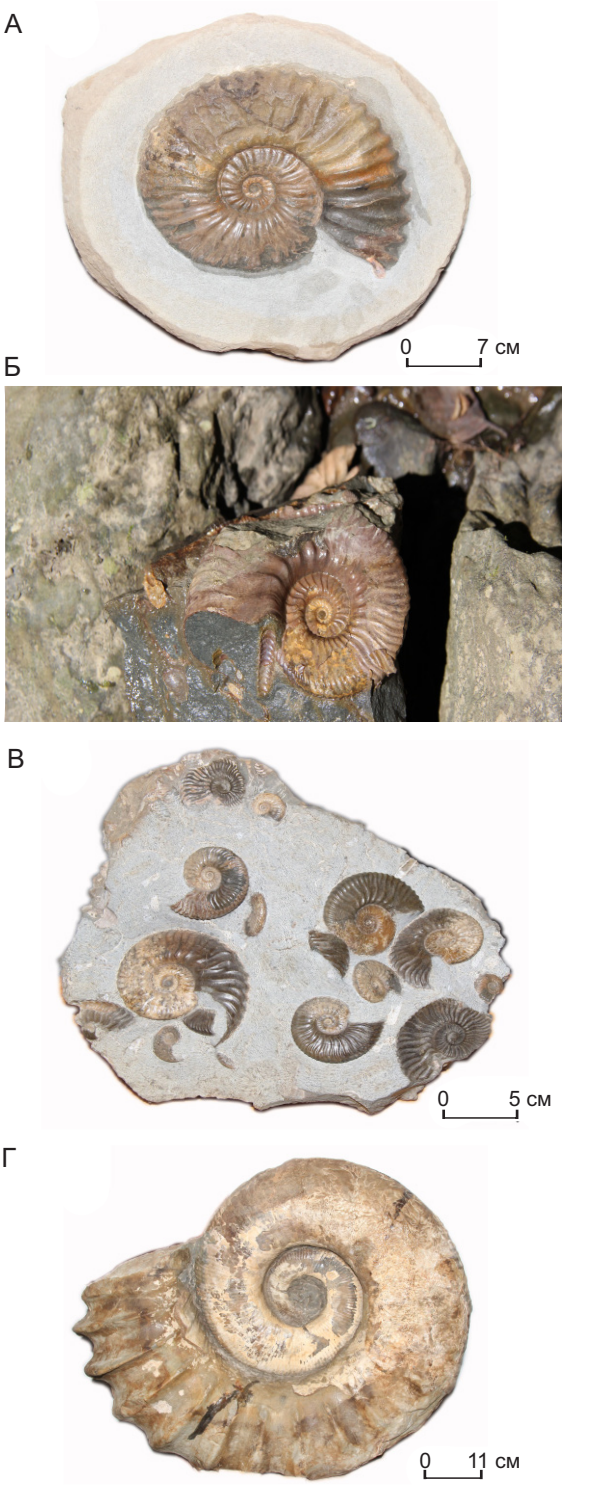


Рис. 1. Конкреции с включениями нижнеаптских аммонитов *Deshayesites*, диаметром 28 см (А), 10 см (Б) и большого количества мелких, диаметром до 5 см (В); крупный, диаметром 77 см, гетероморфный аммонит *Tropaeum* (Г)

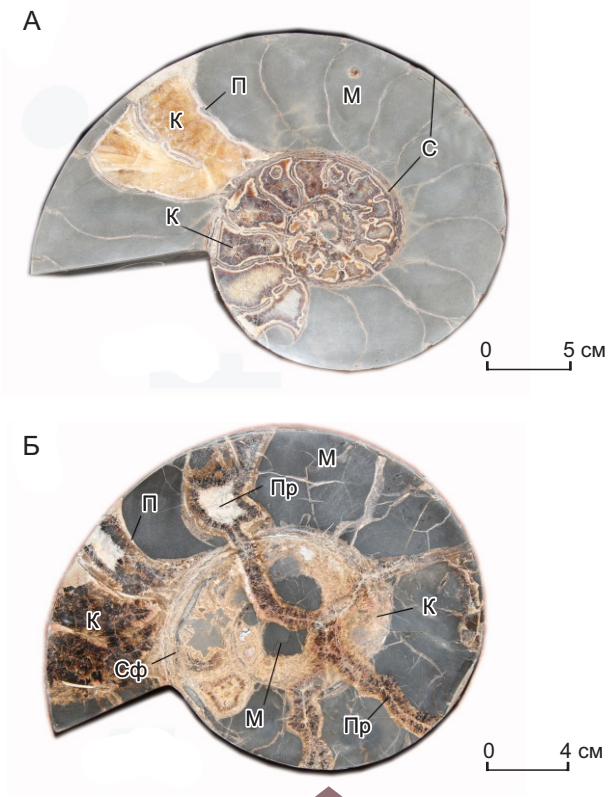


Рис. 2. Продольные полированные спилы аммонита (А) и аммонита с прожилками кальцита (Б):

С – стенки, П – перегородки, Сф – сифон, К – кальцит и М – мергель, выполняющие камеры, Пр – прожилок кальцита

Стратиграфическое положение аммонитов. Находки аммонитов происходят главным образом из отложений шигуртской свиты нижнего апта [9], с нескольких стратиграфических уровней. Мономорфные аммониты рода *Deshayesites*, составляющие основу массовых сборов, доминируют. Реже встречаются крупные гетероморфные аммониты рода *Tropaeum*, имеющие зияние в центре раковины (см. рисунки 1 и 2). Согласно данным В. В. Друщица и И. А. Михайловой [2], разрез здесь начинается с пачки буроватых глин мощностью 30 м, содержащих конкреции с *Deshayesites*. Выше глины переходят в алевролиты и песчаники мощностью до 50–70 м, в которых встречаются аммониты нижнеаптской зоны Dufrenoya furcata, где и распространены *Tropaeum*. Помимо аммонитов из этого же интервала разреза в конкрециях периодически встречаются раковины наутилусов *Cymatoceras*, которые так же используются в качестве интерьерных образцов и поделочного материала (рис. 3, Б).

Аммониты коммерческого качества находятся в мергелистых конкрециях (см. рис. 1, А–В). Конкреции шаровидной и эллипсовидной формы размером от 10 см до 1,5 м. В конкрециях аммониты хорошей сохранности с высокой степенью минерализации (см. рисунки 2 и 3). Размер аммонитов коммерческого качества находится в диапазоне от 2 до 80 см (см. рис. 1). Известны находки аммонитов до 1 м в диаметре. Размер наутилусов не превышает 10 см.

Единичные находки аммонитов *Speetoniceras* обнаружены также в отложениях верхнего готерива, но их мало, и сохранность, как правило, не слишком хорошая.



Рис. 3. Интерьерные образцы продольных полированных спилов аммонита (А) и наутилуса (Б)

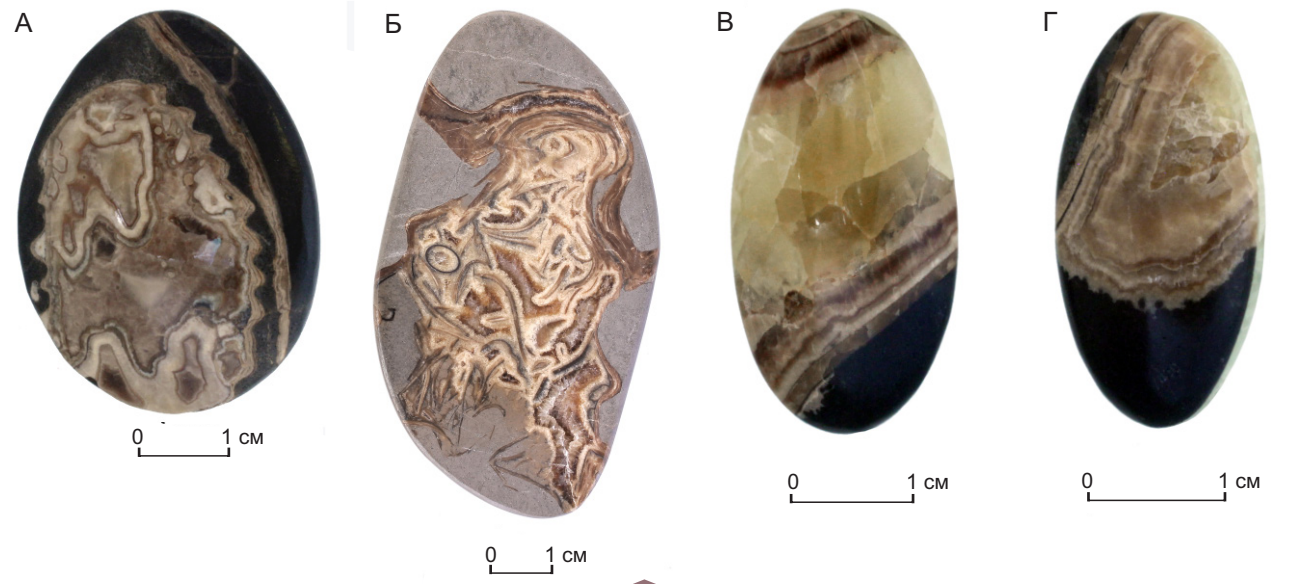


Рис. 4. Кабошоны из аммонитов (А–Г)

Из аммонитов в настоящее время изготавливают небольшой ассортимент изделий. Это преимущественно декоративные спилы (см. рис. 3), столешницы, шары. В результате используется небольшая часть материала. Крупные мергелистые конкреции используют в ландшафтном дизайне, а их спилы служат основой для изготовления столешниц, в которые вклеивают фрагменты аммонитов, а также других видов собираемого поделочного сырья. Как показали наши исследования, аммониты могут широко использоваться и в ювелирных изделиях (см. рисунки 4 и 5).

Методы исследований. Комплекс исследований аммонитов ювелирно-поделочного качества проводился в лабораториях МГРИ, ФГБУ «ВИМС», ФГБУ «ИГЕМ» РАН и включал определение микротвёрдости, плотности, люминесценции, оптико-петрографический анализ, определение минерального и химического составов, электронно-зондовые и электронно-микроскопические исследования.

Количественное определение химического состава аммонитов выполнено методом рентгеновского флуоресцентного анализа (РФА) на вакуумном спектрометре последовательного действия Axios MAX Advanced. Оптико-петрографический и минераграфический анализы выполнены с использованием микроскопа «Полам Р-112» и «Leica DMRX». Микротвёрдость определялась на микротвердометре «ПМТ-3» с нагрузкой массой 50 г и выдержкой 15 сек. Плотность образцов определялась гидростатическим методом на электронных весах «Sartorius Gem G 150D». Люминесценция изучалась под ультрафиолетовой лампой «Multispec System Eickhorst» с $\lambda = 254$ и 365 нм. Минеральный состав определялся рентгенографическим количественным фазовым анализом (РКФА) на дифрактометре «X'Pert PRO MPD». Электронно-зондовые исследования выполнены на микроанализаторе «Jeol JXA-8100», позволяющем получить химический состав по данным рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), провести анализ образцов в обратнорассеянных электронах (ОРЭ). Содержание кислорода рассчитывалось по стехиометрии. Определение радиационных характеристик аммонитов проведено в лаборатории изотопных методов анализа ФГБУ «ВИМС».

Геммологические характеристики аммонитов. Аммониты и наутилусы ювелирно-поделочного качества, рассматриваемые в работе, имеют высокую степень минерализации. Жилые и разрушенные камеры фрагмокона выполнены мергелем, неразрушенные камеры – преимущественно кальцитом (см. рисунки 2 и 3).

Неразрушенные гидростатические камеры аммонитов, по данным РКФА, состоят из (в мас.%): кальцита – 96,4, арагонита – 0,3, кварца – 2,9, доломита – 0,3 и пирита < 0,2 (табл. 1). Арагонит



Рис. 5. Кулон (А) и кольцо (Б) с кабошонами из аммонитов

образует стенки и перегородки раковины. Низкое содержание арагонита (0,3 мас.%) указывает на существенное его замещение кальцитом. Кварц связан с мергелистым матриксом. Акцессорные минералы представлены доломитом и пиритом. Электронно-зондовыми исследованиями установлен апатит. По данным РФА, фиксируются высокие содержания CaO и ППП, в сумме составляющие 90,95 мас.%, подтверждая преимущественно карбонатный состав камер. Повышенные содержания Fe_2O_3 (1,29 мас.%) при низких $S_{общ.}$ (0,09 мас.%) указывают на незначительное содержание пирита и концентрацию Fe в кальците. Повышенные содержания (в мас.%): MgO – 0,66 и MnO – 0,48 могут концентрироваться в кальците с образованием акцессорного доломита; P_2O_5 – 0,20 указывают на присутствие апатита, характерного минерала аммонитов (табл. 2); Al_2O_3 – 0,85 связаны с алюмосиликатами, присутствующими в мергеле. Из элементов-примесей фиксируются повышенные содержания Sr – 0,0334 мас.% (табл. 3).

Жилые и разрушенные гидростатические камеры состоят из (в мас.%): кальцита – 79,9, арагонита – 1,0, кварца – 9,6, иллита – 3,2, каолинита – 2,7, калиевого полевого шпата (КПШ), представленного микроклином, – 1,6, плагиоклаза (альбита) – 1,3, хлорита – 0,4, пирита и анатаза < 0,2 (см. табл. 1). Присутствие арагонита указывает на частичное сохранение исходного минерального состава раковин. Минералы морского донного осадка представлены зёрнами кварца, алюмосиликатами, анатазом, сцементированными кальцитом. Из новообразованных минералов отмечаются следы пирита и апатита, установленного

1. Минеральный состав аммонитов, по данным РКФА

№ пробы	Характеристики	Минеральный состав	Содержание, мас.%
КБ-$А_1$	Неразрушенные гидростатические камеры, выполненные преимущественно кальцитом и частично мергелем	Кальцит	96,4
		Арагонит	0,3
		Кварц	2,9
		Доломит	0,3
		Пирит	<0,2
КБ-$А_2$	Жилые и разрушенные гидростатические камеры, выполненные преимущественно мергелем	Кальцит	79,9
		Арагонит	1,0
		Кварц	9,6
		Иллит	3,2
		Каолинит	2,7
		КПШ (микроклин)	1,6
		Плагиоклаз (альбит)	1,3
		Хлорит	0,4
		Пирит	<0,2
		Анатаз	<0,2

2. Химический состав аммонитов, по данным РФА

№ пробы	Содержание компонента, мас.%											
	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	P_2O_5	$S_{общ}$	ППП
КБ-$А_1$	0,08	0,66	0,85	3,41	0,13	50,12	0,08	0,48	1,29	0,20	0,09	40,83
КБ-$А_2$	0,17	0,93	3,34	14,42	0,57	41,06	0,29	0,46	2,40	0,16	0,19	34,49

Примечание. ППП – потери при прокаливании.

электронно-зондовыми исследованиями. На присутствие апатита указывают повышенные содержания P_2O_5 – 0,16 мас.% (см. табл. 2). Из элементов-примесей фиксируются повышенные содержания (в мас.%): Sr – 0,0324 и Ba – 0,0120 (см. табл. 3).

По минеральному составу аммониты выделены в кальцитовый минеральный тип [3]. Минерализация раковин происходила в результате заполнения разрушенных камер донным осадком, а неразрушенных гидростатических камер – из растворов, поступающих через отверстие в сифоне. Минерализация осуществлялась преимущественно с приносом Ca и CO_2, при участии Mg, Mn, Fe, P, Sr, Ba, S как в окислительной, так и слабовосстановительной средах, с образованием кальцита и незначительного количества доломита, пирита и апатита.

Перламутровый слой раковин аммонитов, как правило, не сохраняется. Он присутствует фрагментарно, в виде плёнок, но декоративность аммонитов не усиливает. Цвет перламутрового слоя белый, серый, коричневый различных оттенков. Иризация проявлена слабо в оранжевых, редко зелёных тонах (см. рис. 1). Для изготовления кабошонов аммолита перламутровый слой непригоден [4].

В полированных срезах аммонитов внешние стенки раковины и перегородки отчётливо видны (см. рисунки 2 и 3). Толщина стенок в зависимости от размера аммонита – от 0,3 до 2 мм, толщина перегородок – 0,1–0,6 мм. Стенки и перегородки замещены преимущественно кальцитом. Кристаллы изометричной формы, размером до 0,2–0,4 мм, плотно сросшиеся, светло-жёлтые полупрозрачные, бесцветные прозрачные, полностью занимают пространство перегородки. Визуально стенки и перегородки в образце тёмно-серого, коричневого цвета, просвечивающие, имеют стеклянный блеск (см. рис. 3, А). Это обусловлено поглощением света полупрозрачными и прозрачными кристаллами в узком пространстве.

Фрагменты, сохранившие арагонит, светло-коричневого цвета, различных оттенков, непрозрачные, с матовым блеском, а более крупные и хорошо сохранившиеся – с перламутровым. Микротвёрдость стенок и перегородок невысокая и колеблется в широком диапазоне от 60 до 198 кг/мм^2, что обусловлено их разрушением и замещением кальцитом. Арагонит слабо люминесцирует в светло-коричневых тонах. Люминесценция стенок и перегородок, выполненных кальцитом, не наблюдается. При распиловке и полировке аммонитов стенки преимущественно сохраняются. Фрагментарно может происходить их разрушение.

К стенкам и перегородкам в неразрушенных гидростатических камерах примыкают симметрично расположенные слои кальцита различной

3. Содержание элементов-примесей в аммонитах, по данным РФА

№ пробы	Содержание элемента, мг/кг ($\times 10^{-4}$ мас.%)												
	Cr	V	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Ba	Y	U	Th	Pb	As
КБ-$А_1$	11	12	<10	22	31	<10	334	90	<5	<5	<5	<10	<10
КБ-$А_2$	38	24	28	14	67	25	324	120	14	<5	<5	<10	<10

ширины и цвета. Выделяются слои светло-жёлтого, жёлтого, оранжевого, коричневого цветов с различными оттенками. Слои коричневого цвета расположены ближе к центральной части камер, они более прозрачные. Ширина слоёв от 1 до 3 мм, а в крупных аммонитах может увеличиваться до 5–10 мм. Контакты слоёв, как правило, чётко выражены, могут иметь как ровный, так и пилообразный контур. Кальцит в слоях преимущественно непрозрачный, просвечивающий. Количество минеральных включений незначительно. Они представлены редкой тонкой чёрной вкрапленностью пирита, которая отчётливо видна при увеличении. Включения расположены в слоях кальцита на контакте с перегородками и стенками. Отдельные кристаллики пирита кубического габитуса расположены на границе слоёв кальцита, примыкающих к перегородкам и стенкам и кальцита, выполняющим центральные части камер.

Центральные части камер выполнены крупнокристаллическим кальцитом размером 1–10 мм. Кальцит бесцветный, прозрачный, светло-жёлтый полупрозрачный, просвечивающий. Текстура выполнения блочно-мозаичная, массивная (см. рисунки 2 и 3). В отдельных камерах перегородки могут быть разрушены, а их фрагменты сцементированы кальцитом, образуя брекчиевую текстуру (см. рис. 4, Б). Сифон заполнен преимущественно мергелем серого, тёмно-серого цвета, редко кальцитом коричневого цвета (см. рис. 2, Б).

В крупных аммонитах встречаются гидростатические камеры, не полностью выполненные кальцитом. В их центральных частях образуются жеоды, стенки которых инкрустированы кристаллами кальцита размером 1–3 мм скаленоэдрической и ромбоэдрической формы.

Плотность кальцита – 2,68–2,74 г/см^3. Микротвёрдость кальцита, выполняющего центральные части камер, – 129–206 кг/мм^2, слоёв коричневого цвета – 206–225 кг/мм^2, желтовато-коричневого – 203 кг/мм^2, а светло-жёлтого непрозрачного слоя, примыкающего к перегородкам, – 148 кг/мм^2. Различная микротвёрдость кальцита обусловлена размером, морфологией кристаллов и количеством пор. Отчётливая люминесценция кальцита наблюдается в непрозрачных слоях светло-жёлтого цвета в белых и светло-жёлтых тонах. В целом кальцит, выполняющий камеры, плотный, хорошо полируется до стеклянного блеска, количество видимых минеральных включений незначительно.

Мергель, выполняющий жилые и полуразрушенные гидростатические камеры, плотный, раскалывается с трудом, с раковистым изломом. Мергель серого цвета различных оттенков с постепенными переходами (см. рисунки 2 и 3). Аммониты, в которых большая часть камер состоит из мергеля, коммерческого интереса в качестве поделочного сырья не представляют. Плотность мергеля – 2,56–3,10 г/см^3. Микротвёрдость находится в узком диапазоне и в среднем составляет 192 кг/мм^2. Люминесценция не наблюдается. Мергель хорошо полируется до стеклянного блеска с ровной поверхностью.

Проведена экологическая оценка аммонитов в качестве ювелирно-поделочного материала. По данным РФА (см. табл. 3), содержания канцерогенных элементов ниже чувствительности метода. Определение радиационных характеристик аммонитов показало, что удельная активность радионуклидов составила (в бк/кг): ^{226}Ra – 29, ^{228}Ra ≤ 20, ^{224}Ra ≤ 20, ^{232}Th ≤ 20, ^{40}K – 175, ^{137}Cs ≤ 10 и $A_{эфф}$ – 79. Данные значения удовлетворяют требованиям ($A_{эфф}$ < 740 Бк/кг) СП 2.6.1.2800–10 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счёт природных источников излучения п. 4.5.1, … изделия художественных промыслов и предметов интерьера из природного камня…», что допускает использовать их без ограничения по радиационному фактору. По данным РФА, содержание радиоактивных элементов ниже чувствительности метода, что подтверждает сделанный вывод (см. табл. 3).

Оптико-петрографические и электронно-зондовые исследования. Изучены прозрачные шлифы, аншлифы фрагментов аммонитов, включающие стенки, перегородки, камеры, выполненные кальцитом и мергелем, и отражающие основные декоративные и технологические типы (рисунки 6–8).

Стенки и перегородки сохраняют свои контуры и преимущественно выполнены кальцитом. Фрагментарно сохраняется арагонит (см. рисунки 6, А–Д и 7, А). В арагоните присутствуют микротрещинки, расположенные как вдоль, так и поперёк стенок и перегородок. Более крупные из них могут быть выполнены кальцитом.

В ОРЭ арагонит выделяется тёмно-серым цветом благодаря выбоинам (см. рис. 8, А). По данным РСМА, в арагоните из элементов-примесей фиксируются содержания в среднем (в мас.%): Mg – 0,11, Sr – 0,93 и Na – 0,18. Практически

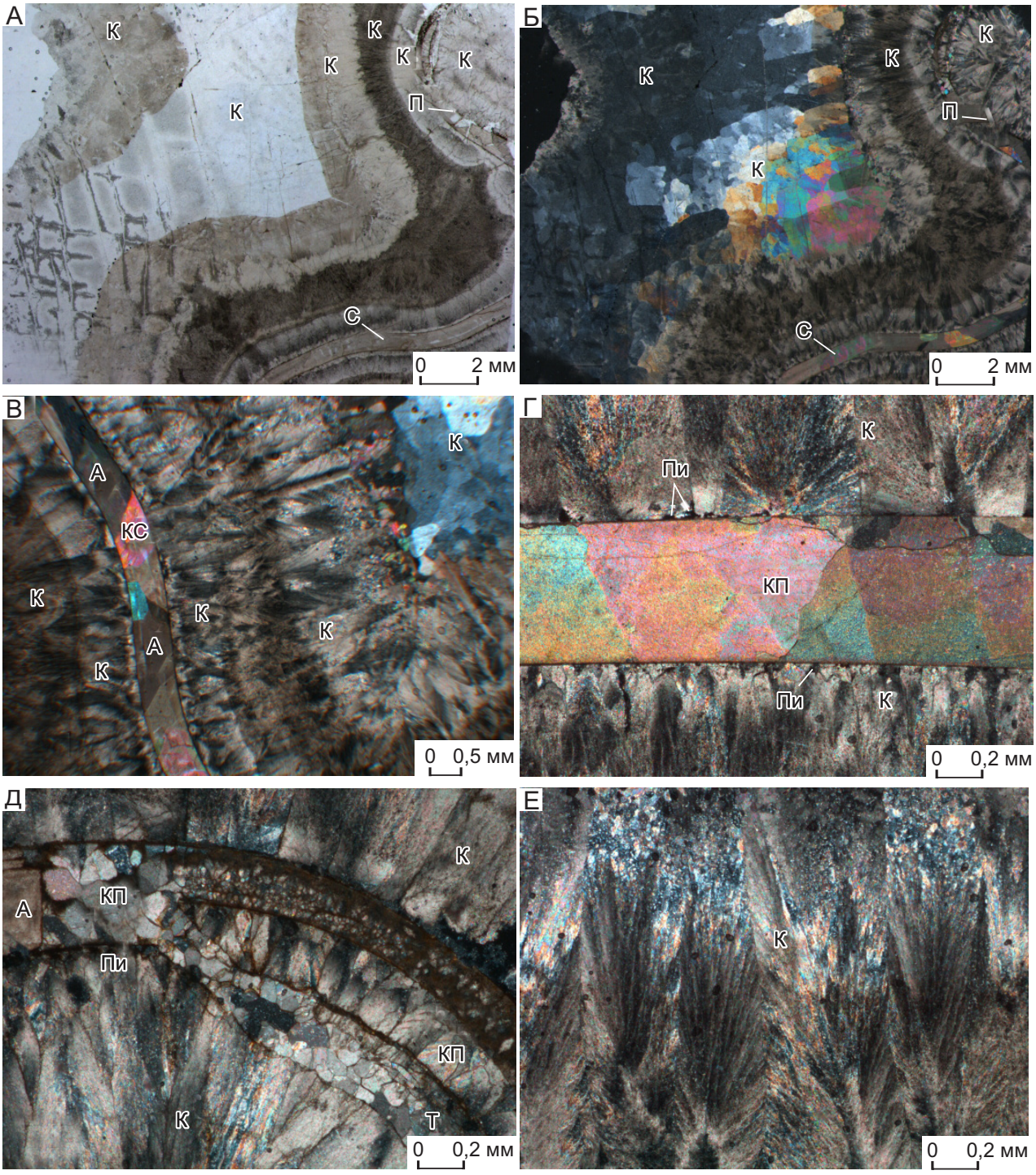


Рис. 6. Прозрачные шлифы аммонитов. Николи параллельные (А) и скрещенные (Б–Е):

А, Б – общий вид продольного спила, включающего перегородку (П), стенку (С), прилегающие слои кальцита (К); В – стенка, выполненная кальцитом (КС) и арагонитом (А), прилегающие слои кальцита (К); Г – перегородка, выполненная кальцитом (КП), и прилегающий слой кальцита (К) с включениями пирита (Пи); Д – перегородка, выполненная кальцитом (КП) и арагонитом (А), прилегающие слои кальцита (К) с включениями пирита (Пи) и трещиной, выполненной кальцитом (Т); Е – структура слоёв кальцита (К)

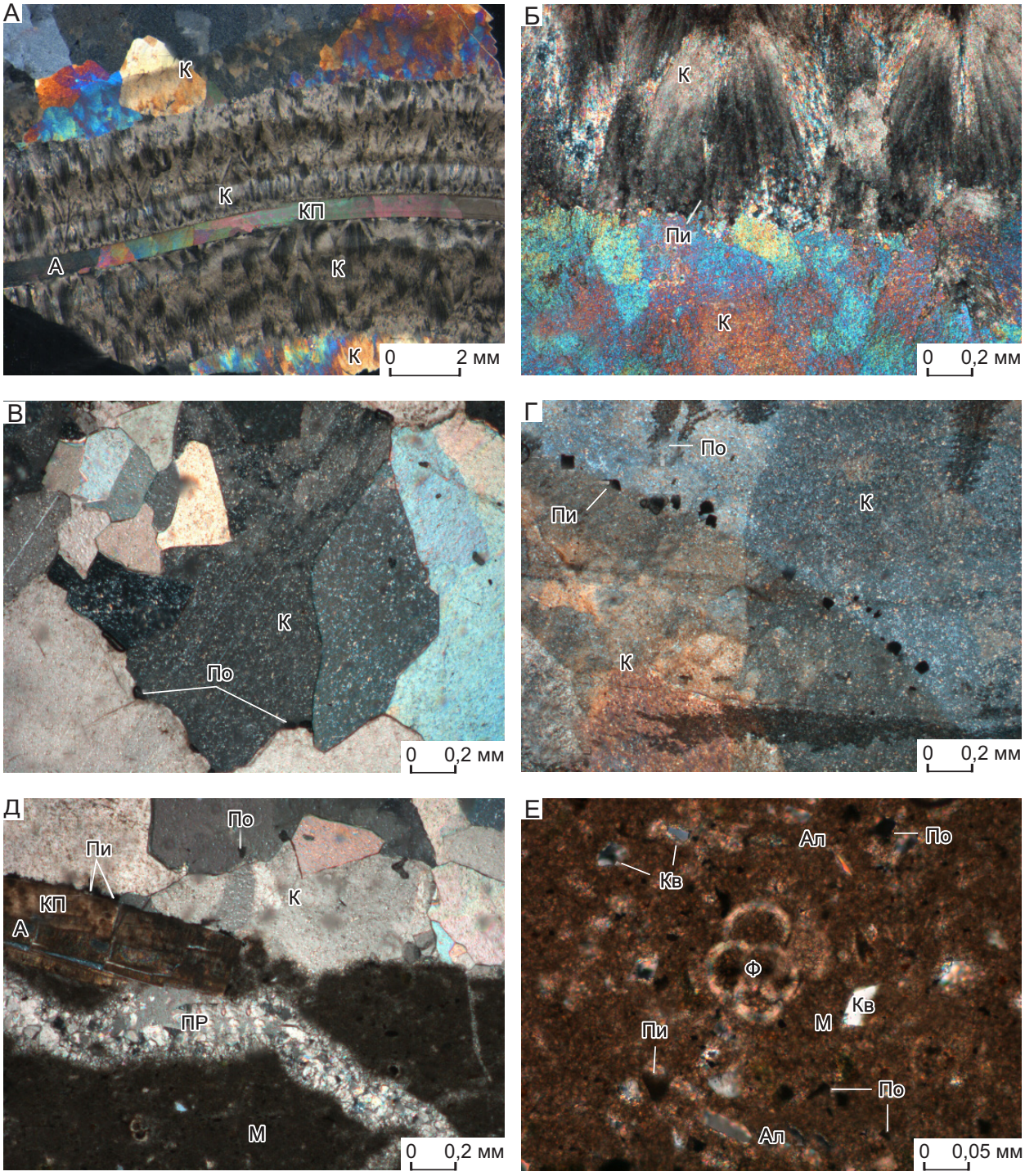


Рис. 7. Прозрачные шлифы аммонитов. Николи скрещенные:

А – общий вид продольного спила, включающий перегородку, выполненную кальцитом (КП) и арагонитом (А), с прилегающими слоями кальцита (К); Б – контакт слоя кальцита (К) с различной структурой и включениями пирита (Пи); В, Г – структура кальцита (К), выполняющего центральную часть камеры, с включениями пирита (Пи) и микропорами (По); Д – перегородка, выполненная кальцитом (КП) и арагонитом (А), камеры, выполненные кальцитом (К) с включениями пирита (Пи) и микропорами (По), мергелем (М) с кальцитовым прожилком (Пр); Е – мергель (М) с включениями зёрен кварца (Кв), алюмосиликатов (Ал), пирита (Пи), фораминифер (Ф) и порами (По)

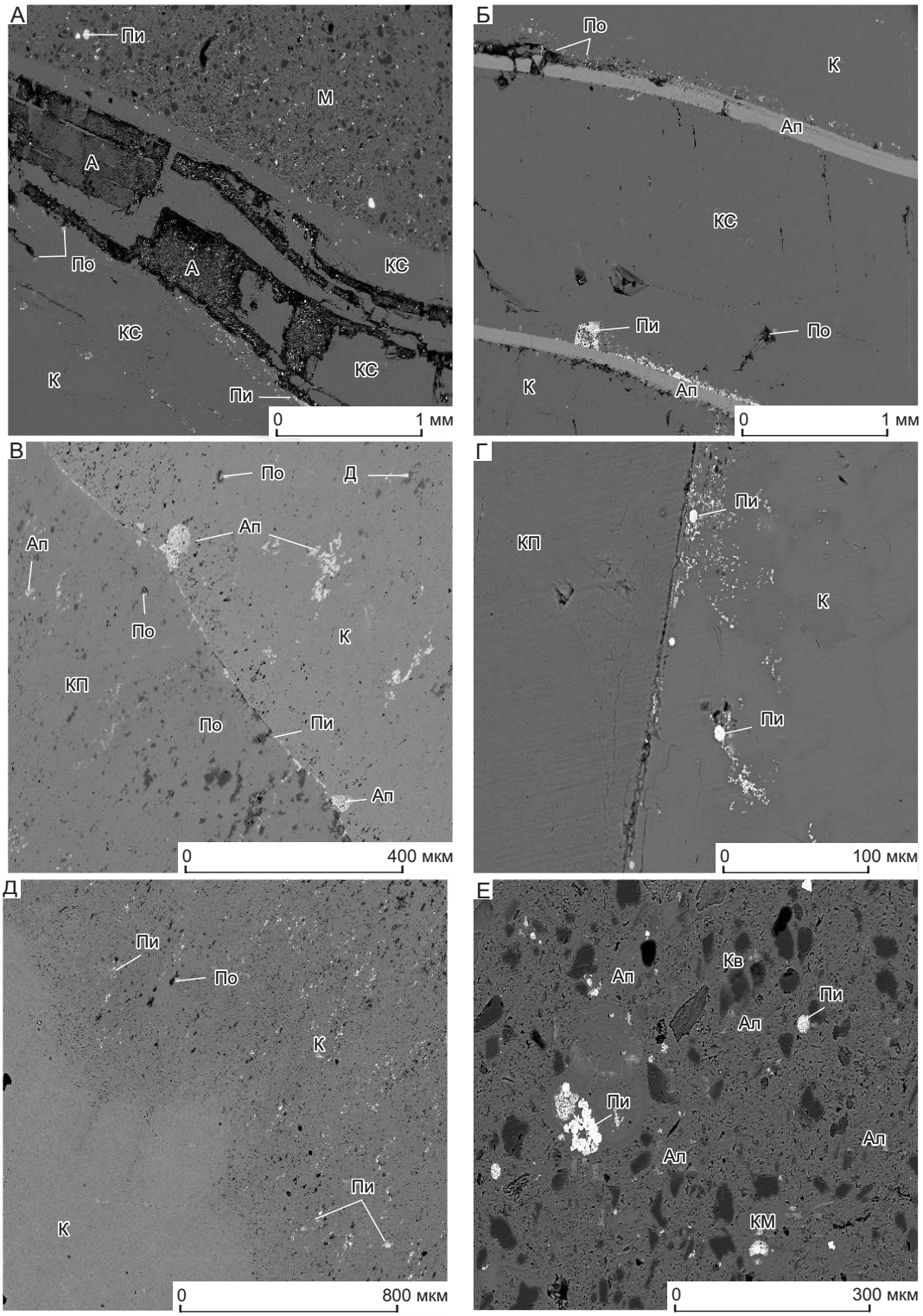


Рис. 8. Фрагменты аммонитов, включающие стенки, перегородки, камеры, выполненные кальцитом и мергелем. Микрозонд, ОРЭ:

А, Б – стенки, выполненные кальцитом (КС) и арагонитом (А), камеры, выполненные кальцитом (К) и мергелем (М), включения апатита (Ап) и пирита (Пи); В, Г, Д – перегородки, выполненные кальцитом (КП), примыкающий слой кальцита (К), включения доломита (Д), апатита (Ап), пирита (Пи); Е – мергель с включениями кварца (Кв), алюмосиликатов (Ал), апатита (Ап), пирита (Пи) сцементированные кальцитом (КМ), По – поры

4. Химический состав арагонита в стенках и перегородках раковин аммонитов, по данным РСМА

Содержание элемента, мас.%						
Mg	Mn	Fe	Sr	Na	Ca	O
0,03–0,17 0,11	0,00–0,06 0,03	0,03–0,12 0,09	0,00–1,89 0,93	0,08–0,25 0,18	35,12–37,01 36,62	44,31–45,06 45,02

Примечание. Значения: числитель – крайние, знаменатель – средние по восьми спектрам.

отсутствуют Mn и Fe (табл. 4). Повышенные содержания Fe в отдельных спектрах связаны с микровключениями пирита, с которым арагонит ассоциирует. Отметим, что для арагонита характерны из элементов-примесей Sr и Na, которые распределены неравномерно [5–7]. Повышенные содержания других элементов-примесей связаны с замещением арагонита преимущественно кальцитом с привносом Mg, Mn и Fe. По контактам арагонита с кальцитом фиксируются в небольшом количестве микровключения пирита, апатита и большое количество микропор (см. рис. 8, А, Б).

По контуру стенки выделяются слои шириной около 0,1 мм, выполненные преимущественно апатитом (см. рис. 8, Б). На отдельных фрагментах присутствует кальцит. Эти слои соответствуют исходным конхиолиновым слоям стенок аммонита, которые состояли из органического вещества (конхиолина) и пластинчатых кристаллов арагонита [3]. В процессе диагенеза конхиолин и арагонит были замещены апатитом с участием кальцита. В образце апатит непрозрачный, чёрного цвета.

Кальцит, замещающий арагонит, размером 0,1–0,4 мм, изометричной или удлинённой призматической формы, разноориентированный. Присутствуют фрагменты, сложенные тонкозернистым (около 0,1 мм) кальцитом, а также более крупными кристаллами, занимающими основную часть или всю толщину стенки и перегородки. Для них характерно ровное угасание. Встречаются фрагменты, выполненные слабоудлинёнными призматическими кристаллами с волнистым угасанием (см. рисунки 6, В–Д и 7, А). Образование более крупных кристаллов происходило в результате перекристаллизации мелких.

В кальците, образующем стенки и перегородки, присутствует большое количество включений доломита размером от 1 до 20 мкм, от изометричной до вытянутой формы, с расплывчатыми контурами и различными тёмно-серого цвета оттенками в ОРЭ (см. рис. 8, В). Присутствуют включения апатита в ОРЭ светло-серого цвета и немногочисленные микропоры (см. рис. 8, А–В). Включения апатита расположены на контакте перегородки, выполняют поры и микротрещинки, что указывает на их более позднее по отношению к кальциту образование.

По данным РСМА, в кальците из элементов-примесей фиксируются содержания Mg, Mn и Fe, значения которых находятся в широком диапазоне (табл. 5). В одних фрагментах содержания элементов низкие и близки содержаниям в арагоните. В отдельных спектрах фиксируются и содержания Sr от 0,45 до 0,82 мас.%. Такие фрагменты отражают начальную стадию замещения арагонита. В других фрагментах содержание этих элементов существенно возрастает, составляя в среднем (в мас.%): Mg – 0,54, Mn – 0,65, Fe – 0,78 (см. табл. 5). В таких фрагментах произошла существенная перекристаллизация кальцита с привносом Mg, Mn, Fe и, по-видимому, выносом Sr и Na. В образцах стенки и перегородки, выполненные кальцитом тёмно-серого, коричневого цвета, просвечивающие.

В камерах к стенкам и перегородкам примыкают последовательно расположенные слои кальцита, различающегося по ширине, структуре и цвету. Непосредственно к стенкам и перегородкам примыкает тонкий (0,1–0,2 мм) слой кальцита, образованный изометричными, разноориентированными, неплотно сросшимися кристалликами размером 0,05–0,1 мм (см. рис. 6, В–Д). Слой в значительной степени перекристаллизован с образованием кристаллов следующего слоя. В результате на многих фрагментах он не прослеживается. Этот слой и перегородку пересекает трещина шириной 0,2–0,3 мм, выполненная изометричными, слабоудлинёнными плотно сросшимися, разноориентированными кристаллами кальцита размером 0,05–0,3 мм. В перегородке кристаллы более крупные (см. рис. 6, Д).

5. Химический состав кальцита в аммоните, по данным РСМА

Характеристика кальцита	Содержание элемента, мас.%				
	Mg	Mn	Fe	Ca	O
Стенки, перегородки (6)	0,16–0,23 0,19	0,00–0,05 0,03	0,00–0,19 0,08	36,09–36,91 36,61	43,86–44,80 44,37
Стенки, перегородки (8)	0,39–0,69 0,54	0,49–0,90 0,65	0,69–0,88 0,78	35,28–36,67 35,76	42,97–44,12 43,79
Непрозрачный светло-жёлтый (8)	0,20–0,28 0,23	0,05–0,38 0,21	0,47–1,19 0,84	35,59–36,34 36,02	43,24–43,89 43,58
Непрозрачный, просвечивающий, жёлтый (7)	0,11–0,40 0,21	0,20–0,71 0,57	0,19–1,00 0,78	34,94–37,37 36,09	42,84–43,92 43,48
Просвечивающий, коричневый (6)	0,13–0,21 0,18	0,54–0,73 0,58	0,64–0,90 0,76	34,54–36,70 36,04	43,12–44,37 43,84
Центральная часть камеры (13)	0,10–0,22 0,15	0,42–0,77 0,60	0,57–1,07 0,81	34,38–35,89 35,01	42,63–43,16 42,89
Мергель (6)	0,30–0,38 0,33	0,60–0,75 0,66	1,02–1,35 1,19	35,05–35,37 35,21	42,74–43,56 43,28

Примечание. Значения: числитель – крайние, знаменатель – средние; в скобках – число спектров.

В прилегающих к перегородке слоях кальцита присутствуют включения апатита, расположенные преимущественно в зоне контакта и непосредственно вдоль него. Они хорошо выделяются по светло-серой окраске в ОРЭ (см. рис. 8, В). Включения микронного размера образуют выделения до 50 мкм. Более крупные выделения округлой, вытянутой формы со сложным контуром. На контакте со стенкой и перегородкой присутствуют микровключения пирита, образующие прерывистые цепочки размером 10–20 мкм, изометричные выделения, выполняющие поры. Они выделяются в ОРЭ белым цветом. В слое, особенно в приконтактной зоне, присутствует большое количество микропор, размер которых не превышает 40 мкм, а также микронные включения доломита (см. рис. 8, А–Г).

По данным РСМА, в слое фиксируются элементы-примеси с содержанием в среднем (в мас.%): Mg – 0,23, Mn – 0,21 и Fe – 0,84 (см. табл. 5). В отдельных спектрах отмечается Sr от 0,35 до 0,53 мас.%.

Далее следует слой шириной 1–2 мм, отчётливо выраженный светло-серой окраской при параллельных николях (см. рис. 6, А). Он хорошо виден и при скрещенных николях (см. рис. 6, Б, В). Слой образован тонкопризматическими, игольчатыми, плотно сросшимися кристалликами близкой ориентировки, образующими блоки кустовидной формы. Формирование таких блоков происходило из центров кристаллизации, расположенных на предыдущем слое, иногда непосредственно на перегородках. Для блоков характерно веерное угасание и значительная степень перекристаллизации. Размер блоков соответствует ширине слоя, часть из них переходит в следующий слой (см. рис. 6, В–Е).

Следующий слой, шириной 1–3 мм, при параллельных николях тёмно-коричневого цвета (см. рис. 6, А) также образован тонкопризматическими, игольчатыми плотно сросшимися кристалликами близкой ориентировки. Их рост происходил на окончании кристалликов предыдущего слоя. В процессе перекристаллизации формировались блоки призматической, а также эллипсовидной формы с неровным контуром и волнистым угасанием. Граница с предыдущим слоем

достаточно ровная, чётко выражена (см. рис. 6, В, Е). На отдельных фрагментах она фиксируется тонкой полоской, отражающей перерыв в кристаллизации. Степень перекристаллизации тёмно-коричневого слоя ниже, чем предыдущего и последующего.

Далее следует слой шириной около 2 мм при параллельных николях светло-серого, серого цвета. Распределение цвета зональное, пятнистое (см. рис. 6, А). Слой хорошо выражен и при скрещенных николях (см. рис. 6, В), что указывает на близкую ориентировку кристаллов в слое и отличие её от предыдущего. Контакт с предыдущим слоем пилообразный, обусловленный внедрением в него окончаний кристаллов предыдущего слоя. Он так же формировался тонкопризматическими, игольчатыми кристаллами на предыдущем слое без его замещения. В результате срастания и перекристаллизации мелких кристаллов формировались блоки призматической формы с волнистым угасанием. Степень перекристаллизации в блоках более высокая, чем в предыдущих слоях.

Этот слой непосредственно контактирует с крупнокристаллическим кальцитом, выполняющим центральные части камер (см. рисунки 6, А–В и 7, А, Б). Контакт, как правило, чётко выражен, ровный. На отдельных фрагментах наблюдается внедрение в крупные кристаллы окончаний игольчатых кристалликов. В ряде камер в зоне контакта заметна значительная перекристаллизация тонкопризматических, игольчатых кристаллов с образованием мелких изометричных, разноориентированных с ровным угасанием, размером 0,1–0,3 мм с дальнейшим их укрупнением до 1–2 мм (см. рисунки 6, В, Г и 7, А, Б). Иногда из таких кристаллов формируется слой шириной 2 мм с ровным контактом. На контакте слоя присутствуют редкие кристаллики пирита, образующие прерывистые цепочки. Отдельные кристаллы размером 0,03–0,06 мм имеют квадратную форму, отражающую кубический габитус пирита (см. рис. 7, Г).

Количество слоёв в камерах может быть различно. В образце, слой примыкающий к стенкам и перегородкам, светло-жёлтого цвета, непрозрачный, с просвечивающими зонами коричневого цвета. Последующие слои, просвечивающие коричневого цвета с различными оттенками. Ближе к центру камеры они светлее, до светло-жёлтого.

В ОРЭ слои слабо выражены, характерно пятнистое распределение оттенков (см. рис. 8, В–Д), что связано с неравномерным распределением элементов-примесей (см. табл. 5). На определённых участках контакты между ними имеют сложный, карманообразный контур, на других относительно ровный с цепочкой микропор. Для отдельных слоёв характерно большое количество микропор, размер которых достигает 40 мкм. Микропоры образуют цепочки по контурам кристаллов и их блоков. В зоне контакта слоёв присутствуют микронные включения пирита размером менее 5 мкм. Они расположены в микротрещинках и порах.

По данным РСМА, слои имеют близкий химический состав (см. табл. 5). Из элементов-примесей фиксируются Mg, Mn, Fe, а в отдельных спектрах и Sr с содержанием от 0,22 до 1,39 мас.%. Характерен достаточно широкий диапазон значений в отдельных спектрах.

Центральная часть камеры выполнена кристаллами изометричной и слабоудлинённой призматической формы, размером 0,5–1,5 мм с ровным угасанием. Они образуют блоки сложной формы с близкой ориентировкой кристаллов, размером 1,5–3 мм (см. рис. 7, Б–Г). При параллельных николях кальцит светло-серого, с фрагментами серого цвета (см. рис. 6, А). В кальците присутствуют микротрещинки, в которых фиксируются включения пирита размером менее 10 мкм (см. рисунки 7, В, Г и 8, Д). По таким микротрещинкам происходила коррозия кристаллов. По контурам кристаллов расположены прерывистые цепочки микропор размером до 5 мкм. Содержания элементов-примесей в среднем (в мас.%): Mg – 0,15, Mn – 0,60, Fe – 0,81, а в отдельных спектрах Sr – от 0,44 до 1,19. По химическому составу он близок кальциту, выполняющему слои (см. табл. 5). Близкий химический состав кальцита, выполняющего камеры, отражается и в близких оттенках в ОРЭ (см. рис. 8, А–Д). В образце центральные части камер светло-жёлтого цвета – полупрозрачные, а бесцветные – прозрачные.

Мергель тонкозернистый с пелитовой структурой. Контакт со стенкой ровный, чётко выражен (см. рисунки 7, Д и 8, А). Включения кварца и алюмосиликатов равномерно распределены в мергеле. Кварц угловатый, преимущественно изометричной формы, размером 10–100 мкм. Алюмосиликаты угловатой и округлой слабоудлинённой формы, размером 10–80 мкм. Контуры алюмосиликатов в шлифе и ОРЭ проявлены неотчётливо (см. рисунки 7, Е и 8, Е). В мергеле встречаются

мелкие (около 0,1 мм) фораминиферы. Их раковины выполнены кальцитом (см. рис. 7, Е). В мергеле присутствуют тонкие прожилки кальцита с изометричными, плотно сросшимися, разноориентированными кристаллами, размером 0,03–0,1 мм (см. рис. 7, Д).

В мергеле присутствуют микронные включения пирита, образующие скопления размером до 150 мкм (см. рис. 8, Е). Включения расположены в порах, микротрещинках, что указывает на их более позднее по отношению к кальциту образование. В мергеле фиксируются устойчивые низкие содержания фосфора (0,10–0,14 мас.%), что указывает на присутствие микровключений апатита. Количество пор в мергеле невелико. Их размер менее 50 мкм (см. рис. 7, Е).

Кальцит в мергеле образует мономинеральные выделения размером до 0,15 мкм. Содержания элементов-примесей в среднем составляет (в мас.%): Mg – 0,33, Mn – 0,66 и Fe – 1,19 (см. табл. 5), а в отдельных спектрах Sr – до 0,29. По химическому составу в нём отмечаются более высокие содержания Fe, чем в кальците, выполняющем стенки, перегородки и камеры аммонита. В образце мономинеральные выделения кальцита приводят к более светлым оттенкам мергеля.

По данным РСМА, установлены особенности химического состава основных минералов в аммоните. В доломите из элементов-примесей присутствуют устойчивые содержания Fe от 0,10 до 0,35 мас.%, в одном спектре фиксируется Sr – 0,79 мас.%. Относительно низкие содержания Mg, не превышающие 9,47 мас.%, обусловлены микронными размерами включений, что приводит к попаданию в спектр кальцита.

В апатите из элементов-примесей фиксируются устойчивые содержания Na от 0,15 до 0,24 мас.%, а также Fe от 0,17 до 0,35 мас.%. Содержания Fe коррелируют с повышенными содержаниями S (до 0,20 мас.%), что указывает на микровключения пирита, с которым апатит ассоциирует. В отдельных спектрах фиксируется Sr от 0,69 до 1,59 мас.%. По химическому составу апатит относится к гидроксиапатиту. В пирите элементы-примеси не фиксируются.

Химический состав алюмосиликатов разнообразен, что отражает их минеральный состав, установленный РКФА (см. табл. 1). Отметим присутствие железистого алюмосиликата, в котором зафиксировано содержание (в мас.%): Fe – 19,86, а также Sr – 0,59 , Mg – 4,29, Y – 0,28, при отсутствии K и Na. Предположительно, его мож-но отнести к глаукониту. В кварце элементы-примеси не фиксируются.

Обсуждение результатов исследования. Проведённые оптико-петрографические и электронно-зондовые исследования позволили установить последовательность минералообразования, структурные и минеральные особенности, химический состав минералов, объясняющие декоративные и технологические характеристики аммонитов.

Минерализация камер в аммонитах существенно различается. В стенках фрагментарно сохраняется арагонит. Из элементов-примесей для него характерны содержания Sr и Na. Стенки и перегородки преимущественно выполнены кальцитом с включениями апатита и доломита. На начальной стадии замещения арагонита кальцитом образуются тонкие разноориентированные кристаллы. Кальцит характеризуется низкими содержаниями элементов-примесей и по химическому составу близок арагониту. В дальнейшем проходила перекристаллизация кальцита с укрупнением кристаллов и образованием микровключений доломита и апатита. Для кальцита характерны относительно высокие содержания Mg, Mn и Fe. Тонкие конхиолиновые слои в стенках раковин замещались преимущественно гидроксиапатитом.

Неразрушенные гидростатические камеры последовательно заполнялись слоями кальцита различной структуры, прозрачности и цветовых оттенков. На контакте стенок и перегородок формировался тонкий слой, выполненный тонкозернистыми кристаллами с микровключениями пирита, доломита и апатита. В дальнейшем кальцит претерпевал перекристаллизацию с укрупнением кристаллов. Из центров кристаллизации, расположенных на первоначальном слое, образовались игольчатые, тонкопризматические, плотно сросшиеся кристаллы формирующие блоки сноповидной и кустовидной форм. На их окончаниях создаются последующие слои с аналогичной структурой, которые могут претерпевать перекристаллизацию с образованием более крупных кристаллов изометричной и слабоудлинённой формы. В большей степени перекристаллизация характерна на контакте с кальцитом, выполняющим центральную часть камер, которая представлена крупнокристаллическим кальцитом. Кристаллы плотно сросшиеся, изометричной и слабоудлинённой призматической формы, образующие блоки с близкой ориентировкой. На контакте с кальцитом, образующим

слои, присутствуют немногочисленные микрокристаллы пирита. Встречаются камеры, полностью выполненные крупнокристаллическим кальцитом (см. рис. 7, Д). Образование кристаллов кальцита происходило из многочисленных центров кристаллизации, расположенных в свободной части камеры.

Для кальцита, выполняющего неразрушенные гидростатические камеры, характерны значительные колебания содержаний элементов-примесей Mg, Mn, Fe и близкие средние значения. В отдельных спектрах фиксируются содержания Sr.

Прозрачность кальцита определяется структурой слоёв, размером, морфологией кристаллов, количеством микропор и микровключений. Центральные части камер, выполненные крупнокристаллическим кальцитом, преимущественно полупрозрачны, частично прозрачны. Слои кальцита, сложенные тонкокристаллическими, игольчатыми, тонкопризматическими кристаллами, непрозрачны, просвечивающие. Цветовая гамма кальцита определяется прозрачностью, количеством пор и микровключений, цветом подложки. Определённую роль играют содержания Mn и Fe.

Разрушенные гидростатические камеры выполнены тонкозернистым мергелем с пелитовой структурой. Кварц и алюмосиликаты распределены в мергеле равномерно и сцементированы кальцитом с микровключениями пирита и апатита. В мергеле присутствуют микротрещинки, выполненные изометричным, плотно сросшимся, тонкозернистым кальцитом. Участки мергеля, насыщенные кальцитом с относительно крупными кристаллами, более светлых оттенков. Количество пор невелико, что обуславливает хорошую полируемость мергеля.

Из микровключений, образованных в процессе минерализации раковин аммонитов, установлены доломит, апатит, пирит. Доломит присутствует в кальците, выполняющем стенки, перегородки и прилегающие к ним слои. Из элементов-примесей в нём фиксируются низкие содержания Fe. Апатит присутствует в стенках, перегородках, примыкающих к ним слоях кальцита и в мергеле. По химическому составу апатит относится к гидроксиапатиту. Из элементов-примесей в нём фиксируются низкие содержания Mg, Fe, Sr, Na. Микровключения пирита расположены в порах и микротрещинах преимущественно в зонах контакта стенок, перегородок, слоёв кальцита и в мергеле. Пирит образовался сингенетично и позднее кальцита. Элементы-примеси в пирите не фиксируются.

Количество пор невелико. Они имеют преимущественно микронный размер и расположены по контурам перегородок, стенок, кристаллов и их блоков. Небольшое количество микровключений и микропор в аммонитах при полной минерализации раковин делает их высокотехнологичными.

Выводы. В Республике Кабардино-Балкария аммониты собирают из отложений апта. Они могут использоваться в качестве ювелирно-поделочного материала. Проведёнными исследованиями установлено, что неразрушенные гидростатические камеры аммонитов выполнены преимущественно кальцитом (около 96 мас.%). Частично сохраняется арагонит, из включений установлены доломит, апатит, пирит. Жилые и разрушенные гидростатические камеры сложены мергелем, в котором установлены кварц, алюмосиликаты (иллит, каолинит, микроклин, альбит, хлорит), анатаз, представляющие донный морской осадок, сцементированный кальцитом. В процессе диагенеза образовались микровключения пирита и апатита. По минеральному составу аммониты отнесены к кальцитовому типу. Из элементов-примесей в аммонитах наблюдаются повышенные содержания Sr и Ba.

Фоссилизация раковин аммонитов проходила с образованием в основном кальцита, микровключений доломита, апатита, пирита с привносом большого количества элементов. В кальците из элементов-примесей фиксируются преимущественно Mg, Mn и Fe, содержание которых различается в различных зонах. Арагонит замещался главным образом кальцитом и частично апатитом с образованием микровключений доломита и пирита. Для кальцита характерна частичная перекристаллизация с укрупнением кристаллов.

Прозрачность кальцита определяется структурой слоёв, размером, морфологией кристаллов, количеством микровключений и микропор. Цветовая гамма кальцита определяется прозрачностью, цветом подложки, содержаниями Mn и Fe. Установленные минеральный и химический состав (включая микровключения и элементы-примеси) аммонитов позволяют проводить их идентификацию.

Аммониты Республики Кабардино-Балкария характеризуется широким диапазоном размеров, высокой декоративностью, положительными

технологическими и экологическими характеристиками, не уступающими как российским, так и зарубежным аналогам. Из них может изготавливаться широкий ассортимент интерьерных и ювелирных изделий, что позволяет максимально использовать собранный материал. Сбор аммонитов проводится в долинах рек без горных выработок, а это не требует значительных финансовых затрат и не нарушает экологию среды.

Авторы надеются, что данная статья, как и ранее опубликованные, послужит толчком к комплексному изучению объектов с аммонитами в качестве полезного ископаемого, активному вовлечению их в освоение.

Работа выполнена в рамках тематического госзадания МГУ им. М. В. Ломоносова, с использованием оборудования, приобретённого по Программе развития МГУ им. М. В. Ломоносова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Буканов В. В.* Цветные камни и коллекционные минералы : Энциклопедия. – Прага : Гранит, 2008. – 419 с.
2. *Друщиц В. В., Михайлова И. А.* Биостратиграфия нижнего мела Северного Кавказа. – М. : МГУ, 1966. – 190 с.
3. *Михайлова И. А., Бондаренко О. Б.* Палеонтология. В 2 частях. Часть 1. – М. : МГУ, 1997. – 448 с.
4. *Петроченков Д. А.* Аммолит. – М. : Горная книга, 2021 – 192 с.
5. *Петроченков Д. А.* Интерьерные и ювелирно-поделочные аммониты Африки. – М. : Горная книга, 2021. – 257 с.
6. *Петроченков Д. А.* Интерьерные и ювелирно-поделочные аммониты Европейской России. – М. : Горная книга, 2021. – 354 с.
7. *Петроченков Д. А.* Интерьерные и ювелирно-поделочные аммониты Ульяновской области. – М. : Горная книга, 2020. – 248 с.
8. *Петроченков Д. А., Быховский Л. З.* Ювелирно-поделочные аммониты: проблемы оценки и перспективы добычи // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2018. – № 4. – С. 15–22.
9. *Снежко В. А., Богданова Т. Н., Снежко В. В.* Нижнемеловые отложения центральной и восточной части северного склона Большого Кавказа (палеонтологическое и литологическое сопоставление) // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 74. – С. 59–70.

REFERENCES

1. *Bukanov V. V.* Tsvetnyye kamni i kollektsionnyye mineraly : Entsiklopediya [Colored stones and collection minerals: Encyclopedia], Praga, Granit publ., 2008, 419 p. (In Russ.)
2. *Drushchits V. V., Mikhaylova I. A.* Biostratigrafiya nizhnego mela Severnogo Kavkaza [Biostratigraphy of the Lower Cretaceous of the North Caucasus], Moscow, MGU publ., 1966, 190 p. (In Russ.)
3. *Mikhaylova I. A., Bondarenko O. B.* Paleontologiya. V 2 chastyakh. Chast' 1 [Paleontology. In 2 parts. Part 1], Moscow, MGU publ., 1997, 448 p. (In Russ.)
4. *Petrochenkov D. A.* Ammolit [Ammolit], Moscow, Gornaya kniga publ., 2021, 192 p. (In Russ.)
5. *Petrochenkov D. A.* Inter'yernyye i yuvelirno-podelochnyye ammonity Afriki [Interior and ornamental ammonites of Africa], Moscow, Gornaya kniga publ., 2021, 257 p. (In Russ.)
6. *Petrochenkov D. A.* Inter'yernyye i yuvelirno-podelochnyye ammonity Yevropeyskoy Rossii [Interior and ornamental ammonites of European Russia], Moscow, Gornaya kniga publ., 2021, 354 p. (In Russ.)
7. *Petrochenkov D. A.* Inter'yernyye i yuvelirno-podelochnyye ammonity Ul'yanovskoy oblasti [Interior and jewelry and ornamental ammonites of the Ulyanovsk region], Moscow, Gornaya kniga publ., 2020, 248 p. (In Russ.)
8. *Petrochenkov D. A., Bykhovskiy L. Z.* Yuvelirno-podelochnyye ammonity: problemy otsenki i perspektivy dobychi [Jewelery and ornamental ammonites: problems of assessment and prospects for production]. Mineral'nyye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye, 2018, No. 4, pp. 15–22. (In Russ.)
9. *Snezhko V. A., Bogdanova T. N., Snezhko V. V.* Nizhnemelovyye otlozheniya tsentral'noy i vostochnoy chasti severnogo sklona Bol'shogo Kavkaza (paleontologicheskoye i litologicheskoye sopostavleniye) [Lower Cretaceous deposits of the central and eastern part of the northern slope of the Greater Caucasus (paleontological and lithological comparison)]. Regional'naya geologiya i metallogeniya, 2018, No. 74, pp. 59–70. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 10.05.23; одобрена после рецензирования 29.05.23; принята к публикации 30.05.23.
The article was submitted 10.05.23; approved after reviewing 29.05.23; accepted for publication 30.05.23.

К 90-летию со дня рождения Виктора Борисовича Чекваидзе

3 августа 2023 года исполняется 90 лет со дня рождения видного учёного, академика РАЕН, доктора геолого-минералогических наук, проработавшего в ЦНИГРИ более 50 лет.

В. Б. Чекваидзе – известный в нашей стране и за рубежом учёный, геолог, специалист в области петрографии и геохимии. Главными направлениями его научной деятельности были изучение месторождений благородных и цветных металлов и разработка методов их прогноза и поисков (околорудный метасоматизм, прикладная геохимия, комплексирование петрографических, минералогических и геохимических поисковых методов).

Виктор Борисович родился в Харькове в 1933 году. В 1955 г. с отличием окончил Харьковский университет. С 1965 г. работал в ЦНИГРИ. Многие годы осуществлял работы на колчеданно-полиметаллических месторождениях Рудного Алтая в Змеиногорском, Золотушинском, Рубцовском, Лениногорском и Зыряновском рудных районах, в результате чего им разработана формационная классификация околорудных метасоматитов, успешно используемая и в наши дни. В Зыряновском районе В. Б. Чекваидзе участвовал в прогнозно-металлогенических исследованиях, которые привели к открытию Малеевского и Майского колчеданно-полиметаллических месторождений. Эти исследования составили основу его докторской диссертации «Метасоматические формации и рудно-метасоматические ассоциации колчеданно-полиметаллических месторождений и их значение при поисках скрытого оруденения» (1982 г.)

Позже он возглавил минералого-геохимическую лабораторию, проводившую работы на рудное золото в ряде регионов бывшего Советского Союза (Северный Казахстан – Васильковское месторождение, Грузинская ССР – месторождение Маднеули, Магаданская область – Наталкинское месторождение, Закарпатье – Береговское месторождение).

В. Б. Чекваидзе усовершенствовал комплекс минералого-геохимических методов поисков золоторудных месторождений. Выдвинутое им положение о закономерно повторяющихся вещественных триадах (породно-минерально-элементных ассоциациях) подтверждено на примере месторождений различных формационных типов.



На основании этого совместно с И. З. Исакович и С. А. Миляевым была опубликована (2004 г.) и внедрена в практику поисковых работ комплексная петрографо-минералого-геохимическая методика поисков золоторудных месторождений.

Кроме того, В. Б. Чекваидзе являлся инициатором и автором разработки ионно-потенциометрического метода поисков золоторудных месторождений, с помощью которого был открыт промышленный золоторудный объект в Центральной Колыме. Этот метод успешно продолжает разрабатывать С. А. Миляев для колчеданно-полиметаллических месторождений.

В последние годы Виктор Борисович выполнял работы по оценке перспектив золотоносности магматических и метаморфических комплексов Востока России, участвовал в работах по научному сопровождению ГРР, направленных на поиски месторождений золота в пределах Республики Карелия, Мурманской и Архангельской областей.

В. Б. Чекваидзе – автор более 250 печатных трудов, включая семь монографий. Его научная деятельность отмечена знаком «Отличник разведки недр», юбилейным знаком «300 лет горно-геологической службы России», почётными грамотами Мингео СССР, МПР России, ЦНИГРИ и премией М. Б. и Н. И. Бородаевских.

Научные разработки Виктора Борисовича успешно используются сотрудниками ЦНИГРИ, работающими на колчеданно-полиметаллических и золоторудных месторождениях.

Редколлегия журнала

XIV Всероссийская открытая полевая олимпиада юных геологов

XIV Всероссийская открытая полевая олимпиада юных геологов проводится Федеральным агентством по недропользованию совместно с Правительством Республики Татарстан и ПАО «Татнефть». Школьники продемонстрируют свои знания в области геологии и навыки проведения геологических исследований.



Команды юных геологов начинают собирать рюкзаки уже сейчас, чтобы отправиться на олимпиаду вместе со своими руководителями. Научные проекты – на этапе подготовки к защите, творческие работы сохнут на подоконнике. Ребята готовятся к этому событию, изучая различные темы, связанные с геологией.

Тематика олимпиады включает разделы естествознания, составляющие комплекс наук о Земле, также затрагиваются вопросы практического применения школьниками знаний по палеонтологии, петрографии, минералогии, кристаллографии, геофизике и геохимии, экогеологии, структурной и исторической геологии, инженерной геологии, гидрогеологии, геологии полезных ископаемых и другим наукам геологического профиля.

Кроме того, предусматривается проведение геологических соревнований, конкурсов, научно-практической конференции, будут и спортивные, и развлекательные мероприятия. Задача юных геологов – показать свои знания и умения, проявить творческий подход в решении заданий.





Участники должны быть хорошо подготовлены к работе в команде, так как многие соревнования требуют совместных усилий, когда нужно принимать решения в условиях ограниченного времени.

Геологическая олимпиада – важное событие для юных геологов и их наставников, это возможность расширить знания, получить ценный опыт. К тому же участие в олимпиаде может стать стартом для будущих научных исследований и карьеры в области геологических наук. Это новые знакомства, обмен опытом и знаниями, стимул для дальнейшего изучения геологии и повышения интереса к этой науке.

Олимпиада юных геологов пройдет с 27 июля по 7 августа 2023 года в г. Альметьевске, Республика Татарстан.

Пожелаем успехов юным геологам, и до встречи на олимпиаде!



Требования к авторам статей

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

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

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

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

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

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

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

8. Рисунки и другие графические материалы (не более 7) представляются в цветном или черно-белом варианте. Размер оригиналов рисунков не должен превышать формата страницы журнала (170×237 мм). Каждый рисунок помещается в отдельный файл в одном из следующих форматов: графический редактор Corel Draw, JPEG, TIFF (только для фото), диаграмма Microsoft Exsel. Графика должна быть связана с текстом и способствовать его сокращению. Оформление и содержание иллюстративного материала должны обеспечивать его читаемость после возможного уменьшения. Ксерокопии и сканированные ксерокопии не принимаются. Подрисуночные подписи печатаются на отдельной странице (текстовый файл, после списка литературы). Рисунки, не удовлетворяющие требованиям редакции, возвращаются автору.

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

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