ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 6 / 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

Содержание

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 22.01.2024
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:10.47765/0869-7175-2023-10026

УДК 553.411.042(47+57)

Прогноз долгосрочного освоения и развития минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации

Рассмотрено современное состояние минерально-сырьевой базы золота. Выполнен прогноз её развития до 2040 г. Обоснованы три сценария добычи золота до 2040 г. и необходимость усиления геологоразведочных работ (ГРР) ранних стадий для выявления новых золоторудных объектов, подготовки прогнозных ресурсов и создания «поискового задела».

Ключевые слова: золото, минерально-сырьевая база, добыча, прогноз.

ИВАНОВ АНАТОЛИЙ ИННОКЕНТЬЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, исполняющий обязанности генерального директора, tsnigri@tsnigri.ru

АЛЕКСЕЕВ ЯРОСЛАВ ВЛАДИМИРОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, начальник отдела, alekseev@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 по научной работе, tsnigri@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

Outlook for the long-term exploitation and development of the gold mineral resource base in the Russian Federation

A. I. IVANOV, Ya. V. ALEXEEV, E. A. NAUMOV, D. A. KULIKOV, I. F. MIGATCHEV, A. N. BARYSHEV, A. I. DONETS, V. D. KONKIN, V. S. ZVEZDOV

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

The current state of the gold mineral resource base of the Russian Federation is considered. The forecast of the mineral resource base development up to 2040 has been performed. Three scenarios is provided for the gold production until 2040. The need is substantiated to intensify early-stage geological exploration in order to reveal new gold ore objects, to prepare the forecasted resources, and to create the “fund of exploration-deserving objects”.

Key words: gold, mineral resource base, mine production, forecast.

Введение. В «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года», утверждённой Распоряжением Правительства Российской Федерации № 2914-р от 22 декабря 2018 г., золото отнесено ко «второй группе» твёрдых полезных ископаемых, достигнутые уровни добычи которых недостаточно обеспечены запасами разрабатываемых месторождений на период до 2035 г., и для них целевое значение показателя воспроизводства запасов установлено на уровне 100 %, а предельно минимально допустимое – на уровне 75 %, что должно позволить поддержать достигнутые уровни добычи на протяжении многих десятилетий.

В то же время состояние МСБ золота требует постоянного мониторинга, так как его значение для экономики РФ очень велико [1–5]. Важнейшими при этом являются как прогноз изменения МСБ, так и прогноз добычи, которым и посвящена настоящая статья.

Состояние МСБ золота на 01.01.2023 г. приведено в табл. 1. Большая часть запасов золота сосредоточена в рудных (собственно золоторудных и комплексных) месторождениях, хотя запасы золота в россыпных месторождениях ещё достаточно велики. Большая часть месторождений с балансовыми запасами находится в распределённом фонде – для рудных месторождений этот показатель превышает 90 % (см. табл. 1). Следует отметить, что столь высокий показатель запасов в распределённом фонде недр для ведущего типа месторождений – собственно золоторудных (около 69 % общих запасов золота) – был достигнут только в последние годы (рис. 1) за счёт лицензирования в 2017 г. месторождения Сухой Лог, а в 2022 и 2023 гг. за счёт передачи в недропользование крупных месторождений – Имени Б. К. Михайлова (Республика Кабардино-Балкария) и нераспределённой части запасов Наталкинского месторождения (Магаданская область). Из крупных рудных месторождений в нераспределённом фонде недр остались только Перекатное (Магаданская область), Балейское (Забайкальский край) и Иканское (Амурская область), характеризующиеся в настоящий момент недостаточно эффективными экономическими показателями освоения.

1. Состояние минерально-сырьевой базы золота на 01.01.2023 г.

Запасы*, тыс. т			
Месторождения (число)	ABC$_1$	C$_2$	ABC$_1$C$_2$
Золоторудные собственные (459)	6,359↑	5,037↑	11,395↑
Россыпные (5683)	0,906↓	0,201↓	1,108↓
Комплексные (медные, никелевые и др. – 191)	2,298↓	1,620 ↑	3,918↑
Общие (6333)	9,563 ↑	6,858↑	16,420↑
Распределённый фонд запасов, %			
Месторождения (число)	ABC$_1$	C$_2$	ABC$_1$C$_2$
Золоторудные собственные (333)	97,4 ↑	90,8 ↑	94,5 ↑
Россыпные (3132)	58,0 ↑	78,7 ↑	61,8 ↑
Комплексные (126)	93,7 ↑	91,5 ↑	92,8 ↑
ВСЕГО (3591)	92,8 ↑	90,6 ↑	91,9 ↑
Прогнозные ресурсы, тыс. т			
Категории	P$_1$	P$_2$	P$_3$
Золоторудные собственные (1318**) и комплексные (83**)	6,2↓	11,6	26,0↓
Россыпные	0,2	0,2	0,5
Общие	6,2	11,8	26,5

Примечание. * – сведения о запасах и их освоенности, по данным Госбаланса на 01.01.2023 г. (с учётом округления); ** – единица учёта – сведения, по данным Сборника ПР ТПИ и ТГПИ (ФГБУ «РГФ») на 01.01.2023 г.; стрелки – направление изменения показателя к прошлому году.

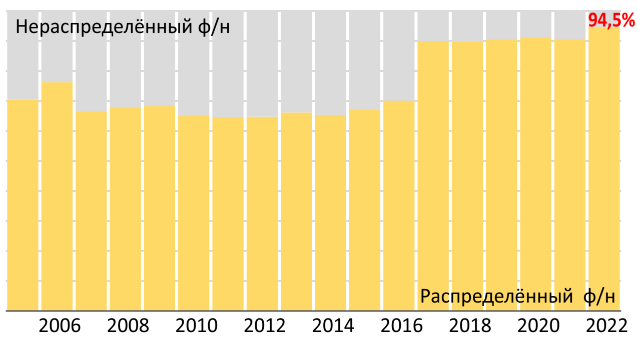


Рис. 1. Доля распределённого фонда недр, собственно золоторудные месторождения

Для россыпных месторождений показатель лицензирования значительно ниже (см. табл. 1) из-за наличия в Госбалансе малопривлекательных для лицензирования россыпей – очень мелких, глубокозалегающих и др., при этом количество таких объектов достаточно велико – 2551 единица.

В последние десятилетия существовала отчётливая тенденция общего увеличения запасов золота в РФ (рис. 2, А). Наибольшая доля запасов на 01.01.2023 г. сосредоточена в собственно золоторудных месторождениях (69 %), значительная (24 %) – в комплексных, балансовые запасы россыпных месторождений составляют 7 % от общих запасов. Рост балансовых запасов золота происходил на фоне в целом возрастающей добычи (списания балансовых запасов (см. рис. 2, Б))

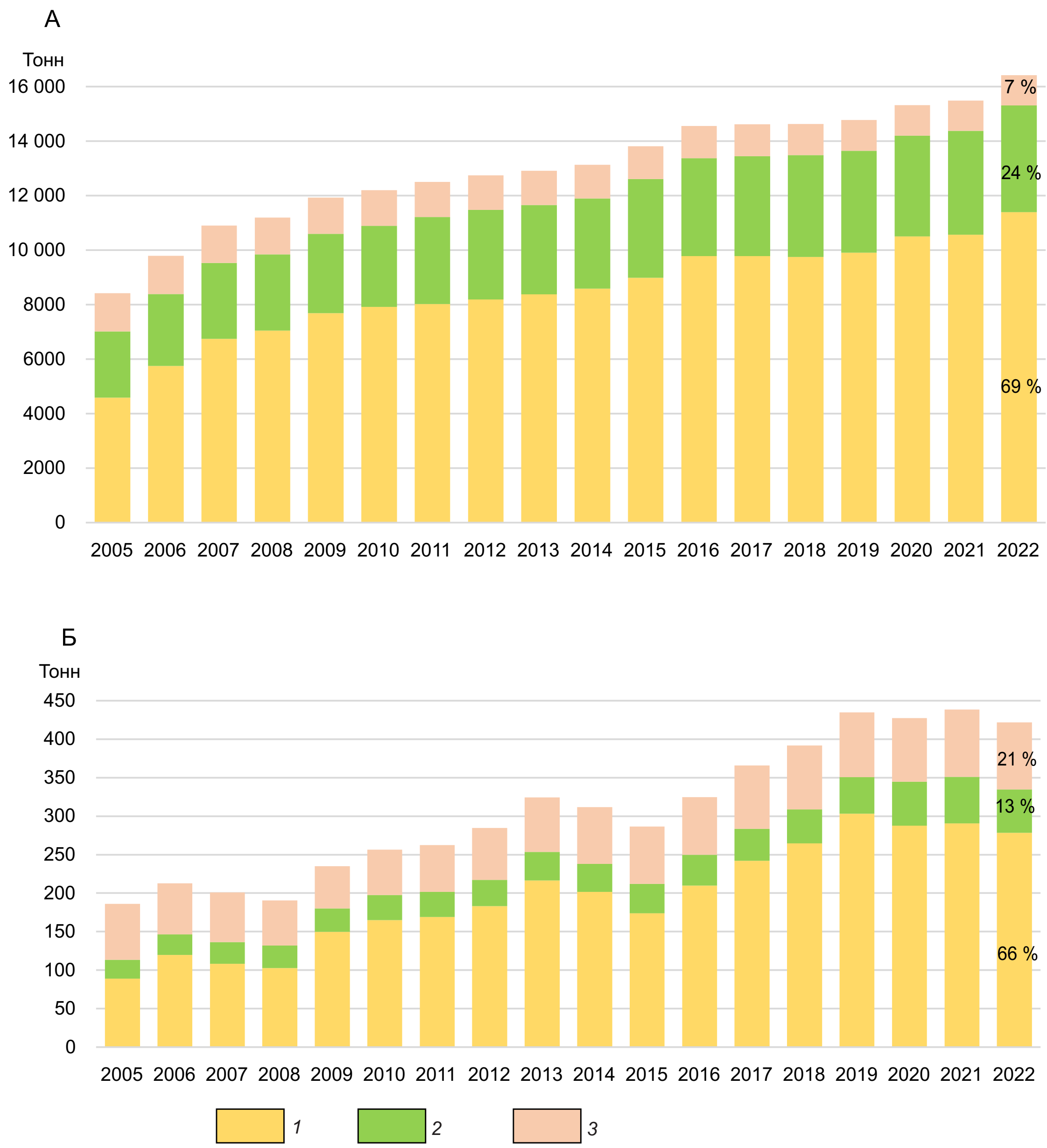


Рис. 2. Динамика запасов ABC_1C_2 (А) и добычи (списания балансовых запасов) (Б) золота по типам месторождений в 2005–2022 гг.:

месторождения: *1* – собственно золоторудные, *2* – комплексные, *3* – россыпные

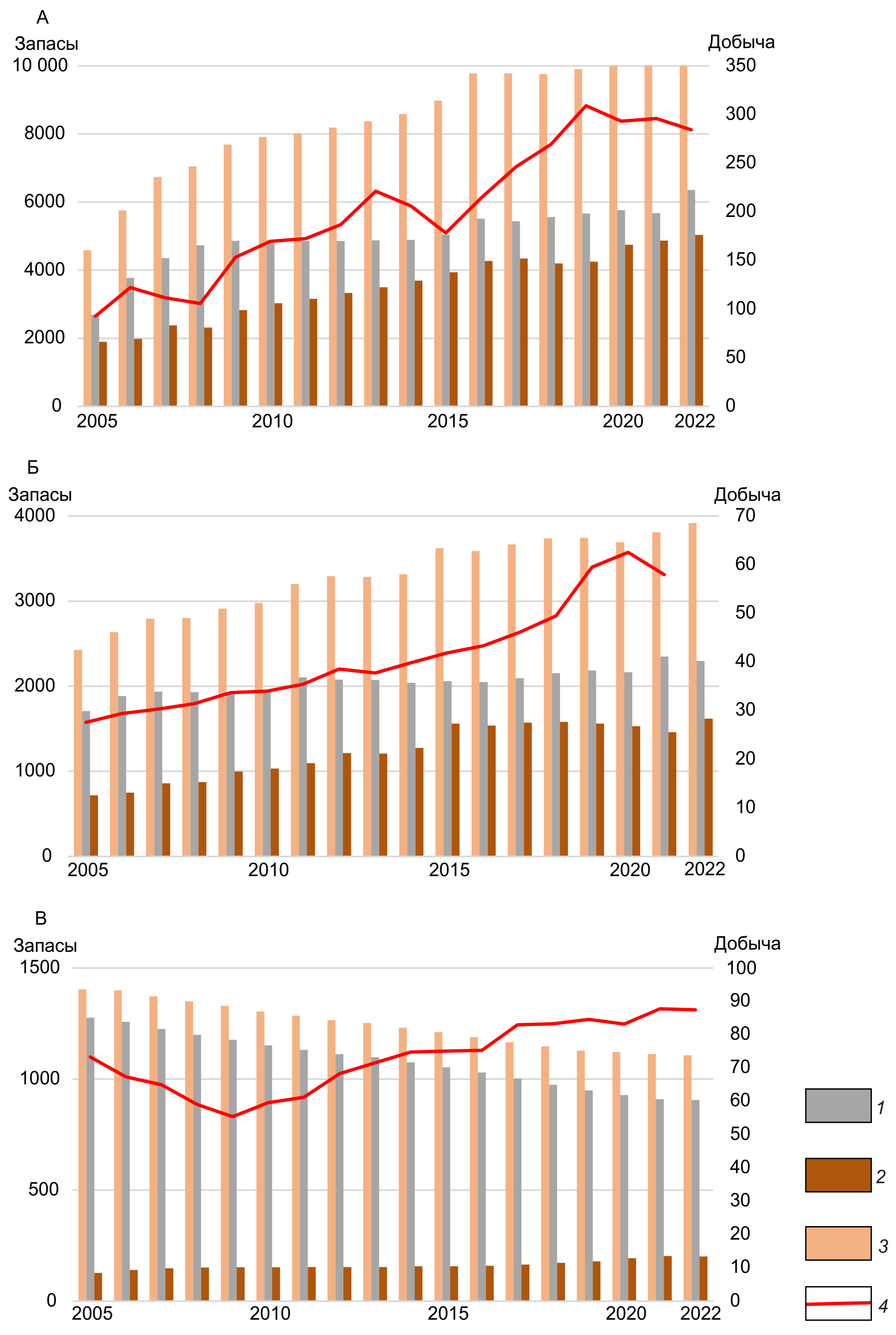


Рис. 3. Динамика изменений общих запасов золота, запасов промышленных категорий (ABC_1) и категории C_2 на фоне роста его добычи

А – динамика запасов золота в собственно золоторудных месторождениях и добычи золота из них, тонн. Достигнув максимума в 2008 г. (67 %), доля запасов кат. ABC_1 к 2022 г. снизилась до 56 %; Б – динамика запасов золота в комплексных месторождениях и добычи золота из них, тонн. Доля запасов кат. ABC_1 с 72 % в 2006 г. снизилась к 2022 г. до 59 %; В – динамика запасов золота в россыпных месторождениях и добычи золота из них, тонн; запасы: *1* – ABC_1, *2* – C_2, *3* – ABC_1C_2, *4* – добыча (погашение балансовых запасов) из всех трёх типов месторождений, причём доля россыпного золота в добыче составила в 2022 г. весьма значительную величину – 20 %.

Несмотря на рост общих запасов золота собственно золоторудных и комплексных месторождений неуклонно ухудшается структура запасов, заключающаяся в возрастании доли непромышленных запасов категории C_2 относительно запасов промышленных категорий (рис. 3, А, Б). Так, в собственно золоторудных месторождениях с 2008 по 2022 гг. доля промышленных запасов снизилась с 67 % (максимальные значения за рассматриваемый период времени) до 56 %. А в комплексных месторождениях с 2006 по 2022 гг. –

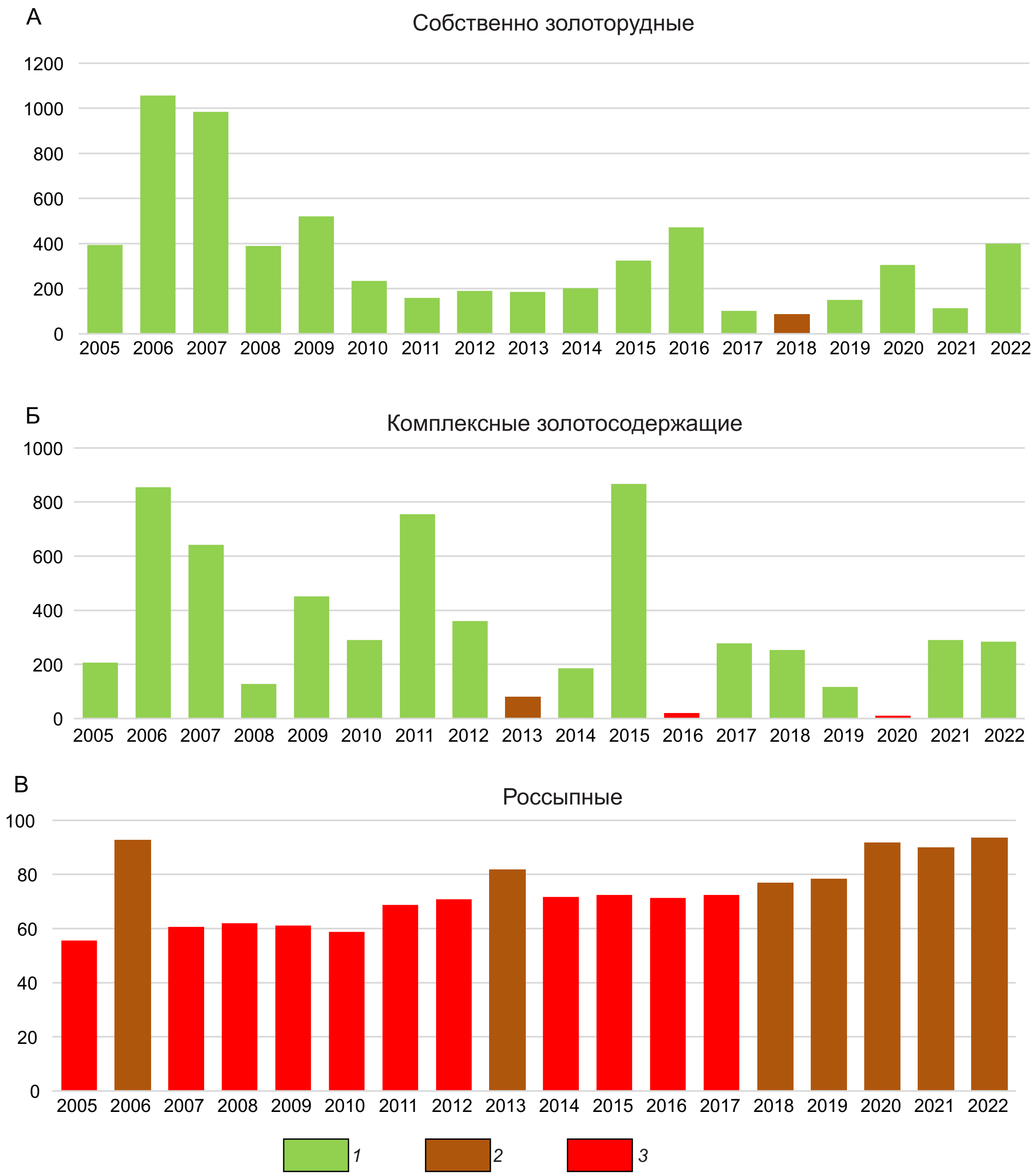


Рис. 4. Воспроизводство МСБ золота РФ по типам месторождений:

1 – воспроизводство запасов >100 %, *2* – от 75 до 100 %, *3* – <75 %

с 72 % до 59%. А так как при переводе запасов категории C_2 в категорию C_1 обычно происходит их сокращение, то это означает необходимость учёта данного факта при прогнозировании как развития МСБ золота, так и его добычи.

Что же касается россыпных месторождений, то в условиях увеличивающейся добычи происходит общее снижение запасов за счёт снижения запасов категории C_1, несмотря на некоторый рост запасов категории C_2 (см. рис. 3, В).

Рост запасов собственно золоторудных и комплексных месторождений, несмотря на возрастающую добычу, свидетельствует о выполнении в целом показателей «Стратегии…» по воспроизводству запасов. В собственно золоторудных месторождениях с 2005 по 2022 гг. лишь в 2018 г. этот показатель оказался ниже 100%, а в комплексных – только в 2013, 2016 и 2020 гг. (рис. 4, А, Б). Для россыпных месторождений за этот период времени целевой показатель в 100% не достигался ни разу, хотя в последние годы он превышает минимально допустимые 75% (см. рис. 4, В). Это в большой степени объясняется возрастанием в последние годы значений прироста запасов от «Переоценки» (табл. 2), что связано, по-видимому, с возрастанием цены золота на мировом рынке и, соответственно, с переводом в рентабельные балансовые запасы, относимые ранее к забалансовым.

2. Воспроизводство минерально-сырьевой базы россыпного золота Российской Федерации в 2018–2022 гг. (по Госбалансу)

Сведения о добыче, запасах на россыпных месторождениях и приросте запасов категории ABC_1 от разведки и переоценки (кг)										
Год фактич.	Тип	Добыча	Запасы			Забалансовые		Прирост запасов кат. ABC_1		
			кат. ABC_1	кат. C_2	кат. ABC_1C_2			От разведки	От переоценки	Разведка и переоценка
2022	Россыпные	87 140	906 276	201 299	1 107 575	186 117	Всего	58 241	26 519	84 760
							из них с протоколом	27 198	19 808	47 006
							без протокола	31 043 (54 %)	6711	37 754
2021	Россыпные	87 337	909 387	203 804	1 113 191	191 564	Всего	55 985	13 450	69 435
							из них с протоколом	21 361	10 652	32 013
							без протокола	34 624 (62 %)	2798	37 422
2020	Россыпные	82 748	928 436	193 575	1 122 011	196 988	Всего	49 221	13 892	63 113
							из них с протоколом	18 278	14 671	32 949
							без протокола	30 943 (63 %)	-779	30 164
2019	Россыпные	84 116	948 975	179 797	1 128 772	203 253	Всего	57 149	2882	60 031
							из них с протоколом	26 562	1786	28 348
							без протокола	30 587 (54 %)	1096	31 683
2018	Россыпные	82 892	974 111	173 013	1 147 124	218 395	Всего	54 167	1893	56 060
							из них с протоколом	21 855	-5660	16 195
							без протокола	32 312 (60 %)	7553	39 865

Примечание. Протокол – утверждение запасов месторождения в ФБУ «ГКЗ» (Роснедра).

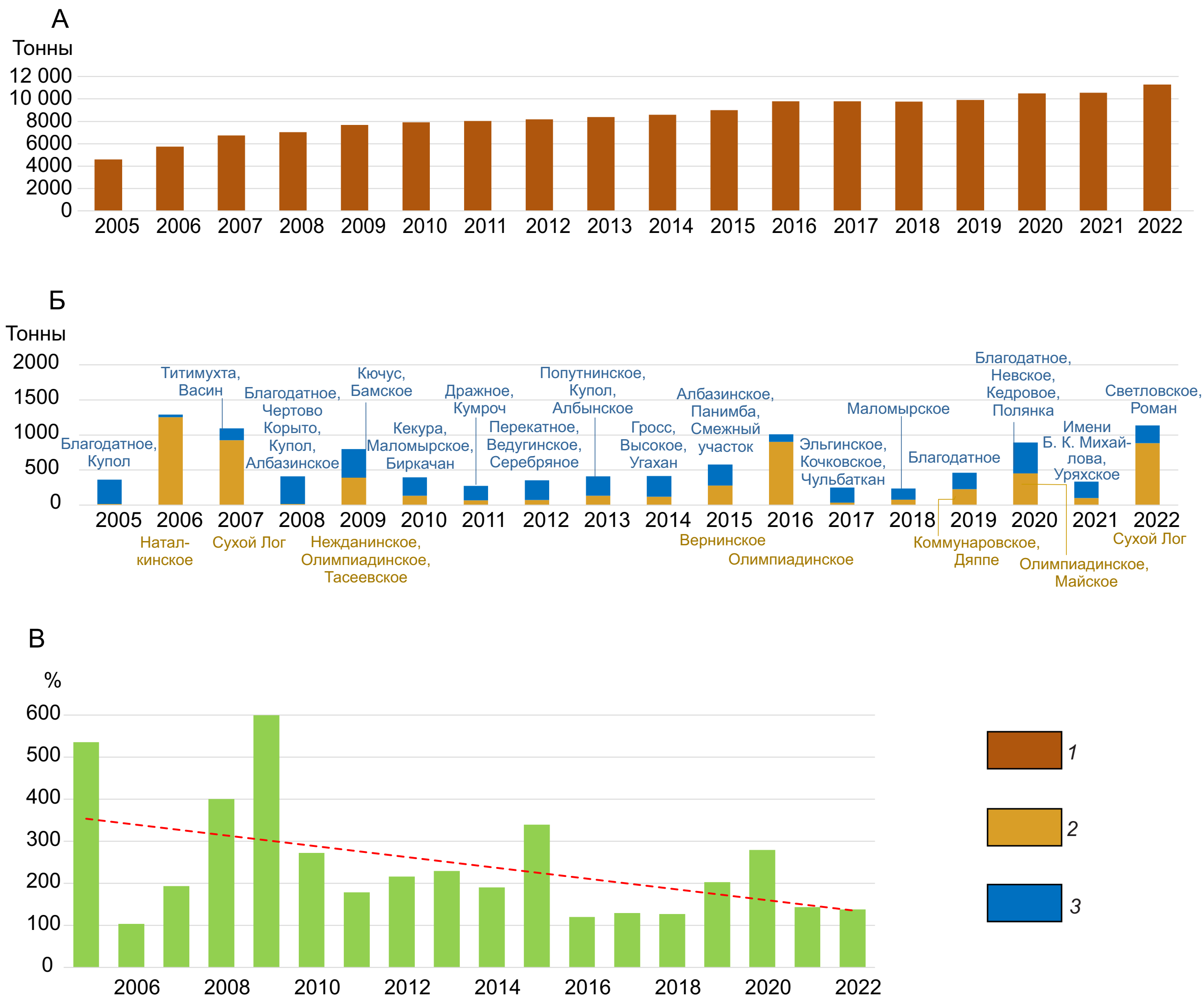


Рис. 5. Особенности воспроизводства запасов золота собственно золоторудных месторождений РФ:

движение запасов собственно золоторудных месторождений: *1* – ABC_1C_2; Б – годовой прирост запасов золота на собственно золоторудных месторождениях и основные месторождения его обеспечившие: *2* – «старые», *3* – «новые»; В – годовой уровень и долгосрочный тренд динамики воспроизводства запасов собственно золоторудных месторождений, исключая вклад трёх уникальных месторождений: Сухой Лог, Наталкинское, Олимпиадинское

Следует особо отметить ещё один факт, во многом объясняющий значительное возрастание запасов с 2005 по 2022 гг. собственно золоторудных месторождений, являющихся «драйвером» МСБ золота в РФ. На рис. 5 показаны динамика изменения запасов (А) и месторождения (Б), на которых за счёт прироста запасов возрастали общие запасы золота в РФ. Месторождения разделены на две группы: «старые» (поставлены на баланс в советское время) и «новые» (поставлены на баланс в постсоветское время). На диаграммах хорошо видно, что основные приросты запасов получены на «старых» месторождениях Сухой Лог, Наталкинское и Олимпиадинское за счёт их доразведки и переоценки. Причём их вклад в прирост запасов категорий ABC_1C_2 за 2005–2022 гг. составил 40 % (4268 т), в том числе по запасам промышленных категорий (ABC_1) – 44 % (3211 т), по запасам категории C_2 – 31 % (1057 т). А вклад в прирост балансовых запасов «старых» месторождений –

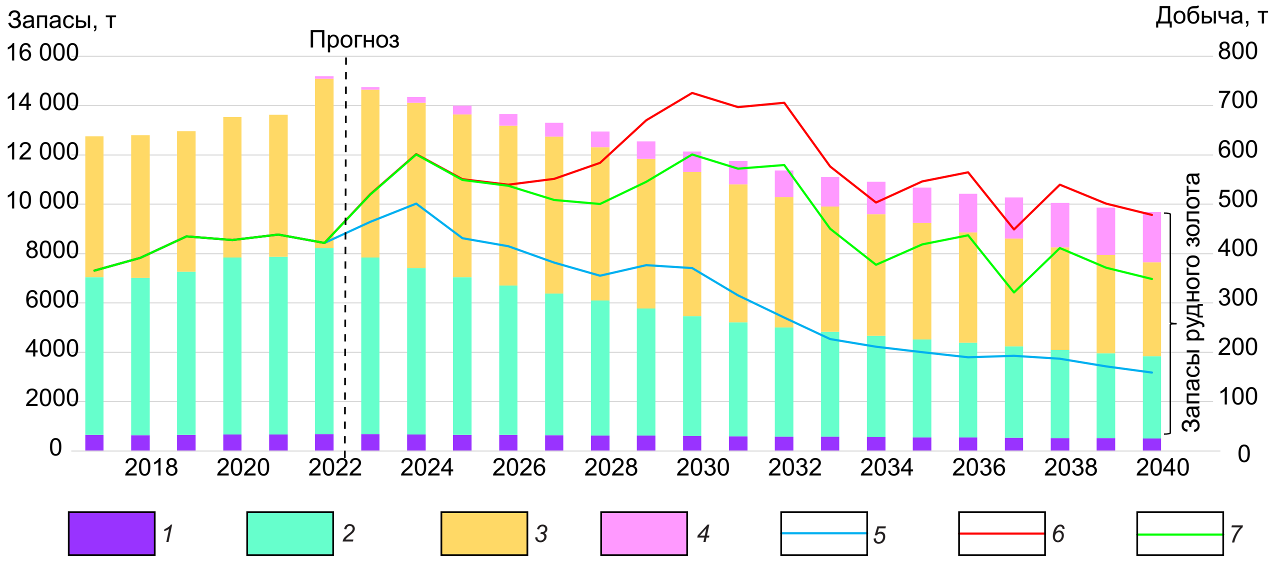


Рис. 6. Прогноз развития МСБ золота:

запасы: *1* – россыпей, *2* – разрабатываемых месторождений, *3* – разведываемых и подготавливаемых месторождений, *4* – нераспределённого фонда и подготовленных из прогнозных ресурсов; тип добычи: *5* – консервативный, *6* – прогрессивный, *7* – базовый

соответственно по указанным категориям 70%. В 2023 г., по данным ФБУ «ГКЗ», на Олимпиадинском месторождении за счёт доразведки флангов и глубоких горизонтов вновь отмечен прирост балансовых запасов 449,2 т, в т.ч. по категориям: ABC_1 – 185,2 т, C_2 – 264 т. Наличие в РФ трёх уникальных по запасам месторождений является важнейшим фактором для наращивания МСБ золота. Однако необходимо отметить, что возможности этого прироста запасов в дальнейшем уже ограничены. Без учёта данных месторождений показатели воспроизводства запасов в 100% на остальных объектах пока выполняются, но динамика такого воспроизводства имеет нисходящий тренд (рис. 5, В).

В прогнозе изменения запасов золота до 2040 г. (рис. 6) представлен вариант исчерпания возможности наращивания запасов за счёт уникальных месторождений и продолжения приростов запасов на разведываемых и подготавливаемых к разработке месторождений. Возможности же наращивания запасов золота на объектах нераспределённого фонда недр и с выявленными прогнозными ресурсами ограничены, хотя в дальнейшем (после 2030 г.) такие месторождения должны играть заметную роль.

В прогнозе добычи золота рассмотрены три сценария: **базовый**, в котором учитываются календарные планы добычных работ (технических проектов отработки) разрабатываемых и подготавливаемых (и разведываемых) месторождений; **консервативный**, при котором ввод новых месторождений в разработку отсутствует; **прогрессивный** – на добычу оказывает влияние возможное вовлечение запасов, подготовленных из прогнозных ресурсов (ПР) высоких категорий по результатам ГРР при их наличии. Также учтено возможное вовлечение объектов нераспределённого фонда недр. При этом в базовом сценарии предусматриваются начало опытно-промышленной разработки месторождения Сухой Лог в 2024 г. и начало полноценной его эксплуатации в 2028 г. (согласно утверждённому в 2022 г. проекту). Расшифровка роли месторождения Сухой Лог в МСБ золота РФ и его влияния на объём добычи золота показана на рис. 7, где наглядно видна доля его запасов в общем балансе золота и показано влияние добычи на нём на базовый сценарий добычи в РФ. Именно начало полноценной добычи на месторождении Сухой Лог уже на общем нисходящем тренде позволяет на несколько лет поддержать добычу на максимальном уровне, после чего начнется её снижение. Имеющиеся в настоящее время риски более позднего начала полноценной разработки месторождения, связанные с вероятными

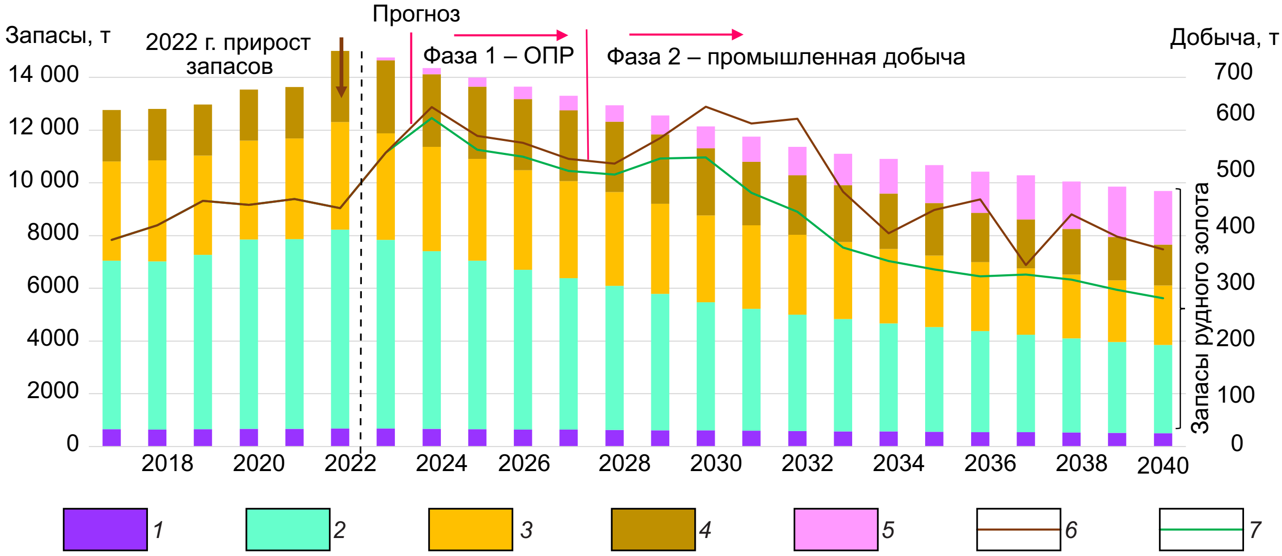


Рис. 7. Положение месторождения Сухой Лог в МСБ золота и его влияние на базовый сценарий добычи:

запасы: *1* – россыпей, *2* – разрабатываемых месторождений, *3* – разведываемых и подготавливаемых месторождений без Сухого Лога, *4* – Сухого Лога, *5* – нераспределённого фонда и подготовленных из прогнозных ресурсов; тип добычи: *6* – базовый без Сухого Лога, *7* – базовый с Сухим Логом

сложностями в приобретении оборудования и смещением даты постройки мостового перехода через р. Витим в г. Бодайбо на 2030 г. (Распоряжение Правительства от 16 октября 2023 г. № 2846-р), могут привести к соответствующей корректировке базового сценария добычи золота в РФ.

Что касается вероятной добычи из россыпных месторождений, то прогноз исходит из того, что изменение запасов россыпного золота будет относительно незначительным исходя из отчётливой тенденции последних лет о их постоянном наращивании в результате проведения геологоразведочных работ (ГРР) и последующей быстрой отработки. В целом добыча золота из россыпных месторождений в обозримой перспективе будет играть существенную роль в общем объёме добычи золота.

В целом при базовом сценарии добычи запасы распределённого фонда недр (РФН), учтённые на коренных месторождениях (на 01.01.2023 г.), к 2040 г. сократятся в 2 раза – с 14 403,3 до 7146,3 т. При успешных ГРР на объектах с подготовленными ПР к 2040 г. запасы новых месторождений могут составить более 2000 т.

Резюме. Несмотря на благоприятную ситуацию в настоящее время с МСБ золота в РФ, для её поддержания в дальнейшем и сохранения объёма добычи золота на длительную перспективу необходимо наращивание за счёт всех источников финансирования геологоразведочных работ прежде всего ранних стадий, направленных на выявление новых месторождений. Это позволит обеспечить не только устойчивость МСБ золота, но и при необходимости осуществить перераспределение доходов от её освоения на развитие сырьевых баз других видов полезных ископаемых, включая дефицитные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов А. И., Алексеев Я. В., Черных А. И., Наумов Е. А., Куликов Д. А., Барышев А. Н., Донец А. И., Конкин В. Д.* Российские золоторудные месторождения – аспекты открытия // Отечественная геология. – 2022. – № 3. – С. 3–21.
2. *Иванов А. И., Алексеев Я. В., Черных А. И., Наумов Е. А., Куликов Д. А., Голубева Ю. Ю., Корчагина Д. А., Мигачев И. Ф., Барышев А. Н., Донец А. И., Конкин В. Д.*

Алмазы, цветные и благородные металлы российской федерации – перспективы развития минерально-сырьевой базы и добычи // Отечественная геология. – 2023. – № 3. – С. 3–16
3. *Иванов А. И., Черных А. И., Вартанян С. С.* Состояние, перспективы развития и освоения минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации // Отечественная геология. – 2018. – № 1. – С. 18–28.
4. *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.
5. *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.

REFERENCES

1. *Ivanov A. I., Alekseyev Ya. V., Chernykh A. I., Naumov Ye. A., Kulikov D. A., Baryshev A. N., Donets A. I., Konkin V. D.* Rossiyskiye zolotorudnyye mestorozhdeniya – aspekty otkrytiya [Russian gold deposits – aspects of discovery], Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology], 2022, No. 3, pp. 3–21. (In Russ.)
2. *Ivanov A. I., Alekseyev Ya. V., Chernykh A. I., Naumov Ye. A., Kulikov D. A., Golubeva Yu. Yu., Korchagina D. A., Migachev I. F., Baryshev A. N., Donets A. I., Konkin V. D.* Almazy, tsvetnyye i blagorodnyye metally rossiyskoy federatsii – perspektivy razvitiya mineral'no-syr'yevoy bazy i dobychi [Diamonds, non-ferrous and precious metals of the Russian Federation – prospects for the development of the mineral resource base and production], Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology], 2023, No. 3, pp. 3–16. (In Russ.)
3. *Ivanov A. I., Chernykh A. I., Vartanyan S. S.* Sostoyaniye, perspektivy razvitiya i osvoyeniya mineral'no-syr'yevoy bazy zolota v Rossiyskoy Federatsii [State, 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.)
4. *Ivanov A. I., Chernykh A. I., Vartanyan S. S.* Sostoyaniye i perspektivy razvitiya mineral'no-syr'yevoy bazy zolota v Rossiyskoy Federatsii [State and prospects for the development of the mineral resource base of gold in the Russian Federation], Smirnovskiy sbornik, Moscow, Maks-Press publ., 2018, pp. 10–29. (In Russ.)
5. *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 [Noble metals of the Russian Federation – the state of the mineral resource base and prospects for its development], Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology], 2022, No. 1, pp. 3–25. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 01.12.23; одобрена после рецензирования 25.12.23; принята к публикации 25.12.23.
The article was submitted 01.12.23; approved after reviewing 25.12.23; accepted for publication 25.12.23.

DOI:10.47765/0869-7175-2023-10027

УДК 55(091), 622(091)

История геологии и горного дела в информационном пространстве

В статье рассмотрены предпосылки создания и результаты работы Информационной Системы «История геологии и горного дела». Ресурс содержит обширные персональные данные, сведения об организациях, списки научных публикаций, документы и фотоматериалы. Система обеспечивает свободный доступ к информации, собранной за десятилетия работы в области истории наук о Земле в Геологическом институте РАН.

Ключевые слова: история геологии и горного дела, информационная система, Геологический институт РАН.

МАЛАХОВА ИРИНА ГЕННАДЬЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, mig@ginras.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук (ФГБУН ГИН РАН), Группа истории геологии, г. Москва

History of geology and mining in the information space

I. G. MALAKHOVA

Federal State Budgetary Institution of Science Geological Institute of the Russian Academy of Sciences of the RAS (FSBIS GIN RAS), Group for the History of Geology, Moscow

The article considers the creation prerequisites and results of operation of the Information System “History of Geology and Mining”. The resource contains extensive personal data, information about organizations, scientific publications lists, documents, and photographic materials. The system provides free access to the information collected over decades of work in the field of history of geosciences at the Geological Institute of the Russian Academy of Sciences.

Key words: history of geology and mining, information system, Geological Institute of the Russian Academy of Sciences.

В 2023 г. исполнилось 10 лет с момента появления в открытом информационном пространстве Информационной системы «История геологии и горного дела» (ИС). Создание этого ресурса связано с развитием такого направления в науках о Земле, как история геологических знаний.

Пионером исследований в области истории естествознания был академик В.И. Вернадский (1863–1945). По его инициативе в 1921 г. в Академии наук была создана Комиссия по истории знаний [2] и разработана программа работ в этом направлении, которая включала сбор материалов об учёных, составление картотек научных публикаций, создание специального печатного органа и др. [1].

В геологии план В. И. Вернадского блестяще претворил академик В. А. Обручев (1863–1956). Он был избран первым директором Геологического института (ГИН) РАН [6] (фото 1).

Покинув пост директора, В. А. Обручев до конца жизни участвовал в деятельности Института. В 1955 г. по его инициативе была создана Комиссия по геологической изученности СССР (КОГИ). Многотомный труд В. А. Обручева «История геологического исследования Сибири» [5] послужил моделью для составления сводок по геологической изученности всей территории СССР.

Свыше восьмидесяти научных учреждений Министерства геологии, Академии наук и Министерства высшего и среднего образования СССР участвовали в работе КОГИ.

Штаб-квартира КОГИ находилась в ГИН АН СССР. С 1962 по 1991 гг. были опубликованы 52 тома (1050 книг), содержащих подробные сведения об истории изучения всех регионов страны.

После кончины В. А. Обручева работу КОГИ и исследования по истории геологических наук

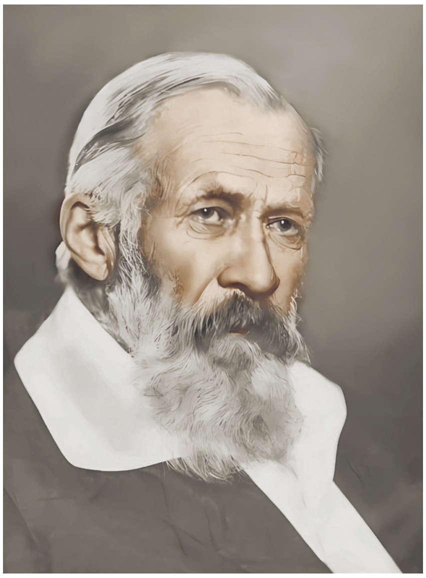


Фото 1. Академик В. А. Обручев – директор Геологического института АН СССР (03.04.1930–20.10.1933). Портрет в актовом зале Геологического института РАН

возглавил заведующий лабораторией (отделом) истории геологии Института В. В. Тихомиров (фото 2).

За десятилетия работы историков геологии под руководством В. В. Тихомирова был собран обширный материал – документы, публикации, библиографии, фотографии.

Работа КОГИ привлекла в круг историков науки многих специалистов из разных регионов страны. В 1968 г. по инициативе В. В. Тихомирова была создана Международная Комиссия по истории геологических наук (ИНИГЕО) в составе Международного Союза геологических наук.

Исследования историков геологии, участие в различных научных проектах в Советском Союзе и обширные международные научные связи позволили собрать большой объём информации:

- каталогизированную библиотеку (более 5000 книг) составляют книги по истории и методологии геологических наук, редкие издания, справочная литература (частично входит в фонд Библиотеки геологической литературы БЕН РАН);
- библиографии трудов отечественных и зарубежных геологов – свыше 500 000 единиц информации на каталожных карточках;
- документы, мемуары, рукописи, корреспонденция – более 8000 персональных папок;
- фототеку, в которой количество фотопортретов и групповых снимков превышает 10 000.

По мере роста объёма информации и увеличения количества запросов на её использование встал вопрос о предоставлении доступа к собранным данным широкому кругу пользователей. Развитие информационных технологий сделало возможным создание собственного ресурса.

Были сформулированы следующие задачи:

1. Компьютерная обработка и сохранение информации по истории наук о Земле.
2. Раскрытие информации посредством информационных технологий.
3. Обеспечение поиска данных по различным запросам пользователей.
4. Информационное сопровождение научных исследований.

Начальный этап создания информационной системы заключался в систематизации данных, в разработке структуры базы данных и в создании её рабочей версии. Затем последовал поиск специалистов, способных решить задачу на профессиональном уровне.

Важную роль сыграли участие историков геологии в работе по Программе Президиума РАН «Электронная библиотека *Научное наследие России*» (http://e-heritage.ru/) (ЭБ) и сотрудничество

Фото 2. Член-корреспондент АН СССР В. В. Тихомиров (1915–1994)

с разработчиками программного обеспечения Библиотеки по естественным наукам РАН и ЭБ.

Основой ИС стали технология, отработанная в процессе создания ЭБ, и программное обеспечение её технологического блока SciRus, позволяющее на уровне действий администратора настраивать систему на работу с различными связанными между собой объектами [3, 9].

Главным объектом ИС являются *персоны* – естествоиспытатели, геологи, специалисты горного дела. На начальном этапе в созданный программный продукт были внесены сведения почти о 500 членах Российской академии наук, избранных по естественным наукам, горному делу и геологии за всю историю Академии с XVIII в. до настоящего времени. Были использованы материалы, опубликованные сотрудниками Отдела истории геологии в трёхтомном издании [4, 7, 8].

Объект *организации* непосредственно связан с персонами. На персональных страницах учёных показаны все организации, с которыми была связана их деятельность. Описание организаций включает точные названия на русском языке (и языке оригинала). Отмечается тип организации: «академии», «научные институты», «высшие учебные заведения», «научные общества», «музеи», «координирующие организации», «международные союзы», «прочие организации». Для каждой организации сообщаются краткие сведения и исторические данные. Возможен ввод информации о членах научных обществ и полученных ими наградах.

Важным источником информации являются краткие *биографические сведения* или специально подготовленная научная биография учёного. Вся информация тщательно выверена и подтверждена соответствующими ссылками на использованные источники.

В ИС внесены специально подготовленные *списки научных трудов*, которые регулярно дополняются и корректируются. Библиографии связаны прямыми ссылками на полнотекстовые публикации с такими проверенными Интернет-ресурсами, как Российская государственная библиотека, «Президентская библиотека им. Б. Н. Ельцина», Электронная библиотека «Научное наследие России», издания Русского Географического общества и другими открытыми источниками. ИС использует ресурсы Интернет-сайта Геологического института РАН: архивы статей в журналах «Литология и полезные ископаемые», «Стратиграфия и Геологическая корреляция», «Геотектоника», «Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода», материалы научных конференций. На сайте ГИН размещены также выпуски серии «Очерки по истории геологических знаний», издающейся Институтом с 1953 г.

С именами учёных связаны многочисленные *документы* (автобиографии, письма, воспоминания и др.). Атрибутом документа может быть его полный текст (в текстовом формате и в формате PDF). Отдельный атрибут – URL документа, хранящегося в сети вне ИС.

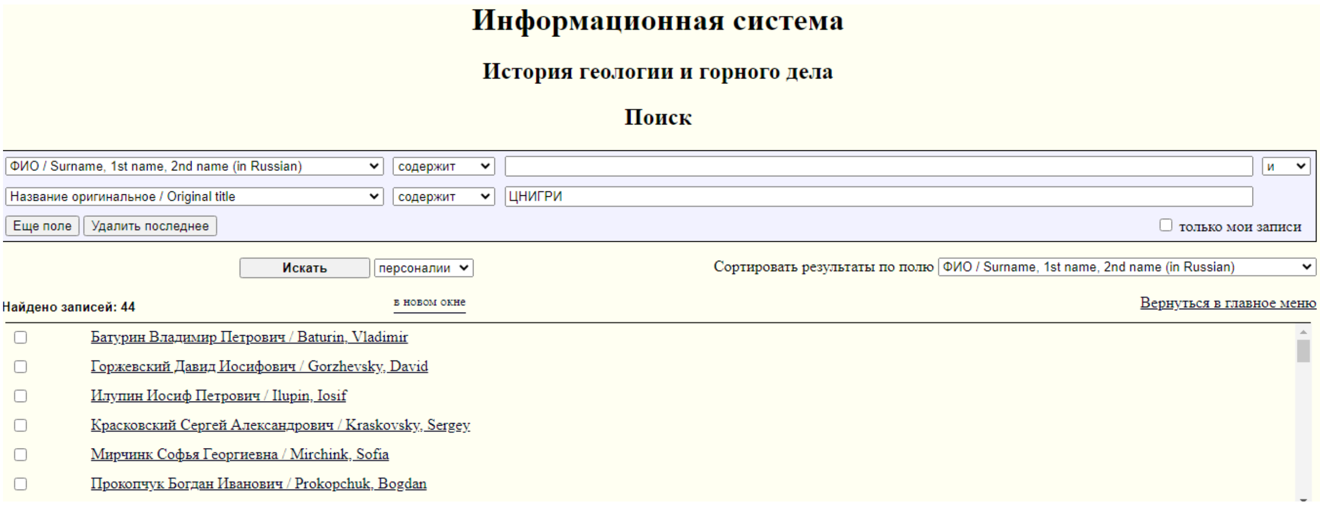


Фото 3. Результат поискового запроса по критериям «персона» и «организация»

Фотоматериалы служат важным дополнением персональной информации. Многие снимки из коллекции Группы истории геологии ГИН являются уникальными. Формат размещённых в ИС фотографий не допускает использования в печатных изданиях, но любые материалы доступны по специальному запросу.

Области научных интересов учёных сгруппированы в соответствии с Государственным рубрикатором научно-технической информации (ГРНТИ). В дальнейшем предусматривается расширение списка специальностей.

Регионы исследований служат важным источником информации о научной деятельности учёных.

ИС является типовой проблемно-ориентированной информационной системой, цели которой – информационное сопровождение исследований в области истории науки и популяризация научных достижений.

Широкие поисковые возможности ИС позволяют проводить как простой поиск по одному из объектов (персоналии, организации, документы и т. д.), так и использовать сложный поиск. В зависимости количества одновременных запросов поисковая система предоставляет информацию по нескольким критериям. Например, персона–организация–регион исследований, персона–национальность–область научных интересов и др. (фото 3).

Наполнение ИС в настоящее время:

- список персоналий (~1600 имён);
- организации (>900 наименований);
- документы (~800);
- фотографии (>1600).

Доступ к ИС обеспечен на официальном сайте ГИН РАН (http://www.ginras.ru/) (фото 4).

По данным статистики, количество посещений сайта ИС колеблется от двух до пяти тысяч просмотров в месяц. Преобладают запросы из России и бывших республик СССР (Армения, Казахстан и др.). Интерфейс ИС на английском языке привлекает и зарубежных пользователей. Наибольшее количество запросов фиксируется из США и Франции.

Активно работает обратная связь ИС. Пользователи присылают свои дополнения к размещённой информации и запросы на предоставление более детальной информации по отдельным разделам.

В 2019 г. Информационная система «История геологии и горного дела» (авторы И.Г. Малахова и И.П. Второв) была зарегистрирована как база данных, охраняемая авторскими правами, в Федеральной службе по интеллектуальной собственности. Правообладатель – Геологический институт РАН (свидетельство № 2019622087).

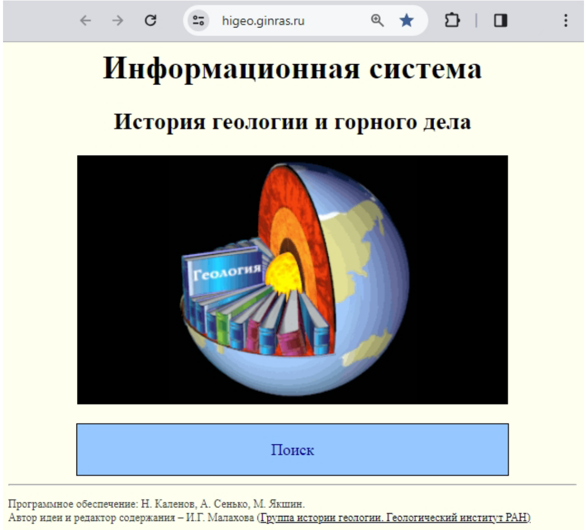


Фото 4. ИС «История геологии и горного дела» на сайте ГИН РАН

Развитие информационных технологий расширяет возможности пользователей. Российский и мировой опыт работы в этом направлении предоставляет много возможностей в информационном пространстве. ИС «История геологии и горного дела» уникальна потому, что даёт доступ к такому объёму информации, который нигде в мире не сосредоточен в одном месте, а именно в Геологическом институте РАН.

Десятилетний опыт работы с ИС показал её возможности и пути дальнейшего развития. Работа продолжается по следующим направлениям:

1. Постоянное дополнение и обновление информации.
2. Совершенствование структуры с внесением дополнительных объектов.
3. Обновление программного обеспечения.

Заключение. Создание Информационной системы «История геологии и горного дела» стало возможным благодаря развитию в Геологическом институте РАН такого направления, как история наук о Земле, и накоплению обширного фактического материала.

Разработка структуры программного обеспечения велась в сотрудничестве со специалистами Российской академии наук.

Информационная система находится в свободном доступе и облегчает специалистам различных областей геологии и горного дела процесс работы с источниками информации.

Дальнейшее развитие Информационной системы «История геологии и горного дела» предусматривает совершенствование структуры программного комплекса, постоянное пополнение содержания и направлено на расширение круга пользователей.

Опыт разработки и эксплуатации ИС может быть использован при создании единого цифрового рабочего пространства РАН и стать моделью для других направлений изучения истории науки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вернадский В. И.* Записка о задачах Комиссии по истории знаний (КИЗ). 1930 // Ф. 518. – Оп. 4. – Д. 48. – Л. 42.
2. *Вернадский В. И.* Записка о необходимости создания Комиссии по изучению истории науки, философии и техники // Известия РАН. Серия VI. – 1921. – Т. 15, № 1/18. Извлечения из протоколов заседаний Академии. – С. 10–12.
3. *Каленов Н. Е., Малахова И. Г.* Интегрированный общедоступный информационный ресурс «История геологии и горного дела» // Информационные ресурсы России. – 2017. – № 1. – С. 19–23.
4. *Малахова И. Г., Бессуднова З. А., Хомизури Г. П., Минина Е. Л.* Иностранные члены Российской академии наук. XVIII–XXI вв. : Геология и горные науки / Отв. ред. И. Г. Малахова. – М. : ГЦ РАН, 2012. – 504 с.
5. *Обручев В. А.* История геологического исследования Сибири / В. А. Обручев. – Л. ; М. : Изд-во АН СССР, 1931–1959. – 5 т.
6. *Отчет* о деятельности Академии наук Союза Советских Социалистических Республик за 1930 год. – Л. [СПб.] : Изд-во АН СССР, 1931. – 149 с.
7. *Соловьёв Ю. Я., Бессуднова З. А., Пржедецкая Л. Т.* Отечественные действительные и почетные члены Российской академии наук. XVIII–XX вв. / Отв. ред. Ю. Я. Соловьёв. – М. : Научный мир, 2000. – 548 с.
8. *Соловьёв Ю. Я., Хомизури Г. П., Бессуднова З. А.* Отечественные члены-корреспонденты Российской академии наук XVIII–начала XXI века : геология и горные науки / Отв. ред. Ю. Я. Соловьёв. – М. : Наука, 2007. – 607 с.
9. *Якшин М. М.* Развитие платформы SciRus // Информационное обеспечение науки : новые технологии. – М. : БЕН РАН, 2015. – С. 203–207.

REFERENCES

1. *Vernadskiy V. I.* Zapiska o zadachakh komissii po istorii znaniy (KIZ). 1930 [Note on the tasks of the Commission on the History of Knowledge]. F. 518, Op. 4, D. 48, L. 42. (In Russ.)
2. *Vernadskiy V. I.* Zapiska o neobkhodimosti sozdaniya Komissii po izucheniyu istorii nauki, filosofii i tekhniki [Note on the need to create a Commission for the study of the history of science, philosophy and technology], Izvestiya RAN. Series VI, 1921, V. 15, No. 1/18. Izvlecheniya iz protokolov zasedaniy Akademii, pp. 10–12. (In Russ.)
3. *Kalenov N. Ye., Malakhova I. G.* Integrirovannyy obshchedostupnyy informatsionnyy resurs “Istoriya geologii i gornogo dela” [Integrated public information resource “History of Geology and Mining”], Informatsionnyye resursy Rossii, 2017, No. 1, pp. 19–23. (In Russ.)
4. *Malakhova I. G., Bessudnova Z. A., Khomizuri G. P., Minina Ye. L.* Inostrannyye chleny Rossiyskoy akademii nauk. XVIII–XXI vv. Geologiya i gornyye nauki [Foreign members of the Russian Academy of Sciences. XVIII–XXI centuries. Geology and mining sciences]. Ed. I. G. Malakhova, Moscow, GTS RAN publ., 2012, 504 p. (In Russ.)
5. *Obruchev V. A.* Istoriya geologicheskogo issledovaniya Sibiri [History of geological exploration of Siberia]. V. A. Obruchev, Leningrad, Akad. nauk SSSR publ., 1931–1959, 5 volumes. (In Russ.)
6. *Otchet* o deyatel’nosti Akademii nauk Soyuza Sovetskikh Sotsialisticheskikh Respublik za 1930 god [Report on the activities of the Academy of Sciences of the Union of Soviet Socialist Republics for 1930], Leningrad, Akad. nauk SSSR publ., 1931, 149 p. (In Russ.)
7. *Solovyov Yu. Ya., Bessudnova Z. A., Przhedetskaya L. T.* Otechestvennyye deystvitel’nyye i pochetnyye chleny Rossiyskoy akademii nauk. XVIII–XX vv. [Domestic full and honorary members of the Russian Academy of Sciences. XVIII–XX centuries]. Ed. Yu. Ya. Solovyov, Moscow, Nauchnyy mir publ., 2000, 548 p. (In Russ.)

8. *Solovyov Yu. Ya., Khomizuri G. P., Bessudnova Z. A.* Otechestvennyye chleny-korrespondenty Rossiyskoy akademii nauk XVIII–nachala XXI veka, geologiya i gornyye nauki [Domestic corresponding members of the Russian Academy of Sciences of the 18th–early 21st centuries: geology and mining sciences]. Ed. Yu. Ya. Solovyov, Moscow, Nauka publ., 2007, 607 p. (In Russ.)
9. *Yakshin M. M.* Razvitiye platformy SciRus [Development of the SciRus platform], Informatsionnoye obespecheniye nauki: novyye tekhnologii, Moscow, BEN RAN publ., 2015, pp. 203–207. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 20.11.23; одобрена после рецензирования 04.12.23; принята к публикации 04.12.23.
The article was submitted 20.11.23; approved after reviewing 04.12.23; accepted for publication 04.12.23.

По всем вопросам, связанными со статьями, следует обращаться в редакцию
по тел. +7 (495)315-43-65 доб. 227
E-mail: ogeo@tsnigri.ru

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

DOI:10.47765/0869-7175-2023-10028

УДК 553.411

Многофакторная прогнозно-поисковая модель Куранахского золоторудного месторождения

Сформирована многофакторная прогнозно-поисковая модель крупнейшего золоторудного месторождения Центрально-Алданской металлогенической зоны. По материалам предшествующих геологоразведочных работ (ГРР) определены поисковые критерии и признаки – магматические, литолого-фациальные, структурно-тектонические, морфологические, минералогические, геохимические и геофизические. Актуальность разработки такой модели определяется присутствием в рудном районе (РР) грабен-впадин, близких рудоконтролирующей Куранахской по строению и особенностям формирования и перспективных на выявление в их пределах золоторудных месторождений куранахского типа.
Ключевые слова: прогнозно-поисковая модель, куранахский тип, карстовые полости, метасоматиты, золото, субщелочные породы, дайки, разрывные нарушения.

СТОЛЯРЕНКО ВЛАДИМИР ВАЛЕНТИНОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, stolyarenko@tsnigri.ru

ШАТИЛОВА ЛЮДМИЛА ВИКТОРОВНА, старший научный сотрудник, shatilova@tsnigri.ru

МИНАЕВА СВЕТЛАНА ВИКТОРОВНА, ведущий инженер, minaeva@tsnigri.ru

РЯБОШАПКО АЛЕКСЕЙ ГЕННАДЬЕВИЧ, старший инженер, ryaboshapko@tsnigri.ru

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

Multifactor forecasting and prospecting model of the Kuranakh gold deposit

V. V. STOLYARENKO, L. V. SHATILOVA, S. V. MINAEVA, A. G. RYABOSHAPKO

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

A multifactor forecasting and prospecting model has been compiled for the largest gold deposit in the Central Aldan metallogenic zone. Based on the previous geological exploration results, the magmatic, lithofacial, tectono-structural, morphological, mineralogical, geochemical, and geophysical prospecting criteria and features were determined. The relevance of development of such a model is determined by that the ore region contains graben-shaped depressions similar to the ore-controlling Kuranakh depression in structure and formation conditions, that are promising for discovering of Kuranakh type gold deposits within them.
Key words: Forecasting and prospecting model, Kuranakh type, karst cavities, metasomatites, gold, subalkaline rocks, dikes, faults.

«Поиски рудных образований на площади Куранахского рудного поля велись с 1947 по1953 гг., прежде чем дали ощутимый результат.»
Отчёт Ксёнза В. А. 1966 г., стр. 155.

Введение. Задача создания моделей эталонных золоторудных месторождений является ключевой в научно-практическом обосновании и проведении геологического изучения, прогнозирования и воспроизводства минерально-сырьевой базы. В России первые крупные работы в области моделирования месторождений твёрдых полезных ископаемых были выполнены в ЦНИГРИ под руководством А. И. Кривцова.

Цель работы – разработка прогнозно-поисковой модели месторождения куранахского типа, состоящей из системы базовых понятий и выражающейся системой структурно-геологических критериев прогноза и поисков руд.

Актуальность создания прогнозно-поисковой модели месторождения куранахского типа, расположенного в пределах Куранахской грабен-впадины, определяется сходными условиями формирования подобных грабен-впадин, что предопределило сходство их геологического строения и, как следствие, высокую степень вероятности нахождения в их пределах подобных золоторудных объектов.

Данное обстоятельство позволяет рассчитывать на выявление золоторудных объектов куранахского типа в карбонатно-терригенных толщах ***Южно-Якутской системы*** мезозойских грабен-впадин, Верхне-Якокутской, Ытымджинской, Гынымской и других, входящих в состав потенциально перспективных рудных районов Центрально-Алданской металлогенической зоны – Ломамского, Тыркандинского, Верхне-Амгинского и др.

Перспективы выявления золоторудных объектов в пределах грабен-впадин, выполненных терригенными отложениями юры, определяются:

- доказанной связью эндогенной золотоносности с мезозойским щелочным магматизмом, выявленным помимо крупных магматических ареалов в мезозойских впадинах, в пределах которых широко развиты малые интрузии и дайковые поля щелочных-субщелочных пород, являющиеся продуцентами золотого оруденения не только своеобразного лебединского, но и куранахского типов, проявленного в специфической обстановке контакта кембрийской известняково-доломитовой и юрской терригенной толщ;
- широким развитием в пределах грабен-впадин неоднократно подновлявшихся региональных зон дофанерозойских разломов первого порядка, имеющих важное магмоконтролирующее значение.

Необходимо отметить, что в перечисленных перспективных рудных районах выявлен ряд золоторудных проявлений этого типа. Наиболее значимыми в прогнозном отношении на выявление рудных тел куранахского типа, в силу их лучшей изученности, являются Верхне-Якокутская, Ытымджинская и Гынымская грабен-впадины, а также терригенные отложения юры в карстовых воронках, известные в пределах Верхне-Амгинского РР. Именно в их пределах известны как косвенные, так и прямые признаки наличия объектов куранахского типа. В пределах Верхне-Якокутской грабен-впадины выявлено одно месторождение куранахского типа Ясная Поляна, отрабатываемое в настоящее время ПАО «Селигдар».

Куранахский золоторудный узел расположен в северной части Центрально-Алданского рудного района, Центрально-Алданской металлогенической зоны, на водоразделе рек Большой Куранах и Якокут. Район является наиболее хорошо изученным золоторудным районом Алдано-Станового щита, в пределах которого известны крупные и уникальные по запасам месторождения золота.

Среди них необходимо отметить такие золоторудные объекты, как Лебединское, Гора Рудная (Морозкинское), Рябиновое, Лунное, Самолазовское, Гарбузовское, Зверевское, месторождения Куранахской группы, а также золотосодержащие урановые и молибден-урановые месторождения Эльконского рудного узла (рис. 1).

В пределах Куранахского рудного узла, в междуречье Селигдара и Якокута, в начале 1950-х гг. были открыты и разведаны в нижнекембрийских доломитах и юрских песчаниках крупные субгоризонтальные золоторудные залежи месторождений Центрального, Бокового, Северного, Порфирового, Канавного, Якокутское, Новое Дэлбэ и ряда других, из которых добыча золота (по Б. И. Беневольскому) ведётся с 1957 г., на протяжении более шестидесяти лет. За это время здесь были добыты более 350 т золота. На сегодняшний день разведанные запасы золота составляют 75,5 т со средним содержанием его в рудах 3,3 г/т. Месторождения отрабатываются ОАО «Алданзолото».

Генезис Куранахской группы месторождений на протяжении многих лет остаётся предметом дискуссий среди различных исследователей. По мнению М. М. Константинова, это месторождение «одно из самых необычных и загадочных в мире». Одни исследователи относят его к плутоническим, другие – к древним корам выветривания. Изучением Куранахской группы месторождений в разные годы занимались Н. В. Петровская, М. В. Бородаевская, В. А. Ксёнз, В. Г. Ветлужских, В. И. Уютов, А. И. Казаринов, В. И. Казанский, А. Я. Кочетков, А. А. Ким, В. М. Яновский, В. И. Леонтьев, Е. П. Максимов, С. В. Яблокова и многие другие исследователи. В наше время интерес к Куранахской площади опять возрос, так как потенциал площади до конца ещё не исчерпан. Отсюда возникли вопросы о доразведке старых площадей и поиске новых перспективных участков, сложенных терригенной толщей юры–мела. На этих площадях, как правило, нет выходов крупных щелочных интрузивов. Однако здесь широко развиты дайковые поля щелочных-субщелочных пород, известные в Куранахской, Верхнеякокутской и других впадинах. Возможно также наличие «слепых» интрузивов и сопряжённого с ними прожилково-вкрапленного оруденения, на что указывает тектоническая и гидротермальная проработка песчаников, высокий метаморфизм углей, шлиховые ореолы золота. Широкое развитие процессов низкотемпературного окварцевания

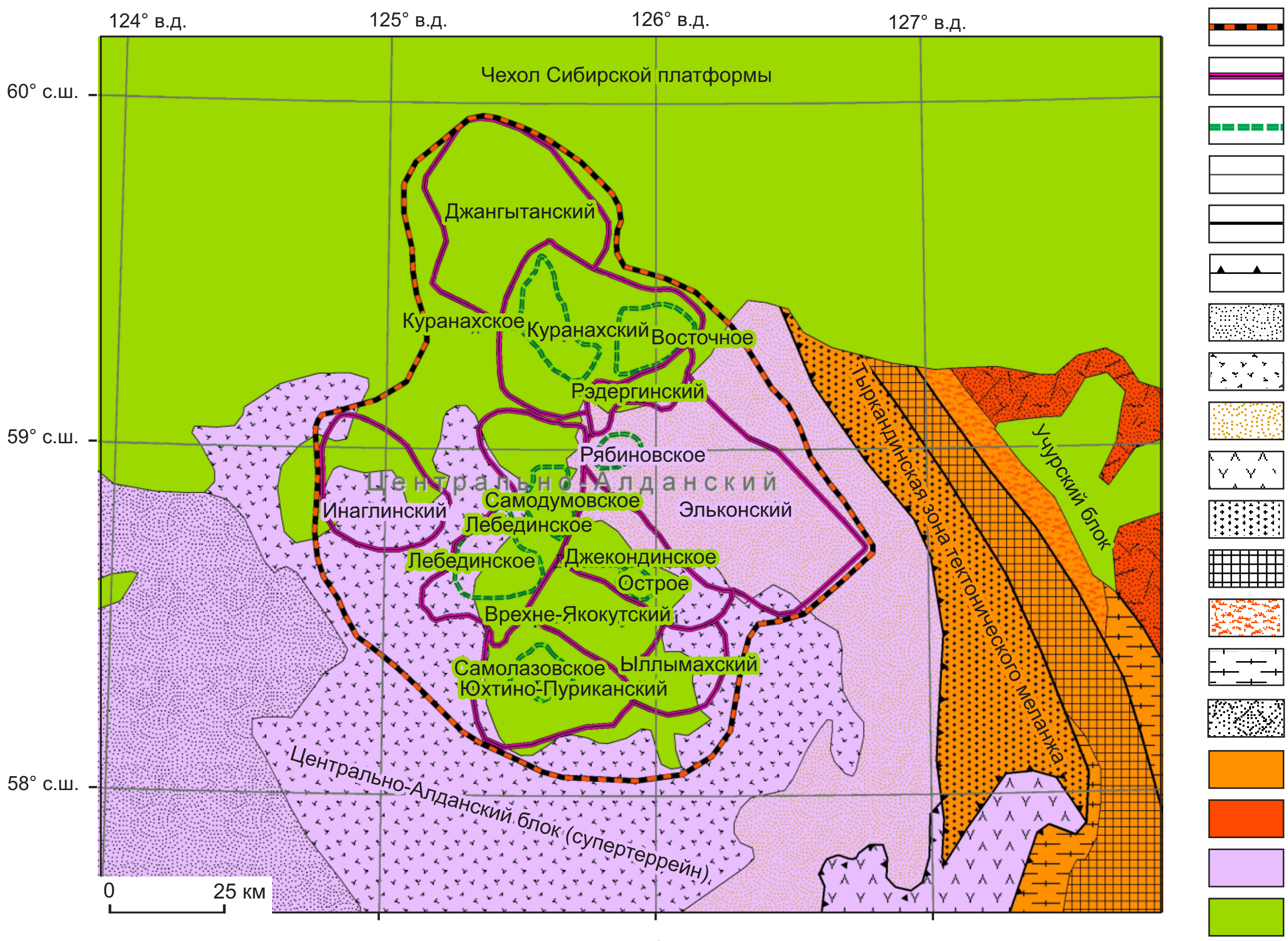


Рис. 1. Положение Центрально-Алданского рудного района на региональной тектонической схеме Алданского щита [19] (Е. А. Лаубенбах, 2007):

1 – рудный район; *2* – рудный узел; *3* – рудное поле; *4* – границы комплексов; *5* – вертикальные (или субвертикальные) разломы; *6* – надвиги; *7* – кварциты и высокоглинозёмистые гнейсы с линзами кальцифиров, глинистых диопсидовых кварцитов, гранитогнейсы; *8* – гранитогнейсы, чарнокит-гнейсы, эндербито-гнейсы с линзами кристаллических сланцев; *9* – амфиболовые, биотит-амфиболовые, диопсид-амфиболовые, двупирокен-амфиболовые плагиогнейсы, реже сланцы с прослоями и линзами диопсидовых флогопит-диопсидовых пород и кальцифиров; *10* – гранат-биотитовые гнейсы и плагиогнейсы, гиперстен-биотитовые, двупироксеновые и диопсид-амфиболовые плагиогнейсы; *11* – гиперстеновые, гиперстен-диопсидовые, гиперстен-диопсид-амфиболовые плагиогнейсы с прослоями и линзами двупироксен-амфиболовых кристаллических сланцев, известково-силикатных и диопсидовых пород; *12* – гранат-биотитовые плагиогнейсы с прослоями известково-силикатных пород, кварцитов и высокоглинозёмистых гнейсов; *13* – гнейсограниты; *14* – биотитовые, гранат-биотитовые, амфибол-биотитовые гнейсы, диопсидовые известково-силикатные породы, кальцифиры; *15* – гранат-биотитовые, гранат-гиперстеновые гнейсы и плагиогнейсы с линзами кварцитов; *16* – Тыркандинская зона тектонического меланжа; *17* – Учурский блок; *18* – Центрально-Алданский блок (супертеррейн); *19* – чехол Сибирской платформы (развитие джаспероидов), тонкоигольчатого арсенопирита и глинистых образований, сходных с аргиллизитами, дало основание некоторым исследователям проводить аналогии между месторождениями Куранаха и Карлинской группы в США [12].

Геологическое строение. Куранахский рудный узел, в состав которого входят Куранахское и Нижне-Якокитское рудные поля, в структурно-тектоническом отношении расположен на пересечении Байонай-Эльконской тектоно-магматической зоны с субмеридиональным поясом щелочных и умеренно-щелочных даек позднего этапа мезозойской тектоно-магматической активизации. В геологическом строении рудного узла участвуют стратифицированные образования, представленные сложнодислоцированными метаморфическими породами раннего и позднего архея, входящими в состав кристаллического фундамента, терригенно-карбонатными осадками венда–раннего кембрия и терригенными отложениями ранней юры, образующими осадочный чехол. Все вышеперечисленные разновозрастные породы перекрыты маломощным чехлом кайнозойских образований.

Кембрийские карбонатные отложения представлены усть-юдомской, тумулдурской, унгелинской и олекминской свитами. Отложения олекминской (?) свиты выделялись ранее как куторгиновая свита [24] (Э.Ф. Баранов, 1991). Её отложения, представленные доломитами и известняками, согласно перекрывают унгелинскую свиту, завершая наблюдаемый на территории разрез нижнего кембрия. Отложения свиты сохранились лишь на самых высоких участках водоразделов в междуречьях Селигдар-Якокит, Большой Куранах–Якокит и на правобережье р. Якокит. Большая часть месторождений и рудопроявлений куранахского типа локализована в этой свите, реже они приурочены к унгелинской и тумулдурской свитам (рис. 2). Размытая поверхность кембрийских известняков с параллельным денудационным несогласием перекрывается маломощным (до 70 м) прерывистым чехлом песчаников нижней юры, сохранившимся фрагментарно в центральной части Куранахской впадины и приуроченным к мелким тектоническим блокам (рис. 3). Положение золоторудных месторождений Куранахского рудного узла в стратиграфическом разрезе показано на рисунках 2 и 3.

Характерной особенностью узла является его блоковое строение, что отражает существенную роль блоковых перемещений при мезозойской активизации. Установлено ступенчатое опускание блоков от южной и северной периферии узла к его центру, осевой части широтной синеклизы.

Золоторудные объекты размещаются в пределах опущенных блоков и контролируются зонами региональных разрывных нарушений субмеридионального простирания (355°–0°), осложнёнными разломами северо-западных и северо-восточных направлений. Рудоконтролирующие субмеридиональные структуры представляют собой зоны дробления и трещиноватости, зоны сближения малоамплитудных (первые десятки км) сбросов, по которым проходят ступенчатые опускания блоков, с образованием серии линейных микрограбенов, трассируемых зонами региональных разломов. Последние сопровождаются узкой приразломной складчатостью в толще осадочных пород.

Важным элементом структуры Куранахского рудного узла являются протяжённые дайки субщелочных пород, с которыми парагенетически связана золоторудная минерализация. По составу здесь преобладают биотит-пироксеновые, роговообманковые и роговообманково-полевошпатовые сиениты и сиенит-порфиры, трахиты; менее распространены фельзиты, кварцевые порфиры, минетты, бостониты и магматические брекчии. Наблюдаются также пластовые интрузии щелочных сиенитов, авгитовых сиенитов, минеттов, ортофиров, а также небольшие штоки. Мезозойские интрузии выполняют ряд разрывных нарушений северо-северо-западного простирания, контролирующих рудные залежи.

В местах пересечения вертикальных и горизонтальных рудоконтролирующих структур размещены рудные тела сложной конфигурации. Жилообразная часть рудных тел бывает связана с крутопадающей щелевидной карстовой полостью, а под экраном юрских песчаников формируется залежь, состоящая из серии пологих рудных линз (рис. 4).

Главной особенностью строения месторождений являются широко распространённые на контакте кембрия и юры коры выветривания, сохранившейся в карстовых воронках, возникших на некоторой глубине от поверхности контакта. Современная морфология рудных тел в значительной мере определяется очертаниями и размерами карстовых полостей.

Палинологический анализ образцов карстового наполнения (более 120 проб с разных участков рудного поля) показал полное отсутствие пыльцы и спор, растительных остатков, что, по мнению Ю.С. Маслова [17], подтверждает изначально подземный характер карстовых полостей.

Как было сказано выше, в пределах Куранахского узла выделяются Куранахское и Нижне-Якокитское рудные поля, имеющие ряд незначительных отличий.

Куранахское рудное поле объединяет бассейны нижних течений рек Селигдар, Большой Куранах и водораздел рек Селигдар–Якокит. Оно включает ряд месторождений (Боковое, Порфировое Центральное, Северное, Южное, Новое и др.), а также ряд проявлений и пунктов минерализации. Куранахское рудное поле характеризуется наличием нескольких протяжённых субпараллельных зон разрывных нарушений и даек близмеридионального простирания, с которыми связаны практически все известные месторождения и рудопроявления. Выделяются следующие структурные зоны:

1. Главная (центральная), контролирующая размещение таких месторождений, как Северное, Порфировое,

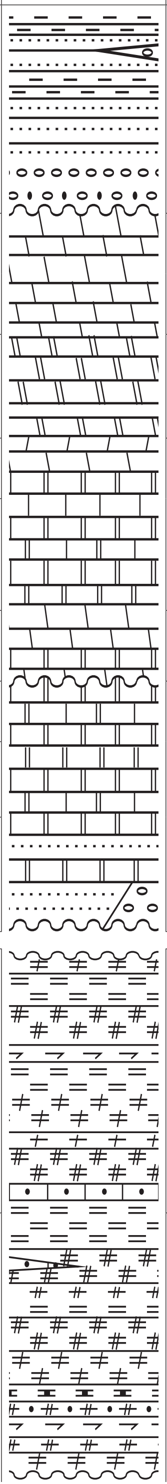
Акротема	Эонотема	Эратема	Система	Отдел	Индекс	Колонка	Мощность, м	Характеристика пород	
	Фанерозойская	Мезозойская	Юрская	Нижний	J_1*juh*		180–200	Юхтинская свита. Грубозернистые аркозовые песчаники с прослоями гравелитов, конгломератов, конгломерат-брекчий, углисто-глинистых сланцев, углистых алевролитов в батальном горизонте. В алевролитах остатки Neocalamites sp., а также спор и пыльцы Pinus sp., Coniopteris, Selaginella sp	
		Палеозойская	Кембрийская	Нижний	Є$_1$*ol*?		100–130	Олекминская(?) свита. Верхняя подсвита. Глинистые доломиты И известняки серые микрозернистые тонкослоистые	Куранахский тип
								Олекминская(?) свита. Нижняя подсвита. Известняки и доломиты тёмно-серые мелкозернистые массивные	
					Є$_1$*un*		150–200	Унгелинская свита. Тонкозернистые и пелитоморфные доломиты с прослоями брекчиевидных оолитовых доломитов и кремней	
					Є$_1$*tm*$_2$		120–150	Тумулдурская свита. Верхняя подсвита. Серые, желтовато-серые доломиты, содержащие желваки и линзы кремней	
					Є$_1$*tm*$_1$			Тумулдурская свита. Нижняя подсвита. Серые мелкозернистые, иногда массивные битуминозные доломиты с прослоями известковистых, строматолитовых доломитов и линзами оолитовых доломитов и кремней	Лебединский тип
					Є$_1$*ps*		50–75	Пестроцветная свита. Пёстроокрашенные мергели в переслаивании с мергелистыми доломитами, серыми доломитами	
					V–Є$_1$*ujd*$_3$		200–220	Усть-Юдомская свита. Верхняя подсвита. Доломиты светлых тонов с прослоями битуминозных доломитов, известняков	
Протерозойская	Верхне-протерозойская		Вендская		V–Є$_1$*ujd*$_2$			Усть-Юдомская свита. Средняя подсвита. Доломиты серых тонов с прослоями и линзами битуминозных, окремнелых оолитовых доломитов, доломитовых конгломератов и брекчий	
					V–Є$_1$*ujd*$_1$			Усть-Юдомская свита. Нижняя подсвита. Доломиты с вкрапленностью терригенного кварца и прослоями песчанистых разностей. В основании линзы гравелитов, гравелито-песчаников, конгломератов	
Архейская					AR*fd*$_2$		800–1000	Тимптонская серия. Федоровская свита. Средняя подсвита. Диопсид-роговообманковые кристаллосланцы, плагиогнейсы, плагиомигматиты, реже двупироксеновые и гиперстеновые кристаллосланцы, диопсидовые породы, мраморы	
					AR*fd*$_1$		1700–2000	Федоровская свита. Нижняя подсвита. Двупироксен-роговообманковые, реже роговообманково-плагиоклазовые, диопсид-плагиоклазовые, биотит-амфиболовые, диопсид-скаполитовые кристаллосланцы и гнейсы. В основании линзы диопсидовых, кварц-плагиоклаз-диопсидовых, диопсид-скаполит-плагиоклазовых пород, перидотитов и пироксенитов	

Рис. 2. Позиция золотого оруденения лебединского и куранахского типов в разрезе осадочного чехла, представленного терригенно-карбонатными отложениями венда–раннего кембрия и терригенными отложениями юры:

колонка составлена в разных масштабах

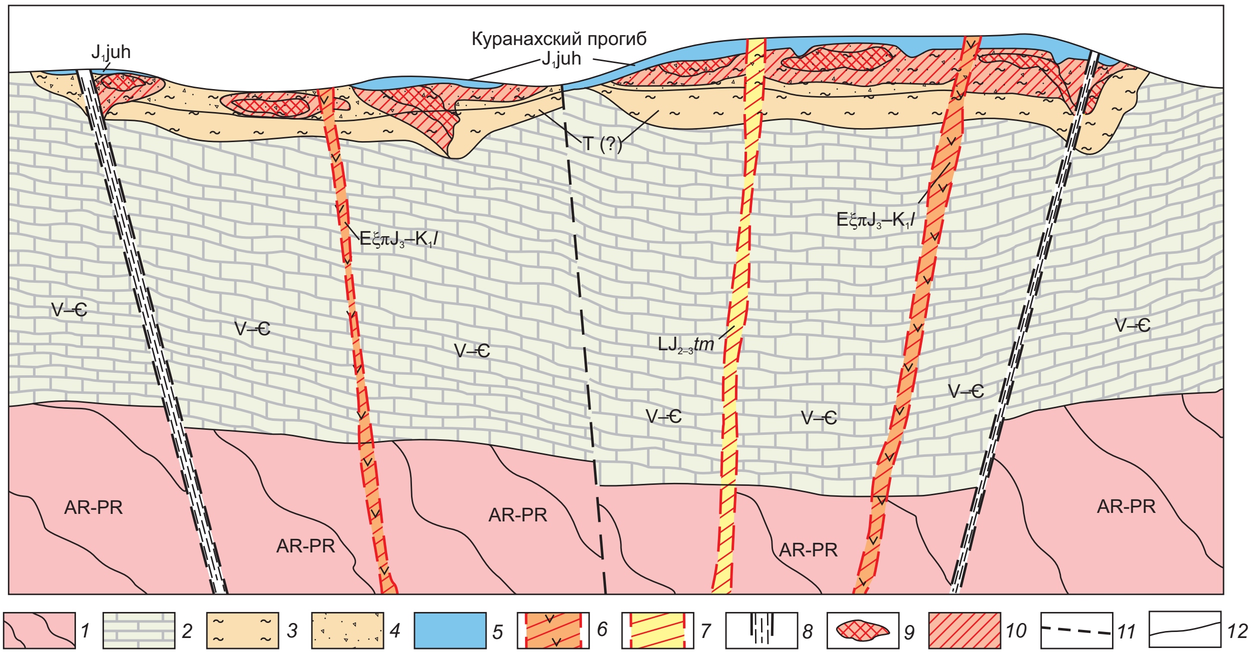


Рис. 3. Обобщённая геологическая модель месторождения куранахского типа:

1 – кристаллические породы фундамента (AR–PR); *2* – карбонатные породы платформенного чехла, (V–Є); *3–4* – доюрская остаточная кора выветривания по карбонатным породам: *3* – глинистая остаточная кора выветривания (T(?)), *4* – золотосодержащие песчано-глинистые отложения доюрских кор выветривания, выполняющие линейные карстовые полости (T(?)); *5* – юрская система, юхтинская свита (алевролиты и глинистые сланцы с прослоями песчаников и конгломератов) (J_1*juh*); *6* – лебединский интрузивный комплекс: дайки щелочных сиенит-порфиров ($E\xi\pi J_3$–K_1l); *7* – томмотский интрузивный комплекс: дайки ортофиров, лампрофиров, лампроитов ($LJ_{2–3}$*tm*); *8* – крутопадающая зона дробления с жильно-прожилковой золото-сульфидно-кварцевой минерализацией; *9* – контуры рядовых руд; *10* – контуры бедных руд; *11* – разломы; *12* – геологические границы

Центральное, Якокутское, Канавное. Общая протяжённость зоны 25 км. Ширина рудных зон в отдельных участках достигает трёх километров.

2. Западная зона контролирует размещение месторождений Боковое, Первухинское, Южное и Новое общей протяжённостью 10 км. Наиболее крупное из них – месторождение Боковое, рудные тела которого почти непрерывно вытянуты на 5 км (см. рис. 4).

Все месторождения близки по структуре, морфологии, вещественному составу и геохимическим особенностям и представляют собой, вероятно, части некогда единого крупного золоторудного объекта. Границы месторождений проводятся, как правило, условно.

Площадь рудного поля располагается в наиболее опущенной части Куранахской грабен-впадины, шириной 15–20 км и протяжённостью до 30 км. Осадочный карбонатный чехол имеет здесь максимальную мощность (около 650–700 м), субгоризонтально залегая на архейских породах фундамента. Известняки отличаются значительной пористостью, содержат неравномерно рассеянное органическое вещество и повсеместно пиритизированы.

Нижнеякокитское рудное поле включает правобережье р. Якокит в её нижнем течении. Рудное поле объединяет месторождения коренного золота Дальнее, Дэлбинское, Дорожное, Гагарское, Правое, Еннье и др. По генезису, условиям локализации, вещественному составу аналогичны месторождениям, расположенным в пределах Куранахского рудного поля, но с некоторыми отличиями, в основном в структуре, что и послужило основанием для выделения этого рудного поля. Эти отличия заключаются в следующем:

1) северо-западная ориентировка рудоконтролирующих разрывных структур (для Куранахского рудного поля ориентировка субмеридиональная);

2) меньшая насыщенность дайками минетт нижнекуранахского комплекса;

3) преимущественно линейный характер распространения золотоносных отложений в отличие от площадного для Куранахского рудного поля;

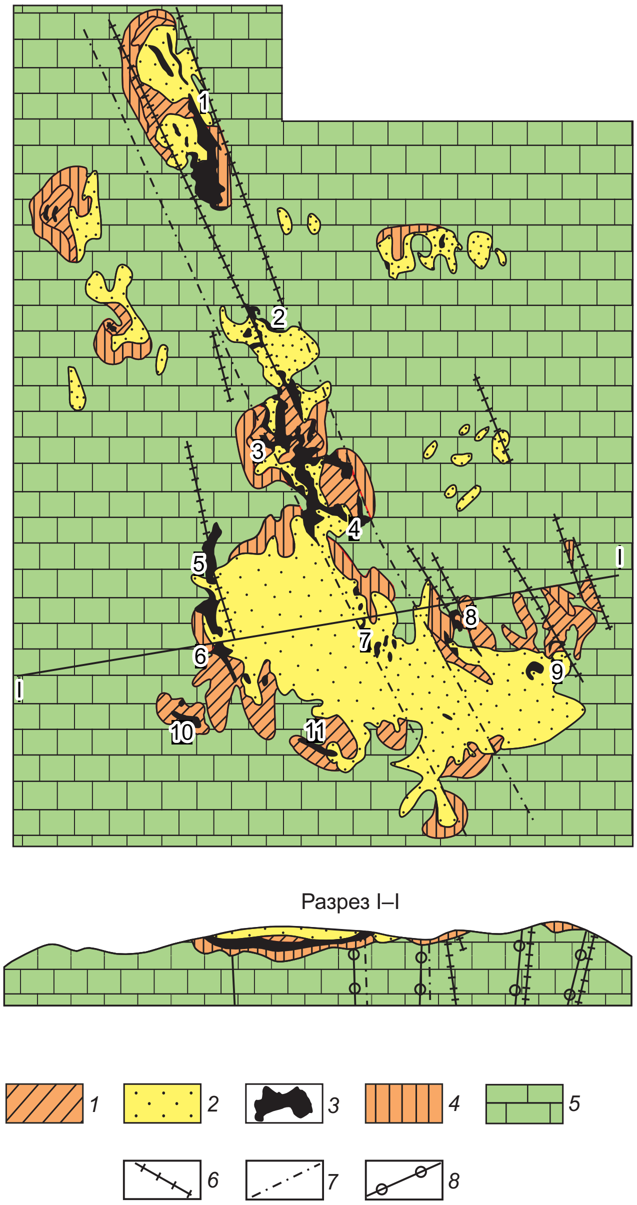


Рис. 4. Схематическая геологическая карта и разрез Куранахского рудного узла [3]:

1 – материал коры выветривания; *2* – нижнеюрские песчаники и конгломераты со слабой золотоносностью; *3–4* – отложения карстовых полостей: *3* – промышленные залежи, *4* – слабозолотоносный материал доюрской и современной коры выветривания; *5* – карбонатные породы нижнего кембрия; *6* – послеюрские–керсантитовые дайки и лакколитообразные тела, дайки сиенит-порфиров, авгит-биотитовых порфиров; *7* – тектонические нарушения; *8* – предполагаемые гидротермальные жилы; месторождения: 1 – Северное, 2 – Порфировое, 3 – Центральное, 4 – Якокутское, 5 – Боковое, 6 – Первухинское, 7 – Канавное, 8 – Дэлбэ, 10 – Южное (Залежь Южная), 11 – Новое

4) локализация рудных залежей в карбонатных породах тумулдурской и унгелинской свит (для Куранахского рудного поля – в олекминской (?));

5) больший, примерно на 20–30 м, эрозионный срез;

6) меньшие контрастность и масштабы оруденения;

7) большая в связи с более интенсивным эрозионным срезом контрастность вторичных ореолов золота (С. М. Мудрик, 1995).

Месторождения Нижнеякокитского поля приурочены к восточному флангу Куранахской грабен-впадины, где продукты разрушения нижнеюрских отложений обнаруживаются лишь в карстовых полостях. Размещение оруденения контролируется разрывными структурами Эмельджакской зоны разломов северо-западного простирания. Краткая характеристика месторождений Куранахского рудного узла приведена в таблице 1.

Терригенные отложения нижней юры в пределах Куранахского узла залегают на размытой поверхности олекминской и реже унгелинской свит в виде элювиально-делювиальных развалов в древних карстовых полостях. Карстовые зоны (воронки), заложенные в постюрское время, выполнены рыхлыми грубообломочными отложениями с глинисто-песчаным цементом. Обломки представлены породами кембрия, юры и мезозойских субщелочных даек, претерпевшими окварцевание, пиритизацию и калишпатизацию. Калиевый и кварцевый метасоматоз наиболее интенсивно проявился на контакте кембрийских и юрских пород.

Пирит-карбонат-калишпатовые, пирит-калишпатовые и калишпатовые метасоматиты, (гумбеиты) являются наиболее ранними, дорудными образованиями и распространены вдоль контактной зоны кембрийских и юрских пород в виде многочисленных прослоев. Гумбеиты представляют собой мелкозернистые почти мономинеральные калишпатовые метасоматиты мощностью от 0,3–0,5 до 5,0–10,0 м, регионально распространённые, в том числе в районах, где мезозойский магматизм не проявлен. На основании этого предполагается, что процесс гумбеитизации имеет автономный, оторванный от магмогенеза характер развития [27, 28]. В рудных телах они наблюдаются в виде обломков, а во вмещающей карбонатной толще образуют субгоризонтальные, линзовидные и пластообразные залежи мощностью от нескольких миллиметров до первых метров. В пределах рудного поля они пользуются широким распространением. По данным бурения, в центральной части Куранахской грабен-впадины в осадочном чехле наблюдаются 25 горизонтов гумбеитов мощностью до 2–5 м [28]. Гумбеиты содержат в разных количествах вкрапленники пирита, пирита и флюорита или только флюорита. Золотоносность их редко превышает 1 г/т. Интрузивные породы также подвержены калишпатизации.

Кварцевые метасоматиты (джаспероиды) менее распространены и развиваются вдоль тектонических зон

1. Характеристика золоторудных объектов Куранахского рудного узла [6]

№ п/п	Рудно-формационный или геолого-промышленный тип	Объект (название месторождения или рудопро-явления)	Рудовмещающие комплексы Морфология	Рудные тела			Балансовые запасы $ABC_1 + C_2$	Освоенность
				Содержание главного полезного компонента от–до среднее	Попутные компоненты			
1	Куранахский сульфидно-кварцевый тип, гипергенно изменённых и переотложенных в карстовых полостях кор выветривания	Боковое	Песчано-глинистая триасовая кора выветривания в карстовых полостях на контакте карбонатных пород венда и терригенных пород юры	Лентовидные тела залежного типа, реже крутопадающие минерализованные зоны, форма тел определяется строением карстовых полостей	2,446		8888	Разрабатываемое
2	Куранахский сульфидно-кварцевый тип, гипергенно изменённых и переотложенных в карстовых полостях кор выветривания	Дорожное	Песчано-глинистая триасовая кора выветривания в карстовых полостях на контакте карбонатных пород венда и терригенных пород юры	Лентовидные тела залежного типа, реже крутопадающие минерализованные зоны, форма тел определяется строением карстовых полостей	1,967	Серебро	6577	Разрабатываемое
3	Куранахский сульфидно-кварцевый тип, гипергенно изменённых и переотложенных в карстовых полостях кор выветривания	Дэлбэ	Песчано-глинистая триасовая кора выветривания в карстовых полостях на контакте карбонатных пород венда и терригенных пород юры	Лентовидные тела залежного типа, реже крутопадающие минерализованные зоны, форма тел определяется строением карстовых полостей	1,898	Серебро	21 323	Разрабатываемое

по кремнесодержащим доломитам кембрия и песчаника юры, иногда накладываясь на гумбеиты. В окварцованных карбонатных породах развит тонкозернистый халцедоновидный кварц.

Главный продуктивный этап представлен низкотемпературными пиритизированными кварцевыми метасоматитами различного состава – пирит-адуляр-кварцевые, пирит-кварцевые, кварц-калишпат-каолинит-гидрослюдистые, кварц-калишпат-монтмориллонитовые, каолинит-гидрослюдистые, монтмориллонит-нонтронитовые. Предполагается, что они образовались в результате низкотемпературного (100–200 °С) процесса аргиллизации, которому подверглись гумбеиты, карбонатные породы и песчаники (А. Н. Угрюмов, В. В. Карелин, В. И. Уютов, 1978). В полнопроявленных продуктах процесса присутствуют пирит-адуляр-кварцевые метасоматиты, наиболее устойчивые к гипергенезу и обычно отождествляемые с первичными рудами. Непосредственных взаимоотношений гумбеитов и пирит-адуляр-кварцевых метасоматитов не наблюдается, однако в последних часто присутствуют реликты калишпатовых метасоматитов. Первичные неокисленные метасоматиты распространены незначительно. В их составе из рудных минералов резко преобладает пирит, в небольших количествах присутствуют марказит, халькопирит, галенит.

Породы фундамента и чехла прорваны мезозойскими интрузиями субщелочного состава (роговообманковые сиенит-порфиры, бостониты, керсантиты, минетты), которые образуют пластовые тела и дайки близмеридионального простирания. Дайки минетт, бостонитов и сиенит-порфиров трассируют зоны субмеридиональных

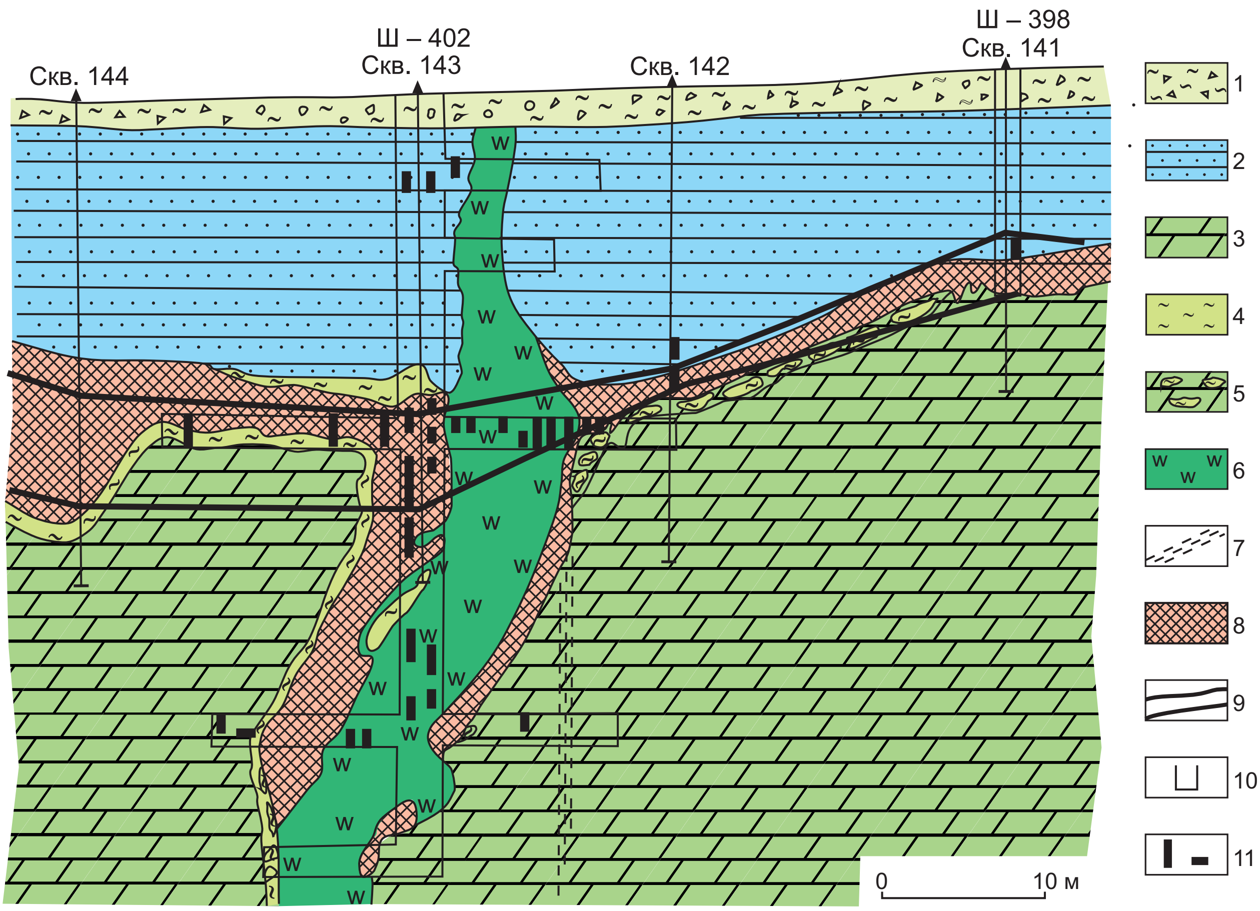


Рис. 5. Золотоносность дайки минетты на месторождении Порфировом (В. А. Ксенз, И. И. Силин, 1966):

1 – деллювий; *2* – юрские песчаники с прослоями алевролитов и конгломератов; *3* – карбонатные породы олекминской свиты нижнего кембрия; *4* – прослои и прожилки вязкой глины; *5* – реликтовые глины по карбонатным породам кембрия; *6* – мезозойская дайка минетт; *7* – зоны тектонитов, разломы; *8* – золоторудное тело; *9* – контур балансовых запасов; *10* – штольня и её номер; *11* – интервалы с промышленным содержанием золота разломов, контролирующих рудные залежи. В ряде случаев дайки по простиранию прослеживаются на расстояние около 30 км. По протиранию морфология даек весьма изменчива и характеризуется наличием раздувов и пережимов. В среднем их мощность составляет 2–7 м, в раздувах она достигает 20–80 м. На контактах кембрийских и юрских пород вдоль депрессий дайки образуют пластообразные субгоризонтальные апофизы длиной до 80 м. Контакты даек с вмещающими породами неровные и, как правило, содержат оторочки рассланцованных вмещающих пород мощностью 10–20 см (В. А. Ксёнз, И. И. Силин, 1966). Иногда по рудоподводящим дайкам минетт, сиенит-порфиров и др. развито золотое оруденение, вплоть до образования промышленных руд (рис. 5) (В. М. Яновский, В. Г. Ветлужский, В. А. Амузинский и др., 1984). В процессе разработки месторождения Надежда была выделена крутопадающая минерализованная зона дробления, развивающаяся по системе тектонических нарушений и представленная дезинтегрированными и метасоматически изменёнными доломитами и дайками сиенитового состава. По результатам пробирного анализа установлено, что золотоносными являются катаклазированные и брекчированные доломиты и изменённые породы сиенитового состава (среднее содержание 2,4 г/т). В настоящее время зона отрабатывается (рис. 6) [14, 15].

По данным [1, 4], на Куранахском рудном поле нижезолотоносных карстовых полостей разведочными скважинами вскрыты фрагменты крутопадающих зон трещиноватости, рассматриваемые как рудоподводящие структуры. В карбонатных породах на глубинах 260–500 м присутствуют зоны крутопадающих карбонатных прожилок, содержащих пирит. По единичным пробам, мелкозернистый пирит содержит десятки г/т золота и сотни г/т серебра.

На месторождении Боковом скважинами на глубине 80 м в крутопадающей зоне дробления в кембрийских доломитах мощностью до 5 м встречены руды, представленные глиной с обломками известняков и кварц-гематит-лимонитовой руды с содержаниями золота 2,0–4,5 г/т (В. М. Яновский, В. Г. Ветлужский, В. А. Амузинский и др., 1984).

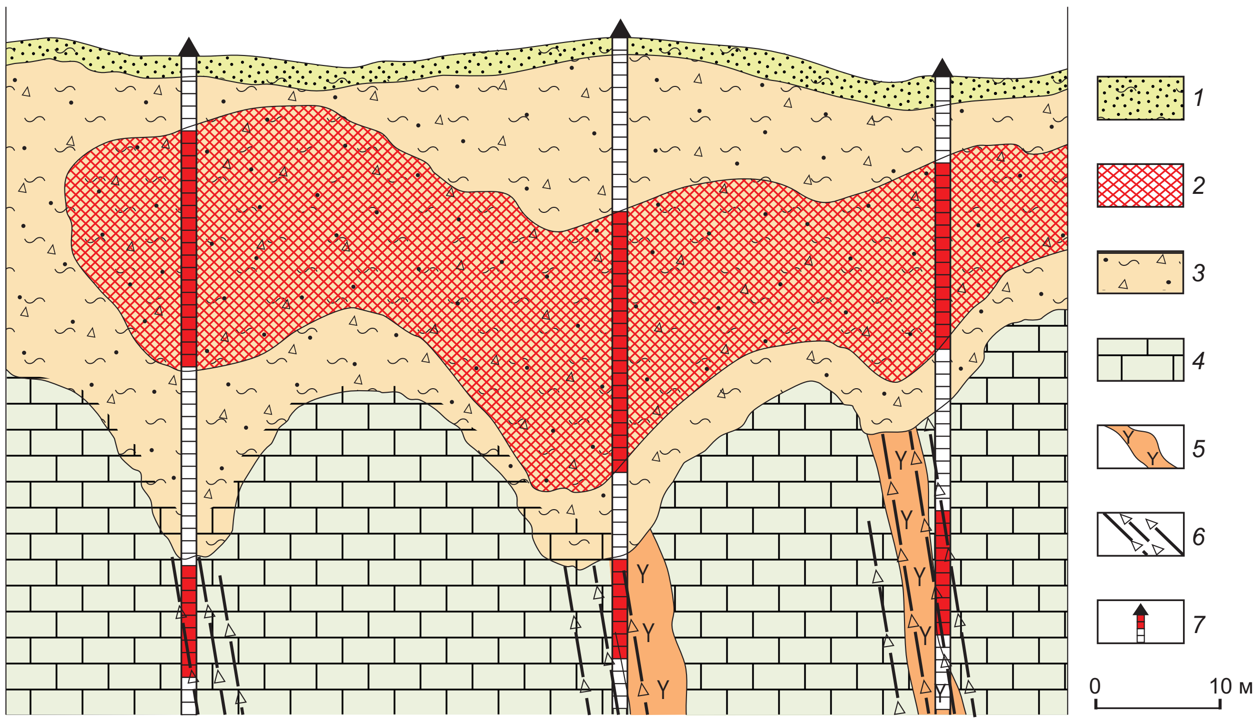


Рис. 6. Схематичный разрез месторождения Надежда [14, 15]:

1 – делювий; *2* – обломочные песчано-глинистые отложения с промышленными содержаниями золота; *3* – золотосодержащие обломочные песчано-глинистые отложения кор выветривания, выполняющих линейные карстовые полости; *4* – доломиты; *5* – дайки сиенит-порфиров; *6* – тектоническая брекчия по доломитам; *7* – интервалы опробования скважин

Форма рудных тел. Как отмечено выше, рудные залежи локализуются в пределах зон ограниченной ширины, расположенных главным образом вдоль даек и, как правило, вытянутых параллельно последним. Залежи в большинстве своём перекрыты маломощным чехлом юрских пород (до 10 м), но на месторождении Канавном перекрывающая толща пород достигает 15–38 м. На некоторых участках рудные тела выходят на поверхность.

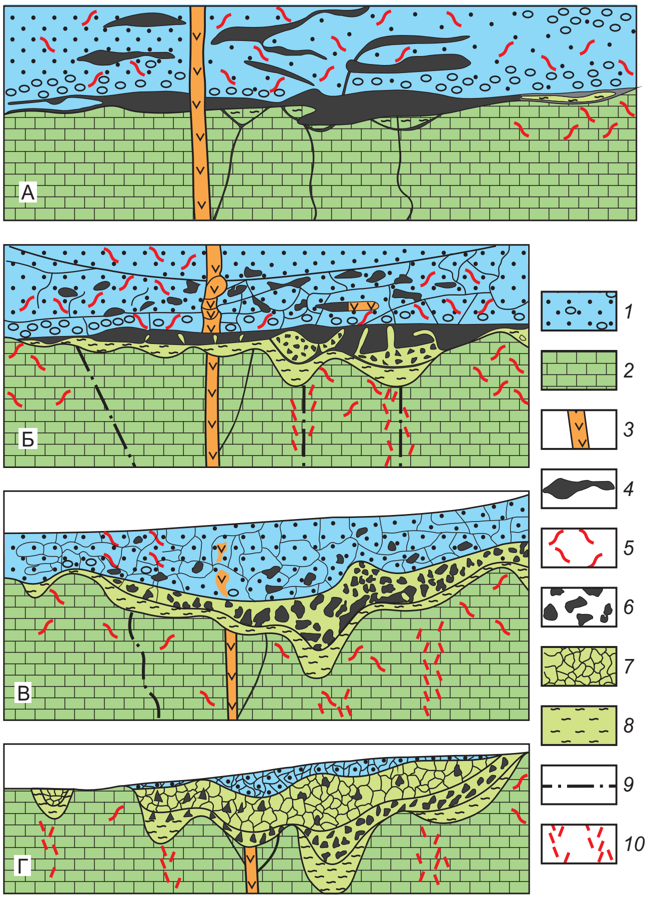


Рис. 7. Схема формирования месторождения Куранах [3]:

этапы: А – формирования первичных рудных тел, Б – закрытого карстования, В – открытого карстования; Г – современное состояние рудных тел в разрезе; *1* – песчаники с прослоями конгломератов (Jtv); *2* – известковистые доломиты; 3 – дайки сложного состава; *4* – первичные рудные тела кварц-пиритового состава; *5* – окварцевание и пиритизация; *6* – песчано-глинистые рудоносные массы с обломками окисленной руды и песчаников; *7* – обломочный материал песчаников и конгломератов с глиной и песком; *8* – желтоватые и бурые реликтовые глины; *9* – тектонические трещины; *10* – трещиноватые зоны в доломитах

Предполагается, что первоначальная форма рудных тел Куранахских месторождений была пластообразная в виде залежей, иногда сложной формы (рис. 7). Однако эта форма претерпела значительные изменения в процессе карстообразования и в настоящее время определяется, прежде всего, очертаниями и размерами карстовых воронок. Последние в свою очередь достаточно сложно построены и содержат как разрушенные и перемещённые рудные залежи, так и рудные выветрелые тела in situ. Рудные тела в настоящее время представляют собой залежи лентообразной, плащеобразной формы с сильно извилистыми контурами, с раздувами и пережимами. Золоторудная минерализация имеет площадной характер. Площадь отдельных месторождений колеблется от 1,5 (Новое) до 15 км^2 (Северное), а в целом по рудному полю достигает 30 км^2. В результате доразведки и эксплуатационных работ первоначальные параметры рудных тел, а также месторождений сильно изменились, а в отдельных случаях их границы соединились. Эксплуатационными работами подтверждено, что залежи, как правило, повторяют рельеф дна погребённых карстовых полостей. На одних участках рудные тела выходят на древнюю поверхность, на других находятся под покровом юрских отложений (рис. 8).

Установлено, что кровля рудных тел прямолинейна, со стороны лежачего бока контуры более сложные, изобилуют западинами в карбонатных породах. При этом отмечается очень чёткая приуроченность верхнего контакта к базальному слою конгломератов среднеюрских пород.

Рудные тела в настоящее время представляют собой, как правило, рыхлую глинисто-дресвяно-щебенистую, реже супесчано-глыбовую массу, выполняющую карстовые полости различных размеров. По морфологии выделяются три типа полостей:

- воронкообразной и щелевидной формы, глубина которых в 3–4 раза превышает их ширину, средняя глубина составляет 70–100 м, а ширина 20–40 м;
- блюдцевидной или чашеобразной формы, глубина которых либо равна ширине, либо несколько меньше её. Глубина воронок этого типа достигает 10–30 м, а ширина 10–40 м;
- сложного строения – долинного и котловинного типов, для которых характерны ступенеобразные борта, глубина до 100 м, ширина в несколько сотен метров [17] (Г. П. Березин, Г. С. Протопопов, Л. Ф. Бураков, 1975; С. М. Мудрик,1995; Л. К. Сергеева, М. Г. Тарасова, 1988).

Многочисленные зарисовки стенок карьеров, геологическая документация полностью отработанных рудных тел говорят о том, что большинство залежей имеют в плане изометричную или вытянутую в северном направлении форму с отчётливым сужением в глубину. Изменчивость их формы по вертикали, значительная

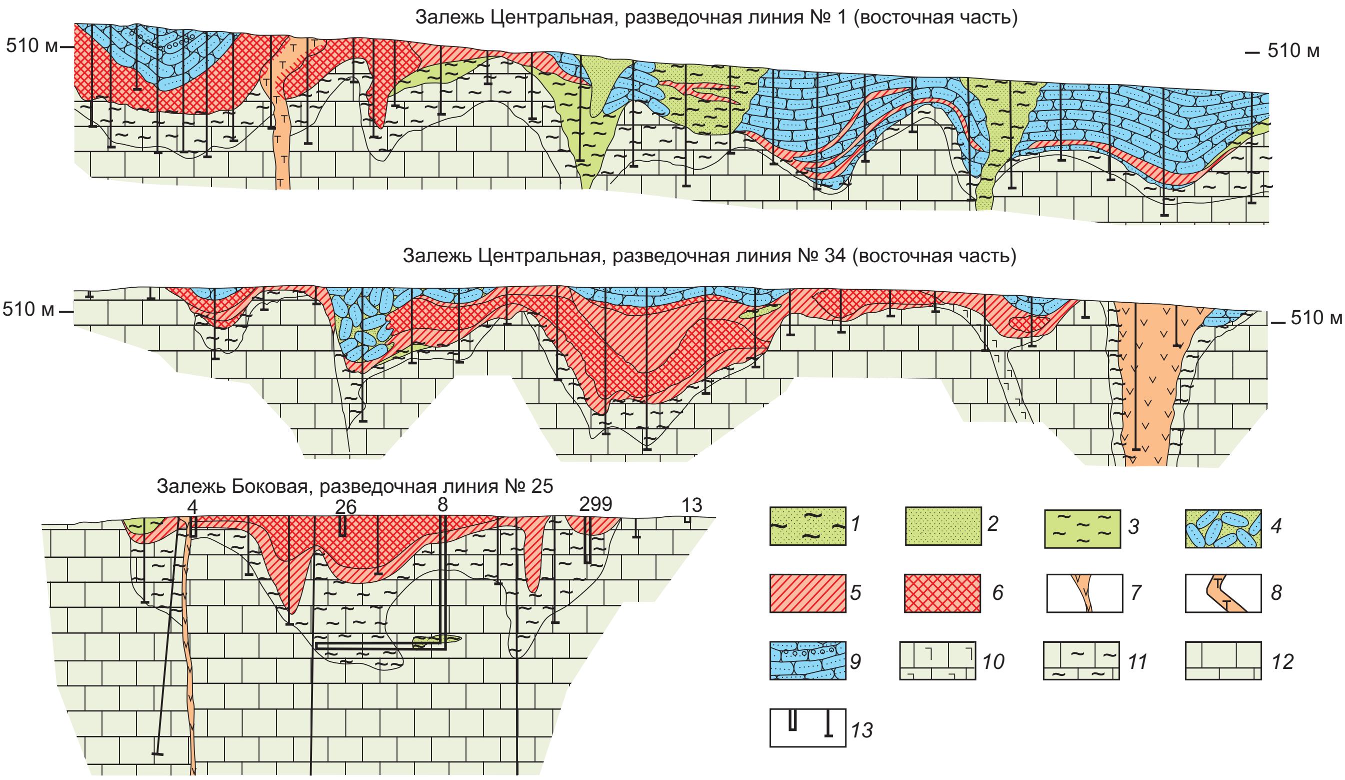


Рис. 8. Строение рудных тел Куранахского месторождения в разрезе [7]:

1 – глинистые пески делювиальные и карстовые; *2* – пески делювиальные и карстовые (Q); *3* – глины делювиальные и карстовые (Q); *4* – грубообломочные песчаниковые карстовые отложения (Q); *5–6* – обломки золотоносных кварцевых метасоматитов, гидротермально изменённых известняков, доломитов, песчаников, сцементированные песчано-глинистым материалом, пропитанным гидрооксидами железа: *5* – золотоносные породы с непромышленным содержанием золота (1–2 г/т); *6* – руда с промышленным содержанием золота (>2 г/т); *7* – дайки гидротермально изменённых биотит-пироксеновых сиенит-порфиров; *8* – дайки биотит-пироксеновых сиенит-порфиров (pJ); *9* – аркозовые песчаники с редкими прослоями конгломератов (J1); *10* – калишпатизированные известняки и доломиты; *11* – реликтовые глины по карбонатным породам кембрия; *12* – доломиты и известняки кембрия; *13* – горные выработки

площадь конечного сечения наблюдаются в средней части карстовых полостей. Нередки чередования раздувов с пережимами, перерывы оруденения.

Размеры рудных тел колеблются в широких пределах: мощность – от 1 до 40 м (средняя 5–20 м), ширина – от 20 до 100 м, длина – от сотни метров до нескольких километров (рис. 9).

В поперечном сечении залежи имеют сравнительно простые контуры. Их кровля, как правило, субпараллельна стратиграфическому контакту юры и кембрия, а со стороны подошвы контуры залежей более сложные, часто «прогнуты», что обусловлено проседанием пород при площадном карстовании (см. рисунки 8 и 10). На месторождениях Дорожном и Порфировом отмечаются признаки ярусного строения залежей, промышленное рудное тело расщепляется на 2–3 параллельные ленты. Между ярусами обычно наблюдаются слои песчаников или песчано-глинистого материала. На месторождениях Боковом и Порфировом от рудных залежей во вмещающие породы отходят апофизы – жилы и прожилки с промышленным содержанием золота (см. рис. 5).

В пределах рудных тел отмечаются монолитные участки плотных существенно кварцевых гидротермально-метасоматических образований, которые не подверглись переотложению вследствие проседаний при карстовых процессах. В пределах залежи Боковая шурфами вскрыт подобный малоизменённый участок горизонтальной залежи, представленной окисленными пирит-адуляр кварцевыми метасоматитами. В северной части рудного поля (месторождение Порфировая) наблюдаются ненарушенные процессами карстования

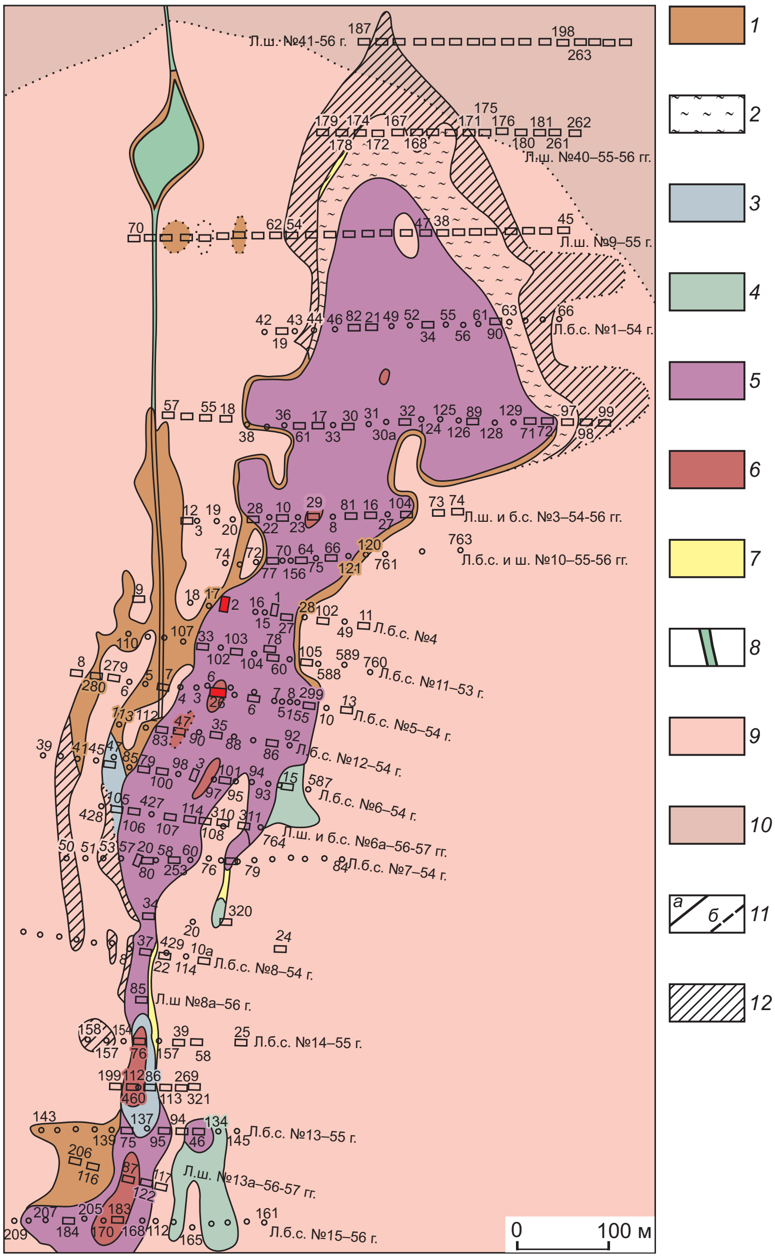


Рис. 9. Фрагмент геологической карты месторождения Боковая (А. И. Казаринов, 1958):

1–2 – четвертичные рыхлые отложения: *1* – бурые грубые глины с обломками кембрийских пород, реже песчаников, послеюрских магматических пород и микрокварцитов, *2* – тонкие пестроцветные глины на карбонатных породах кембрия (возможно доюрская кора выветривания); *3–4* – породы, изменённые околорудным метаморфизмом: *3* – кварцитоподобные пиритизированные аркозовые песчаники, сливные конгломераты, *4* – пиритизированные песчаники, с инъекциями фельзит-порфира; *5–6* – золотоносные руды: *5* – рыхлые руды, обломки золотосодержащих пиритизированных метасоматических кварцитов, фельзит-порфиров и кварцитоподобных песчаников, связанных песчано-глинистым материалом, *6* – плотные руды, пиритизированные золотосодержащие метасоматические кварциты и связанные с ними фельзит-порфиры; *7–8* – послеюрские магматические породы: *7* – фельзит-порфиры и ортофиры, нерасчленённые (пластовые интрузии, разрушенные на обломки, связанные глиной), *8* – пироксен-биотитовые сиенит-порфиры (дайки и штоки); *9–10* – кембрийские отложения: *9* – Олёкминская (надпестроцветная) свита, известняки с фауной брахиопод и трилобитов, доломиты, *10* – пестроцветная свита, доломиты, известняки и мергели; *11* – геологические границы: *а* – установленные, *б* – предполагаемые и условные; *12* – интенсивно выветрелые породы кембрия

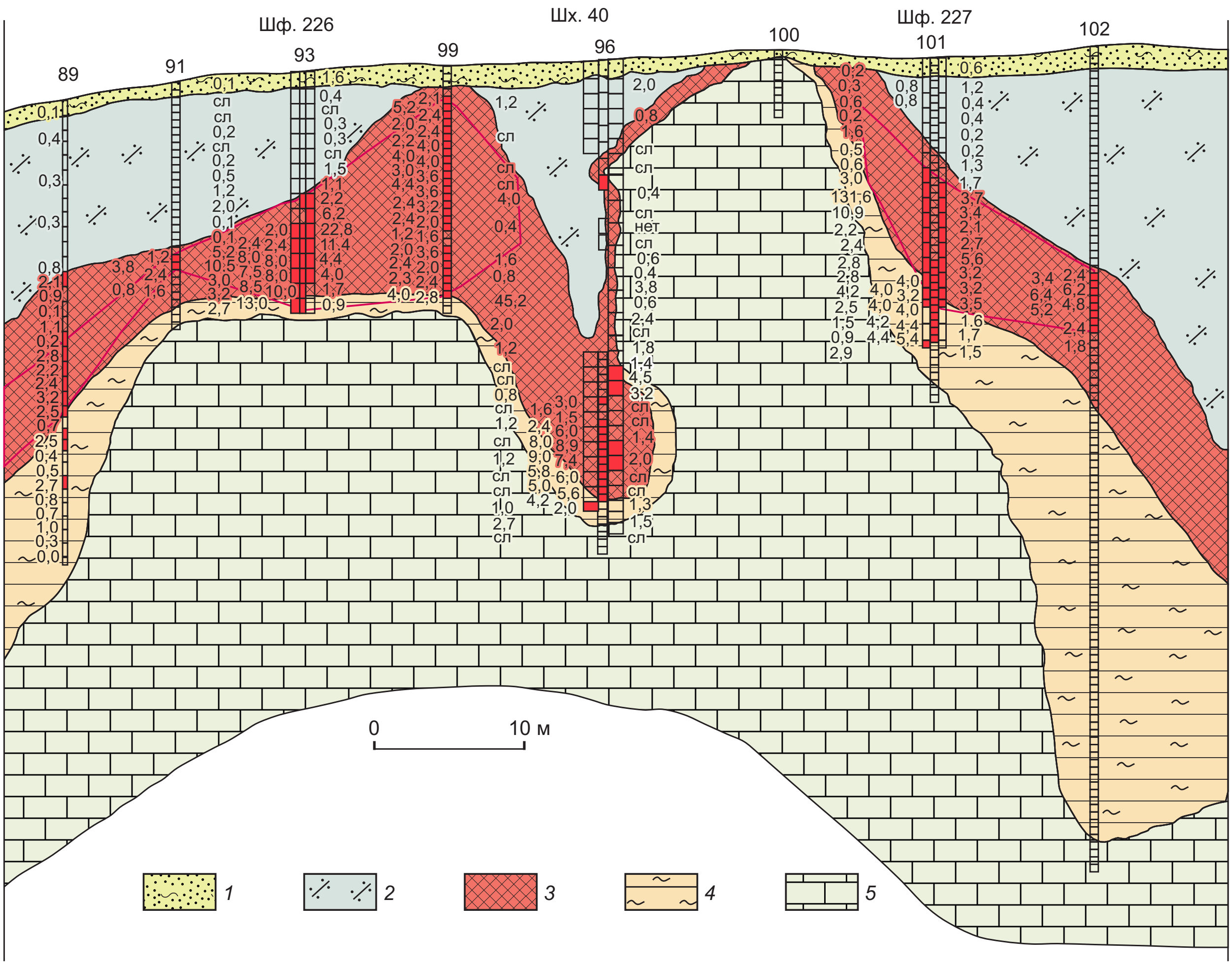


Рис. 10. Выкопировка из разреза по линии 5 месторождения Центральное (масштаб 1 : 500) (В. А. Ксёнз, И. И. Силин, 1966):

1 – делювий; *2* – юрские песчаники и песчанистые породы, породы подконгломератовой толщи; *3* – золоторудная залежь; *4* – остаточная кора выщелачивания; *5* – трещиноватые карбонатные породы

участки юрской толщи, пересечённые дайковыми телами. Рудное тело также представляет собой горизонтальную залежь. Для подобных монолитных участков характерны наиболее высокие содержания (рис. 11).

От вмещающих пород рудные тела обычно отделены горизонтом непостоянной мощности рыхлых выщелоченных карбонатных пород. При этом породы могут сохранять первичные текстурные признаки – слоистость, систему трещиноватости.

Кроме горизонтальных пластообразных залежей выделяются также «рудные столбы» – рудные тела в узких щелевидных, жёлобо-, мульдо- и воронкообразных карстовых полостях, образующих сложный лабиринт впадин. В местах пересечения вертикальных и горизонтальных рудоконтролирующих структур размещены особенно сложные тела (месторождение Дорожное). Жилообразная часть рудных тел бывает связана с крутопадающей щелевидной карстовой формой, выше, под юрскими песчаниками формируется горизонтальная или пологая залежь (см. рис. 5). Характерно резкое повышение мощности рудных тел, расположенных вблизи крутопадающих рудоподводящих структур и даек субщелочного состава (Г. М. Азанов, А. К. Олесинов и др., 1975).

Максимальная мощность рудных залежей в кембрийских породах составляет порядка 40 м. В терригенные породы висячего бока оруденение распространяется максимум на 10 м.

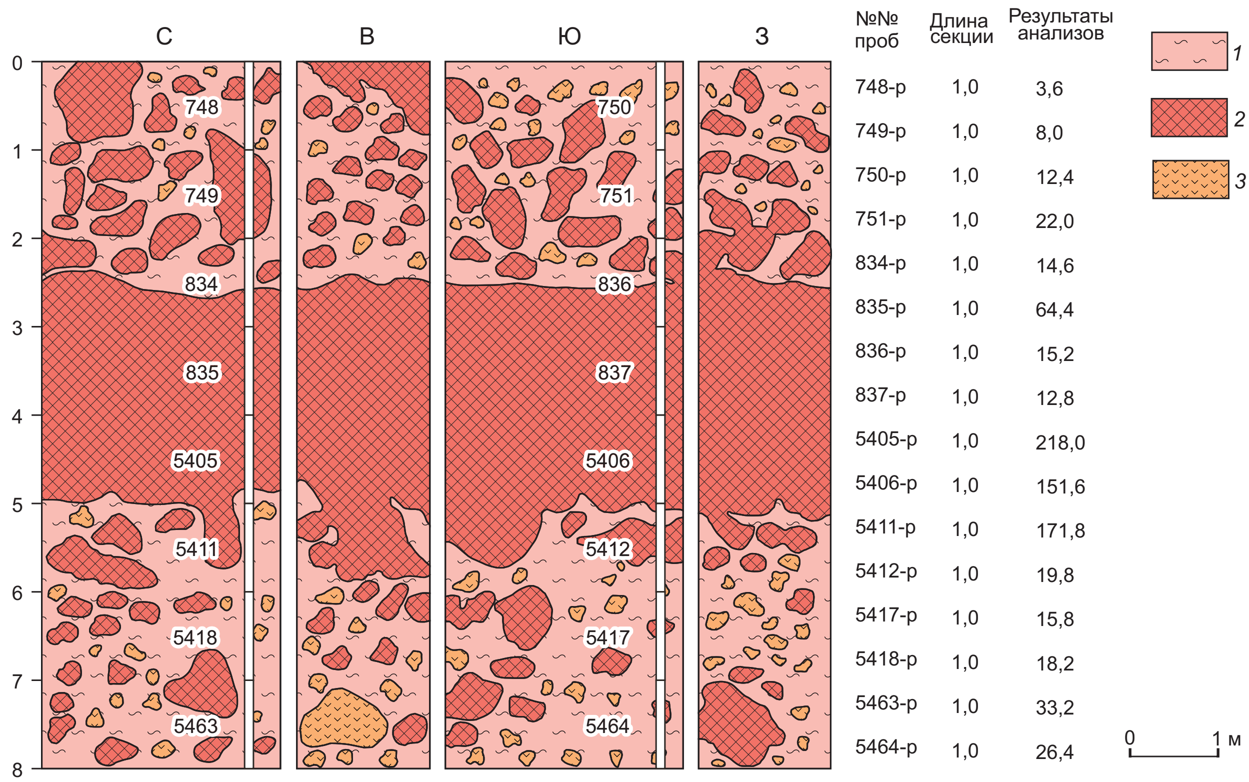


Рис. 11. Залежь «Боковая». Шурф № 26 линия 5 (А. И. Казаринов, 1958):

1 – глинисто-песчанистые карстовые отложения; *2* – пирит-адуляр-кварцевые метасоматиты; *3* – сиенит-порфиры, ортофиры, лампроиты

Глубина распространения зоны окисления на Куранахских месторождениях составляет в среднем 40–60 м, достигая по отдельным тектоническим зонам 200 м.

Рудные тела имеют четырёхчленное строение, включая (снизу вверх):

- литифицированные и метасоматически изменённые продукты доюрской коры выветривания, заключённые в бурых глинах;
- пёстроокрашенные, (красно-бурые) песчано-глинистые карстовые отложения доверхнечетвертичной (?) коры выветривания, включающие обломки первичных руд и, вероятно, переотложенные продукты аргиллизации (продуктивный горизонт);
- глинисто-песчанистые карстовые отложения с обломками юрских песчаников (продуктивный горизонт);
- выветрелые юрские песчаники и конгломераты.

В той или иной степени, золотоносны все обломочные рыхлые породы, выполняющие карстовые полости. Выделяются следующие разновидности «рудной массы»:

- метасоматиты, сложенные гематитом, шестоватым и халцедоновидным кварцем, иногда с небольшим количеством адуляра и лимонита;
- железистые кварциты, тонкозернистый кварц с мельчайшей вкрапленностью железа;
- охристо-гематитовые массы с участками кварцевых сыпучек;
- ожелезнённые аркозовые песчаники (с гематитом, замещающим полевые шпаты), золотоносные пески и песчаники, глинисто-гематитовые и глинисто-лимонитизированные пестроцветные продукты выветривания кембрийских и юрских пород;
- красно-бурые переотложенные глины с повышенной золотоносностью [4] (В. М. Яновский, В. Г. Ветлужский, В. А. Амузинский, 1984).

Максимум содержаний золота в большинстве залежей приурочен к горизонту красно-бурых или пёстроокрашенных глин и глинисто-песчанистым карстовым отложениям с обломками юрских песчаников, на 10–30 м выше кровли известняков нижнего кембрия (рисунки 12, 13) (А. И. Казаринов, 1958).

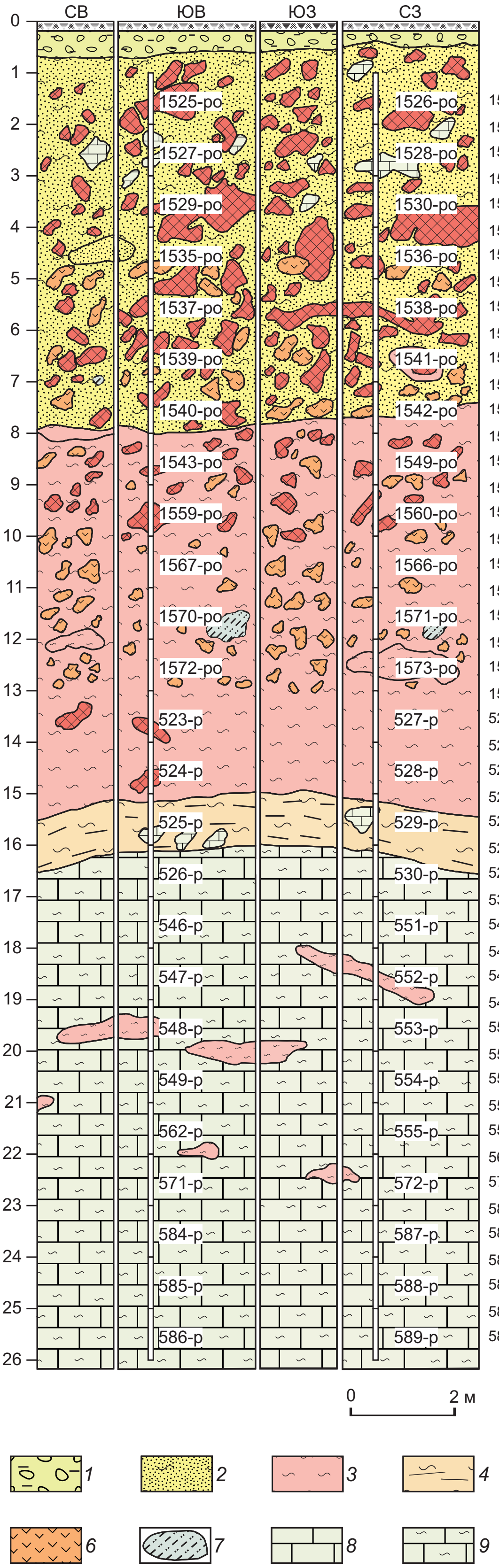
Минеральный состав руд. Минеральный состав руд определяется, с одной стороны, элементами первичного гидротермально-метасоматического генезиса и, с другой стороны, продуктами их окисления и дезинтеграции. Локально сохранившиеся первичные гидротермально-метасоматические образования представлены гумбеитами и пирит-адуляр-кварцевыми метасоматитами (фельдшпатолитовой и аргиллизитовой метасоматическими формациями) [9, 10]. Первичные неокисленные метасоматиты распространены незначительно. В их составе из рудных минералов резко преобладает пирит, в небольших количествах присутствуют марказит, халькопирит, галенит.

Состав, генезис и другие важные особенности золотоносных метасоматитов остаются предметом дискуссии и трактуются по-разному. А. А. Казаринов [8] первичными рудами считает близповерхностные пирит-кварцевые метасоматиты, образовавшиеся в результате замещения ранее окремнелых и калишпатизированных первичных пород.

А. Н. Угрюмов, М. Н. Альбов и др. в составе первичных руд выделяют два типа золотоносных метасоматитов: ранние пирит-калишпатовые и пирит-карбонат-калишпатовые (гумбеиты) и поздние золото-пирит-каолинит-адуляр-кварцевые – в одних работах или пирит-кварцевые и кварц-пирит-гематитовые (джаспероиды) – в других. Калишпатовые метасоматиты, согласно этой точки зрения, локализованы непосредственно на контакте юрских и кембрийских отложений и возникли в результате замещения продуктов доюрской коры выветривания. Эти метасоматиты, а также крупнообломочные отложения нижней юры позднее в свою очередь замещались кварцевыми метасоматитами. Последние, как правило, развиты вблизи субмеридиональных разломов, сопровождаемых дайками минетт, образуя гнёзда, линзы, столбы.

Начиная с неогена (возможно раньше) первичные руды подверглись интенсивным гипергенным преобразованиям. Вторичные руды зоны окисления представлены глинистыми, глинисто-алевритовыми отложениями, среди которых наблюдаются линзы кварцевой сыпучки, в разной степени выветрелых кварцевых и калишпатовых метасоматитов. При этом порядка 90 % золота в Куранахских месторождениях связано с вторичными, гипергенными рудами, являющимися основным объектом добычи [4].

Золото представлено двумя генетическими разновидностями – остаточным и вторичным [18, 20, 21].



№№ проб	Длина секции	Результаты анализов
1525-ро	1,0	6,4
1526-ро	1,0	4,4
1527-ро	1,0	4,4
1528-ро	1,0	4,2
1529-ро	1,0	10,4
1530-ро	1,0	16,4
1535-ро	1,0	5,8
1536-ро	1,0	6,2
1537-ро	1,0	6,2
1538-ро	1,0	5,4
1539-ро	1,0	5,6
1540-ро	1,0	6,0
1541-ро	1,0	13,8
1542-ро	1,0	2,8
1543-ро	1,0	11,2
1549-ро	1,0	71,6
1559-ро	1,0	0,8
1560-ро	1,0	2,4
1566-ро	1,0	2,8
1567-ро	1,0	сл
1570-ро	1,0	0,8
1571-ро	1,0	0,6
1572-ро	1,0	1,0
1573-ро	1,0	1,8
523-р	1,0	1,6
524-р	1,0	1,4
525-р	1,0	3,4
526-р	1,0	сл
527-р	1,0	2,6
528-р	1,0	1,2
529-р	1,0	1,6
530-р	1,0	2,0
546-р	1,0	0,8
547-р	1,0	сл
548-р	1,0	сл
549-р	1,0	4,0
551-р	1,0	сл
552-р	1,0	нет
553-р	1,0	1,2
554-р	1,0	сл
555-р	1,0	сл
562-р	1,0	нет
571-р	1,0	34,0
584-р	1,0	сл
585-р	1,0	сл
586-р	1,0	сл
587-р	1,0	сл
588-р	1,0	сл
589-р	1,0	сл

Рис. 12. Залежь «Боковая». Шурф № 2 линия 4 (А. И. Казаринов, 1958):

1–3 – отложения: *1* – элювиально-делювиальные, 2 – глинисто-песчанистые карстовые, *3* – пёстроокрашенные глинисто-песчанистые карстовые; *4* – продукты доюрской коры выветривания в виде глин; *5* – пирит-адуляр-кварцевые метасоматиты; *6* – сиенит-порфиры, ортофиры, лампроиты; *7* – аркозовые песчаники; *8* – известняки; *9* – глинистые известняки

Остаточным называется золото, сохранившее признаки первичного эндогенного золота и частично преобразованное в гипергенных условиях. Золото наследует как гранулометрический состав первичного золота, так и морфологию его выделений. Вторичным принято считать золото, образующееся при окислении золотосодержащих сульфидов с тонкодисперсным золотом.

Первичные руды. В качестве первичных руд большинство исследователей рассматривает гидротермально-метасоматические образования по карбонатным и терригенным отложениям в области их стратиграфического контакта, а также по послеюрским брекчиям и интрузивным породам. Рудные тела представляют собой кварцевые метасоматиты, содержащие непостоянное

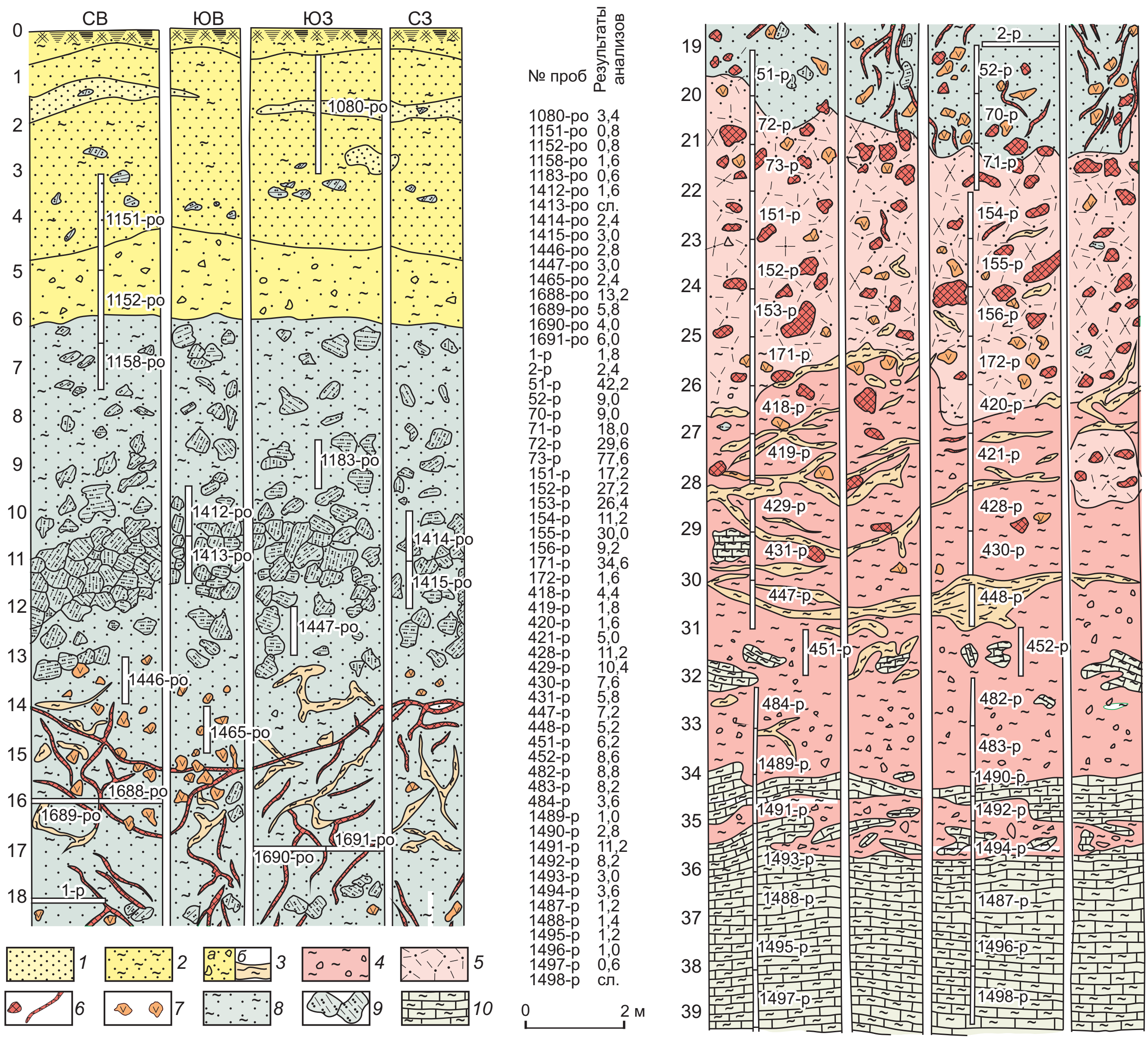


Рис. 13. Участок Центральный. Шурф № 19 (А. И. Казаринов, 1958):

1 – песок; *2* – глинистый песок; *3* – песчаная глина (*а*), продукты доюрской коры выветривания в виде глин (*б*); *4* – красно-бурая оруденелая глина; *5* – кварцевая «сыпучка»; *6* – пирит-адуляр-кварцевые метасоматиты; *7* – сиенит-порфиры, ортофиры, лампроиты; *8* – выветрелые юрские аркозовые песчаники; *9* – аркозовые песчаники; *10* – выветрелые глинистые известняки

Рис. 14. Самородное золото в гётит-гидрогематитовой массе (ув. 18) [18]

количество сульфидов, главным образом пирита, часто полностью окисленного; окисленные их разности пропитаны гидроксидами железа. Подобные гётит-гидрогётитовые образования часто содержат самородное золото (рис. 14).

Кварцевые метасоматиты образованы по породам карбонатного, калишпатового, кремнистого состава, кварц-полевошпатовых песчаников и карстовых брекчий этих пород. Соответственно, метасоматиты, образовавшиеся по разным породам, отличаются составом реликтовых обломков и наличием различных реликтовых минералов, текстурой и геологической позицией. Собственно кварцевые новообразования, содержащие сульфиды, однотипны, они выделяются в виде трёх генераций: 1) тонкозернистый (сотые доли миллиметра), рисовидный и удлинённо-лапчатый; 2) мелко- и среднезернистый (десятые доли миллиметра) с рисовидной и удлинённо-лапчатой формой зёрен; 3) средне- и крупнозернистый (от первых миллиметров до 1 см) с булавовидной, шестоватой, изометричной формами зёрен. Первая и вторая генерации образовались метасоматическим путём, третья – как метасоматически, так и в пустотах.

Минеральный состав первичных руд разнообразен, однако все рудные минералы, кроме пирита, присутствуют в незначительном количестве. Основными минералами являются: нерудные кварц и адуляр, рудные пирит и марказит. В виде эпизодической примеси, помимо золота, в рудах встречаются: халькопирит, пирротин, магнетит, ильменит, галенит, сфалерит, арсенопирит, висмутин, самородные: висмут, серебро, медь, блёклая руда, борнит, антимонит. Содержание пирита в кварцевых метасоматитах составляет от нескольких до 50 %.

А. И. Казаринов и др. [7, 8] выделяют две генерации пирита, ассоциирующие с двумя генерациями рисовидного кварца. Ранний пирит – крупнозернистый, кубический, вместе с тонкозернистым кварцем, образован в течение первой стадии рудообразующего гидротермального этапа. Поздний пирит – более мелкозернистый, чем ранний, совместно с мелко-среднезернистым кварцем второй генерации характеризует вторую стадию рудообразования.

Согласно другой точке зрения с кварцевыми метасоматитами связан пирит второй генерации, а ранний пирит является реликтовым минералом, образовавшимся до кварцевого метасоматоза (А. Н. Угрюмов, В. В. Карелин, В. И. Уютов, 1978).

Значительная часть золота куранахских месторождений заключена в пирите и продуктах его окисления. Установлено, что разные генерации пирита отличаются характером золотоносности, содержаниями микроэлементов, пробностью. Золото в раннем пирите представлено тонкодисперсной (эмульсионной) и более высокопробной разновидностью, его содержания достигают 30–100 г/т. Золото в позднем пирите и рисовидном кварце более крупное (0,02–4 мм) и более низкопробное. Общее количество крупного золота в первичных рудах достигает 23–65 % [11].

В первичных рудах С. В. Яблоковой выделены следующие минеральные ассоциации: адуляр-кварцевая, золото-пирит-кварцевая, золото-сульфидно-кварцевая, золото-теллуридная, поздняя кварцевая. Значительная часть остаточного золота заключена в сульфидах (27–75 %) и кварце (25–70 %).

Первая, ранняя продуктивная золото-пирит-кварцевая ассоциация проявлена повсеместно. С рисовидным кварцем ассоциирует пирит (с содержанием Au 30–100 г/т). Золото в пирите субмикроскопическое. Тонкодисперсное золото из 1-го продуктивного парагенезиса размером 1–4 мкм образует в пирите изометричные или слегка вытянутые уплощённые кристаллы (отношение длины к ширине 2:1). Проба 870–900.

Вторая продуктивная золото-сульфидно-кварцевая ассоциация проявлена более локально. Она представлена более крупнозернистым прожилковым кварцем, менее золотоносным пиритом-П (с содержанием Au – 0,7–30 г/т).

Золото из 2-го продуктивного парагенезиса наблюдается в виде включений в сульфидах и в позднем кварце, минерализованном сульфидами. Размеры золота варьируют в широких пределах: в пирите – от 0,008 до 0,1 мм, единичные зёрна – 0,25 × 0,25 мм; в срастании с кварцем – более крупные золотины – 0,3–10 мм. В единичных случаях встречены мелкие самородки размером 8 × 15 × 19 мм. Проба – 725–860 (средняя – 825) [22].

Золото-теллуридная ассоциация распространена ещё более локально в отдельных рудных телах. Среди вторичных образований установлены теллуриды свинца и марганца. А. А. Ким выявлены теллуридно-карбонатные жильные проявления, сложенные кальцитом и монтмориллонитом с вкрапленными выделениями

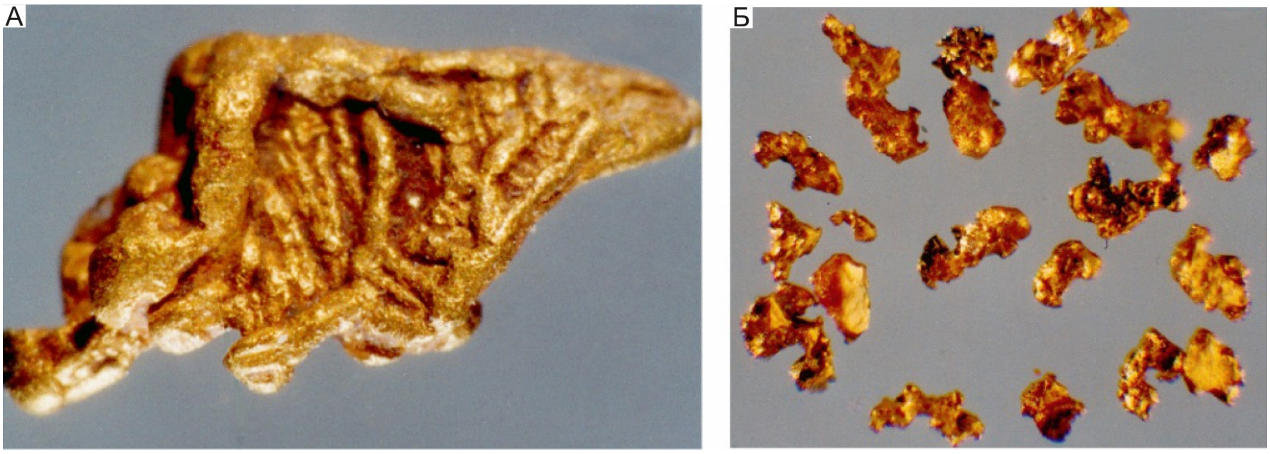


Рис. 15. Формы выделений остаточного корродированного золота:

дендрит частично деформированный (А – ув. 18), интерстициальные, трещинные, плёночные (Б – ув. 20) [18]

самородного золота, теллуридов и селенидов Pb, Ag и Hg, киновари, аурипигмента. Вероятно, это наиболее поздняя минерализация [11].

Формы выделений золотин – прожилковидно-пластинчатые, угловато-комковидные, прожилковые, плёночные. Среди крупных выделений встречаются дендриты и дендритоиды пластинчатой, веточковидной, решётчатой формы (рисунки 15, 16).

Форма частиц остаточного золота в зоне гипергенеза несколько трансформируется, происходит обминание, притупление граней. Коррозионные преобразования остаточного золота сопровождаются развитием в нём высокопробных кайм и межзерновых высокопробных прожилков (рис. 17) [20, 22]. Подобные высокопробные новообразования в остаточном золоте формируются при ионизации серебра и его селективном выносе с последующей перекристаллизацией золота.

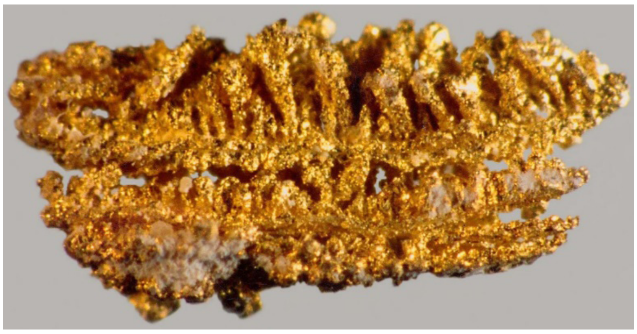


Рис. 16. Дендрит остаточного золота, выделенный из гётит-гематитового агрегата (ув. 27) [18]

Гипергенные руды. Процессы *карстообразования*, окисления сульфидов, каолинизации калишпатов, дезинтеграции и разложения первичных руд и вмещающих пород, гравитационного перемещения материала приводят к формированию вторичных руд типа элювиально-карстовых образований. В понятие руды, таким образом, включается вся горная масса, которая по данным опробования имеет промышленные содержания золота. Распределение золота внутри залежей крайне неравномерно, но в целом устанавливается тенденция к возрастанию его содержаний от флангов к центру при максимальной концентрации в центральной части или несколько вверх от неё в разрезе залежи. Строение рудных тел разных месторождений практически идентично. На слабоизменённых карбонатных породах залегают бурые глины с обломками подстилающих пород, реже калишпатовых и пирит-кварцевых метасоматитов. Центральную часть разреза занимает пёстроокрашенный песчано-глинистый материал с реликтами и обломками первичных руд. Выше, также в пестроцветных песчано-глинистых образованиях, наряду с обломками первичных руд появляются обломки юрских пород. Постепенно эти отложения переходят через дезинтегрированные разности в плотные юрские конгломераты, гравелиты, песчаники. Наиболее золотоносна центральная зона, отвечающая, очевидно, положению первичных рудных тел (см. рисунки 12, 13).

Согласно результатам технологических исследований (1961–1965 гг.), вторичные руды сложены кварцем (47–73 %), гидроксидами железа (10–38 %), глинистыми (14–35 %) и карбонатными минералами (0,5–3 %). Следовательно, современный состав руд определяется

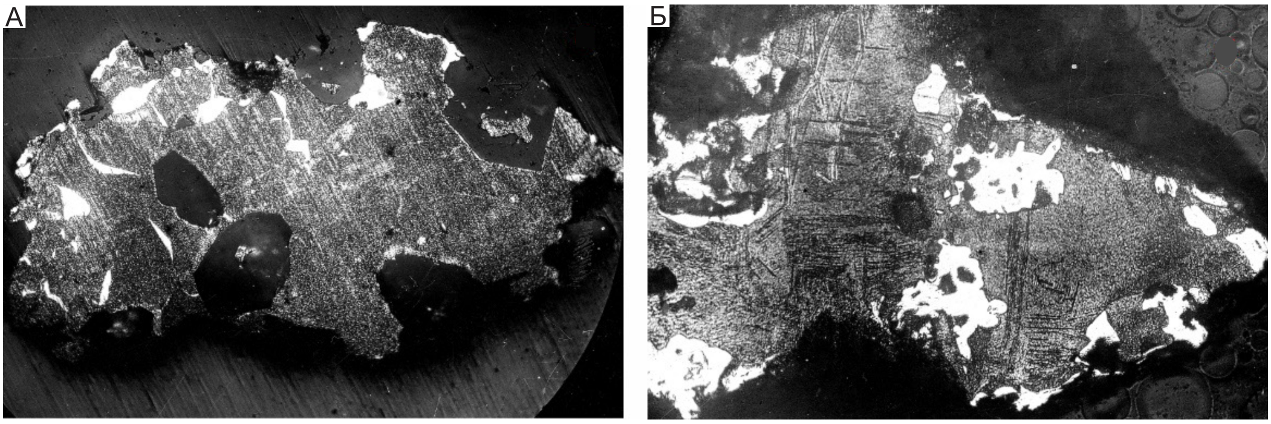


Рис. 17. Стадии преобразования остаточного золота (полир. шлифы):

редкие высокопробные межзерновые прожилки (белое) (А – ув. 90), разросшиеся высокопробные прожилки и зародышевые каймы высокопробного золота (Б – ув. 70) [18]

не только первичным составом, но и степенью их перемешивания с продуктами выветривания в карстовых депрессиях. Результаты фазового анализа показывают преобладание золота в тонких фракциях руд: во фракциях меньше 3 мм – до 70 %, причём в глинах его содержится до 40 %, а включая фракцию -8+3 мм и шлих – достигает 80 %.

По данным С. В. Яблоковой [29], содержания относительно крупного золота в рыхлых рудах составляют до 8–10 %. А. А. Ким [9] приводит данные технологического исследования проб, согласно которым, количество золота с размером меньше 0,04 мм составляет: 41,6 % (залежь Боковая), 58,6 % (залежь Центральная), 45,6 % (залежь Дэлбе). Так что сведения о соотношении тонкодисперсного и крупного золота в рудах куранахских месторождений довольно противоречивы и, по-видимому, отражают реальность существования различных типов руд.

Вторичное, гипергенное золото встречается в выветрелых рудах в значительных количествах. Размеры золота этого типа весьма малы. Основная его масса концентрируется в классе -0,04 мм (60–90 %), доминирующий размер частиц 10–50 мкм. О возможности укрупнения золота в корах выветривания свидетельствует наличие в богатых рудах агрегатов вторичного золота размером до 0,25 мм, отмечались мелкие самородки.

Вторичное золото в выветрелых рудах близко по формам выделений – губчатым, сгустковым, агрегатным, – но отличается рядом специфических особенностей в зависимости от состава гипергенных новообразований. Выделяются две основные ассоциации вторичного золота – гётит-гидрогётитовая и теллуратовая [18].

Вторичное золото гётит-гидрогётитовой ассоциации нередко с примесью гематита, ярозита и скородита распространено наиболее широко. Оно наблюдается в виде тончайшей сыпи среди переотложенных агрегатов гётит-гидрогётитового состава или в глинистом ожелезнённом материале вблизи псевдоморфоз гидроксидов железа по пириту. Это золото имеет глобулярную, эмульсионную, нитевидную, пластинчатую, плёночную форму, присутствуют сферические монокристаллы, размером от десятых долей микрона до десятых долей миллиметра (рис. 18). Ячеисто-каркасные, порошковатые, сгустковые стяжения мельчайших частиц, с включениями остаточного золота, служившего затравкой, а также плёнки на поверхности переотложенных оксидов могут достигать 0,04–1,00 мм. Они имеют буроватый, коричневатый цвет, при лёгком надавливании легко рассыпаются на отдельные фрагменты, вследствие чего получили название «хрупкого» золота. Золото этой разновидности характеризуется высокой пробностью (>960), относительной однородностью выделений, примесью железа.

Вторичное золото теллуратовой ассоциации – продукта разложения гипогенных золото-теллуридных парагенезисов – менее распространено. Разложение теллуридов золота может сопровождаться формированием теллуратов сложного состава, содержащих свинец, цинк, марганец, мышьяк, ванадий, фосфор, ртуть и другие элементы [13, 29]. Золото этой разновидности наблюдается в виде эмульсионной вкрапленности, петельчатой паутинной сети прожилков и образует субграфические колломорфные срастания с вторичными минералами теллура (рис. 19). Среди отпрепарированных субмикроскопических разностей преобладают каркасно-ячеистые агрегаты (0,5–2 мкм), пластинчатые

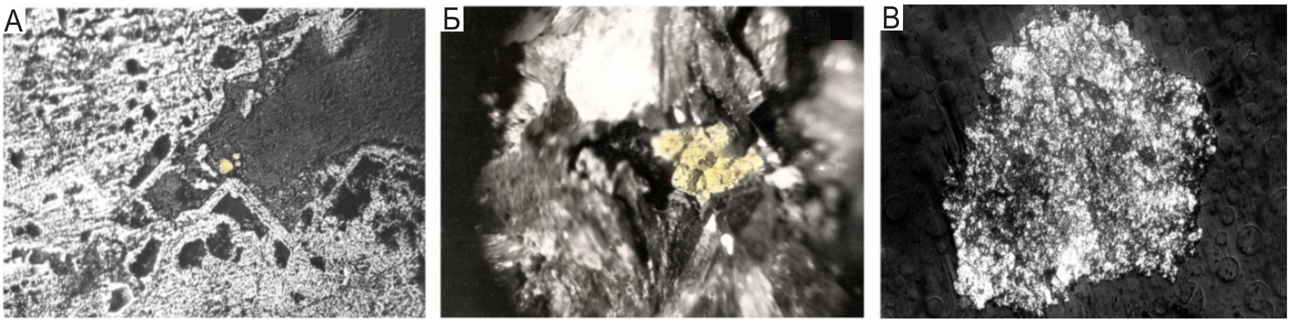


Рис. 18. Золото гётит-гидрогётитовой ассоциации (полир. шлифы):

вторичное каплевидное золото с гидроксидами железа ящичной текстуры (А – ув. 450), плёнки золота на натёчном лимоните и послерудном кварце (Б – ув. 120), пористый агрегат «хрупкого» золота с гидроксидами железа (В – ув. 110) [18]

(5–20 мкм), нитевидные и лентовидные кристаллы, а также рыхлые скопления глобулярных частиц сферических кристаллов. Их сегрегация способствует увеличению размеров и образованию каркасных, ячеистых, сгустковых золото-теллуратовых агрегатов «хрупкого» («горчичного») золота, достигающих 0,25 мм. Форма их изометричная, близкая к овальной, губчатая, веточковидная, пластинчатая; присутствуют кристаллические выделения в виде скелетных шестигранных призм (рисунки 20, 21).

На поздней стадии выветривания эпигенетические преобразования вторичного золота сопровождаются частичным переотложением золота, его твердофазной перекристаллизацией, способствующим увеличению размеров хрупких стяжений, иногда до 1,5–2,0 см, и образованию вторичных самородков массой до 2 г (рис. 22).

Поверхность вторичного золота практически всех разновидностей отличается натёчным, почковидным микрорельефом, что в сочетании с метаколлоидными текстурами хрупких агрегатов свидетельствует о важной роли коллоидных растворов, сорбционных явлений и твердофазной перекристаллизации при образовании вторичного золота (рис. 23).

Эпигенетические изменения остаточного и вторичного, гипергенного золота соответствуют стадиям развития коры выветривания и могут быть использованы на ранних стадиях работ в качестве минералогических

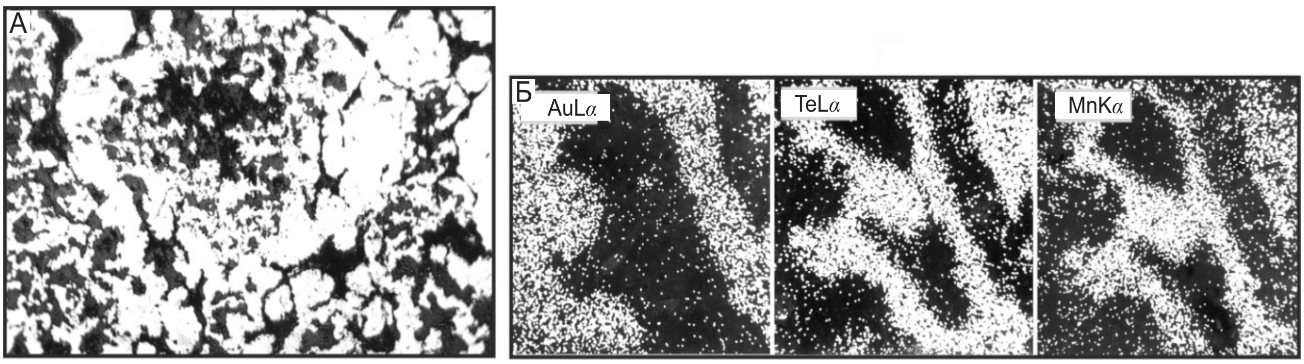


Рис. 19. Золото теллуратовой ассоциации (полир. шлиф):

тесные колломорфные срастания золота (белое) со свинцово-марганцевым теллуратом – куранахитом (чёрное), в центре – следы дендритного роста (А – ув. 350); деталь, снятая в рентгеновском излучении (AuLα, TeLα, MnKα) (Б – 8000) [18]

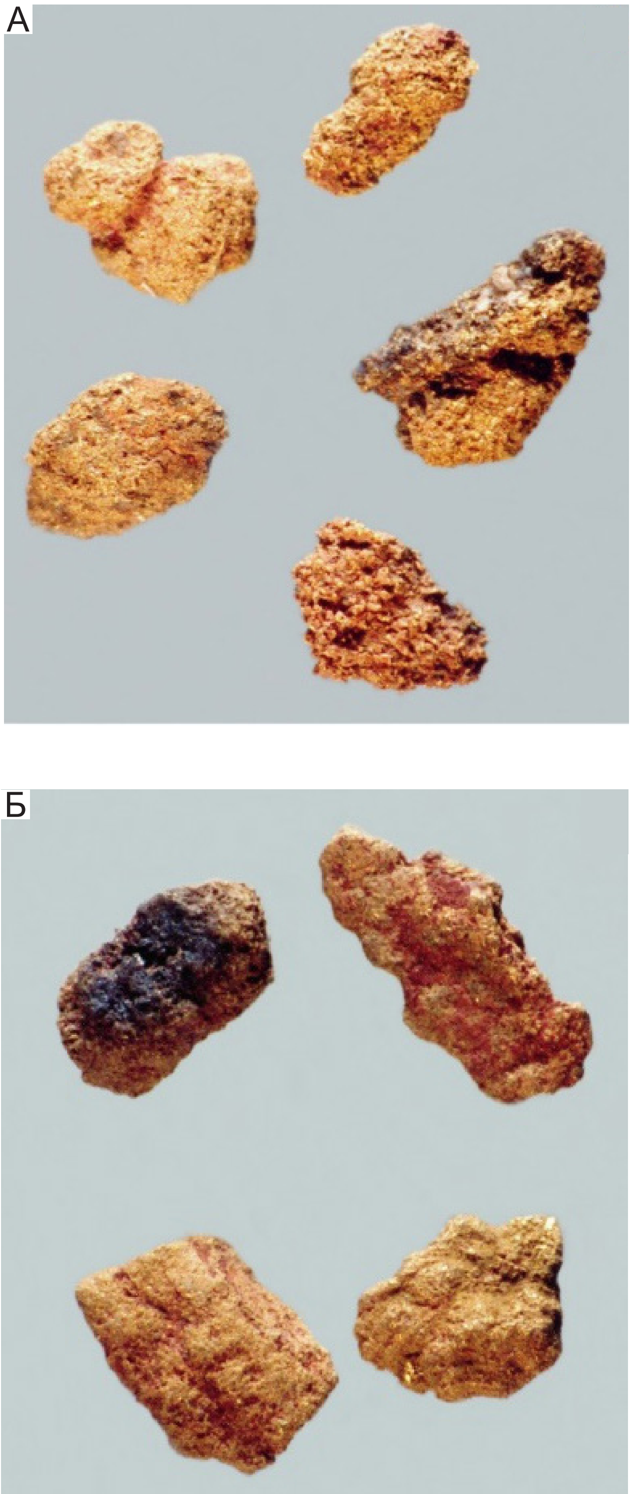


Рис. 20. Золото-теллуратовые агрегаты в срастании с вторичным кварцем, куранахитом (чёрное) и гидроксидами железа:

изометричные, комковидные, губчатые стяжения (А – ув. 20), пластинчатые, каркасные образования (Б – ув. 17) [18]

критериев для определения первичного состава руд и глубины их выветривания.

Установленные типоморфные признаки вторичного золота в глинистых корах выветривания могут быть применены для оценки роли вторичного обогащения в корах выветривания и уточнения данных о первичной минерализации.

Этапы формирования. Основные процессы, обеспечившие уникальность Куранахского месторождения – карстообразование и выветривание, начались в мезозое. Развитие каолиновых глин в условиях субтропического климата, значительное переуглубление карстовых полостей (днища которых располагаются ниже местных базисов эрозии) – всё это свидетельства существования подземной карстовой системы [17].

Руды Куранахской группы месторождений сформированы в ходе сложного и длительного рудообразования, в котором, помимо эндогенных процессов, существенную роль играли физико-химические преобразования. Мнения различных исследователей расходятся как в оценке значимости этих процессов, так и в целом относительно генезиса месторождения.

По мнению А. И. Кукса, золотоносные залежи пиритизированных кварцевых метасоматитов различного состава, образовавшиеся в процессе поступления гидротермальных растворов по ослабленным зонам в кембрийских известняках под юрскими терригенными отложениями, в процессе гипергенеза превратились в массу элювиального и делювиального материала (А. И. Кукс, 1957).

И. С. Рожков также рассматривал отдельные участки куранахских месторождений как элювиальные россыпи [23].

Ф. В. Гаскаров, подчёркивая закономерное строение рудных залежей в разрезе, считал их разрушенными, но залегающими in situ, что подтверждается присутствием участков монолитных руд, ненарушенных процессами гипергенеза [5].

Ю. С. Маслов [17], рассматривает в качестве первичных руд лишь непромышленную, преимущественно вкрапленную минерализацию, возникшую в результате окварцевания и пиритизации нижнеюрских эффузивно-осадочных отложений. Из выделяемых им трёх этапов эндогенного рудообразования основной связывается с проявлением раннеюрского кислого вулканизма. К промышленным концентрациям металла, с этой позиции, привели процессы формирования коры выветривания с мобилизацией рассеянной первичной минерализации в месторождения контактово-карстового типа.

В последние годы появилась совершенно иная точка зрения на генезис куранахских месторождений, предложенная Е. М. Брадинской с соавторами [2]. При изучении золотоносных пирит-кварцевых метасоматитов было установлено присутствие в них углеродистых веществ. Детальное изучение органики позволило сделать следующие выводы:

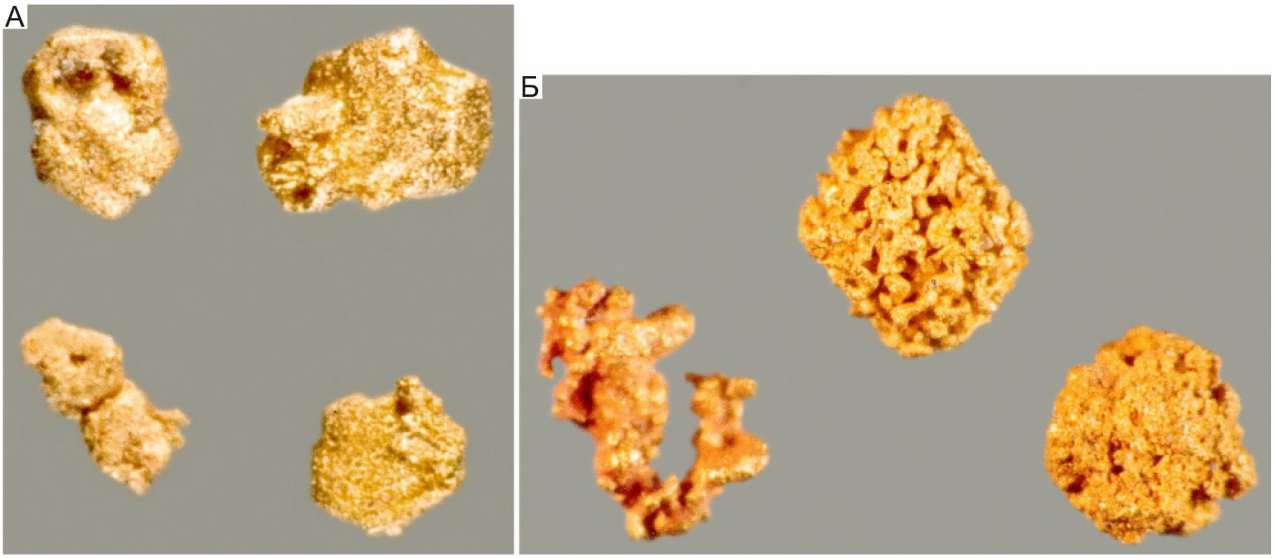


Рис. 21. Золото после обработки золото-теллуратовых агрегатов соляной кислотой:

скелетные кристаллы и их сростки (А – ув. 15), дендрит и губчатые сростки (Б – ув. 33) [18]

- в первичных золотосодержащих рудах углеродистые вещества участвовали в рудогенном процессе, о чём свидетельствует обнаружение золота во фракциях спирто-бензоловых битумов и нерастворимых углеродистых веществах;
- наличие углеродистых веществ с фрагментами гелефицированных растительных остатков в тесной ассоциации с породообразующим кварцем и сульфидами даёт основание предполагать первично-осадочное происхождение золотосодержащих пород.

Главный вывод этих исследований – первичные руды куранахских месторождений представляют собой осадочные образования, возможно, вулканогенно- или гидротермально-осадочные.

Большинство исследователей придерживается более традиционных взглядов на генезис куранахских месторождений, относит их к гидротермально-метасоматическому типу и связывает их формирование с щелочным магматизмом мезозойской тектоно-магматической активизации Алданского щита.

А. И. Казаринов [7, 8], выделяет три этапа, подчёркивая роль первого, *гипергенного догидротермального этапа*, во время которого происходило интенсивное изменение исходных пород в связи с так называемыми процессами прогрессивного гипергенного *метаморфизма*. Результатом этих процессов явилось *окремнение*, низкотемпературная калишпатизация, ожелезнение и слабая рассеянная пиритизация пород в зоне контакта кембрия и юры. В это же время формировались доюрские (триасовые?) коры выветривания. Вдоль тектонических зон в позднеюрское время произошло внедрение субщелочных даек. Важным моментом, завершающим догидротермальный этап, является подземное карстообразование на контакте кембрийских и юрских пород. В результате на месте современных рудных залежей сформировались горизонтально залегающие в карстовых полостях кремнисто-калишпатовые породы.

В *гидротермальный этап* поступление гидротермальных растворов происходит по тем же зонам, с которыми

Рис. 22. Вторичный самородок массой 2 г с включением теллуратов, гидроксидов железа и вторичного кварца (ув. 14) [18]

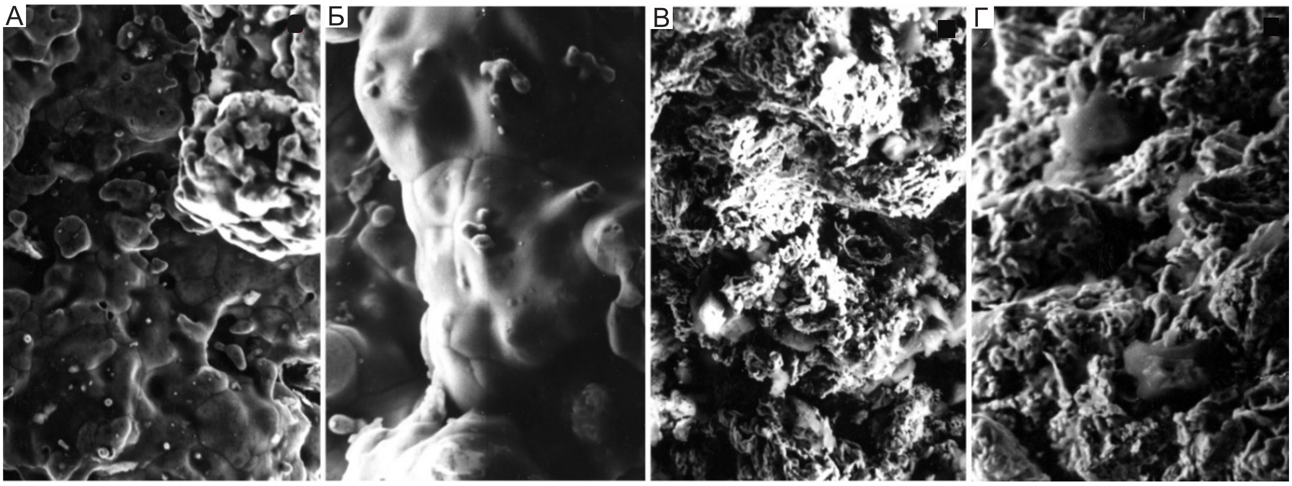


Рис. 23. Микрорельеф поверхности гипергенного золота (растровый электронный микроскоп):

почковидно-натечная поверхность губчатых частиц (А – ув. 1000), микропочковидная поверхность с элементами начальной перекристаллизации (Б – ув. 2000), занозистая губчатая поверхность вторичных самородков с элементами дендритной перекристаллизации (В – ув. 1000, Г – ув. 2000) [18]

связаны внедрение субщелочных даек и развитие подземного карста.

А. И. Казаринов выделяет три стадии гидротермального минералообразования. Продуктивный гидротермальный этап расчленяется, охватывает первую и вторую стадии, в течение которых были образованы две золотоносных генерации кварца и пирита. В третью стадию происходило образование крупнозернистого кварца, не сопровождающегося рудной минерализацией.

В *гипергенный послегидротермальный этап* происходило площадное карстование, существенно сказавшееся на современной морфологии рудных залежей.

В. Г. Ветлужских и др. [4] также выделяют три разделённых во времени и генетически разнородных этапа формирования месторождений куранахского типа.

В первый этап на поверхности венд-кембрийской карбонатной толщи образовались доюрские (триасовые?) коры и карстовые полости с накоплением в них остаточных глин.

Во второй, раннеюрский, этап после накопления аркозов юхтинской виты внедрились дайки калиевых минет и сиенитпорфиров. В связи с раннемезозойским магматизмом проявился калиевый метасоматоз карбонатных пород платформенного чехла и литифицированных глин, выполняющих доюрские карстовые полости.

В третий, поздненеогеновый-раннечетвертичный, этап произошло развитие подземного карста, завершилось окисление вмещающих пород и руд с перераспределением рудных компонентов и формированием современных золотоносных залежей.

Е. П. Максимов и др. [16] считают, что сохранение доюрской коры выветривания или формирование её в ранней юре в скольких-нибудь значительных объёмах маловероятны. Данные исследователи предполагают, что современный облик месторождений куранахского типа – результат двух генетически независимых и автономных этапов формирования. На первом этапе, в раннем мелу, в результате проявления калиевого и кремнекалиевого метасоматоза были сформированы рудные объекты. Позднее в неогеновое и четвертичное время залежи золоторудных метасоматитов были дезинтегрированы и преобразованы в условиях подземного карста с образованием элювиальных золоторудных залежей коры выветривания.

А. Н. Угрюмов и др. [25, 26, 28] считают, что первичные руды сформировались в течение двух самостоятельных этапов. Первый этап, проявившийся предположительно в поздней юре, характеризуется высокотемпературным углекисло-калиевым метасоматозом, результатом которого явились золотоносные пирит-калишпатовые и пирит-анкерит-калишпатовые метасоматиты (гумбеиты), образовавшиеся на границе кембрийских и юрских отложений. Образования этой стадии, весьма значительные по масштабам проявления и распространённости, связываются с региональным подъёмом транскоровых активных метасоматизирующих растворов. Второй этап, проявившийся предположительно в меловое время, представлен более низкотемпературным кварцевым метасоматозом, в результате которого образовались также золотоносные пирит-кварцевые (джаспероиды) и пирит-адуляр-каолинит-кварцевые метасоматиты.

Исходными породами для кварцевых метасоматитов явились главным образом калишпатовые метасоматиты первого этапа, частично крупнообломочные породы нижней части юрских отложений и мезозойские *интрузии*. Геохимическое сходство золото-пирит-кварцевых метасоматитов и гумбеитов рассматривается как результат телескопирования, в том числе в отношении золота, двух рудообразующих процессов. Развитие второго этапа парагенетически связывается с эволюцией глубинного магматического очага монцонит-сиенитовой формации.

Таким образом, куранахские месторождения являются следствием сложного и длительного рудообразования, что привело к формированию сложных месторождений. Первичные близповерхностные гидротермальные залежи почти полностью окислены и интенсивно механически разрушены. Неразрушенные первичные руды сохранились в очень небольшом количестве. На отдельных участках рудные тела превратились в элювиальные россыпи и возможно небольшие участки с золотоносным делювием. В целом рудно-формационный тип месторождения может быть определён по тому типу руд, в которых сосредоточены основные запасы – золото-пирит-адуляр-кварцевый.

Исходя из изложенного выше для оруденения куранахского типа региональными критериями для выделения золотоносных узлов, по материалам различных авторов [4, 7] (В. М. Яновский, В. Г. Ветлужских, В. А. Амузинский и др., 1984), являются:

1. Развитие отрицательных платформенных структур типа грабен-впадин, синеклиз или чашеобразных прогибов, характеризующихся значительными мощностями кембрийских отложений и наличием перекрывающих их юрских континентальных отложений; в этих условиях на дневную поверхность выходит верхний региональный продуктивный горизонт.

2. Наличие поперечных дизъюнктивных структур регионального характера, являющихся рудоподводящими; в участках пересечения ими синеклиз обычно находятся центральные части рудных узлов.

3. Умеренное проявление постюрского магматизма, наблюдающегося в виде мелких штокообразных тел меланократовых сиенитовых пород и магматических брекчий с ортофировым цементом, протяжённых даек меланократовых и нормальных сиенитовых пород, некрупных пластовых интрузий пород сиенитового состава.

Локальными поисковыми признаками на выявление рудных полей оруденения куранахского типа являются:

1) признаки оруденения в области стратиграфического контакта кембрийских и юрских отложений, при распространении калишпатовых и кремнисто-калишпатовых пород массивной, слоистой и брекчиевой текстуры с мелкогнездовыми включениями крупнозернистого пирита, железистыми оолитами и лимонитовыми стяжениями;

2) некоторые авторы склонны рассматривать приуроченность оруденения к стратиграфическому контакту венд-нижнекембрийских карбонатных и нижнеюрских алюмосиликатных пород чехла в качестве структурного, с одной стороны, обеспечившего падение давления по фронту движения гидротермальных растворов, а с другой стороны, послужившего своеобразным геохимическим барьером (Э. Ф. Баранов, 1991; С. М. Мудрик, 1995);

3) развитие линейных тектонических зон, поперечных относительно оси грабен-впадин в ряде случаев, сопровождающихся дайками; последние обычно претерпевают ранний постмагматический калиевый метасоматоз и в ряде случаев являются продуцентами золота;

4) наличие в коренном залегании или свалах типичных для куранахских месторождений кварцевых и кварц-лимонитовых (или кварц-пиритовых) метасоматитов, в которых макроскопически наблюдаются характерный мелко- и среднезернистый рисовидный кварц, брекчированный и сцементированный этим кварцем пористый и массивный пирит и более поздний мелкий пирит пентагон-додекаэдрических форм

5) признаки наличия в элювии и делювии дисперсного золота, выявленного при золото-спектрометрической съёмке, наличие агрегатного «хрупкого» золота в протолочках проб окисленной руды, а также в аллювии;

6) геохимические признаки оруденения выражаются в приуроченности к рудным телам аномалий золота, серебра, мышьяка, сурьмы, молибдена, ванадия, теллура, урана.

К косвенным поисковым признакам относятся ареалы развития гумбеитов, а также геоморфологические и геофизические признаки:

1) к геоморфологическим относятся все признаки поверхностного и подземного карста – отрицательные формы микро-, мезо- и макрорельефа;

2) геофизические факторы выражаются в наличии зоны разуплотнения в поле силы тяжести, линейных и площадных аномалий пониженного кажущегося сопротивления, положительных линейных аномалий магнитного поля, аномалий урана, тория, калия, повышенных значений гамма-поля.

Обобщённые поисковые критерии и признаки месторождений Куранахской группы сведены в таблицу 2, составленную по материалам ряда авторов.

Определёнными перспективами для обнаружения золоторудных объектов, подобных месторождениям Куранахской группы, обладают и другие грабен-впадины **Южно-Якутской системы, в частности** Верхнеякокутская. На это указывают следующие факторы:

- сходная геолого-структурная обстановка (контакт венд-кембрийской карбонатной и юрской терригенной толщ с признаками карстообразования);
- протяжённые разрывные структуры взбросо-сбросовой кинематики Томмот-Эльконской и Юхтинско-

2. Поисковые критерии и признаки месторождений Куранахской группы

Название металлогенического таксона	Центрально-Алданский рудный район. Куранахский рудный узел
Критерии признаки	Куранахский тип
Региональные тектонические	Блоковые структуры II-го порядка, осложняющие Центрально-Алданский мегаблок, представлены Верхнеякокутской и Куранахской грабен-впадинами, разделёнными Якокутским горстом, вытянутым в северо-восточном направлении по оси Якокутского синклинория. Опущенные блоки фундамента контролируются зонами региональных разломов. Блоки характеризуются относительной стабильностью, но при этом находятся в пределах влияния мезозойской тектоно-магматической активизации (ТМА)
Магматические	Единичные штоки и силлы роговообманковых сиенитов, дайки сиенит-порфиров, керсантитов, калиевых пикритов, калиевых трахитов рудоносной формации в составе продуктов мезозойской ТМА. Штокообразные тела преобладают на флангах рудного узла. Дайки концентрируются преимущественно внутри тектонических зон дробления и вблизи крупных разрывных нарушений, а также фиксируют киммерийские трещины отрыва субмеридионального простирания
Литолого-фациальные	Оруденение приурочено к стратиграфическому контакту нижнекембрийских и юрских пород, имеющему сложную морфологию, обусловленную наличием на закарстованной погребённой поверхности кембрийских пород триасовой (?) коры выветривания. Оруденение гидротермального типа сосредоточено в коре выветривания и нижней части разреза юрских терригенных пород
Структурно-тектонические	Крупные разломы, контролирующие образование и распределение карстовых полостей. Разрывные нарушения и зоны повышенной трещиноватости северо-восточного, субмеридионального и северо-западного простирания, являющиеся рудоподводящими. Для локализации залежей благоприятным является тектонически ослабленный контакт кембрийских и юрских пород вдоль зон киммерийских трещин отрыва (рудные зоны). В пределах рудного поля выявлены три таких зоны: Центральная, Западная и Восточная
Рудоконтролирующие структуры	Куранахская и Верхнеякокутская грабен-впадины, контролирущиеся зонами региональных разломов с дайкообразными телами мезозойских субщелочных пород. Разрывные нарушения и зоны повышенной трещиноватости северо-восточного, субмеридионального и северо-западного простирания, сопровождающиеся рудоносными магматитами. Системы линейных карстовых полостей на выветрелой палеоповерхности нижнекембрийских известняков в крупных зонах трещиноватости
Рудовмещающие структуры	Область контакта нижнекембрийских карбонатных и нижнеюрских терригенных пород, характеризующаяся распространением триасовой коры выветривания и плащеобразных тел метасоматитов. Линейные карстовые полости в толще кембрийских известняков, контролирующиеся крупными зонами трещиноватости

Окончание таблицы 2

Название металлогенического таксона	Центрально-Алданский рудный район. Куранахский рудный узел
Морфологические	Золоторудные тела большинства Куранахских месторождений вытянуты в субмеридиональном направлении. Форма рудных тел в значительной степени определяется строением карстовых полостей. Рудные тела представляют собой: • залежи лентообразной, плащеобразной формы с сильноизвилистыми контурами, с раздувами и пережимами, примерно повторяющие контуры погребённых карстовых полостей; • залежи лентообразной, плащеобразной формы, сопровождающиеся со стороны лежачего бока продуктами их разрушения и преобразования в карстовых просадках; крутопадающие жилообразные тела и минерализованные зоны, сопряжённые с пологозалегающими рудными линзами
Гидротермально-метасоматические	На литолого-стратиграфическом уровне рудолокализации установлены: низкотемпературные пиритизированные кварцевые метасоматиты различного состава – пирит-адуляр-кварцевые, пирит-кварцевые, кварц-калишпат-каолинит-гидрослюдистые, кварц-калишпат-монтмориллонитовые, а также каолинит-гидрослюдистые, монтмориллонит-нонтронитовые и предрудные гумбеитовые. Кварцевые метасоматиты образованы по породам карбонатного, калишпатового составов, кварц-полевошпатовых песчаников. Кварцевые и пирит-адуляр-кварцевые метасоматиты, образовавшиеся по разным породам, отличаются составом реликтовых обломков. К продуктам гидротермальной аргиллизации относятся пирит-каолинит-гидрослюдистые и пирит-гидрослюдисто-монтмориллонитовые руды. Для пород известняково-доломитовой формации характерно широкое развитие процессов низкотемпературного окварцевания (развитие джаспероидов), формирующих достаточно выдержанные горизонты в составе карбонатной толщи
Минералогические	Золотоносны все обломочные рыхлые породы, выполняющие карстовые полости. Выделяются следующие разновидности «рудной массы»: • метасоматиты, сложенные гематитом, шестоватым и халцедоновидным кварцем, иногда с небольшим количеством адуляра и лимонита; • железистые кварциты, тонкозернистый кварц с мельчайшей вкрапленностью железа; • охристо-гематитовые массы с участками кварцевых сыпучек; • ожелезнённые аркозовые песчаники (с гематитом, замещающим полевые шпаты); • золотоносные пески и песчаники; • глинисто-гематитовые и глинисто-лимонитовые пестроцветные продукты выветривания кембрийских и юрских пород; • бурые переотложенные глины с повышенной золотоносностью. В первичных рудах выделяются: адуляр-кварцевая, золото-пирит-кварцевая, золото-сульфидно-кварцевая и золото-теллуридная минеральные ассоциации. Проба золота от 870–900 ‰ ранней генерации; 725–860 ‰ золото второй генерации; 790–930 ‰ золото из зоны окисления. Наличие агрегатного «хрупкого» золота в протолочках проб окисленной руды, а также в аллювии
Геохимические	Геохимические аномалии золота, серебра, свинца, меди, цинка, мышьяка, сурьмы и ртути
Геофизические	Рудные тела в карстовых полостях в физических полях практически не фиксируются. Дайки субщелочных пород рудоносной формации выделяются по данным магниторазведки, максимумами в магнитном поле, а также по данным каротажа в скважинах методом КМВ

Нимгерканской систем глубинных магмовыводящих разломов;

- высокая «насыщенность» впадины малыми интрузивными телами (силлами, дайками) щелочного и щёлочноземельного состава;
- интенсивные гидротермальные изменения вмещающих пород, включая околорудные березиты.

Прямыми, выявленными на настоящий момент признаками наличия оруденения куранахского типа в пределах Верхнеякокутской грабен-впадины являются:

- наличие золотоносных переотложенных кор выветривания (?) в карстовых полостях, представленных песчано-глинистыми интенсивно лимонитизированными отложениями с обломками гумбеитизированных доломитов, сиенит-порфиров и кварцевых метасоматитов мощностью отложений порядка 20 м и с содержаниями золота до 0,1–4,9 г/т (северный фланг залежи Таежной, зона Южная Юрбетская) (рис. 24);
- в южной части Верхнеякокутской грабен-впадины работами Е. И. Бирюкова (1999) выявлено рудопроявление Гладкое, приуроченное к зоне контакта песчаников и конгломератов юхтинской свиты с подстилающими доломитами унгелинской свиты нижнего кембрия. Бурением вскрыта карстовая залежь с вертикальной мощностью рудных образований до 14 м и содержанием золота по отдельным керновым пробам до 15,5 г/т. Ширина рудных зон в отдельных участках достигает трёх километров. Мощность пластовых рудных тел, также невыдержанная, варьирует от 1 до 40 м. Наряду с межформационными рудными телами встречаются рудные залежи, целиком заключённые в толще юрских отложений.

Рис. 24. Глинистые отложения. Доюрские (?) золотосодержащие коры выветривания, представленные песчано-глинистыми, лимонитизированными отложениями с обломками гумбеитизированных доломитов, вскрытые скважиной на глубине 116 м, на границе песчаников юхтинской свиты с подстилающими доломитами унгелинской свиты нижнего кембрия:

мощность отложений порядка 20 м, содержания золота на интервале составили от 0,1 до 0,65 г/т

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бойцов В. Е., Пилипенко Г. Н.* Золото и уран в мезозойских гидротермальных месторождениях Центрального Алдана (Россия) // Геология рудных месторождений. – 1998. – Т. 40, № 4. – С. 354–369.
2. *Брадинская Е. М., Развозжаева Э. А., Виленкин Э. А., Баранкевич В. Г.* Золотосодержащие углеродистые вещества в первичных рудах некоторых месторождений Центрального Алдана // ДАН СССР. – 1981. – Т. 260, № 2. – С. 282–284.
3. *Ветлужских В. Г., Абрамов В. А., Кочетков А. Я.* и др. Куранахское рудное поле // Геология золоторудных месторождений Востока СССР. – М. : ЦНИГРИ, 1988. – С. 5–67.
4. *Ветлужских В. Г.,* Казанский В. И., *Кочетков А. Я., Яновский В. М.* Золоторудные месторождения Центрального Алдана // Геология рудных месторождений. – 2002. – Т. 44, № 6. – С. 467–499.
5. *Гаскаров В. Ф.* Морфологические типы золоторудных тел и факторы, определяющие их размещение в месторождениях Центрального Алдана // Сборник материалов по геологии золота и платины. – М. : Главзолото, 1955. – Вып. 11 (21). – С. 16–75.
6. *Государственная* геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Алданская. Лист O-51-XII. Объяснительная записка / К. А. Воробьев, А. В. Курбатов – М. : Московский филиал ВСЕГЕИ, 2015. – 213 с.
7. *Казаринов А. И.* Закономерности размещения главных типов золотого оруденения в Алданском районе и принципы их перспективной оценки // Геология и методы изучения золоторудных провинций. – М. : Недра, 1967. – Вып. 68. – С. 5–30.
8. *Казаринов А. И.* К вопросу о генезисе золоторудных месторождений Куранахского типа // Золоторудные формации Дальнего Востока. – М. : Наука, 1969. – С. 125–135.
9. *Ким А. А.* Анализ минералогических особенностей самородного золота в первичных и окисленных рудах месторождений Центрального Алдана // Древние коры выветривания Якутии. – Якутск : ЯФ СО АН СССР, 1975. – С. 109–127.
10. *Ким А. А.* Золото-теллуридно-селенидная минерализация в Куранахском месторождении // Зап. ВМО. – 2000. – № 5. – С. 51–57.

11. *Константинов М. М.* Золоторудные месторождения России. – М. : Акварель, 2010. – 349 с.
12. *Кочетков А. Я.* Мезозойские золотоносные рудно-магматические системы Центрального Алдана // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47, № 7. – С. 850–864.
13. *Кочетков А. Я., Игумнова Н. С., Ким А. А.* Формационные и минеральные типы мезозойского оруденения Центрального Алдана // Геология и геохимия рудоносных магматических и метасоматических формаций зоны Малого БАМа. – Якутск : Якутский филиал СО АН СССР, 1986. – С. 20–31.
14. *Леонтьев В. И.* Крутопадающие минерализованные зоны как возможные рудоподводящие структуры золоторудного месторождения «Надежда» (Центральный Алдан) // Вестник ИрГТУ. – 2015. – № 2 (97). – С. 71–75.
15. *Леонтьев В. И.* Руды и метасоматиты крутопадающих минерализованных зон золоторудного месторождения «Надежда» (Центральный Алдан) // Геология в развивающемся мире : сборник научных трудов (по материалам VI научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием). – Пермь : Пермский государственный национальный исследовательский университет. – 2013. – Т. 1. – С. 25–27.
16. *Максимов Е. П., Уютов В. И., Никитин В. М.* Центрально-Алданская золото-урановорудная магматогенная система (Алдано-Становой щит, Россия) // Тихоокеанская геология. – 2010. – Т. 29, № 2. – С. 3–26.
17. *Маслов Ю. С.* Основные черты строения, морфологии и условий образования золоторудных месторождений коры выветривания Южной Якутии // Материалы по геологии и полезным ископаемым Якутской АССР. – 1961. – Вып. VI. – С. 93–100.
18. *Николаева Л. А., Гаврилов А. М., Некрасова А. Н., Яблокова С. В., Шатилова Л. В.* Атлас самородного золота рудных и россыпных месторождений России / Под ред. А. И. Кривцова. – М. : ЦНИГРИ, 2003. – 184 с.
19. *Парфенов Л. М., Кузмин М. И.* Тектоника, геодинамика и металлогения территории республики Саха (Якутия). – М. : МАИК «Наука» / Интерпериодика», 2001. – 570 с.
20. *Петровская Н. В.* Самородное золото. – М. : Наука, 1973. – 330 с.
21. *Петровская Н. В., Яблокова С. В.* Золото в корах выветривания // Рудоносные коры выветривания. – М. : Наука, 1974. – С. 173–182.
22. *Разин Л. В., Рожков И. С.* Геохимия золота в коре выветривания и биосфере золоторудных месторождений куранахского типа. – М. : Изд-во АН СССР Наука, 1966. – 253 с.
23. *Рожков И. С.* Закономерности формирования россыпных месторождений восточной части Сибирской платформы // Закономерности размещения месторождений в платформенных чехлах. – 1960. – Ч. II.
24. *Телега Н. С.* Геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Серия Алданская. Лист O- 51-XII. Объяснительная записка. – М. : Недра, 1967. – 72 с.
25. *Угрюмов А. Н.* Опыт формационного анализа золоторудных джаспероидных месторождений при крупномасштабном прогнозе и поисках // Формационный анализ и крупномасштабный прогноз рудных месторождений. – М. : ЦНИГРИ, 1987. – С. 70–77.
26. *Угрюмов А. Н., Дворник Г. П.* Метасоматические формации и золотая минерализация в рудном районе мезозойской тектоно-магматической активизации (Алданский Щит) // Известия УГГГА. Серия: Геология и геофизика. – 2000. – Вып. 10. – С. 119–128.
27. *Уютов В. И.* Некоторые аспекты петро- и рудогенезиса на примере районов мезозойской активизации Алданского щита // Проблемы геологии, геофизики и полезных ископаемых Алдано-Станового геоблока. – Якутск : Изд-во ПГО «Якутскгеология», 1991. – С. 27–37.
28. *Уютов В. И., Угрюмов А. Н., Карелин В. В.* Мезозойский углекисло-железисто-калиевый метасоматоз Алдана // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1981. – № 1. – С. 52–60.
29. *Яблокова С. В.* Типоморфизм самородного золота зоны гипергенеза (на примере одного из месторождений Южной Якутии) // Минералогия самородных элементов. – Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1980. – С. 110–112.

REFERENCES

1. *Boytsov V. Ye., Pilipenko G. N.* Zoloto i uran v mezozoyskikh gidrotermalnykh mestorozhdeniyakh Tsentralnogo Aldana (Rossiya) [Gold and uranium in Mesozoic hydrothermal deposits of Central Aldan (Russia)], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 1998, V. 40, No. 4, pp. 354–369.(In Russ.)
2. *Bradinskaya Ye. M., Razvozzhayeva E. A., Vilenkin E. A., Barankevich V. G.* Zolotosoderzhashchiye uglerodistyye veshchestva v pervichnykh rudakh nekotorykh mestorozhdeniy Tsentralnogo Aldana [Gold-containing carbonaceous substances in primary ores of some deposits of Central Aldan], DAN SSSR, 1981, V. 260, No. 2, pp. 282–284.(In Russ.)
3. *Vetluzhskikh V. G., Abramov V. A., Kochetkov A. Ya.* et al. Kuranakhskoye rudnoye pole [Kuranakh ore field],

Geology of gold deposits of the East of the USSR], Geologiya zolotorudnykh mestorozhdeniy Vostoka SSSR, Moscow, TSNIGRI publ., 1988, pp. 5–67. (In Russ.)

4. *Vetluzhskikh V. G., Kazanskiy V. I., Kochetkov A. Ya. Yanovskiy V. M.* Zolotorudnyye mestorozhdeniya Tsentralnogo Aldana [Gold deposits of Central Aldan], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 2002, V. 44, No. 6, pp. 467–499.(In Russ.)
5. *Gaskarov V. F.* Morfologicheskiye tipy zolotorudnykh tel i faktory, opredelyayushchiye ikh razmeshcheniye v mestorozhdeniyakh Tsentralnogo Aldana [Morphological types of gold ore bodies and factors determining their location in the deposits of Central Aldan], Sbornik materialov po geologii zolota i platiny, Moscow, Glavzoloto publ., 1955, Is. 11 (21), pp. 16–75. (In Russ.)
6. *Gosudarstvennaya* geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1 : 200 000. Izdaniye vtoroye. Seriya Aldanskaya. List O-51-XII. Ob»yasnitelnaya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 200,000. Second edition. Aldan series. Sheet O-51-XII. Explanatory note]. Vorobyev K. A., Kurbatov A. V, Moscow, Moskovskiy filial VSEGEI publ., 2015, 213 p.(In Russ.)
7. *Kazarinov A. I.* Zakonomernosti razmeshcheniya glavnykh tipov zolotogo orudeneniya v Aldanskom rayone i printsipy ikh perspektivnoy otsenki [Patterns of distribution of the main types of gold mineralization in the Aldan region and principles of their prospective assessment], Geologiya i metody izucheniya zolotorudnykh provintsiy, Moscow, Nedrapubl., 1967, Is. 68, pp. 5–30.(In Russ.)
8. *Kazarinov A. I.* K voprosu o genezise zolotorudnykh mestorozhdeniy Kuranakhskogo tipa [On the question of the genesis of gold deposits of the Kuranakh type], Zolotorudnyye formatsii Dalnego Vostoka, Moscow, Nauka publ., 1969, pp. 125–135.(In Russ.)
9. *Kim A. A.* Analiz mineralogicheskikh osobennostey samorodnogo zolota v pervichnykh i okislennykh rudakh mestorozhdeniy Tsentralnogo Aldana [Analysis of the mineralogical features of native gold in primary and oxidized ores of deposits of Central Aldan], Drevniye kory vyvetrivaniya Yakutii, Yakutsk, YAF SO AN SSSR publ., 1975, pp. 109–127.(In Russ.)
10. *Kim A. A.* Zoloto-telluridno-selenidnaya mineralizatsiya v Kuranakhskom mestorozhdenii [Gold-telluride-selenide mineralization in the Kuranakh deposit], Zap. VMO, 2000, No. 5, pp. 51–57.(In Russ.)
11. *Konstantinov M. M.* Zolotorudnyye mestorozhdeniya Rossii [Gold deposits of Russia], Moscow, Akvarel publ., 2010, 349 p.(In Russ.)
12. *Kochetkov A. Ya*. Mezozoyskiye zolotonosnyye rudnomagmaticheskiye sistemy Tsentralnogo Aldana [Mesozoic gold-bearing ore-magmatic systems of Central Aldan], Geologiya i geofizika, 2006, V. 47, No. 7, pp. 850–864.(In Russ.)
13. *Kochetkov A. Ya., Igumnova N. S., Kim A. A*. Formatsionnyye i mineralnyye tipy mezozoyskogo orudeneniya Tsentralnogo Aldana [Formation and mineral types of Mesozoic mineralization of the Central Aldan], Geologiya i geokhimiya rudonosnykh magmaticheskikh i metasomaticheskikh formatsiy zony Malogo BAMa, Yakutsk, Yakutskiy filial SO AN SSSR publ., 1986, pp. 20–31.(In Russ.)
14. *Leontyev V. I.* Krutopadayushchiye mineralizovannyye zony kak vozmozhnyye rudopodvodyashchiye struktury zolotorudnogo mestorozhdeniya “Nadezhda” (Tsentralnyy Aldan) [Steeply dipping mineralized zones as possible ore-bearing structures of the Nadezhda gold deposit (Central Aldan)], Vestnik IrGTU, 2015, No. 2 (97), pp. 71–75.(In Russ.)
15. *Leontyev V. I.* Rudy i metasomatity krutopadayushchikh mineralizovannykh zon zolotorudnogo mestorozhdeniya “Nadezhda” (Tsentralnyy Aldan) [Ores and metasomatites of steeply dipping mineralized zones of the Nadezhda gold deposit (Central Aldan)], Perm: Permskiy gosudarstvennyy natsionalnyy issledovatelskiy universitet publ., 2013, V.1, pp. 25–27. (In Russ.)
16. *Maksimov Ye. P., Uyutov V. I., Nikitin V. M.* Tsentralno-Aldanskaya zoloto-uranovorudnaya magmatogennaya sistema (Aldano-Stanovoy shchit, Rossiya) [Central Aldan gold-uranium magmatic system (Aldan-Stanovoy shield, Russia)], Tikhookeanskaya geologiya, 2010, V. 29, No. 2, pp. 3–26.(In Russ.)
17. *Maslov Yu. S.* Osnovnyye cherty stroyeniya, morfologii i usloviy obrazovaniya zolotorudnykh mestorozhdeniy kory vyvetrivaniya Yuzhnoy Yakutii [Main features of the structure, morphology and conditions of formation of gold deposits of the weathering crust of Southern Yakutia], Materialy po geologii i poleznym iskopayemym Yakutskoy ASSR, 1961, Is. VI, pp. 93–100.(In Russ.)
18. *Nikolayeva L. A., Gavrilov A. M., Nekrasova A. N., Yablokova S. V., Shatilova L. V.* Atlas samorodnogo zolota rudnykh i rossypnykh mestorozhdeniy Rossii [Atlas of native gold of ore and placer deposits in Russia]. ed. A. I. Krivtsova, Moscow, TSNIGRI publ., 2003, 184 p.(In Russ.)
19. *Parfenov L. M., Kuzmin M. I.*Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii respubliki Sakha (Yakutiya) [Tectonics, geodynamics and metallogeny of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia)], Moscow, MAIK “Nauka” Interperiodika” publ., 2001, 570 p. (In Russ.)
20. *Petrovskaya N. V.* Samorodnoye zoloto [Native gold], Moscow, Nauka publ., 1973, 330 p.(In Russ.)
21. *Petrovskaya N. V., Yablokova S. V.* Zoloto v korakh vyvetrivaniya [Gold in weathering crusts], Rudonosnyye kory vyvetrivaniya, Moscow, Nauka publ., 1974, pp. 173–182.(In Russ.)
22. *Razin L. V., Rozhkov I. S.* Geokhimiya zolota v kore vyvetrivaniya i biosfere zolotorudnykh mestorozhdeniy

kuranakhskogo tipa [Geochemistry of gold in the weathering crust and biosphere of gold deposits of the Kuranakh type], Moscow, Izd-vo AN SSSR Nauka publ., 1966, 253 p.(In Russ.)

23. *Rozhkov I. S.* Zakonomernosti formirovaniya rossypnykh mestorozhdeniy vostochnoy chasti Sibirskoy platformy [Patterns of formation of placer deposits in the eastern part of the Siberian platform], Zakonomernosti razmeshcheniya mestorozhdeniy v platformennykh chekhlakh, 1960, Ch. II.(In Russ.)
24. *Telega N. S.* Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1 : 200 000. Seriya Aldanskaya. List O- 51-XII. Ob′yas-nitelnaya zapiska [Geological map of the USSR, scale 1: 200,000. Aldan series. Sheet O-51-XII. Explanatory note], Moscow, Nedra publ., 1967, 72 p. (In Russ.)
25. *Ugryumov A. N.* Opyt formatsionnogo analiza zolotorudnykh dzhasperoidnykh mestorozhdeniy pri krupnomasshtabnom prognoze i poiskakh [Experience of formational analysis of jasperoid gold ore deposits during large-scale forecast and prospecting], Formatsionnyy analiz i krupnomasshtabnyy prognoz rudnykh mestorozhdeniy, Moscow, TSNIGRI publ., 1987, pp. 70–77.(In Russ.)
26. *Ugryumov A. N., Dvornik G. P.* Metasomaticheskiye formatsii i zolotaya mineralizatsiya v rudnom rayone mezozoyskoy tektono-magmaticheskoy aktivizatsii (Aldanskiy Shchit) [Metasomatic formations and gold mineralization in the ore region of Mesozoic tectono-magmatic activation (Aldan Shield)], Izvestiya UGGGA. Seriya: Geologiya i geofizika, 2000, Is. 10, pp. 119–128.(In Russ.)
27. *Uyutov V. I.* Nekotoryye aspekty petro- i rudogenezisa na primere rayonov mezozoyskoy aktivizatsii Aldanskogo shchita [Some aspects of petro- and ore genesis on the example of areas of Mesozoic activation of the Aldan shield], Problemy geologii, geofiziki i poleznykh iskopayemykh Aldano-Stanovogo geobloka, Yakutsk, Izd. PGO “Yakutskgeologiya” publ., 1991, pp. 27–37. (In Russ.)
28. *Uyutov V. I., Ugryumov A. N., Karelin V. V.* Mezozoyskiy uglekislo-zhelezisto-kaliyevyy metasomatoz Aldana [Mesozoic carbon dioxide-iron-potassium metasomatism of Aldan], Izv. AN SSSR. Ser. geol, 1981, No. 1, pp. 52–60.(In Russ.)
29. *Yablokova S. V.* Tipomorfizm samorodnogo zolota zony gipergeneza (na primere odnogo iz mestorozhdeniy Yuzhnoy Yakutii) [Typomorphism of native gold of the hypergenesis zone (on the example of one of the deposits of Southern Yakutia)], Mineralogiya samorodnykh elementov, Vladivostok, DVNTS AN SSSR publ., 1980, pp. 110–112. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 20.08.23; одобрена после рецензирования 25.12.23; принята к публикации 27.12.23.
The article was submitted 20.08.23; approved after reviewing 25.12.23; accepted for publication 27.12.23.

DOI:10.47765/0869-7175-2023-10029

УДК 552.3 (571.6)

Нятыгранский интрузивный комплекс: петрография, геохимия, возраст (Буреинский массив)

В предлагаемой статье авторами привлечены, добавлены и уточнены сведения по геологии, петрографии, минералогии и химическому составу пород докембрийского нятыгранского интрузивного комплекса. Предложена геохимическая интерпретация их химического и микроэлементного составов. Представлены данные по их возрасту, полученные U-Pb методом по цирконам. Магматические образования нятыгранского габбро-гранодиорит-гранитного комплекса слагают небольшие интрузивные массивы габброидов и гранитоидов вблизи рудоносного Мельгинского прогиба и в его пределах, в бассейнах рек Верхний Мельгин, Чепкан, Талибджан, среднего течения р. Бурея и их притоков. Установлено, что в габброидах основными породообразующими минералами являются лабрадор и андезин, синевато-зеленая роговая обманка и биотит. В гнейсовидных гранитоидах преобладают катаклазированные кварц и полевые шпаты (андезин, олигоклаз, микроклин), много слюд (биотита, серицита). В субщелочных лейкогранитах доминируют олигоклаз, кварц, ортоклаз, микроклин, в значительных количествах присутствуют биотит, эгирин, изредка амфибол (роговая обманка). Выявлено также, что габбро и габбродиориты повышенной щёлочности относятся к высокоглинозёмистым породам магнезиального состава и представляют собой магматические породы I-типа. В то же время гнейсовидные гранитоиды нормальной и повышенной щёлочности относятся в основном к высокоглинозёмистым породам железисто-магнезиального состава и представлены S- и I-типами гранитоидов. Изотопный возраст образований нятыгранского комплекса установлен в трёх основных диапазонах: 933 ± 12–916,3 ± 7,2 Ma (1-я фаза магматизма – габбро, габбро-диориты, амфибол-биотитовые граниты); 909,0 ± 6,6–907,3 ± 5,5 Ma (2-я фаза – гранодиориты, граниты) и 806,8 ± 6,6–789 ± 4,0 Ma (3-я фаза – биотитовые граниты, дайки гранит-порфиров). Возраст нятыгранского интрузивного комплекса нами устанавливается как неопротерозойский и соответствует раннему неопротерозою или тонской системе (1000–720 Ma) по Международной хроностратиграфической шкале (2018 г.). На картах масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения он представлен как раннепротерозойский.

Ключевые слова: габброиды, гранитоиды, нятыгранский комплекс, фазы магматизма, Буреинский массив, химический состав пород, изотопный возраст.

НИГАЙ ЕЛЕНА ВАЛЕНТИНОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник[1], helenvn54@gmail.com

АМЕЛИН СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, ведущий геолог[2]

[1] Институт тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина ДВО РАН, г. Хабаровск

[2] ОАО «Дальневосточное ПГО», г. Хабаровск

Nyatygran intrusive suite, Bureya massif: Petrography, geochemistry, and age

E. V. NIGAY[1], S. A. AMELIN[2]

[1] Institute of Tectonics and Geophysics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk

[2] AO "Dal’nevostochnoe PGO", Khabarovsk

The proposed review and analytical article provides updated information on the geology, petrography, mineralogy, and chemical composition of rocks of the Precambrian Nyatygran intrusive suite. The article provides a geochemical interpretation of the chemical and trace element compositions and presents the most actual data on the uranium-lead isotopic age of the rocks. The igneous formations of the Nyatygran gabbro-granodiorite-granite complex make up small intrusive massifs of gabbroids and granitoids, located near the ore-bearing Mel’gin trough, in the basins of the Verkhny Mel’gin, Chepkan, and Bureya rivers and their tributaries. In the gabbroids, the main rock-forming minerals are labradorite, andesine, bluish-green hornblende, and biotite. The gneissic granitoids are dominated by cataclastic quartz and feldspars (andesine, oligoclase, microcline) and contain abundant micas (biotite, sericite). The subalkaline leucogranites are dominated by oligoclase, quartz, orthoclase, and microcline; they also contain significant amounts of biotite and aegirine and rare amphibole (hornblende). The gabbro and gabbrodiorites of normal and elevated alkalinity are assigned to the high-aluminous high-magnesian rocks. The gabbroids represent I-type igneous rocks. The gneissic granitoids of normal and elevated alkalinity are predominantly high-aluminous, more ferroan than magnesian rocks, and are represented by S- and I-type granitoids. The determined isotopic ages of the Nyatygran suite formations are confined to the three main ranges: 933 ± 12–916,3 ± 7,2 Ma (1st magmatic phase: gabbro, gabbrodiorites, amphibole-biotite granites), 909,0 ± 6,6–907,3 ± 5,5 Ma (2nd phase: granodiorites and granites), and 806,8 ± 6,6–789 ± 4,0 Ma (3rd phase: biotite granites and granite-porphyry dikes). The Nyatygran suite age is established as Neoproterozoic and corresponds to the early Neoproterozoic, or Tonian (1000–720 Ma), according to the International Chronostratigraphic Scale, 2018. On the 3rd generation 1:1 000 000-scale State geological maps of the Russian Federation, it is presented as Early Proterozoic.

Key words: gabbroids, granitoids, Nyatygran suite, magmatic phases, Bureya massif, rock chemical composition, isotopic age.

Введение. Габбро-гранодиорит-гранитный нятыгранский интрузивный комплекс размещается в восточной части Буреинского массива. Представлен небольшими и мелкими интрузивными образованиями гнейсовидных гранитоидов, мелкими интрузиями и ксенолитами габброидов, дайками аплитовидных гранитов в среднем течении р. Бурея, бассейне р. Верхний Мельгин и их притоков.

В качестве важнейшего подразделения нятыгранский интрузивный комплекс был выделен Ю. П. Змиевским (1982 ф). Он высказал точку зрения о том, что формирование раннепротерозойских габбро-гранодиорит-гранитоидных интрузивов происходило предположительно в четыре этапа: 1) габбро, габбро-диориты, кортландиты; 2) гранодиориты, амфибол-биотитовые граниты; 3) биотитовые граниты; 4) аплитовидные двуслюдяные граниты и их дайки.

Важную роль в изучении нятыгранских магматитов сыграли геохронологические исследования ИГиП ДВО РАН, осуществлённые совместно с ГИ КНЦ РАН (г. Апатиты) и ИГГД РАН (г. Санкт-Петербург). В процессе их геологического, геохронологического и петрохимического изучения выделены два крупнейших этапа неопротерозойского нятыгранского магматизма в истории геологического развития Буреинского массива [6, 9]. При обобщении материалов по нятыгранским интрузивным образованиям были учтены геохронологические данные С. Ю. Рассказова (2018 ф), а также геологические материалы других исследователей, в разное время изучавших докембрийские образования Буреинского массива [2–4, 7–9].

При проведении ГДП-200 и составлении Государственной геологической карты РФ нами были получены также дополнительные радиологические данные по возрасту пород нятыгранского комплекса (U-Pb метод по цирконам; исследования их были проведены в ЦИИ ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург).

Нятыгранские интрузивы прорывают раннепротерозойские метаморфические графито- и фосфороносные сланцы одноимённой нятыгранской свиты (PR_1?), в которой размещаются месторождения и проявления U, Th, Mo, Be, РЗЭ, Sn, W, Cu. В связи с этим можно утверждать, что они имеют с ними тесную пространственную и генетическую связь. Это обстоятельство явилось основанием для проведения более тщательного геохимического анализа проб из интрузивных образований нятыгранского комплекса.

Цель настоящих исследований – выяснение важнейших геолого-геохимических характеристик нятыгранского интрузивного комплекса, а также получение некоторых новых результатов на основе обработки геохимических данных.

Методы исследований заключались в обработке, анализе и обобщении геологических и геохимических данных, подборе и построении диаграмм, их интерпретации. Подсчитывались кларки концентраций благородных металлов, редких и редкоземельных элементов. Для построения геохимических диаграмм были привлечены как собственные данные по химическому и микроэлементному составам пород нятыгранского комплекса, так и другие опубликованные данные [6, 9].

Геологическая позиция, петрография и минералогия. Небольшие интрузивные образования нятыгранского комплекса размещаются как вблизи Мельгинского прогиба, так и в самом прогибе (Талибджанский массив) (рис. 1). Мельгинский прогиб, продуктивный на целый ряд месторождений полезных ископаемых (U, Th, РЗЭ, фосфориты, графит), прослеживается вдоль глубинного

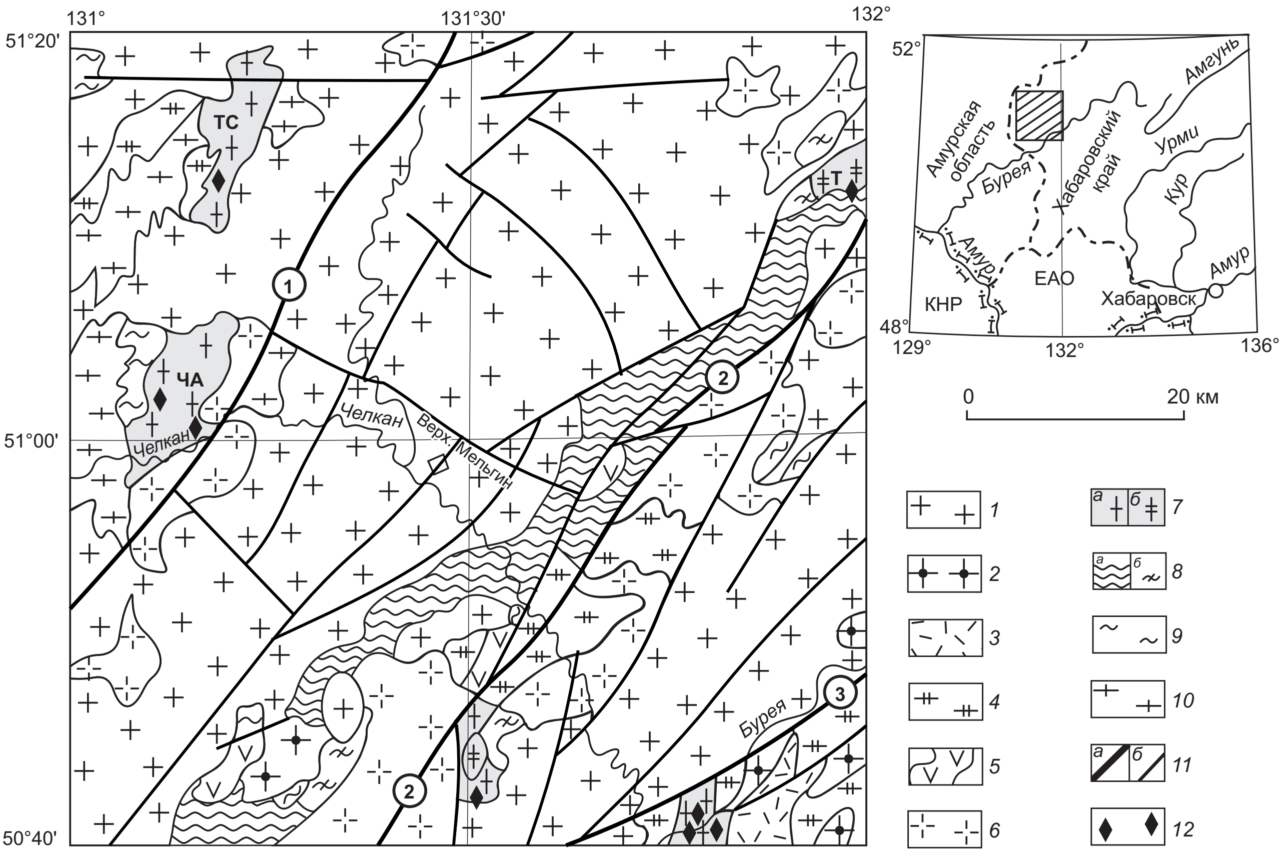


Рис. 1. Схематическая геологическая карта бассейна р. Верхний Мельгин. *Составлена Е. В. Нигай, с использованием данных [1, 6–9]*:

1 – триас-юрские граниты харинского комплекса; *2* – позднетриасовые сиениты алтахтинского комплекса; *3* – триасовые риолиты таловского комплекса; *4* – пермско-триасовые гранитоиды тырмо-буреинского комплекса; *5* – позднепалеозойские (D–P?) вулканогенно-осадочные образования амганского комплекса; *6* – кембрий-ордовикские гранитоиды кивилийского и суларинского комплексов; *7* – неопротерозойский нятыгранский комплекс: *а* – гранитоиды, *б* – габбро и габбро-диориты; *8* – нерасчленённые протерозойско-палеозойские комплексы пород Мельгинского прогиба (*а*), протерозойские слюдяные и графитовые сланцы нятыгранской свиты (*б*); *9* – позднеархейские (?) гнейсовидные плагиограниты древнебуреинского комплекса; *10* – позднеархейские (?) кристаллосланцы и гнейсы дягдаглейской толщи; *11* – разломы: *а* – основные, *б* – второстепенные: 1 – Чепканский, 2 – Мельгинский, 3 – Буреинский; *12* – места отбора проб; интрузивные массивы нятыгранского комплекса: ТС – Томь-Сербакский, Т – Талибджанский, ЧА – Чепкан-Алагирский; на врезке квадратом показан район исследований

Мельгинского разлома. Описание их петрографии и минералогии приведены по С. А. Амелину [1].

Наиболее крупными из нятыгранских интрузивных массивов являются Томь-Сербакский (17 × × 6 км^2), Чепкан-Алагирский (18 × 8 км^2) и Талибджанский (6 × 3 км^2), локализованные в бассейнах рек Верхний Мельгин, Чепкан и Талибджан. Более мелкие интрузивы вскрыты в устье р. Верхний Мельгин и по право- и левобережью долины р. Бурея (см. рис. 1).

Гнейсовидные габброиды (габбро и габбродиориты) имеют незначительное распространение, слагают ксенолиты (площадью до 1,0 км^2) внутри указанных массивов, а также разрозненные небольшие малые интрузии в притоках рек Верхний Мельгин и Бурея площадью менее 2,0 км^2 [1]. Талибджанский массив представляет собой небольшое тело в северо-восточной части Мельгинского прогиба, вытянутое в северо-восточном направлении и сложенное преимущественно полосчато-сланцеватыми массивными габбро и габбро-диоритами. В состав тёмно-серых до чёрных с зеленоватым оттенком габбро входят лабрадор (45–60 %), амфибол (до 20–30 %), андезин (до 15–30 %), биотит (5–10 %), кварц (до 5 %). Акцессорные минералы – апатит, сфен, магнетит, титаномагнетит; вторичные – хлорит, актинолит.

Габбро-диориты – серые и тёмно-серые среднезернистые гнейсовидные, гнейсовидно-полосчатые породы, сложенные лабрадором (30–40 %), андезином (до 25–40 %), биотитом (15–20 %), роговой обманкой (до 10 %), кварцем (5–8 %), калиевым полевым шпатом (до 2–5 %). Акцессорные минералы – апатит, сфен, монацит, магнетит, титаномагнетит, циркон. Вторичные гидротермально изменённые минералы – хлорит, серицит, альбит, эпидот. Структура бластомилонитовая, лепидогранобластовая, катакластическая с элементами очковой и свилеватой текстур. Габброиды отнесены к самому раннему этапу внедрения нятыгранских магматитов.

Гнейсовидными гранодиоритами и гранитами нятыгранского комплекса сложены Томь-Сербакский, Чепкан-Алагирский массивы и периферийные части Талибджанского массива. Гнейсовидные мелкозернистые гранодиориты с биотитом, амфиболом и пироксеном ближе к центральным частям массивов постепенно теряют черты гнейсовидности и становятся более светлыми и крупнозернистыми. Для периферийных гнейсовидных гранитоидов характерно чередование тёмных и светлых полос шириной от 0,5 до 10,0 см. Аналогичную форму и строение имеют более мелкие интрузивы, вскрывающиеся в устье р. Верхний Мельгин и в верховье р. Ушканда.

Гранодиориты светло-серые и серые, с гнейсовидной полосчатой и очковой текстурой, катаклазированные, сланцеватые, порфирокластические, линзовидно-очковые. Для них характерно сочетание катакластической, зернистой и лепидогранобластовой структур. Состав: плагиоклазы (в основном олигоклаз и андезин – 20–35 %), ортоклаз и микроклин (10–40 %), кварц (12–30 %), биотит (до 15 %), роговая обманка (3–10 %). Акцессорные минералы (менее 1 %) – гранат, пироксен, апатит, циркон, монацит, магнетит. В зонах трещиноватости, сульфидизации и гидротермального изменения пород встречаются хлорит, серицит, эпидот, альбит, актинолит. Переходы от гранодиоритов к гранитам постепенные. Гранодиорит-гранитные интрузивы отнесены ко второму крупному этапу внедрения магматических тел комплекса.

Биотитовые граниты и дайки гранит-порфиров комплекса слагают краевые части Чепкан-Алагирского и Томь-Сербакского массивов. Это однообразные по составу, текстуре и окраске гнейсовидные светло-серые с буроватым оттенком и тёмно-серые средне- и мелкозернистые, гнейсовидно-сланцеватые породы; пятнистость их обусловлена белыми прямоугольными зёрнами кислого плагиоклаза – олигоклаза. Основные породообразующие минералы – олигоклаз (30–50 %), кварц (20–40 %), микроклин (10–25 %), биотит (5–15 %), редко – тёмно-зелёная с синеватым оттенком роговая обманка. Апатит, циркон, сфен, монацит, эгирин, рибекит представляют сообщество акцессорных и щелочных минералов. Вторичные гидротермально изменённые минералы – серицит, хлорит, альбит, эпидот. Ассоциация биотитовых гранитов и даек гранит-порфиров отнесена к третьему, наиболее позднему, этапу внедрения нятыгранских магматитов.

Геохимическая интерпретация. Химический состав проб нятыгранского комплекса и состав микроэлементов представлен в таблицах 1–3. На их основе построены геохимические диаграммы и спайдер-диаграммы, демонстрирующие петрологические особенности изучаемых образований и принадлежность к различным типам магматитов, рассчитаны показатели агпаитности.

Агпаитность (Na_2O + K_2O)/Al_2O_3) габброидов очень низкая и составляет по нашим подсчётам 0,11–0,33. Гранодиориты имеют более высокие показатели агпаитности, составляющие 0,38–0,5. У гнейсогранитов агпаитность самая высокая и составляет 0,45–0,75 (плюмазитовые значения). По показателям агпаитности и габброиды, и гранитоиды относятся в большей мере к известково-щелочным магматическим породам.

По содержанию K_2O габброиды относятся как к умеренно- (2,1 %), так и низкокалиевым (0,2 %) породам, гранодиориты – низкокалиевым (1,1–1,2 %), а граниты – к высококалиевым (3,0–7,4 %) (см. табл. 1).

Большую часть проанализированных проб, как видно из табл. 1, составляют гранитоиды (SiO_2 63,9–74,5 %, сумма щелочей 6,2–10,5 %). Пробы габбро (SiO_2 46,2–49,3 %, сумма щелочей 1,6–3,9 %) и габбро-диоритов (SiO_2 54,5 %, сумма щелочей 5,0 %) составляют небольшое количество. Геохимические диаграммы, построенные

1. Химический состав представительных проб пород нятыгранского комплекса [1]

Оксиды	Пробы															
	335901	К-1041	339101	5634-а	2196	2310	588	К-1001	К-1038	5620	К-832	8168	3314	3278	129604	5054
SiO_2	48,13	54,55	46,2	49,31	69,1	70,04	68,9	72,66	74,51	71,45	63,95	64,03	73,05	72,1	72,27	71,89
TiO_2	1,58	0,62	**3,57**	1,36	0,37	0,31	0,22	0,23	0,24	0,28	0,55	0,54	0,28	0,3	0,35	0,13
Al_2O_3	**17,89**	13,96	14,07	**19,26**	14,94	14,78	**16,11**	13,36	12,06	13,75	**15,78**	**16,48**	13,4	14,24	14,24	**15,03**
Fe_2O_3	2,21	3,04	3,06	2,85	0,48	0,48	0,36	0,15	0,24	1,4	1,11	1,48	0,3	0,49	1,0	0,18
FeO	7,44	4,93	8,31	5,67	3,46	3,2	1,53	2,01	1,65	1,99	4,47	4,55	2,06	2,05	1,67	1,04
MnO	0,16	0,06	0,08	0,16	0,04	0,07	0,05	0,03	0,01	0,07	0,2	0,13	0,03	0,05	0,04	0,03
MgO	5,97	8,27	9,29	5,19	1,1	0,81	0,42	0,26	0,39	1,08	1,5	2,12	0,67	0,16	0,5	0,42
CaO	10,16	8,4	11,97	9,54	3,43	3,25	1,41	0,93	1,38	2,11	5,28	3,57	1,95	1,59	2,03	1,87
Na_2O	2,31	2,9	1,36	3,4	3,34	3,34	3,17	3,64	2,45	3,75	3,48	3,72	3,38	3,46	3,21	3,74
K_2O	1,64	2,17	0,26	0,96	3,0	2,85	7,37	5,96	6,03	3,11	1,09	1,25	4,35	4,35	4,02	4,81
P_2O_5	0,19	0,1	0,05	0,46	0,07	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,13	0,13	0,08	0,05	0,1	0,02
П.п.п.	0,11	0,0	0,31	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,12	0,0
Сумма	99,5	99,6	99,8	99,8	100	99,5	100	99,7	99,5	99,8	99,5	99,9	100	99,6	100	99,6

Примечание. Выделены содержания Al_2O_3 > 15,0 % и TiO_2 > 3,0 %.

с использованием данных табл. 1, представлены на рис. 2 (А–В, Е).

Фигуративные точки нятыгранских габброидов на TAS-диаграмме SiO_2–Na_2O + K_2O, по [12], находятся в поле пород нормальной и повышенной щёлочности (см. рис. 2, А).

На диаграмме разделения пород по степени глиноземистости Al_2O_3/(CaO + Na_2O + K_2O)–Al_2O_3/(Na_2O + K_2O) [13] точки габброидов разместились в поле метглинозёмистых пород, содержания глинозёма выше суммы щелочных оксидов натрия и калия в 1,8–3,4 раза (см. рис. 2, Б). Это видно и в представленных таблицах – содержания Al_2O_3 в пробах габбро достигают 17,9–20,3 %. Все фигуративные точки, характеризующие габброиды комплекса, на диаграмме «железистость – магнезиальность», построенной по соотношениям FeO*/(FeO* + MgO) [11], находятся в поле магнезиальных пород (см. рис. 2, В).

На диаграмме Al_2O_3/(CaO + Na_2O + K_2O)–(Na_2O + K_2O)/Al_2O_3 по разделению пород на A-, I- и S-типы [13] (рис. 2, Е) фигуративные точки габброидов разместились в поле магматических пород I-типа (igneous), насыщенных темноцветными минералами, кристаллизация которых произошла на самых ранних стадиях внедрения магмы основного состава. Габбро нятыгранского комплекса, таким образом, представляют собой высокоглинозёмистые и высокомагнезиальные магматические породы I-типа. Гнейсовидные гранитоиды, согласно диаграмме SiO_2–Na_2O + K_2O [12], являются породами повышенной и нормальной щёлочности (см. рис. 2, А). На диаграмме Al_2O_3/(CaO + Na_2O + + K_2O)–Al_2O_3/(Na_2O + K_2O) [13] они разделились на перглинозёмистые, метглинозёмистые и нормальной глинозёмистости граниты (см. рис. 2, Б). Соотношения глинозёма и суммы щелочных оксидов рассчитаны в молекулярных количествах. На диаграмме FeO*/(FeO* + MgO) [11] гранитоиды разделились на железистые (бóльшая часть) и магнезиальные (меньшая часть) (см. рис. 2, В).

На диаграмме Al_2O_3/(CaO + Na_2O + K_2O)–(Na_2O + K_2O)/Al_2O_3 по разделению пород на A-, I- и S-типы [13] (см. рис. 2, Е) бóльшая часть фигуративных точек попала в поле магматитов S-типа (sedimentary), а меньшая – в поле гранитоидов I-типа. Гранитоиды S-типа – это кварц-полевошпатовые амфибол-биотитовые и биотитовые граниты и лейкограниты с преобладающей долей переплавленных при высоких температурах (>400–600 °C [5]) пород осадочного слоя коры. Гранитоиды I-типа были выплавлены в гранитном

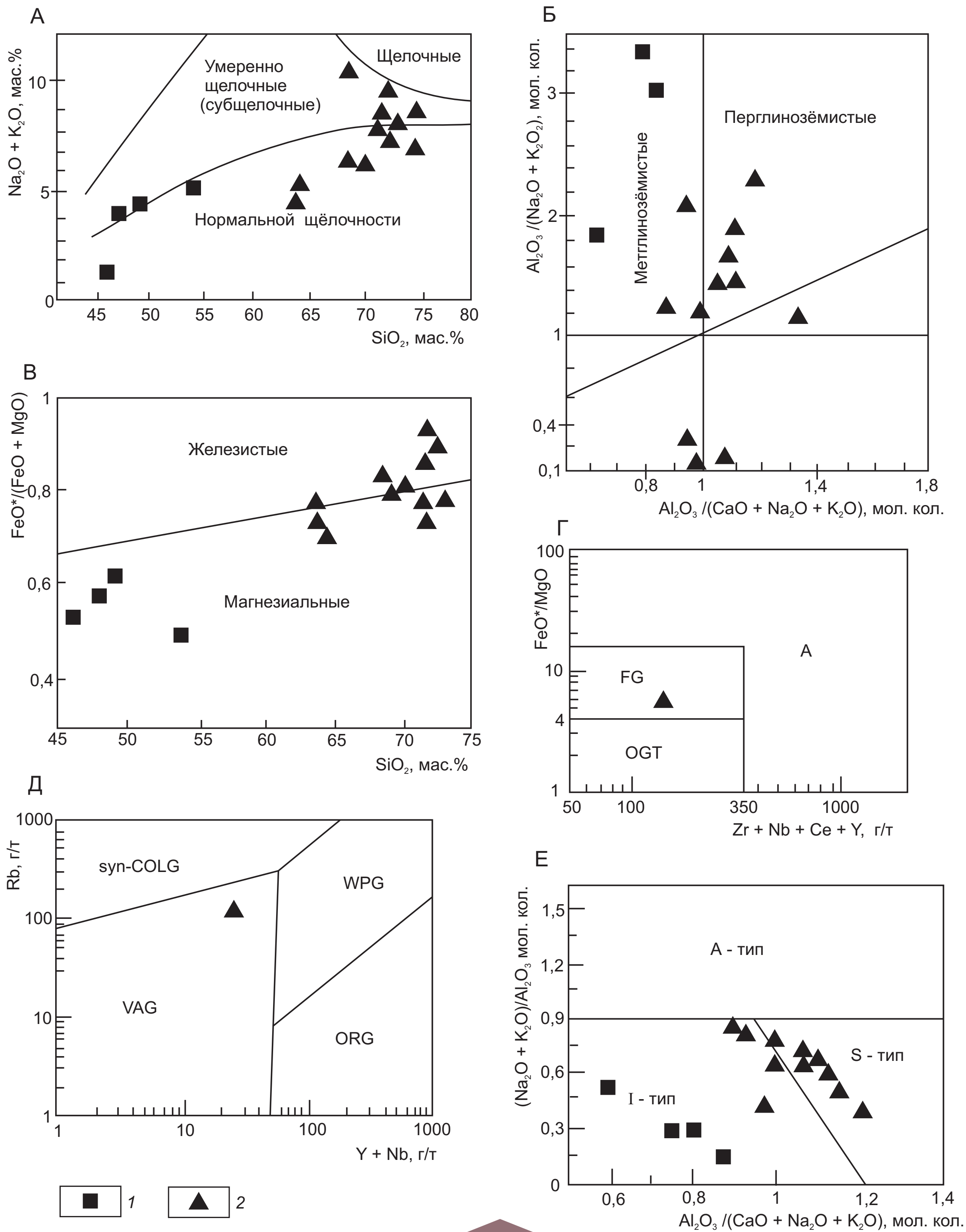


Рис. 2. Классификационные геохимические диаграммы для магматических пород нятыгранского комплекса. *Составлены Е. В. Нигай***:**

А – диаграмма разделения магматических пород по степени щёлочности SiO_2–$Na_2O + K_2O$, границы полей, по [12]; Б – диаграмма разделения пород по степени глинозёмистости Al_2O_3/($CaO + Na_2O$ + K2O)–Al_2O_3/($Na_2O + K_2O$), по [13]; В – диаграмма «железистость–магнезиальность»: FeO*/(FeO* + MgO), границы полей, по [11]; г – диаграмма FeO*/MgO–Zr + Nb + Ce + Y: поля гранитоидов: FG – фракционированных гранитоидов, OGT – нефракционированных M-, I-, S-типов, A – анорогенных гранитов A-типа, границы, по [17]; Д – диаграмма Y + Nb–Rb; гранитоиды: sin-COLG – синколлизионные, WPG – внутриплитные, VAG – вулканических дуг, ORG – океанических хребтов, границы полей, по [14]; Е – диаграмма Al_2O_3/($CaO + Na_2O + K_2O$)–($Na_2O + K_2O$)/Al_2O_3: разделение на А-тип (анорогенные граниты), I-тип (магматогенные граниты), S-тип (седиментационные граниты), границы полей, по [13]; *1* – габброиды; *2* – гнейсограниты

2. Микроэлементный состав нятыгранского гнейсогранита, образец 129604 (PR_3n)

Элементы	г/т / $К_к$	Элементы	г/т / $К_к$	Элементы	г/т / $К_к$	Элемент	г/т / $К_к$
Li	29,16/0,36	Ge	1,43/0,95	La	37,36/**1,06**	Hf	1,28/0,18
Be	1,99/0,58	As	0,47/0,29	Ce	76,24/**1,05**	Ta	0,98/0,39
B	1,32/0,088	Rb	129,9/0,61	Pr	8,61/0,95	W	57,33/**28,66**
P	398,16/0,45	Sr	288,8/**1,06**	Nd	30,36/0,97	Y	13,26/0,33
Sc	5,55/**138,75**	Zr	45,11/0,22	Sm	5,67/0,63	Hg	2,60/**37,14**
Ti	1925,9/0,96	Nb	12,51/0,62	Eu	1,14/0,87	Tl	0,87/0,46
V	10,69/0,15	Mo	0,76/0,5	Gd	5,73/0,76	Pb	20,91/**1,04**
Cr	3,37/0,24	Ag	0,001/0,025	Tb	0,69/0,62	Bi	0,06/0,09
Mn	301,86/0,55	Cd	0,04/0,23	Dy	3,19/0,78	Th	14,18/0,67
Co	2,42/0,242	Sn	1,76/0,35	Ho	0,53/0,37	U	1,75/0,38
Ni	2,36/0,295	Sb	0,04/0,13	Er	1,40/0,41	Au	0,018/**9,26**
Cu	3,26/0,13	Te	0,001/**1,01**	Tm	0,18/0,25	Pt	0,002/0,68
Zn	83,26/**1,4**	Cs	2,54/0,5	Yb	1,03/0,26	Pd	0,0056/**5,65**
Ga	18,20/0,96	Ba	1133,7/**1,6**	Lu	0,13/0,12	Ir	0,0015/**250**

Примечание. Проба проанализирована в ЦКП ХИАНЦ при ИТиГ ДВО РАН им. Ю. А. Косыгина (г. Хабаровск). Аналитики А. В. Штарева, А. И. Лушникова, Г. М. Золотухина. В числителе – содержание, в знаменателе – $К_к$; выделены $К_к > 1,0$. $К_к$ элементов (рассчитаны Е. В. Нигай) по отношению к средним содержаниям их в породах кислого состава, по [10].

слое в условиях ещё более высоких температур и представлены гранодиоритами. По химическому составу они близки к габбро-диоритам.

В табл. 2 охарактеризован микроэлементный состав единственной пробы (обр.129604) нятыгранского гнейсогранита, отобранной С.А. Амелиным в 2017 г. и проанализированной на редкие, редкоземельные, радиоактивные и благородные металлы. Полученные сведения использовались при построении диаграмм, приведённых на рис. 2, Г, Д, и спайдер-диаграммы на рис. 4. Калиевый гнейсогранит (SiO_2 72,2 %, сумма щелочей 7,2 %, K_2O:Na_2O = 4:3) относится к фракционированным гранитам FG (см. рис. 2, Г), разделение границ по [17]. На диаграмме с разделением границ, по [13], фигуративная точка находится в поле VAG – гранитоидов вулканических дуг (см. рис. 2, Д). Данные диаграммы в полной мере согласуются с диаграммами, построенными с использованием достаточно большого количества проанализированных проб нятыгранских гнейсогранитов, на которых фигуративные точки гнейсогранитов также размещаются в поле фракционированных гранитоидов, в геодинамической обстановке вулканических дуг [9, 6].

В табл. 2 выделены химические элементы с Кк > 1,0. Первую группу представляют металлы с высокими концентрациями, значительно превышающими их средние содержания в породах кислого состава: ***скандий*** (Кк = 138,75), ***вольфрам*** (Кк = 28,66), ***ртуть*** (Кк = 37,14), ***золото*** (Кк = 9,26), ***палладий*** (Кк = 5,65) и ***иридий*** (Кк = 250). Вторую группу представляют элементы с кларковыми и повышенными содержаниями от 1,0 до 1,6: цинк, стронций, теллур, барий, лантан, церий и свинец. Кларк концентрации остальных элементов Кк < 1,0.

В табл. 3 представлены химический состав нятыгранских пород и содержания в них редкоземельных элементов. Обращает на себя внимание проба высокоглинозёмистого гнейсовидного габбро (обр. 10400) с содержанием Al_2O_3 **20,38 %**.

Повышенная сумма РЗЭ отмечается в пробе гнейсогранита обр. С-1257. Она равна **523,85 г/т** (*примечание Е.В. Нигай: промышленно интересная сумма содержания РЗЭ, по методическим справочникам, составляет 400 г/т и более*). При сравнении содержаний РЗЭ в габброидах и гранитоидах выявлены низкие содержания их в габбро и повышенные в гранитах – суммы РЗЭ в гранитах в 3–15 раз выше, чем в габбро. В гранитоидах

3. Химический и редкоземельный составы пород нятыгранского комплекса [1, 9]

Компоненты	Пробы						
	10400	С-1226	С-1191	С-1154	129604	407101	С-1257
Петрогенные оксиды, %							
SiO_2	47,69	73,06	72,89	71,31	72,27	72,85	72,88
TiO_2	0,99	0,33	0,26	0,32	0,35	0,33	0,20
Al_2O_3	**20,38**	13,59	13,26	14,17	14,24	13,73	13,20
Fe_2O_3	3,85	2,64*	3,38*	3,95*	1,0	1,0	2,72*
FeO	4,38				1,67	1,64	
MnO	0,12	0,06	0,04	0,06	0,04	0,04	0,03
MgO	8,76	0,26	0,45	0,76	0,50	0,81	0,13
CaO	10,42	1,95	2,22	2,82	2,03	2,03	1,71
Na_2O	2,10	3,61	3,29	3,90	3,21	3,08	3,63
K_2O	0,55	3,87	3,09	2,37	4,02	3,84	4,18
P_2O_5	0,04	0,10	0,04	0,06	0,12	0,08	0,03
П, п, п,	1,04	0,23	0,36	0,36	0,40	0,48	0,11
Сумма	100,32	99,7	99,28	100,21	99,45	99,16	99,26
РЗЭ, г/т							
La	5,37	34,22	48,19	34,29	37,36	35,18	**99,51**
Ce	11,9	61,19	109,84	61,91	76,24	79,92	**204,34**
Pr	1,52	7,75	10,33	6,54	8,61	7,03	**23,02**
Nd	7,55	29,94	38,36	26,84	30,36	23,73	**87,84**
Sm	1,64	7,05	8,32	5,34	5,67	3,83	**19,71**
Eu	0,87	1,11	1,17	0,86	1,14	0,63	**1,91**
Gd	1,52	8,15	9,48	6,48	5,73	4,31	**23,79**
Tb	0,23	1,25	1,32	0,88	0,69	0,52	**3,70**
Dy	1,29	7,47	7,58	5,84	3,19	2,54	**22,95**
Ho	0,31	1,56	1,12	1,17	0,53	0,49	**5,14**
Er	0,8	4,08	4,18	3,88	1,40	1,35	**14,80**
Tm	0,1	0,58	0,55	0,52	0,18	0,18	**2,15**
Yb	0,76	3,44	3,38	3,88	1,03	1,7	**13,05**
Lu	0,11	0,53	0,50	0,54	0,13	0,16	**1,94**
Σ РЗЭ	33,97	91,91	244,32	158,97	172,26	161,57	**523,85**

Примечание. * – суммарное железо в форме Fe_2O_3. Выделены высокое содержание глинозёма в габбро и высокие содержания РЗЭ в пробе гнейсогранита.

отношение LREE (лёгких РЗЭ) к HREE (тяжёлым РЗЭ) следующее: La/Yb = 7–10, Ce/Lu = 100–500. Данные по составу РЗЭ использованы для построения спайдер-диаграммы на рис. 3.

Спайдер-диаграммы. На рис. 3 представлен спектр распределения редкоземельных элементов для габбро и гнейсогранитов нятыгранского комплекса, нормированных по составу хондрита. Как видно из графика, для гнейсогранитов характерна высокая дифференцированность значений «порода/хондрит», составляющая до 400-кратных превышений содержаний LREE в нятыгранских гнейсогранитах по сравнению с хондритом. Отчётливо выражен европиевый минимум.

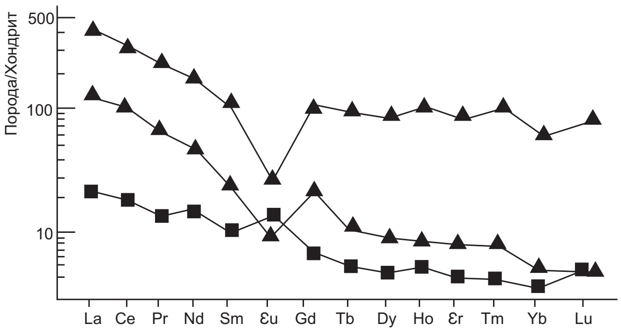


Рис. 3. Спайдер-диаграмма распределения РЗЭ для пород нятыгранского комплекса. *Нормировано к составу хондрита, по [15], составлена Е. В. Нигай*:

см. услов. обозн. к рис. 2

Тренд распределения РЗЭ относительно хондрита у габбро имеет сглаженный характер и небольшую дифференциацию с превышениями содержаний лёгких РЗЭ в габбро по сравнению с хондритом в 10–15 раз. При этом европиевый минимум отсутствует, что свойственно магматическим породам мантийного генезиса [16].

На рис. 4 представлена мультикомпонентная диаграмма (по данным табл. 2) для нятыгранского гнейсогранита, нормированного по составу к примитивной мантии по [15]. Из него видно, тренд распределения нормированных значений отличается резкой дифференцированностью. Отмечаются высокая насыщенность такими литофильными элементами, как Rb, Ba, Th, U, Pb, и деплетированность в отношении Ti, Yb, Lu, Zr, Yb, Lu – т. е. для гнейсогранита характерно доминирование подвижных литофильных крупноионных LILE над более инертными высокозарядными HFSE.

Возраст пород нятыгранского комплекса. Раннепротерозойский возраст нятыгранских интрузивных образований был установлен предшественниками геологически – метагабброиды и гнейсовидные гранитоиды нятыгранского комплекса прорывают позднеархейские метаморфические кристаллосланцы дягдаглейской свиты и плагиограниты древнебуреинского комплекса, а сами прорываются раннепалеозойскими (кембрийскими, ордовикскими) и другими более молодыми интрузивами [2, 7, 8]. Возраст мезозойских и более древних пород определялся ранее и радиологическими методами, в основном калий-аргоновым, который в настоящее время фактически не используется.

Возраст цирконов из пород метагаббро, слагающих малое интрузивное тело в левобережье среднего течения р. Бурея (табл. 4), составил 933 ± 12 млн лет (обр. С-1211), среднеквадратическое отклонение (СКВО) – 0,24. Возраст цирконов амфибол-биотитовых гнейсогранитов (обр. С-1154) по левобережью среднего течения р. Бурея равен 933 ± 8 млн лет [9], при этом СКВО составляет всего 0,035 (см. табл. 4).

Конкордантные значения возраста цирконов из гранитоидов нятыгранского комплекса, слагающих Чепкан-Алагирский и Томь-Сербакский массивы, составляют 907,3 ± 5,5, 909,0 ± 6,6, 916,3 ± 7,2 млн лет, по С. Ю. Рассказову (см. табл. 4). Исследование этих цирконов и определение их радиологического возраста уран-свинцовым методом (SHRIMP-II) были проведены в ЦИИ ВСЕГЕИ (С. Ю. Рассказов, 2018 ф).

Конкордантный возраст цирконов из гранитоидов, отобранных в бассейне р. Чепкан из центральной части Чепкан-Алагирского массива и исследованных изотопным уран-свинцовым методом по цирконам (SHRIMP-II) в ЦИИ ВСЕГЕИ, составил 806,8 ± 6,6 млн лет (обр. 129604). Пробы отбирались в процессе проведения ГДП-200 [1]. Он близок к возрасту цирконов из гранито-гнейсов нятыгранского комплекса, слагающих юго-западный край Чепкан-Алагирского массива: 804,0 ± 8,0 млн лет (обр. С-1257–1), по [9]. Их исследования с определением возраста осуществлялись в ГИ КНЦ.

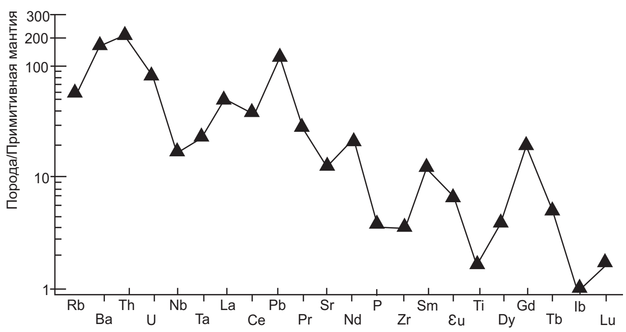


Рис. 4. Мультикомпонентная спайдер-диаграмма для нятыгранского гнейсогранита (обр. 129604). *Нормировано к составу примитивной мантии, по [15]. Составлена Е. В. Нигай*

4. Радиологический уран-свинцовый возраст цирконов из нятыгранских пород

Номер пробы	Название породы	Возраст, млн лет	Источник информации
129604	Гранит гнейсовидный	806,8 ± 6,6	[1]
С-1226	Лейкогранит биотитовый	789 ± 4,0 СКВО = 0,034	[9]
10502	Гранит амфибол-биотитовый интенсивно рассланцованный	907,3 ± 5,5; 909,0 ± 6,6	[Рассказов, 2018ф]
11200	Гранит амфибол-биотитовый интенсивно рассланцованный	916,3 ± 7,2	[Рассказов, 2018ф]
С-1191-1	Гнейсогранит амфибол-биотитовый	933,0 ± 8,0 СКВО = 0,035	[9]
С-1211	Метагаббро	933 ± 12 СКВО = 0,24	[9]

Таким образом, установлены следующие основные значения конкордантного возраста нятыгранских магматитов: 1) 933 ± 12–916,3 ± 7,2 Ма (1-я фаза магматизма – габбро, габбро-диориты, амфибол-биотитовые гнейсограниты); 2) 909,0 ± ± 6,6–907,3 ± 5,5 Ма (2-я фаза – гранодиориты, граниты); 3) 806,8 ± 6,6–789 ± 4,0 Ма (3-я фаза – биотитовые граниты, лейкократовые граниты, дайки гранит-порфиров). Они укладываются в тонский период неопротерозоя (1000–720 Ма) в соответствии с Международной хроностратиграфической шкалой 2018 г.

Заключение. Химический и микроэлементный анализы отдельных проб из нятыгранских гнейсогранитов показали следующее. В образце гнейсогранита, отобранном С.А. Амелиным из центральной части Чепкан-Алагирского массива и проанализированном на микроэлементы в ЦКП ИТиГ ДВО РАН, выявлен ряд металлов с концентрациями, значительно превышающими их средние содержания в породах кислого состава – скандий (Кк = 138,75), вольфрам (Кк = 28,66), ртуть (Кк = = 37,14), золото (Кк = 9,26), палладий (Кк = 5,65), иридий (Кк = 250). Установлена также промышленно интересная сумма содержаний редкоземельных элементов (> 528 г/т), которые были обнаружены в другом образце гнейсогранита – из западной части Чепкан-Алагирского массива.

Габбро и габбро-диориты гнейсовидного облика нятыгранского интрузивного комплекса нормальной и повышенной щёлочности относятся к высокоглинозёмистым и высокомагнезиальным породам. Выявленные в пробах содержания Al_2O_3 колеблются от 14,0 до 19,3 %, достигая 20,38 %. Концентрации MgO в габбро и габбро-диоритах в основном достигают 9,3 %. Габброиды представляют собой типичные магматические породы I-типа. Гнейсовидные гранитоиды нормальной и повышенной щёлочности, в которых высока доля гранодиоритов, относятся преимущественно к высокоглинозёмистым породам железисто-магнезиального состава с небольшим преобладанием железистости над магнезиальностью. Они представлены S- и I-типами гранитоидов, сформированных в осадочном и гранитном слоях земной коры. Наиболее вероятно, что нятыгранские магматиты формировались в позднем докембрии в палеогеодинамической обстановке вулканических дуг активных континентальных окраин.

Изотопный уран-свинцовый возраст нятыгранского интрузивного комплекса указывает на три основных интервала длительного нятыгранского магматизма, проявившегося в восточной части Буреинского массива в начальный период неопротерозоя (тонская система). На Государственной геологической карте масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения возраст пород нятыгранского комплекса представлен как раннепротерозойский [7].

Работа выполнена в рамках государственного задания НИР ИТиГ ДВО РАН при поддержке Федерального агентства по недропользованию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арапов В. Н., Амелин С. А.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Лист M-52-XII. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2018. – 324 с.
2. *Васильева В. В.* Государственная геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Серия Хингано-Буреинская. Лист M-52-XVIII. Объяснительная записка. – М. : Госгеолтехиздат, 1962. – 60 с.
3. *Васькин А. Ф., Дымович В. А., Атрашенко А. Ф.* и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (3-е поколение). Дальневосточная серия. Лист M-53 Хабаровск. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2009. – 376 с.
4. *Гурьянов В. А., Нигай Е. В., Юрченко Ю. Ю.* и др. Хронология гранитоидного магматизма восточной части Буреинского массива Центрально-Азиатского складчатого пояса // Методы и геологические результаты изучения изотопных геохронометрических систем минералов и пород : материалы VII Российской конференции по изотопной геохронологии. – М. : ИГЕМ РАН, 2018. – С. 105–108.
5. *Кузьмин М. И., Корольков А. Т., Дриль С. И., Коваленко С. Н.* Историческая геология с основами тектоники плит и металлогении. – Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та. – 2000. – 288 с.
6. *Овчинников Р. О.* Древнейшие комплексы Буреинского континентального массива: возраст, источники, геодинамические условия формирования : специальность 25.00.01 «Общая и региональная геология»; 25.00.04 «Петрология, вулканология» : автореф. дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Роман Олегович Овчинников. – Благовещенск, 2021. – 137 с.
7. *Петрук Н. Н., Волкова Ю. Р., Шилова М. Н.* и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (3-е поколение). Серия Дальневосточная. Лист M-52 (Благовещенск). Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. – 496 с.
8. *Рассказов Ю. П.* Государственная геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000 (р. Верх. Мельгин). Серия Хингано-Буреинская. Лист M-52-XII. – М. : Госгеолтехиздат, 1959. – 74 с.
9. *Сорокин А. А., Овчинников Р. О., Кудряшов Н. М.* и др. Два этапа неопротерозойского магматизма в истории формирования Буреинского континентального массива Центрально-Азиатского складчатого пояса // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 10. – С. 1479–1499.
10. *Требования* к геохимической основе Государственной геологической карты РФ. – М., 2001. – 29 с.
11. *Frost B. R., Barnes C. G., Collins W. J., Arculus R. J., Ellis D. J., Frost C.* D. A geochemical classification for granitic rocks // Journal of Petrology. – 2001. – V. 42, № 11. – P. 2033–2048.
12. *Le Maitre R. W.* Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. – Oxford : Blackwell, 1989. – 193 p.
13. *Maniar P. D., Piccoli P. M.* Tectonic discrimination of granitoids // Geological Society of America Bulletin. – 1989. – V. 101, No. 5. – P. 635–643.
14. *Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G.* Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rock // Journal of Petrology. – 1984. – V. 25, № 4. – P. 956–983.
15. *Sun S., McDonough W. F.* Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: implication for mantle composition and processes / Eds. A. D. Saunders, M. J. Narry. Magmatism in the ocean basins // Geological Society Special Publication. – 1989. – № 42. – P. 313–345.
16. *Taylor S. R., McLennan S. M.* The continental crust: Ist evolution and composition. – London : Bleckwell, 1985. – 312 p.
17. *Whalen J. B., Currie K. L., Chappell B. W.* A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1987. – V. 95, № 4. – P. 407–419.

REFERENCES

1. *Arapov V. N., Amelin S. A.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200 000. List M-52-XII. Ob»yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation on a scale of 1 : 200,000. Sheet M-52-XII. Explanatory note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI publ., 2018, 324 p. (In Russ.)
2. *Vasil'yeva V. V.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200 000. Seriya Khingano-Bureinskaya. List M-52-XVIII. Ob»yasnitel'naya zapiska [State geological map of the USSR, scale 1 : 200,000. Khingan-Bureinskaya series. Sheet M-52-XVIII. Explanatory note], Moscow, Gosgeoltekhizdat, 1962, 60 p. (In Russ.)
3. *Vas'kin A. F., Dymovich V. A., Atrashenko A. F.* et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1 : 1 000 000 (3-ye pokoleniye).

Dal'nevostochnaya seriya. List M-53 Khabarovsk. Ob»yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation on a scale of 1:1,000,000 (3^{rd} generation). Far Eastern series. Sheet M-53 Khabarovsk. Explanatory note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2009, 376 p. (In Russ.)

4. *Gur'yanov V. A., Nigay Ye. V., Yurchenko Yu. Yu.* et al. Khronologiya granitoidnogo magmatizma vostochnoy chasti Bureinskogo massiva Tsentral'no-Aziatskogo skladchatogo poyasa [Chronology of granitoid magmatism in the eastern part of the Bureinsky massif of the Central Asian fold belt], Materialy VII Rossiyskoy konferentsii po izotopnoy geokhronologii, Moscow, IGEM RAN publ., 2018, pp. 105–108. (In Russ.)
5. *Kuz'min M. I., Korol'kov A. T., Dril' S. I., Kovalenko S. N.* Istoricheskaya geologiya s osnovami tektoniki plit i metallogenii [Historical geology with the fundamentals of plate tectonics and metallogeny], Irkutsk, Izd-vo Irkut. un-ta publ., 2000, 288 p. (In Russ.)
6. *Ovchinnikov R. O.* Drevneyshiye kompleksy Bureinskogo kontinental'nogo massiva: vozrast, istochniki, geodinamicheskiye usloviya formirovaniya [e oldest complexes of the Bureinsky continental massif: age, sources, geodynamic conditions of formation], Blagoveshchensk, 2021, 137 p. (In Russ.)
7. *Petruk N. N., Volkova Yu. R., Shilova M. N.* et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1 : 1 000 000 (3-ye pokoleniye). Seriya Dal'nevostochnaya. List M-52 (Blagoveshchensk). Ob»yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation on a scale of 1:1,000,000 (3rd generation). Far Eastern series. Sheet M-52 (Blagoveshchensk). Explanatory note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI publ., 2012, 496 p. (In Russ.)
8. *Rasskazov Yu. P.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1 : 200 000 (r. Verkh. Mel'gin). Seriya Khingano-Bureinskaya. List M-52-XII [State geological map of the USSR, scale 1:200,000 (Verkh. Melgin River). Khingan-Bureinskaya series. Sheet M-52-XII], Moscow, Gosgeoltekhizdat publ., 1959, 74 p. (In Russ.)
9. *Sorokin A. A., Ovchinnikov R. O., Kudryashov N. M.* et al. Dva etapa neoproterozoyskogo magmatizma v istorii formirovaniya Bureinskogo kontinental'nogo massiva Tsentral'no-Aziatskogo skladchatogo poyasa [Two stages of Neoproterozoic magmatism in the history of the formation of the Bureya continental massif of the Central Asian fold belt]. Geologiya i geofizika, 2017, V. 58, No. 10, pp. 1479–1499. (In Russ.)
10. *Trebovaniya* k geokhimicheskoy osnove Gosudarstvennoy geologicheskoy karty RF [Requirements for the geochemical basis of the State Geological Map of the Russian Federation], Moscow, 2001, 29 p. (In Russ.)
11. *Frost B. R., Barnes C. G., Collins W. J., Arculus R. J., Ellis D. J., Frost C.* D. A geochemical classification for granitic rocks. Journal of Petrology, 2001, V. 42, No. 11, pp. 2033–2048.
12. *Le Maitre R. W.* Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks, Oxford, Blackwell publ., 1989, 193 p.
13. *Maniar P. D., Piccoli P. M.* Tectonic discrimination of granitoids. Geological Society of America Bulletin, 1989, V. 101, No. 5, pp. 635–643.
14. *Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G.* Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rock. Journal of Petrology, 1984, V. 25, No. 4, pp. 956–983.
15. *Sun S., McDonough W. F.* Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: implication for mantle composition and processes. Eds. A. D. Saunders, M. J. Narry. Magmatism in the ocean basins. Geological Society Special Publication, 1989, No. 42, pp. 313–345.
16. *Taylor S. R., McLennan S. M.* The continental crust: Ist evolution and composition, London, Bleckwell, 1985, 312 p.
17. *Whalen J. B., Currie K. L., Chappell B. W.* A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1987, V. 95, No. 4, pp. 407–419.

Статья поступила в редакцию 20.08.23; одобрена после рецензирования 02.10.23; принята к публикации 12.10.23.
The article was submitted 20.08.23; approved after reviewing 02.10.23; accepted for publication 12.10.23.

DOI:10.47765/0869-7175-2023-10030

УДК 553.251:552.323.6

Особенности распространения и генезиса некоторых карбонатных минералов в кимберлитовых породах (на примере Сибирской платформы)

Кроме ранее охарактеризованного кальцита, являющегося совместно с серпентином основным породообразующим минералом кимберлитовых пород, в диатремах этого типа широко развиты доломит, арагонит, пироаурит, стронцианит, магнезит, гидромагнезит и хантит. Доломит в существенном количестве диагностирован в диатремах Сибирской платформы (СП), где он ассоциирует с кальцитом и серпентином, иногда являясь и породообразующим минералом. Образование доломита по времени охватывает достаточно широкий интервал: от начала процессов метасоматоза верхнемантийных пород до заключительной стадии гидротермально-метасоматических процессов в пустотно-трещинных образованиях остывающего кимберлитового расплава. Арагонит образует в кимберлитах прожилки, почковидные агрегаты радиально-лучистого и сноповидного строения, а также друзы игольчатых кристаллов. Пироаурит установлен в кимберлитовых породах в виде прожилков и гнёзд волокнистого и кристаллического облика, ассоциируя с кальцитом, магнетитом и серпофитом. Часто пироаурит совместно с серпентином слагает крупные зеленовато-серые жеоды. Пироаурит – характерный минерал для основной массы кимберлитов глубоких горизонтов некоторых диатрем Сибирской платформы. Иногда минерал встречается в виде концентрически-зональных стяжений в ассоциации с серпентином и кальцитом, а также отдельных кристаллов. Из других карбонатов в переменном количестве встречаются хантит, стронцианит, магнезит и гидромагнезит. На основании минералого-геохимических и люминесцентных свойств карбонатов из гидротермально-метасоматических пустотно-трещинных образований в кимберлитовых породах отмечены устойчивые, закономерные парагенетические ассоциации, отражающие характер физико-химических процессов в постмагматическую и гипергенную стадии становления кимберлитовых пород.

Ключевые слова: карбонаты, кимберлиты, гидротермально-метасоматические и гипергенные процессы.

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

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

Specific features of the distribution and genesis of some carbonate minerals in kimberlite rocks (on the example of the Siberian Platform)

N. N. ZINCHUK

West-Yakutian Research Center of the Republic Sakha (Yakutia) Academy of Science, Mirny

In addition to previously individually characterized calcite that, along with serpentine, is the main rock-forming mineral of kimberlite rocks of the Siberian platform (SP), such carbonates as dolomite, aragonite, pyroaurite, strontianite, magnesite, hydromagnesite, and huntite are also widely, although variably, distributed in diatremes of this type. Dolomite was diagnosed in substantial amounts in the SP diatremes, where it associated with calcite and serpentine, occasionally even as a rock-forming mineral. The dolomite formation covers a sufficiently wide temporal interval, from the beginning of metasomatism of the upper mantle rocks through the final stage of hydrothermal-metasomatic processes within cavity-fissure features of the cooling kimberlite melt. Aragonite forms veinlets, radial-beam and sheaf-like reniform aggregates, and druses of acicular crystals in the kimberlites. Pyroaurite was distinguished in the kimberlite rocks in form of the veinlets and nests of fibrous and crystalline appearance, associated with calcite, magnetite, and serpophyte. Pyroaurite often composes large greenish-grey geodes together with serpentine. Pyroaurite is a typical mineral for the groundmass of kimberlites at deep horizons of some SP diatremes. This mineral sometimes occurs in form of concentrically zoned concretions in association with serpentine and calcite, as well as individual crystals. Other carbonates are represented by variable amounts of huntite, strontianite, magnesite, and hydromagnesite. Based on mineralogical-geochemical and luminescent properties of the carbonates from the hydrothermal-metasomatic cavity-fissure features in the kimberlite rocks, their stable and regular paragenetic associations were distinguished, reflecting the character of physical-chemical processes at the postmagmatic and supergene stages of the kimberlite formation.

Key words: carbonates, kimberlites, hydrothermal-metasomatic and supergene processes.

Введение. Вопросам внедрения кимберлитовой магмы, становления и последующего изменения кимберлитовых тел посвящены многочисленные работы [1–3, 5, 8, 21], исчерпывающий список которых приведён в ряде монографических изданий и статей многих исследователей. Поэтому в настоящей работе мы остановимся только на некоторых, слабо освещённых моментах этой большой и сложной проблемы. При изучении кимберлитов главное внимание обычно уделяется реликтовым структурам и текстурам исходных пород, по которым построены практически все классификации кимберлитовых пород [15, 18, 20, 24, 27–29, 32]. Основное значение при этом придается изучению псевдоморфоз, их формам и расположению в породе. В то же время незаслуженно малая роль отводится исследованию основной цементирующей массы. В кимберлитовых породах, в которых сохранилось реликтовое строение, цементирующая масса представлена [11, 13, 16, 19, 30, 31, 33]: а) субмикроскопическим серпентином, б) пелитоморфными карбонатными минералами, в) стекловидным веществом. Многие исследователи считают, что и серпентин цемента представляет собой апостекло, хотя в свежем виде оно никем и никогда не описывалось. Стекло не обнаружено также в обломочном материале кимберлитов. Находящиеся в расплаве при более высоких давлениях ионы CO_3^{2-} в случае сравнительно медленного снятия напряжения кристаллизуются с образованием карбонатов. При сохранении щелочной среды CO_2 может вновь соединяться с Ca с образованием карбонатов. После кристаллизации силикатов, остаточная щелочная карбонатная масса с летучими компонентами отделяется и, находясь под давлением в момент «прострела», выполняет всякого рода трещины (до мелких включительно), в которых могут выкристаллизовываться карбонаты [6, 7, 9, 22]. Источником Ca и CO_2 в алмазоносных районах Сибирской платформы могут быть и вмещающие кимберлитовые диатремы терригенно-карбонатные породы, многочисленные ксенолиты из которых фиксируются в трубках. Целью настоящих исследований являлось комплексное изучение некоторых карбонатных минералов кимберлитов для получения информации об особенностях их генезиса и решения некоторых прикладных задач (в первую очередь технологических вопросов обогащения кимберлитов).

Изучение карбонатных минералов кимберлитов проводилось с применением комплекса методов, включающих петрографические, кристалло-оптические и гониометрические изучения, химические и спектральные анализы, рентгеновскую дифрактометрию и люминесценцию, фото- и рентгенолюминесценцию, ИК-спектроскопию, электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) и дериватографию.

Фактический материал, результаты исследований и их интерпретация. В кимберлитах Сибирской, Восточно-Европейской и Африканской платформ наряду с ранее охарактеризованным кальцитом [18, 26], в классе карбонатов довольно часто встречается [10, 11, 13, 16, 19] ***доломит*** ($CaCO_3{\cdot}MgCO_3$), образующий обычно мелкозернистые агрегаты в основной массе пород (рис. 1). Встречен доломит и в жильных образованиях зоны выщелачивания некоторых тел. В единичных кимберлитовых диатремах Сибирской платформы (Юбилейная, Сытыканская, Молодость и др.) минерал содержится в концентрациях, позволяющих считать его породообразующим. Поскольку в основной массе пород доломит встречается [12, 14, 17, 23, 25] в ассоциации с кальцитом, то идентифицируется он только с помощью точных методов исследований (рис. 2). На дифрактограммах образцов кимберлитов, содержащих доломит, он в смеси уверенно диагностируется по серии рефлексов, равных 0,2890; 0,2196; 0,2089; 0,2019; 0,1810; 0,1793; 0,1570; 0,1410 и 0,1390 нм. Показатели преломления минерала: $n_{p'}$ = 1,540, $n_{g'}$ = 1,686. Примесь минерала в ассоциациях пород уверенно определяется также на кривых ДТА дериватограмм по чётким эндотермическим эффектам в области 710–830 (распад и диссоциация $MgCO_3$) и 870–1000 ºС (диссоциация $CaCO_3$). Присутствие в основной массе пород доломита отчётливо фиксируется и по результатам пересчётов (с рентгеновским контролем) химических анализов на минеральный состав. Так, в западном теле кимберлитовой трубки Удачная максимальные концентрации доломита в основной массе пород, определённых указанными методами, приурочены к участкам, обеднённым серпентином и обогащённым свободным кремнезёмом. В таких новообразованиях доломит ассоциирует (в %): с серпентином – до 49, гипсом – до 6, флогопитом – до 5, хлоритом – до 7, бруситом – до 5, гидроксидами железа – до 3 и кварцем – до 3.

Полученные различными исследователями [26–29, 32] люминесцентные характеристики доломита из кимберлитов показали, что основным и регулярным центром излучения в минерале является

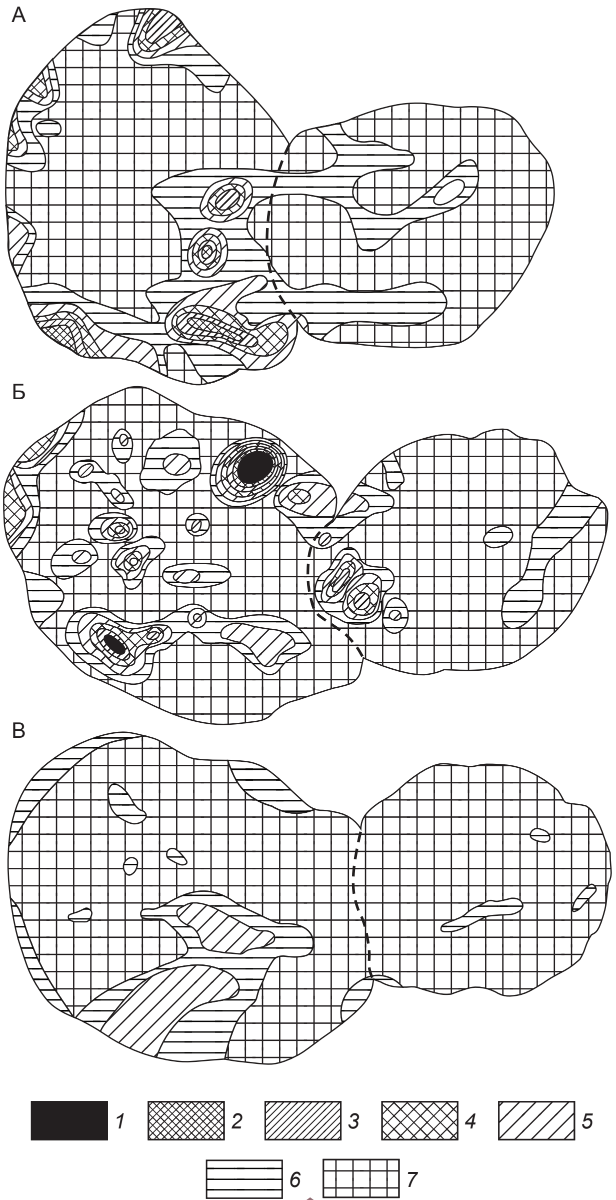


Рис. 1. Схематическая карта распространения доломита в кимберлитовых породах трубки Удачная (А–В):

содержание минерала (в вес.%): *1* – >30, *2* – 25–30, *3* – 20–25, *4* – 15–20, *5* – 10–15, *6* – 5–10, *7* – <5

ион Mn^{2+}, свечение которого в области 630 нм обусловлено смесью кальцитовой и доломитовой фаз. Выявлена сложная структура излучения ионов Mn^{2+}, находящихся в позиции Ca (полоса с λ_m = 580–590 нм) и Mg (полоса с λ_m = 660–670 нм). Изредка фиксировалось [30, 31, 33] излучение ионов Ce^{3+} при фотовозбуждении (двойная полоса 345–375 нм) и ионов Dy^{3+} (линейчатый спектр). При сравнительном изучении доломитов различного происхождения наблюдалась также нестабильность формы спектров: явно структурное уширение полос излучения и существенное смещение положения их максимумов в области 630–670 нм. При более строгом отборе образцов (с рентгеноструктурным и ИК-спектроскопическим контролем) удалось установить, что излучению ионов Mn^{2+} в собственно доломитовой фазе соответствует полоса с λ_m = 655 нм (630 нм в кальците). Полоса 580–590 нм, связанная с ионами марганца в позиции кальция в таких образцах, не наблюдалась. Кроме примесного центра Mn^{2+}, в доломитах обнаружено [34] также слабое излучение в области 390–460 нм, которое можно связать с обычными для этой системы карбонатными радикальными центрами (типа CO_3^- и CO_3^{3-}), фиксируемыми методом ЭПР (CO_3^{n-} или O^{2-}). Низкая интенсивность (на два порядка слабее излучения Mn^{2+}) не позволяет проанализировать его структуру и дать более конкретную и приемлемую интерпретацию этого излучения. Важное значение при этом может иметь установленная связь РЛ-характеристик с фазовой неоднородностью доломита. Исследования показали [35], что при изучении РЛ- и ИК-характеристик кальцит-доломитовых образований из различных пород (включая и кимберлиты) могут быть информативны отношения интенсивностей излучения при λ = 600 и 660 нм (индикаторный

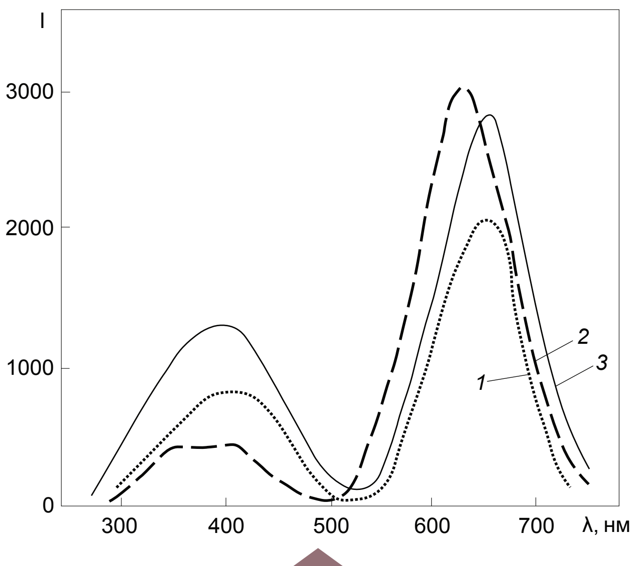


Рис. 2. Спектры рентгенолюминесценции доломитов из кимберлитов (1, 2) и вмещающих их карбонатных пород (3)

фактор доломитизации – $f_D = I_{600}/I_{660}$), измеренных по интегральному спектру смеси. Величина этого фактора максимальна у мономинерального кальцита (1,25–1,4) и минимальна у чистого доломита (0,23–0,36). Для кальцитов из кимберлитовых пород Сибирской платформы этот фактор изменяется в несколько больших диапазонах (от 1,2 до 1,53), а для доломитов отмечены значения 0,255–0,6. Оценка фазового состава карбонатных образований Сибирской платформы проводилась [18, 26] по относительной интенсивности полос деформационных колебаний аниона CO_3 в области 730 $см^{-1}$. При диагностике минералов группы кальцита и доломита применялись полосы в области 700–740 и 1780–1840 $см^{-1}$.

Доломит по сравнению с кальцитом пользуется подчинённым развитием как в плане трубок (рис. 1, А–В), так и на разведанную глубину. Минерал образует мелкозернистые агрегаты в основной массе, ассоциируя с кальцитом и серпентином [4, 5, 7, 8, 15, 18, 20, 21, 24, 37]. В зонах выщелачивания кимберлитовых пород установлены жильные выделения доломита. Анализируя схематические карты распределения доломита в плане трёх опорных горизонтов трубки Удачная, построенных для плотных (см. рис. 1, В), частично дезинтегрированных (см. рис. 1, Б) и в различной степени изменённых (см. рис. 1, А) кимберлитов, можно получить общую картину поведения минерала в постмагматических и гипергенных условиях. Вверх по описываемым горизонтам содержание кальцита постепенно падает и отмечаются существенные различия концентрации минерала по сравниваемым горизонтам. В распределении доломита наблюдается обратная (по сравнению с кальцитом) картина – повышение концентрации минерала приурочено в основном к центральной части тела с незначительными локальными максимумами на восточном и западном флангах, а также у северных контактов с вмещающими породами. В западном теле отмечена чёткая тенденция к его увеличению к контактам с вмещающими породами. Отчётливый минимум фиксируется в южной части трубки, а в северной половине (на её восточном и западном флангах) наблюдаются два глубоких минимума. Заметна некоторая корреляция тренда нормативных количеств доломита с аналогичным трендом минерала на контакте обоих тел. В восточном теле к среднему горизонту ситуация существенно меняется. Максимальная концентрация минерала отмечена у контакта с западным телом. Центральная часть диатремы характеризуется субширотной зоной пониженного содержания доломита. К востоку от неё значения тренда постепенно возрастают, достигая максимумов у северо- и юго-восточных контактов с вмещающими толщами. В западном теле трубки Удачная доломит распределён более равномерно. Повышенные концентрации минерала приурочены к приконтактовой зоне (но не к самим контактам) в восточной и южной частях тела, в меньшей степени к его северному флангу, а непосредственно у контактов с вмещающими породами концентрация доломита уменьшается (см. рис. 1). Распределение нормативных количеств доломита на верхнем из изученных горизонтов в восточном теле (см. рис. 1, А) наиболее низкое и распределение его достаточно равномерное. Некоторое повышение значений тренда наблюдается у южных и северо-западных контактов с вмещающими породами. В западном теле этого горизонта тренд доломита характеризуется чёткой зональностью – минимальные значения в центре трубки и постепенное увеличение содержания к периферии.

Арагонит ($CaCO_3$) образует в кимберлитах отдельных трубок прожилки, почковидные агрегаты радиально-лучистого и сноповидного строения, а также друзы игольчатых кристаллов. Обычно кристаллы арагонита хорошо огранены. Гониометрическими исследованиями установлены ромбическая дипирамида и призма, придающая арагониту игольчатый габитус. В отдельных случаях (трубки Юбилейная, Заполярная, Новинка, Поисковая и др.) мелкие прожилки сложены агрегатами арагонита, близкими к сферическим [18, 36–38]. Бугорчатая поверхность таких прожилков напоминает натёчные агрегаты. Минерал обычно бесцветный, а в агрегатах белый с шелковистым блеском. Между отдельными сферами арагонита отмечены агрегаты серпентина, карбонатов и других новообразований. В смесях минерал чётко диагностируется рентгенометрически, а также фиксируется по результатам пересчётов на минеральный состав химических анализов пород по разработанной методике [4, 6, 39]. В арагоните выявлены [18] центры излучения Mn^{2+}, Sm^{3+} и Eu^{2+}, причём излучение марганца наблюдалось в двух полосах – 560 и 625 нм (рис. 3). При изучении арагонита из кимберлитов трубок Удачная, Якутская, Юбилейная и др. установленное обычное для кальциевых минералов сильное излучение ионов Mn^{2+} в изученных образцах проявлено слабо

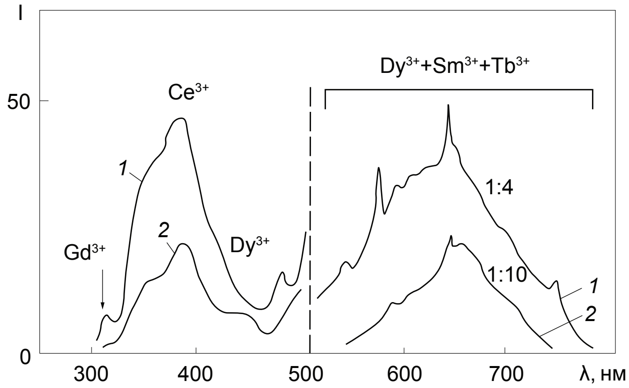


Рис. 3. Типичные спектры рентгенолюминесценции арагонита из кимберлитов трубки Якутская:

образцы: *1* – Як-6 и *2* – Як-2

и представлено сложно-структурированной полосой в области 600–660 нм, что в наибольшей степени соответствует известным данным о двухполосном излучении марганца. Основную часть излучения в арагонитах из кимберлитов Сибирской платформы составляют примесные центры редкоземельных ионов – Gd^{3+}, Ce^{3+}, Dy^{3+}, Sm^{3+} и Tb^{3+}. Корреляция между интенсивностью излучения Mn^{2+} и TR-центров не установлена. Излучение решёточных центров можно связать с полосой ~440 нм, максимально проявляющейся при минимальной роли излучения TR-центров.

В кимберлитах многих кимберлитовых диатрем Сибирской платформы (Мир, Удачная, Юбилейная, Сытыканская, Интернациональная и др.) широко распространён ***пироаурит*** ($Mg_6Fe_3^{+2}(CO_3)(OH)_{16}\cdot 4H_2O$) [1, 8–11, 15, 18, 20–22, 40]. Кроме насыщенности минералом основной массы пород многих горизонтов диатрем, довольно часты (особенно в их глубоких частях) прожилки и гнёзда волокнистого и кристаллического пироаурита, ассоциирующего с кальцитом, серпофитом и магнетитом. Минерал отмечен в псевдоморфозах по оливину, в изменённых ксенолитах различных пород и включений, совместно с серпентином слагает крупные (до 7 см) зеленовато-серые жеоды. На глубоких горизонтах многих диатрем в ассоциации с серпентином и кальцитом пироаурит встречается в виде голубовато-зелёных ромбоэдрических кристаллов, а иногда и в виде сферических и волокнистых образований, слагающих маломощные прожилки и отдельные жеоды (рис. 5). Кроме волокнистого пироаурита, для кимберлитов и ксенолитов глубинных пород обычна также пластинчатая разновидность, выполняющая ядра петель серпентинизированного оливина или пустоты выщелачивания. В кимберлитовых диатремах СП пироаурит отмечается [18, 22] в виде кристаллов двух габитусов: ромбоэдрического и пинакоидального (см. рис. 4). Первому типу свойственно одинаковое развитие всех граней (ромбоэдров и пинакоида), отчего кристаллы приобретают псевдооктаэдрический облик. У кристаллов второго типа доминируют грани пинакоида. В одном и том же образце могут встречаться кристаллы пироаурита обеих форм. Окраска минерала обычно неравномерная. Волокнистая разность его окрашена обычно в бледно-голубой цвет, а пластинчатая – в сине-зелёный. Изменённые кристаллы минерала приобретают коричневый оттенок. Довольно существенно изменяются и показатели преломления минерала: волокнистая разновидность – n_o = 1,560–1,565, n_1' = 1,545, пластинчатая – n_o = 1,567–1,570, n_1' = 1,539–1540. На дифрактограммах новообразований, содержащих пироаурит, минерал идентифицируется по серии отражений, равных 0,776–0,783; 0,386–0,391; 0,262–0,263; 0,2332–0,2334 и 0,1979–0,1984 нм. Параметры элементарной ячейки таких пироауритов: a_o = 0,3103, c_o = 2,3400 нм. На кривых ДТА дериватограмм пироауриту соответствуют чёткие эндотермические эффекты при 210–285 (выделение кристаллизационной воды) и 460–485 ºС (дегидратация и диссоциация $MgCO_3$).

Пироаурит является довольно характерным прожилковым минералом для многих кимберлитовых диатрем Сибирской платформы, ассоциируя с другими новообразованиями. Так, в разрезе глубоких горизонтов трубки Мир, вскрытых разведочной скважиной 55 (см. рис. 5), отмечается довольно частая смена петрографических типов кимберлитов. Чёткой закономерности в распределении по типам кимберлитов изученного разреза (до 1200 м) как реликтовых, так и вторичных минералов не отмечено. Вместе с тем анализ смены на глубину прожилковой минерализации показал, что нередко вместо исчезнувших образований появляются другие. Гипс установлен в верхней части диатремы (до глубины примерно 625 м). Только в отдельных горизонтах (615–660 м и др.) отмечен целестин, ассоциирующий обычно с огранённым кальцитом. На глубоких горизонтах диатремы часто встречается галит, обычно с ангидритом и реже с гипсом. Во многих частях изучаемого разреза в виде прожилков описаны голубоватые и голубовато-зелёные выделения пироаурита, часто вместе с галитом. Волокнистые агрегаты пироаурита в таких случаях выросли на стенках трещин и впоследствии были сцементированы галитом. Длина уплощённых волокон минерала здесь достигает 0,5 см. Не все окна расположены перпендикулярно к субстрату, а часть из них наклонена под небольшим углом или залегает почти параллельно стенкам (хотя их «корни» перпендикулярны к основанию). Изучение таких участков разреза в штуфах позволило предполагать, что до того, как отложился галит, вдоль трещин произошло смещение блоков и загибание волокнистых агрегатов пироаурита, образовавшихся раньше. Иногда выделения пироаурита с галитом обохрены за счёт повышенной концентрации в цементе гидроксидов железа. В этих случаях на плоскости трещин параллельно расположены лейстовидно-волокнистые выделения пироаурита синевато-зелёного цвета, который в отдельных участках переходит в белую асбестовидную разность минерала. Волокна последнего обычно параллельны друг другу в плоскости стенок трещин, на которых спорадически встречаются конусовидные выделения гидроксидов железа. Кроме описанных выделений минерала в ассоциации с галитом, пироаурит в кимберлитовых диатремах (Мир, Юбилейная и др.) отмечен в виде тонких волосовидных прожилков, а также агрегатов различной формы и размеров. Часто минерал вместе с серпентином слагает крупные (до 7 см) зеленовато-серые жеоды, имеющие обычно зональное строение. В ряде разрезов отмечено зональное строение псевдоморфоз серпентина, центральная часть которых имеет тёмно-зелёную окраску, а периферическая –

Пироаурит $Mg_6Fe_2^{3+}(CO_3)(OH)_{16}\cdot 4H_2O$ Piroaurite

тригональная сингония

дитригонально-скаленоэдрический вид симметрии. D_{3d} – $3\bar{m}$ ($L_3 3L_2 3PC$)

a:c = 1:7,519

Формы	φ	ρ
0001	—	0°00'
10$\bar{1}$4	30°00'	65 16
01$\bar{1}$2	-30°00'	77 02

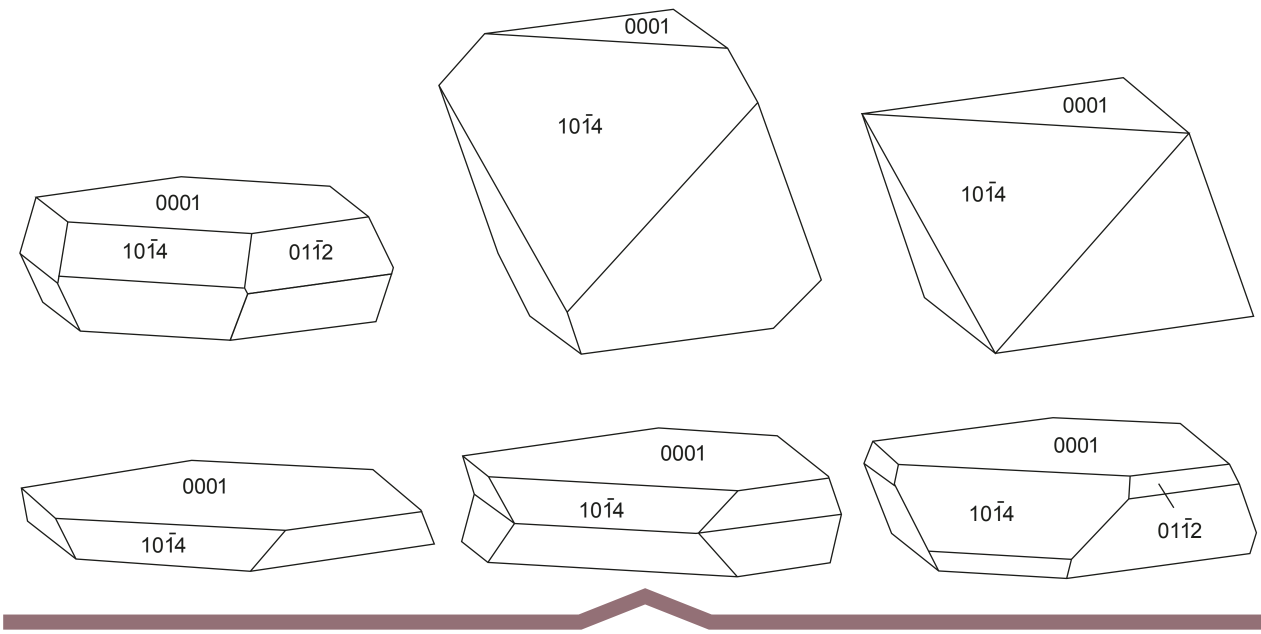


Рис. 4. Морфологические типы кристаллов пироаурита из кимберлитов трубки Юбилейная. *С использованием материалов Б. П. Антонюка*

более светлую. Внутри обеих зон таких псевдоморфоз наблюдаются мелкие (до 5 мм) выделения пироаурита. Последний часто встречается и среди жильных образований в серпентинитизированных кимберлитовых брекчиях, где ассоциирует с галитом, кальцитом и ангидритом. Пироаурит здесь образует полусферы, которые покрыты бесцветными более поздними минералами.

Пироаурит – характерный минерал и для основной массы кимберлитовых диатрем СП. Так, результаты пересчётов химических анализов (с рентгеновским контролем) кимберлитов из разрезов, вскрывших разведочными скважинами глубокие горизонты трубки Мир, показали, что пироаурит в отдельных интервалах является породообразующим минералом (до 14% состава основной массы), ассоциируя с серпентином, кальцитом, хлоритом, оксидами и гидроксидами железа. Существенные концентрации пироаурита отмечены при изучении кимберлитовых пород трубок Сытыканская, Юбилейная, Удачная и др. Особенно повышенные концентрации минерала зафиксированы (рис. 6, А–Б) в породах трубки Сытыканская, сложенной [10, 18, 22] двумя типами кимберлитовых пород (кимберлитовой брекчией и кимберлитовой брекчией с массивной текстурой цемента), состоящих из обломков ксеногенного материала, оливина, граната, ильменита, многочисленных включений родственных пород, сцементированных серпентиновым или карбонат-серпентиновым агрегатом и другими новообразованиями. В отдельных горизонтах этой диатремы (особенно ниже 280 м) пироаурит выполняет многочисленные прожилки, линзочки и пустоты различной формы и размеров, достигающих иногда до 4 см в поперечнике.

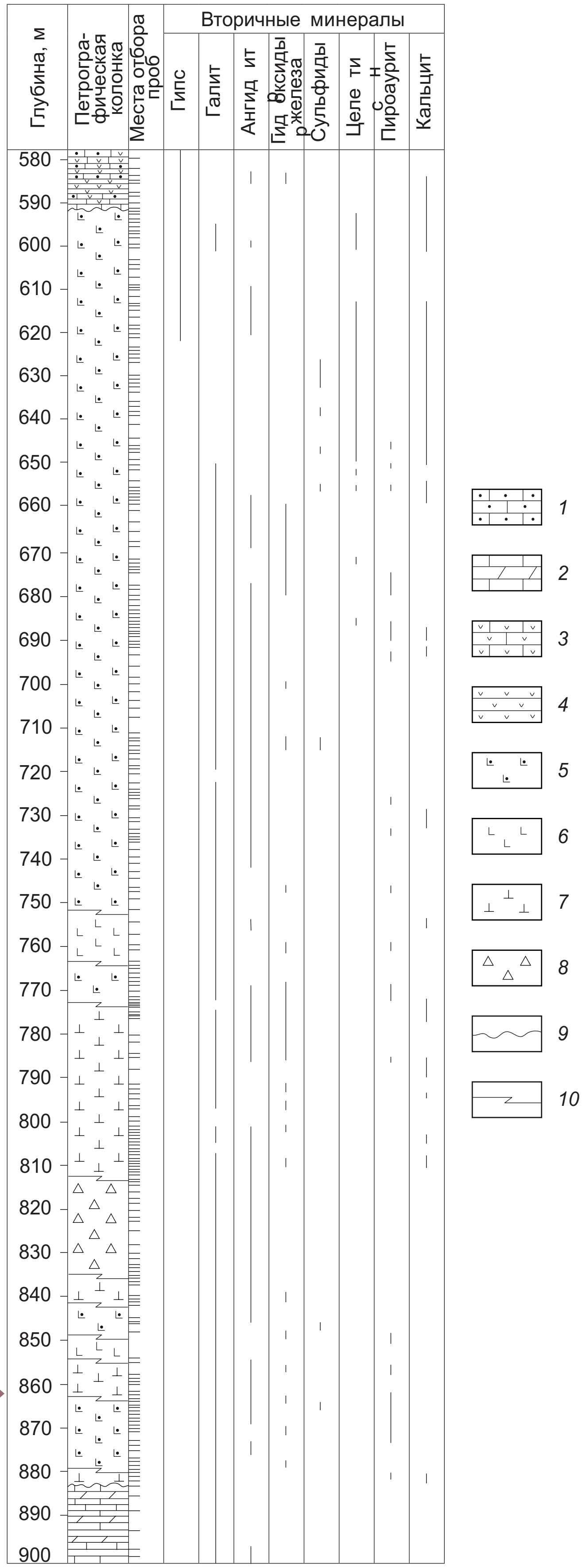


Рис. 5. Схема распределения жильных вторичных минералов в кимберлитах глубоких горизонтов трубки Мир (по разведочной скважине 55):

1–3 – известняки: *1* – песчанистые, *2* – доломитистые, *3* – с выделениями гипса; *4* – гипсы; *5–9* – брекчия: *5* – автолитовая кимберлитовая, *6* – кимберлитовая с массивной текстурой цемента, *7* – крупнопорфировая кимберлитовая, *8* – кластопорфировая кимберлитовая; *9* – граница между кимберлитами и вмещающими трубку породами; *10* – условные границы между отдельными типами кимберлитов

Минерал характеризуется голубоватой и голубовато-зелёной окраской, варьирующей в зависимости от степени изменённости минерала и его парагенезисов (с кальцитом, серпентином и другими новообразованиями), чётко диагностируется на дифрактограммах (рис. 7). В отдельных интервалах (300–500 м и др.) кимберлит разбит многочисленными тонкими (волосовидными) прожилками и микропрожилками, выполненными пироауритом и кальцитом. Частое расположение таких прожилков (через 3–4 см друг от друга), а также их непостоянная мощность (отмечаются многочисленные пережимы и раздувы) придают отдельным участкам породы петельчатый и пятнистый облик.

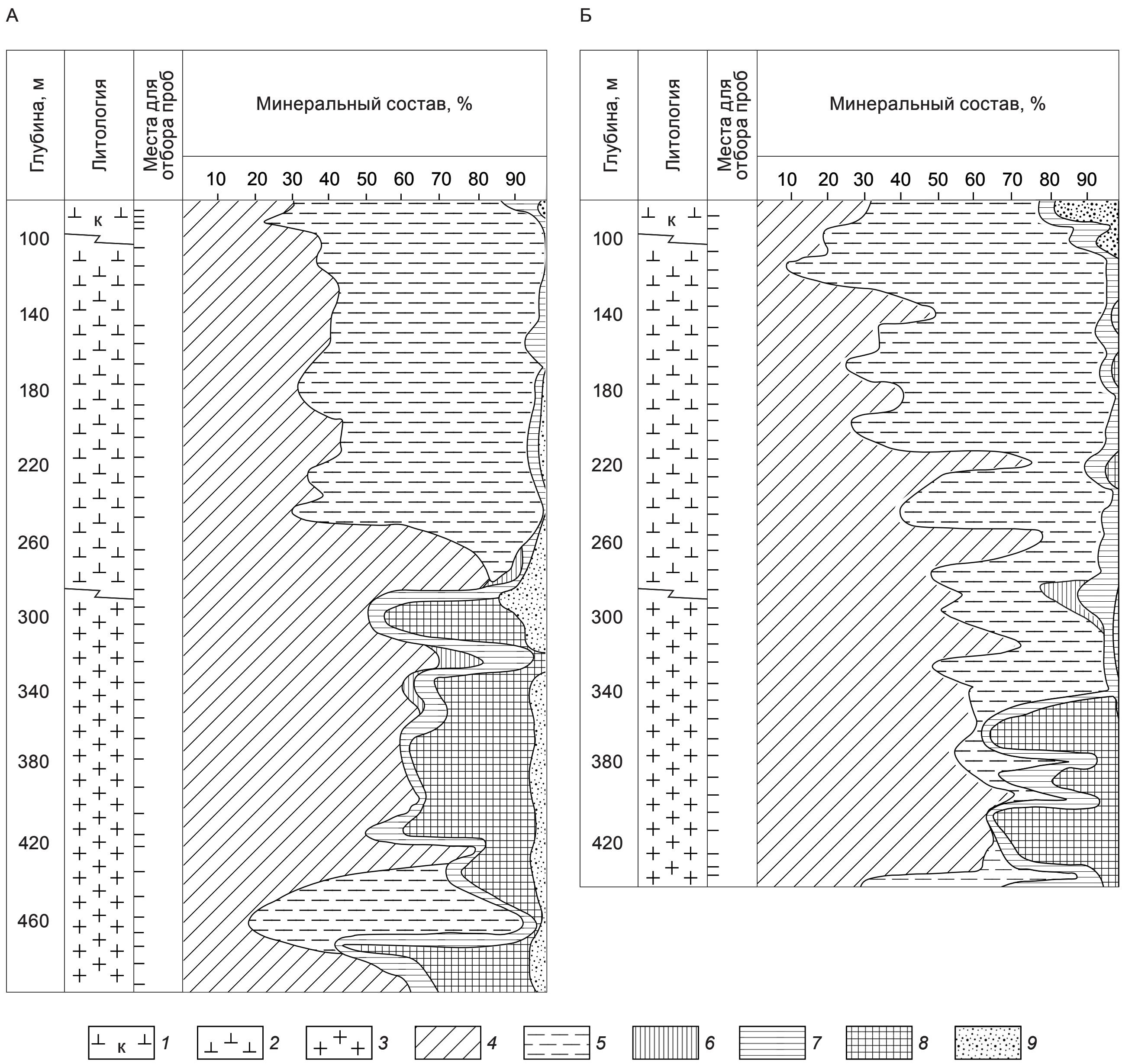


Рис. 6. Распределение вторичных минералов в основной массе кимберлитов трубки Сытыканская по скважинам 98 (А) и 112 (Б):

породы: *1* – выветрелые кимберлиты, *2* – кимберлитовые брекчии с массивной текстурой цемента, *3* – кимберлитовые брекчии; минеральный состав (в %): *4* – серпентин, *5* – кальцит, *6* – доломит, *7* – изменённый флогопит и хлорит, *8* – пироаурит, *9* – прочие минералы

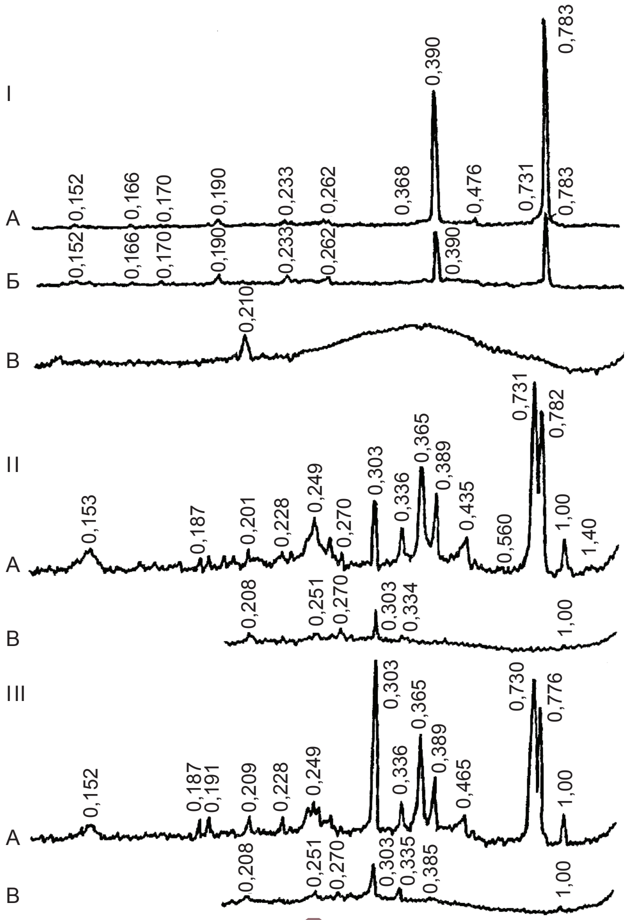


Рис. 7. **Дифрактограммы фракции мельче 0,005 мм вторичных образований, обогащённых пироауритом:**

трубки: I – Сытыканская, II и III – Юбилейная; препараты: А – исходный, Б – насыщенный глицерином, В – прокалённый в течение двух часов при 500 °С

Фиксируются также прожилки голубоватого пироаурита, ассоциирующего с тонкозернистым магнетитом и грязно-буроватым серпентином. Довольно часто в кимберлитах глубоких горизонтов диатремы встречаются концентрически-зональные стяжения (до 3 см в поперечнике), сложенные пироауритом и кальцитом. В основной массе кимберлитовых брекчий отдельных горизонтов трубки Сытыканская (как и Удачная, Мир, Юбилейная и др.) существенно увеличивается (до 40 %) концентрация пироаурита, что придаёт породе голубоватый оттенок, отличая её от других типов кимберлитов.

Из других эпизодически встречаемых в небольших концентрациях минералов класса карбонаты в кимберлитах Сибирской платформы идентифицированы [9–11, 13, 15, 16, 18–20, 24] стронцианит, магнезит, гидромагнезит и хантит. ***Стронцианит*** ($SrCO_3$) в кимберлитах многих диатрем образует веерообразные друзы или сплошные скопления игольчатых кристаллов (рис. 8, А, Б). Часто минерал ассоциирует с целестином, нарастая на поверхности его кристаллов. Обычно он бесцветный с показателями преломления: $n'_g = 1{,}663$, $n'_p = 1{,}535$. Грани целестиновых кристаллов часто обнаруживают черты частичного растворения. По рент-генодифрактометрическим данным (серия рефлексов на дифрактограммах с межплоскостными расстояниями, равными 0,427; 0,413; 0,349; 0,340; 0,3078; 0,2978; 0,2563; 0,2528; 0,2448; 0,2429; 0,2238; 0,2160; 0,2066; 0,2027; 0,1960; 0,1888; 0,1807; 0,1615; 0,1597 и 0,1548 нм), этот минерал следует относить к кальциостронцианиту. ***Магнезит*** (MgCO3) установлен [10, 18, 22] на двух верхних опорных горизонтах

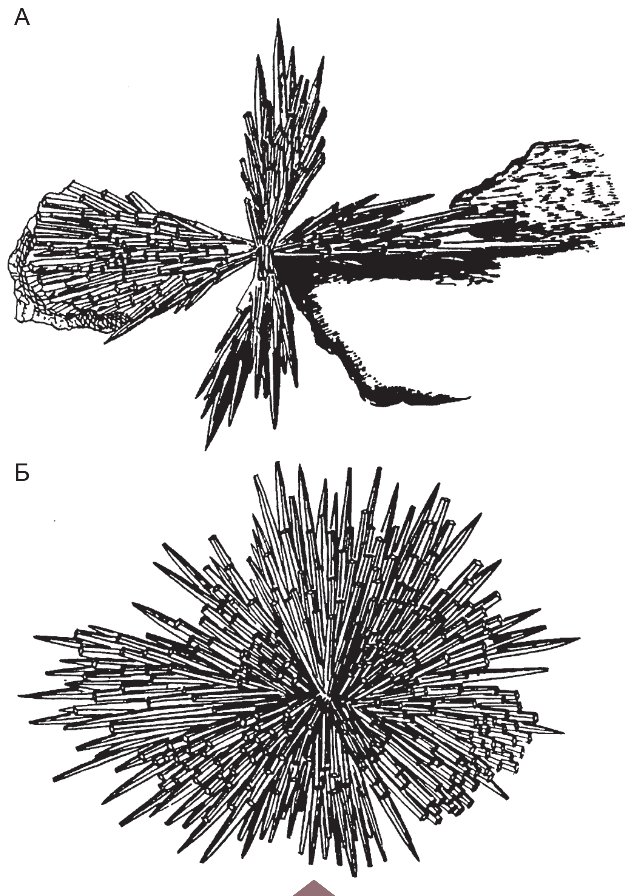


Рис. 8. **Кристаллообразная (А) и игольчатая (Б) друзы кристаллов стронцианита из кимберлитов трубки Удачная:**

образцы: А – У-216, Б – УЗ-21; увеличение 15 многих кимберлитовых диатрем Сибирской платформы в смеси с другими новообразованиями. Довольно часто он ассоциирует с хантитом, слагая тонкие прожилки, или встречается в бруситизированных кимберлитах. Минерал уверенно диагностируется в смеси рентгенографически по серии рефлексов с межплоскостными расстояниями, равными 0,2741; 0,2104 и 0,1930 нм. ***Гидромагнезит*** ($Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$) встречается в виде белых натёчных рыхлых агрегатов на различных минералах и новообразованиях в верхних частях многих диатрем СП, иногда в смеси с артинитом (рис. 9, А–Г). Отмечаются [18] жеоды гидромагнезита размером до нескольких миллиметров (рис. 10, А, Г). Кристаллы его в жеодах водянопрозрачные удлинённо-таблитчатого лейстовидного облика. Показатели преломления минерала следующие: n'_g = 1,546–1,552, n'_p = 1,528–1,531. На дифрактограммах гидромагнезиту соответствуют отражения с межплоскостными расстояниями, равными 0,904; 0,575; 0,380; 0,313; 0,288; 0,2682; 0,2146; 0,1988; 0,1895 и 0,1858 нм. На кривых ДТА дериватограмм минералу принадлежит ряд характерных эндотермических эффектов. Дегидратация и частичная диссоциация гидромагнезита происходит при температуре 330 ºС, а диссоциация магнезиальной составляющей этого карбоната – в интервале температур 420–550 ºС. ***Хантит*** ($CaMg_3(CO_3)_4$) обнаружен в ряде кимберлитовых диатрем (Сытыканская, Заполярная, Маршрутная, Поисковая, Молодость и др.) Сибирской платформы, где в верхних горизонтах выполняет многочисленные трещины и пустоты. Мощность прожилков колеблется от долей миллиметра до 5 см. В отдельных диатремах Верхнемунского кимберлитового поля (Новинка, Заполярная и др.) прожилки встречаются в большом количестве до глубины 100 м от поверхности, что может быть связано с границей влияния гипергенных процессов. Минерал в прожилках и пустотах представлен тонкодисперсным белым порошковидным агрегатом, наполняющим мел. В приповерхностных участках диатрем минерал окрашен гидроксидами железа в буроватые и кремовые тона. С глубиной увеличивается плотность минерала, который растворяется при нагревании в соляной кислоте. На дифрактограммах минералу отвечают отражения с межплоскостными расстояниями, равными 0,361; 0,282; 0,2592; 0,2423; 0,2367; 0,2180; 0,1964; 0,1758 и 0,1580 нм. Нередко хантит встречается в смеси с магнезитом, где его диагностика возможна только с помощью точных физико-химических методов исследований (рис. 11).

Заключение. Таким образом, по результатам проведённых исследований можно говорить об *особенностях генезиса некоторых карбонатов из кимберлитовых трубок СП*. По имеющимся минералогическим данным, образование доломита в кимберлитах во времени охватывает довольно широкий интервал: начало процессов метасоматоза верхнемантийных пород (наличие включений доломита в титан-клиногумите и К-рихтерите), а заключительные стадии – пневматолитово-гидро-

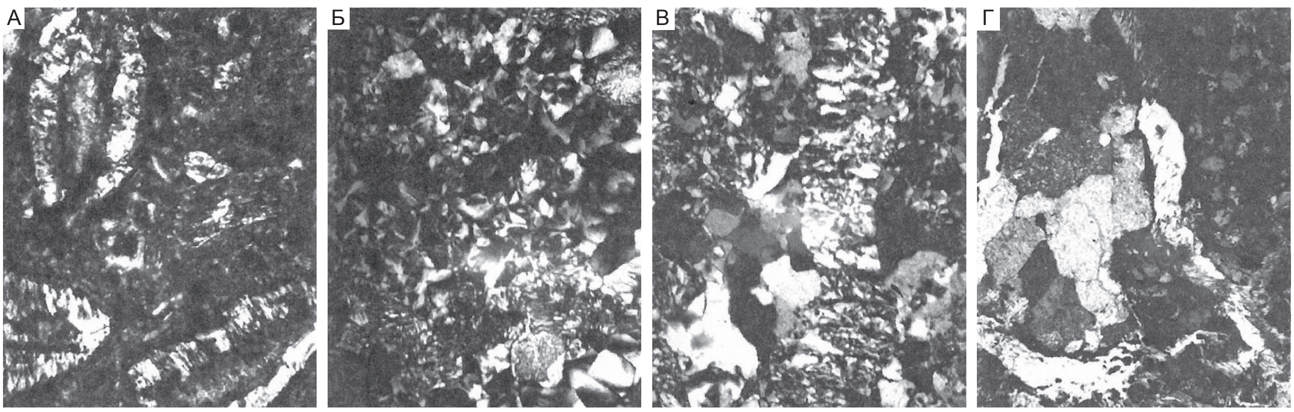


Рис. 9. Новообразования в кимберлитовых породах верхних горизонтов трубки Удачная, обогащённых гидромагнезитом:

доминирующие минералы: А – гидромагнезит (шлиф У-3-2), Б – сферолиты халцедона (шлиф У-26-10), В – прожилки гипса в кварце (шлиф У-26-8), Г – серия прожилков гипса в кимберлите (шлиф У-28-3а) термальные стадии процессов в пустотно-трещинных образованиях остывающего магматического (кимберлитового) расплава. Этим можно объяснить повышенную частоту встречаемости доломита в виде тонкоагрегатных срастаний с ангидритом, целестином и кальцитом и чрезвычайную редкость его самостоятельных выделений в кимберлитах в целом. Доломиты из кимберлитов по основным люминесцентным характеристикам (конфигурацией спектра и интенсивности излучения) практически не выделяются из массы иных генетических разновидностей данного минерала. Это пока делает проблематичным использование их как типоморфных или индикаторных признаков при изучении процессов вторичного минералообразования в кимберлитовых диатремах. Однако сопоставление данных ИКС и индикаторного фактора доломитизации позволяет всё же использовать люминесцентный способ оценки фазового состава тонкодисперсных кальцит-доломитовых образований из кимберлитов для изучения этих образований, учитывая при этом простоту и экспрессность метода.

Проведённые исследования позволяют утверждать, что основная масса карбонатов (в том числе и доломита) относится к вторичным образованиям. Характерная особенность карбонатных образований из кимберлитов – отсутствие существенного количества минералов этого класса на основе таких элементов, как Fe^{2+} (сидерита). Исследованиями установлено, что источником CO_2 для образования различных генераций карбонатных минералов являются глубинные эманации и углекислый компонент, выделяющийся при окислении органических веществ, а также многочисленный ксеногенный материал из вмещающих кимберлитовые диатремы пород. Приток слабокислых растворов привёл затем к частичному растворению поверхности минералов с последующей регенерацией граней. Форма кристаллов заметно изменялась в плане диатрем и очень мало – на глубину. Гидротермальное выщелачивание кимберлитов наиболее интенсивно проявилось в краевых частях трубок. При этом вдоль трещин произошло выщелачивание породы, заключавшееся в растворении карбонатов и частичном разрушении силикатов магния. Такое воздействие кислых растворов привело к появлению в кимберлите небольших пустот и каверн. Отсутствие среди упомянутых образований заметного количества гипса и наличие сульфидов железа свидетельствует о том, что главными факторами,

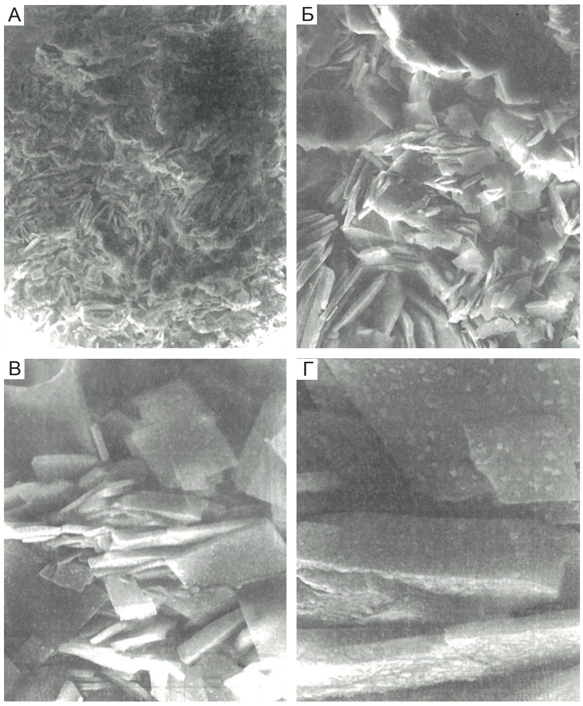


Рис. 10. Растровые электронные фотографии выделений гидромагнезита в кимберлитах трубки Удачная (обр. У-3-18):

увеличение: А – 300, Б – 1000, В – 3000, Г – 10 000

влияющими на повышение кислотности растворов, могли быть такие, в обычных условиях слабые, кислоты, как угольная и сероводородистая. Поскольку выщелачиванием охвачен значительный объём породы, можно предположить, что растворы находились под большим давлением CO_2, поскольку в этих условиях угольная кислота создаёт сильнокислую среду. Вызванное тектоническими подвижками падение давления привело к утечке CO_2, повышению pH раствора и выпадению из него новых карбонатных минералов, а также генерации частично растворённых ранних индивидов, граница между которыми отбивается как по «присыпкам», так и по цвету (нарастание минералов более прозрачных). Выщелачивание кимберлита с образованием кавернозных участков в западном теле трубки Удачная проходило при переменном окислительно-восстановительном потенциале раствора с преобладанием восстановительных его свойств. Последнее подтверждается обилием сульфидов железа среди вторичных карбонатов, цементирующих не успевшие полностью раствориться агрегаты серпентина и первичные минералы. При

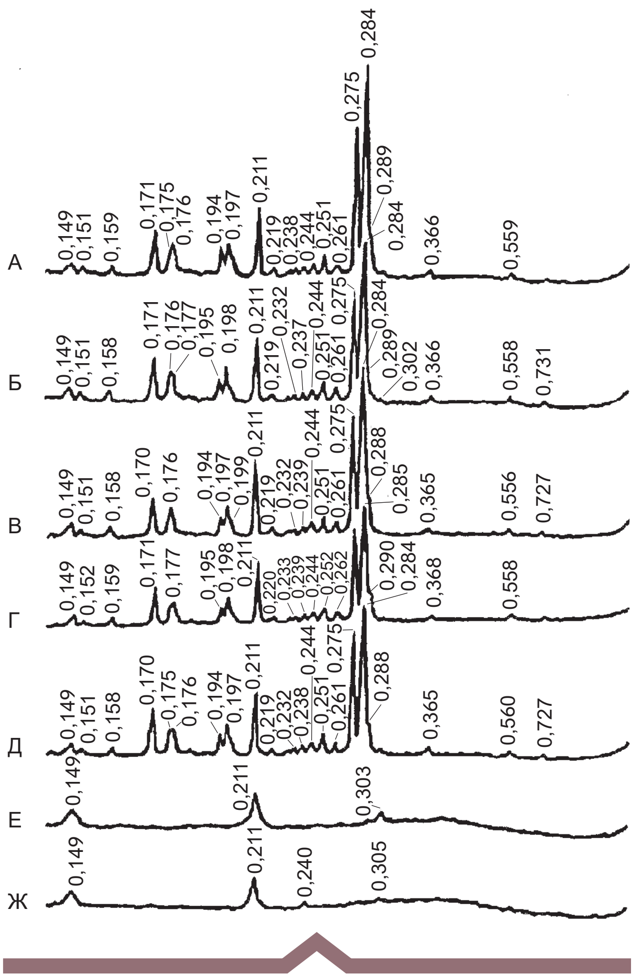


Рис. 11. Дифрактограммы новообразований из кимберлитов трубки Заполярная, обогащённых хантитом и магнезитом:

препараты: А – исходный, Б–Ж – прокалённые в течение двух часов соответственно при 100, 200, 300, 500, 600 и 700 °С

растворении кимберлитов, сложенных кальцитом и силикатами магния, произошла нейтрализация растворов с повышением pH, что вызвало выпадение новых карбонатов и других новообразований, возникших из аутигенного вещества. Процессы растворения кимберлитов повторялись, о чём свидетельствует многообразие скаленоэдрических выделений кальцита, который вместе с доломитом являются обычно породообразующими минералами, генетически связанными с толщами вмещающих диатремы карбонатных и терригенно-карбонатных пород. Это подчёркивается также обогащением приконтактовых участков диатрем ксенолитами пород вмещающих толщ и поступлением в кимберлиты соответствующих, обогащённых CaO и CO_2, растворов. На минералообразующие растворы существенное влияние оказывали и глубинные газовые эманации, обогащённые CO_2, приводящие в движение водные растворы. Отмеченные особенности распределения преобладающих карбонатных минералов могут быть успешно использованы как при уточнении геологического строения диатрем, так и при совершенствовании некоторых технологических процессов обогащения кимберлитов.

Образование пироаурита в кимберлитовых диатремах происходит из углекислых растворов магния при взаимодействии их с растворимыми солями окисного железа. Повышенное содержание в растворе соды отмечено для отдельных разрезов, вскрывших глубокие горизонты многих диатрем. В некоторых исследованных пробах выявлено сравнительно высокое содержание $NaSO_4$. Химический анализ гидропроб из метегеро-ичерского горизонта трубки Мир (одного из основных водоносных горизонтов месторождения) показал наряду с высоким содержанием кальция, магния и хлора повышенные концентрации натрия и серного ангидрида. Сульфат натрия и сода, которая повышает pH раствора, характерны для трещинных вод кимберлитовых тел рассматриваемого региона. Возможно также в качестве исходного вещества хлорное железо (в основном глубинного происхождения), и тогда в качестве побочного продукта образуется NaCl. Анализ природных ассоциаций пироаурита в кимберлитовых диатремах СП позволяет утверждать, что оба варианта его происхождения вполне возможны. Образование пироаурита происходит при значительной роли растворимого в воде хлорного железа в нейтральных или окислительных (по отношению к железу) условиях и, судя по парагенетической ассоциации с кальцитом, при близком к нейтральному значению pH. Процесс пироауритизации занимает заметные участки кимберлитовых трубок. Немаловажную роль при этом играет содержание в растворе окисного железа. Возможно, определённое количество галита возникло из отработанных при образовании пироаурита растворов. Пироаурит является неустойчивым минералом и при разрушении замещается гидроксидами железа. Разрушение жильного пироаурита часто происходит уже на незначительных глубинах, а поэтому в верхних горизонтах разрабатываемых месторождений неизменённый минерал встречается сравнительно редко. Проведёнными исследованиями установлено широкое распространение пироаурита в кимберлитовых породах СП, причём наиболее характерна пироауритизация для глубоких горизонтов кимберлитовых диатрем, где минерал является породообразующим компонентом. Учитывая большую роль пироаурита в процессе технологической отработки месторождений, вопросам изучения пироауритизации кимберлитовых тел следует уделять пристальное внимание, что может быть достигнуто при комплексном изучении вещественного состава пород с широким применением современных физико-химических методов исследований.

Отмеченные особенности состава и распределения преобладающих карбонатных минералов могут быть успешно использованы как при уточнении геологического строения диатрем, так и при совершенствовании некоторых технологических процессов обогащения кимберлитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н.* Минерагения древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. – 1987. – № 1. – С. 90–96.
2. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И.* Полигенез алмазов в связи с проблемой коренных россыпей северо-востока Сибирской платформы // Доклады Академии наук. – 1998. – Т. 361, № 3. – С. 366–369.
3. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Логинова А. М.* Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // Записки Российского минералогического общества. – 2009. – Т. 138. № 2. – С. 1–13.
4. *Василенко В. Б., Зинчук Н. Н., Кузнецова Л. Г.* Геодинамический контроль размещения кимберлитовых полей центральной и северной частей Якутской кимберлитовой провинции (петрохимический аспект) // Вестник Воронежского госуниверситета. Геология. – 2000. – № 3(9). – С. 37–55.
5. *Егоров К. Н., Зинчук Н. Н., Мишенин С. Г., Серов В. П., Секерин А. П., Галенко В. П., Денисенко Е. П., Барышев А. С., Меньшагин Ю. В., Кошкарев Д. А.* Перспективы коренной и россыпной алмазоносности Юго-Западной части Сибирской платформы // Геологические аспекты минерально-сырьевой базы Акционерной компании «АЛРОСА»: современное состояние, перспективы, решения. Дополнит. мат-лы по итогам региональной научно-практической конференции «Актуальные проблемы геологической отрасли АК «АЛРОСА» и научно-методическое обеспечение их решений», посвященной 35-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». – Мирный : МГТ, 2003. – С. 50–84.
6. *Зинчук Н. Н.* Геологические исследования при поисках алмазных месторождений // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2021. – № 4. – С. 35–52.
7. *Зинчук Н. Н.* Докембрийские источники алмазов в россыпях фанерозоя // Вестник Воронежского ун-та. Геология. – 2021. – № 3. – С. 50–61.
8. *Зинчук Н. Н.* Карбонатизация кимберлитов при постмагматических процессах // Вестник Воронежского ун-та. Геология. – 2017. – № 4. – С. 63–71.
9. *Зинчук Н. Н.* Коры выветривания и их роль в формировании посткимберлитовых осадочных толщ // Руды и металлы. – 2022. – № 2. – С. 100–120.
10. *Зинчук Н. Н.* Кремнистые минералы в кимберлитах // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2022. – № 4. – С. 38–52.
11. *Зинчук Н. Н.* Литолого-стратиграфические исследования при алмазопоисковых работах // Вестник СВФУ. Науки о Земле. – 2023. – № 1 (29). – С. 5–28.
12. *Зинчук Н. Н.* О геолого-поисковых типах кимберлитовых трубок // Известия Коми НЦ УрО РАН. Науки о Земле. – 2023. – № 2 (60). – С. 43–56.
13. *Зинчук Н. Н.* О геохимических особенностях разновозрастных образований алмазоперспективных территорий // Отечественная геология. – 2023. – № 1. – С. 42–55.
14. *Зинчук Н. Н.* Об особенностях флюидных и гидротермальных включений в некоторых минералах кимберлитов // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. – Пермь : ПГНУ, 2023. – Вып. 26. – С. 45–64.
15. *Зинчук Н. Н.* Особенности алмазоносности разных фаз внедрения кимберлитов // Отечественная геология. – 2017. – № 1. – С. 105–111.
16. *Зинчук Н. Н.* Особенности гидротермального и гипергенного изменения слюдистых кимберлитов // Вестник Пермского университета. Геология. – 2023. – Т. 22, № 1. – С. 32–50.
17. *Зинчук Н. Н.* Особенности кальцита из кимберлитовых пород // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2023. – № 2. – С. 28–43.
18. *Зинчук Н. Н.* Особенности минералов слюд в кимберлитах // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2018. – № 2. – С. 29–39.

19. *Зинчук Н. Н.* Особенности петрографического изучения кимберлитовых пород // Отечественная геология. – 2022. – № 4. – С. 34–49.
20. *Зинчук Н. Н.* Особенности серпентинизации кимберлитовых пород // Вестник Воронежского ун-та. Геология. – 2017. – № 3. – С. 66–74.
21. *Зинчук Н. Н.* Особенности состава и распределения слюдистых образований в кимберлитовых породах Якутии // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1991. – № 7. – С. 58–66.
22. *Зинчук Н. Н.* Роль петролого-минералогических и геохимических исследований в оценке потенциальной алмазоносности кимберлитов // Отечественная геология. – 2022. – № 1. – С. 36–47.
23. *Зинчук Н. Н.* Сульфаты в кимберлитовых породах // Отечественная геология. – 2023. – № 2. – С. 56–72.
24. *Зинчук Н. Н.* Типоморфные свойства индикаторных минералов кимберлитов и их использование при прогнозировании месторождений алмаза на Сибирской платформе // Отечественная геология. – 2021. – № 2. – С. 41–56.
25. *Зинчук Н. Н., Афанасьев В. П.* Генетические типы и основные закономерности формирования алмазоносных россыпей // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1998. – № 2. – С. 66–71.
26. *Зинчук Н. Н., Зинчук М. Н.* О специфике термобарических факторов оруденения // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. – Пермь : ПГНУ, 2023. – Вып. 26. – С. 65–86.
27. *Зинчук Н. Н., Зуев В. М., Коптиль В. И., Чёрный С. Д.* Стратегия ведения и результаты алмазопоисковых работ // Горный вестник. – 1997. – № 3. – С. 53–57.
28. *Зинчук Н. Н., Коптиль В. И.* Сравнительные особенности алмазов из коренных источников с высокой плотностью расположения кимберлитовых тел // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2023. – № 1 (65). – С. 28–42.
29. *Зинчук Н. Н., Мельник Ю. М., Серенко В. П.* Апокимберлитовые породы // Геология и геофизика. – 1987. – № 10. – С. 66–72.
30. *Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н.* Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глинистых минералов при погружении содержащих их отложений в стратисферу // Вестник Воронежского госуниверситета. Серия геология. – 2003. – № 2. – С. 57–68.
31. *Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н.* Особенности глинистых минералов в отложениях различных осадочных формаций // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1997. – № 2. – С. 53–63.
32. *Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н.* Типоморфные особенности и палеогеографическое значение слюдистых минералов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1996. – № 1. – С. 53–61.
33. *Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н.* Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в отложениях терригенной формации // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. – 2001. – Т. 76, № 1. – С. 45–53.
34. *Мацюк С. С., Зинчук Н. Н.* Оптическая спектроскопия минералов верхней мантии. – М. : Недра, 2001. – 428 с.
35. *Савко А. Д., Шевырев Л. Т., Зинчук Н. Н.* Эпохи мощного корообразования в истории Земли. – Воронеж : ВГУ. – 1999. – 102 с.
36. *Харькив А. Д., Зуенко В. В., Зинчук Н. Н., Крючков А. И., Уханов А. В., Богатых М. М.* Петрохимия кимберлитов. – М. : Недра, 1991. – 304 с.
37. *Хитров В. Г., Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д.* Применение кластер-анализа для выяснения закономерностей выветривания пород различного состава // Доклады АН СССР. – 1987. – Т. 296, № 5. – С. 1228–1233.
38. *Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Griffin V. L.* et al. Diamond prospects in the Southwestern plankt of the Tungusk Sineklise // Geology of ore Deposits. – 2005. – V. 47, № 1. – P. 45–62.
39. *Grachanov S. A., Zinchuk N. N., Sobolev N. V.* The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Sibirian platform // Doklady Earth Sciences. – 2015. – V. 465, № 2. – P. 1297–1301.
40. *Serov I. V., Garanin V. K., Zinchuk N. N., Rotman A. Ya.* Mantle Sources of the kimberlite Vorcanism of the Sibirian Platform // Petrology. – 2001. – V. 9, № 6. – P. 576–588.

REFERENCES

1. *Afanas'yev V. P., Zinchuk N. N.* Mineragenіya drevnikh rossypey almazov vostochnogo borta Tungusskoy sineklizy [Minerageny of ancient diamond placers on the eastern side of the Tunguska syneclise], Geologiya i geofizika, 1987, No. 1, pp. 90–96. (In Russ.)
2. *Afanas'yev V. P., Zinchuk N. N., Koptil' V. I.* Poligenez almazov v svyazi s problemoy korennykh rossypey severo-vostoka Sibirskoy platformy [Polygenesis of diamonds in connection with the problem of bedrock placers in the northeast of the Siberian Platform], Doklady Akademii nauk, 1998, V. 361, No. 3, pp. 366–369. (In Russ.)
3. *Afanas'yev V. P., Zinchuk N. N., Loginova A. M.* Osobennosti raspredeleniya rossypnykh almazov, svyazannykh s dokembriyskimi istochnikami [Features of the distribution of placer diamonds associated with Precambrian sources], Zapiski Rossiyskogo mineralo-

gicheskogo obshchestva, 2009, V. 138. No. 2, pp. 1–13. (In Russ.)
4. *Vasilenko V. B., Zinchuk N. N., Kuznetsova L. G.* Geodinamicheskiy kontrol' razmeshcheniya kimberlitovykh poley tsentral'noy i severnoy chastey Yakutskoy kimberlitovoy provintsii (petrokhimicheskiy aspekt) [Geodynamic control of the placement of kimberlite fields in the central and northern parts of the Yakut kimberlite province (petrochemical aspect)], Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Geologiya, 2000, No. 3(9), pp. 37–55. (In Russ.)
5. *Yegorov K. N., Zinchuk N. N., Mishenin S. G., Serov V. P., Sekerin A. P., Galenko V. P., Denisenko Ye. P., Baryshev A. S., Men'shagin Yu. V., Koshkarev D. A.* Perspektivy korennoy i rossypnoy almazonosnosti Yugo-Zapadnoy chasti Sibirskoy platformy [Prospects for bedrock and alluvial diamond content in the Southwestern part of the Siberian platform]. Additional materials based on the results of the regional scientific and practical conference «Actual problems of the geological industry of AK ALROSA and scientific and methodological support for their solutions», dedicated to the 35th anniversary of YANIGP TsNIGRI AK ALROSA, Mirnyy, MGT publ., 2003, pp. 50–84. (In Russ.)
6. *Zinchuk N. N.* Geologicheskiye issledovaniya pri poiskakh almaznykh mestorozhdeniy [Geological research in the search for diamond deposits]. Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya, 2021, No. 4, pp. 35–52. (In Russ.)
7. *Zinchuk N. N.* Dokembriyskiye istochniki almazov v rossypyakh fanerozoya [Precambrian sources of diamonds in Phanerozoic placers]. Vestnik Voronezhskogo un-ta. Geologiya, 2021, No. 3, pp. 50–61. (In Russ.)
8. *Zinchuk N. N.* Karbonatizatsiya kimberlitov pri postmagmaticheskikh protsessakh [Carbonatization of kimberlites during post-magmatic processes], Vestnik Voronezhskogo un-ta. Geologiya, 2017, No. 4, pp. 63–71. (In Russ.)
9. *Zinchuk N. N.* Kory vyvetrivaniya i ikh rol' v formirovanii postkimberlitovykh osadochnykh tolshch [Weathering crusts and their role in the formation of postkimberlite sedimentary strata], Rudy i metally, 2022, No. 2, pp. 100–120. (In Russ.)
10. *Zinchuk N. N.* O spetsifike glinistykh mineralov v osadochnykh formatsiyakh [On the specificity of clay minerals in sedimentary formations], Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya, 2022, No. 1, pp. 10–23. (In Russ.)
11. *Zinchuk N. N.* Litologo-stratigraficheskiye issledovaniya pri almazopoiskovykh rabotakh [Lithological and stratigraphic studies during diamond prospecting], Vestnik SVFU. Nauki o Zemle, 2023, No. 1 (29), pp. 5–28. (In Russ.)
12. *Zinchuk N. N.* O geologo-poiskovykh tipakh kimberlitovykh trubok [On geological prospecting types of kimberlite pipes], Izvestiya Komi NTS UrO RAN. Nauki o Zemle, 2023, No. 2 (60), pp. 43–56. (In Russ.)
13. *Zinchuk N. N.* O geokhimicheskikh osobennostyakh raznovozrastnykh obrazovaniy almazoperspektivnykh territoriy [On the geochemical features of formations of different ages in diamond-promising territories], Otechestvennaya geologiya, 2023, No. 1, pp. 42–55. (In Russ.)
14. *Zinchuk N. N.* Ob osobennostyakh flyuidnykh i gidrotermal'nykh vklyucheniy v nekotorykh mineralakh kimberlitov [On the features of fluid and hydrothermal inclusions in some kimberlite minerals], Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii. Nauchnyye chteniya pamyati P. N. Chirvinskogo, Perm, PGNU publ., 2023, Is. 26, pp. 45–64. (In Russ.)
15. *Zinchuk N. N.* Osobennosti almazonosnosti raznykh faz vnedreniya kimberlitov [Features of diamond potential of different phases of kimberlite intrusion], Otechestvennaya geologiya, 2017, No. 1, pp. 105–111. (In Russ.)
16. *Zinchuk N. N.* Osobennosti gidrotermal'nogo i gipergennogo izmeneniya slyudistykh kimberlitov [Features of hydrothermal and supergene alteration of mica kimberlites], Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya, 2023, V. 22, No. 1, pp. 32–50. (In Russ.)
17. *Zinchuk N. N.* Osobennosti kal'tsita iz kimberlitovykh porod [Features of calcite from kimberlite rocks], Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya, 2023, No. 2, pp. 28–43. (In Russ.)
18. *Zinchuk N. N.* Osobennosti mineralov slyud v kimberlitakh [Features of micas minerals in kimberlites]. Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya, 2018, No. 2, pp. 29–39. (In Russ.)
19. *Zinchuk N. N.* Osobennosti petrograficheskogo izucheniya kimberlitovykh porod [Peculiarities of petrographic study of kimberlite rocks], Otechestvennaya geologiya. 2022, No. 4, pp. 34–49. (In Russ.)
20. *Zinchuk N. N.* Osobennosti serpentinizatsii kimberlitovykh porod [Features of serpentinization of kimberlite rocks], Vestnik Voronezhskogo un-ta. Geologiya, 2017, No. 3, pp. 66–74. (In Russ.)
21. *Zinchuk N. N.* Osobennosti sostava i raspredeleniya slyudistykh obrazovaniy v kimberlitovykh porodakh Yakutii [Features of the composition and distribution of mica formations in kimberlite rocks of Yakutia], Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka, 1991, No. 7, pp. 58–66. (In Russ.)
22. *Zinchuk N. N.* Rol' petrologo-mineralogicheskikh i geokhimicheskikh issledovaniy v otsenke potentsial'noy almazonosnosti kimberlitov [The role of petrological, mineralogical and geochemical studies in assessing the potential diamond content of kimberlites]. Otechestvennaya geologiya, 2022, No. 1, pp. 36–47. (In Russ.)
23. *Zinchuk N. N.* Sul'faty v kimberlitovykh porodakh [Sulfates in kimberlite rocks], Otechestvennaya geologiya, 2023, No. 2, pp. 56–72. (In Russ.)

24. *Zinchuk N. N.* Tipomorfnyye svoystva indikatornykh mineralov kimberlitov i ikh ispol'zovaniye pri prognozirovanii mestorozhdeniy almaza na Sibirskoy platforme [Typomorphic properties of kimberlite indicator minerals and their use in predicting diamond deposits on the Siberian platform]. Otechestvennaya geologiya, 2021, No. 2, pp. 41–56. (In Russ.)
25. *Zinchuk N. N., Afanas'yev V. P.* Geneticheskiye tipy i osnovnyye zakonomernosti formirovaniya almazonosnykh rossypey [Genetic types and main patterns of formation of diamond placers]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka, 1998, No. 2, pp. 66–71. (In Russ.)
26. *Zinchuk N. N., Zinchuk M. N.* O spetsifike termobaricheskikh faktorov orudeneniya [On the specifics of thermobaric factors of mineralization], Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii. Nauchnyye chteniya pamyati P. N. Chirvinskogo, Perm, PGNU publ., 2023, Is. 26, pp. 65–86. (In Russ.)
27. *Zinchuk N. N., Zuyev V. M., Koptil' V. I., Chornyy S. D.* Strategiya vedeniya i rezul'taty almazopoiskovykh rabot [The strategy of conducting and results of diamond prospecting]. Gornyy vestnik, 1997, No. 3, pp. 53–57. (In Russ.)
28. *Zinchuk N. N., Koptil' V. I.* Sravnitel'nyye osobennosti almazov iz korennykh istochnikov s vysokoy plotnost'yu raspolozheniya kimberlitovykh tel [Comparative features of diamonds from primary sources with a high density of kimberlite bodies], Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka, 2023, No. 1 (65), pp. 28–42. (In Russ.)
29. *Zinchuk N. N., Mel'nik Yu. M., Serenko V. P.* Apokimberlitovyye porody [Apokimberlite rocks]. Geologiya i geofizika, 1987, No. 10, pp. 66–72. (In Russ.)
30. *Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N.* Ob anomalii obshchey skhemy preobrazovaniya razbukhayushchikh glinistykh mineralov pri pogruzhenii soderzhashchikh ikh otlozheniy v stratisferu [On the anomaly of the general scheme of transformation of swelling clay minerals during the immersion of sediments containing them into the stratisphere]. Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Seriya geologiya, 2003, No. 2, pp. 57–68. (In Russ.)
31. *Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N.* Osobennosti glinistykh mineralov v otlozheniyakh razlichnykh osadochnykh formatsiy [Peculiarities of clay minerals in deposits of various sedimentary formations]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka, 1997, No. 2, pp. 53–63. (In Russ.)
32. *Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N.* Tipomorfnyye osobennosti i paleogeograficheskoye znacheniye slyudistykh mineralov [Typomorphic features and paleogeographical significance of micaceous minerals]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka, 1996, No. 1, pp. 53–61. (In Russ.)
33. *Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N.* Usloviya nakopleniya i postsedimentatsionnogo preobrazovaniya glinistykh mineralov v osadochnom chekhle zemnoy kory [Conditions of accumulation and post-sedimentary transformation of clay minerals in the sedimentary cover of the earth's crust]. Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya, 2001, No. 12, pp. 45–51. (In Russ.)
34. *Matsyuk S. S., Zinchuk N. N.* Opticheskaya spektroskopiya mineralov verkhney mantii [Optical spectroscopy of minerals of the upper mantle], Moscow, Nedra, 2001, 428 p. (In Russ.)
35. *Savko A. D., Shevyrev L. T., Zinchuk N. N.* Epokhi moshchnogo koroobrazovaniya v istorii Zemli [Epochs of powerful crust formation in the history of the Earth], Voronezh, VGU publ., 1999, 102 p. (In Russ.)
36. *Khar'kiv A.D., Zuyenko V.V., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I., Ukhanov A.V., Bogatykh M. M.* (In Russ.) Petrokhimiya kimberlitov [Petrochemistry of kimberlites]. Moscow, Nedra, 1991, 304 p. (In Russ.)
37. *Khitrov V. G., Zinchuk N. N., Kotel'nikov D. D.* Primeneniye klaster-analiza dlya vyyasneniya zakonomernostey vyvetrivaniya porod razlichnogo sostava [Application of cluster analysis to elucidate the patterns of weathering of rocks of various compositions]. Doklady AN SSSR, 1987, V. 296, No. 5, pp. 1228–1233. (In Russ.)
38. *Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Griffin V. L.* et al. Diamond prospects in the Southwestern plankt of the Tungusk Sineklise , Geology of ore Deposits, 2005, V. 47, No. 1, pp. 45–62.
39. *Grachanov S. A., Zinchuk N. N., Sobolev N. V.* The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Sibirian platform, Doklady Earth Sciences, 2015, V. 465, No. 2, pp. 1297–1301.
40. *Serov I. V., Garanin V. K., Zinchuk N. N., Rotman A. Ya.* Mantle Sources of the kimberlite Vorcanism of the Sibirian Platform, Petrology, 2001, V. 9, No. 6, pp. 576–588.

Статья поступила в редакцию 20.08.23; одобрена после рецензирования 02.10.23; принята к публикации 12.10.23.
The article was submitted 20.08.23; approved after reviewing 02.10.23; accepted for publication 12.10.23.

DOI:10.47765/0869-7175-2023-10031
УДК 92:553

Рыцарь рудной геологии. К 90-летию со дня рождения А. И. Кривцова

В 2023 г. в ЦНИГРИ подготовлена к изданию книга о жизни и работе известного исследователя рудных месторождений А. И. Кривцова, учёного и организатора науки, внёсшего значительный вклад в развитие отечественной геологоразведочной отрасли. В настоящей статье частично представлены материалы биографического очерка из книги «Рыцарь рудной геологии Анатолий Кривцов». Авторы рассмотрели наиболее крупные научно-прикладные проекты общеотраслевого значения, задуманные А. И. Кривцовым в 1980-е гг. и успешно реализованные им вместе с сотрудниками ЦНИГРИ в постсоветское время.

Ключевые слова: прогнозно-поисковые комплексы, геолого-поисковые модели, минерально-сырьевая безопасность России.

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

БЕНЕВОЛЬСКИЙ БОРИС ИГОРЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук

СИДОРОВА ЕВГЕНИЯ ВИКТОРОВНА, кандидат биологических наук, научный сотрудник, sidorova@tsnigri.ru

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

The Knight of Ore Geology: 90th Anniversary of A. I. Krivtsov

I. F. MIGACHEV, B. I. BENEVOLSKY, E. V. SIDOROVA

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

In 2023, FSBI “TsNIGRI” prepared for the publication a book on the life and work of the famous researcher of ore deposits A. I. Krivtsov. He is widely known as a scientist and organizer of science, who made a significant contribution to the development of the national geological exploration industry. This article partially presents materials of a biographical sketch from the book “The Knight of Ore Geology Anatoly Krivtsov.” The authors consider the scientific and applied projects of the most significance for the entire geological industry, conceived by A. I. Krivtsov in the 1980s and successfully implemented by him together with the staff of TsNIGRI in the post-Soviet period.

Key words: forecasting and prospecting complexes, geological prospecting models, mineral resource security of Russia.

Доктор геолого-минералогических наук, профессор Анатолий Иванович Кривцов (1933–2010) вошёл в историю отечественной геологии как автор оригинальных исследований, ориентированных на внедрение научных разработок в геологоразведочную практику, и организатор общеотраслевых проектов в СССР и Российской Федерации. Разумеется, в небольшой статье невозможно охватить все направления его масштабной работы. Авторы видят свою задачу в том, чтобы в год 90-летия со дня рождения А. И. Кривцова напомнить читателям журнала «Отечественная геология» о наиболее значимых результатах его деятельности, имеющих непреходящее значение в прикладной сфере.

В 1981 г. А. И. Кривцов был назначен заместителем директора ЦНИГРИ по научно-исследовательской работе и вскоре поставил перед коллективом нетривиальную задачу. Он считал, что пришло время не просто для обобщения накопленных научных данных, но для их синтеза в целях разработки качественно нового методического подхода к геологоразведочным работам. Итогом полувековых исследований института, учреждённого в 1935 г. для создания научного фундамента поисков и разведки месторождений благородных металлов, затем расширившего сферу деятельности и отвечавшего за наращивание минерально-сырьевой базы цветных металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кобальта) и алмазов, стали детальные материалы, которые благодаря идее А. И. Кривцова действительно позволили специалистам усовершенствовать методические основы проведения геологоразведочных работ. Он предложил универсальный подход к анализу данных о месторождении – алгоритм, принятый сегодня абсолютным большинством специалистов. Речь идёт о многофакторных моделях месторождений и основанных на них прогнозно-поисковых комплексах (ППК). Начало нового этапа в истории ЦНИГРИ, а затем и всей геологоразведочной отрасли СССР ознаменовал выход в 1983 г. монографий «Методы поисков скрытых меднорудных месторождений» [11] и «Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений» [4], в которых были предложены первые многофакторные модели медно-порфировых месторождений и основанные на них ППК.

Благодаря титаническим усилиям А. И. Кривцова ППК внедрены в практику геологоразведочных работ. Сегодня каждый грамотный геолог отлично знает: ППК представляют собой технологические схемы реализации геологоразведочного процесса – от прогноза металлогенических провинций, зон и районов до оценки локальных перспективных участков. При этом элементами геолого-поисковых (прогнозных) моделей разноранговых рудно-металлогенических категорий становятся поисковые или оценочные критерии и признаки. Такие модели, создаваемые для определённых геолого-промышленных или рудно-формационных типов месторождений твёрдых полезных ископаемых, являются научной основой ППК. Каждый элемент модели на определённой стадии геологоразведочных работ надёжно опознаётся одним из аналитических методов или их сочетанием. Элементы обобщённых, в определённой мере идеализированных моделей в зависимости от геологической обстановки нахождения объекта необходимо конкретизировать в составе региональных поисковых моделей.

В книге «Прикладная металлогения» [6], предназначенной для обучения молодых геологов-рудников, А. И. Кривцов отмечал: «Оптимальные прогнозно-поисковые комплексы должны базироваться на современных достижениях в изучении строения месторождений и закономерностей их размещения в области региональной и специальной металлогении и теории рудогенеза, что в сумме составляет геолого-генетические основы прогноза и поисков». Иными словами, геолог-практик должен постоянно поддерживать свой образовательный уровень, обращаться к классической литературе и современной научной периодике. Он придавал большое значение подготовке новой генерации специалистов, способных воспринять прогрессивные методы работы в рудной геологии. С 1977 г. А. И. Кривцов преподавал в МГРИ имени Серго Орджоникидзе – вёл лекционные курсы «Геология полезных ископаемых» и «Металлогения».

Первые прогнозно-поисковые модели месторождений были разработаны в ЦНИГРИ в начале 1980-х гг., тогда же вышли пионерные публикации, вызвавшие большой интерес и на первых порах неоднозначное отношение коллег [5, 10]. Примечательно, что статья «Система “прогноз – поиски – оценка” для месторождений цветных металлов» в журнале «Советская геология» [7] написана совместно с высокопоставленным сотрудником Министерства базовой промышленности Республики Куба. А на презентацию проекта – лекционного курса в ЦНИГРИ, организованного в 1984 г. в рамках XXVII сессии Международного геологического конгресса в Москве, – собрались министры Республики Куба, Вьетнама, Польши, Болгарии. Чехословакии, других стран СЭВ. Это был момент, когда Анатолия Ивановича Кривцова пригласили возглавить Управление научно-исследовательских организаций в Министерстве Геологии СССР, он принял предложение и в дальнейшем проект ППК обрёл иной масштаб. Как сказано в совместной статье министра геологии СССР Е. А. Козловского и А. И. Кривцова «Моделирование рудных месторождений: направления и задачи», аналогичный процесс шёл и в геологоразведочной отрасли западных стран: «В США и Канаде в последние годы интенсифицированы разработки классификационно-признаковых и геолого-генетических моделей с прогнозно-поисковой направленностью…» [3].

Методический подход к прогнозу и поискам рудных месторождений, предложенный А. И. Кривцовым, состоит в последовательном выделении перспективных площадей разного ранга (металлогенических зон, рудных районов, рудных полей, перспективных участков) с привлечением формационных основ специальной металлогении. Потенциальные рудные районы, рудные поля и перспективные участки выделяют по совокупности признаков, набор которых определяется принадлежностью месторождения к тому или иному геолого-промышленному типу и зависит от геологического строения изучаемых площадей. Далее исследователь формирует прогнозно-поисковый комплекс, решая при этом следующие четыре задачи: *создаёт* геологическую модель, *разделяет* её признаки-характеристики на необходимые и дополнительные, *оценивает* опознаваемость объекта прогноза и поисков по отдельным признакам и их сочетаниям, *оценивает* выявляемость признаков объекта различными методами (их сочетаниями), применяемыми в регионе или известными в геологоразведочной практике.

В реальной работе возникают разные сложности. Например, ряд признаков теряет информативность в неблагоприятных поисковых обстановках, некоторые объекты могут быть опознаны одним признаком или комплексом признаков, наконец, может оказаться, что установленных признаков недостаточно. В подобных случаях исследователю придётся доработать геологическую модель объекта. А затем ему предстоит оценить, какие методы оптимальны для выявления признаков, позволяющих надёжно опознавать объект. На этом этапе геолог должен оптимизировать набор своих аналитических методов, необходимых для решения задачи на соответствующей стадии поисковых или геологоразведочных работ. А. И. Кривцов уже в середине 1980-х гг. указывал, что такую оптимизацию можно проводить не только на экспертном уровне, но и с применением искусственного интеллекта. Он отмечал, что методы, привлечённые на ранних стадиях поисков, могут позволить решить задачи последующих стадий [7].

В каких районах можно использовать технологию ППК? На этот вопрос А. И. Кривцов отвечал: «Реализации ППК… предшествует анализ состояния и поисковой изученности соответствующих территорий. Для этого составляются специализированные карты, отражающие ранее выявленные признаки объектов разного ранга…» [7]. В вышеупомянутой статье 1985 г., написанной по результатам сотрудничества с кубинскими геологами, сказано, что опыт применения ППК в Республике Куба доказывает: эта технология снижает государственные затраты на поисковые и геологоразведочные работы, поскольку появляется возможность рационального распределения геологических кадров, оборудования, средств. Кубинцы использовали новый подход при составлении долгосрочной программы геологоразведочных работ для развития минерально-сырьевой базы своей страны [7]. Ещё не завершилась эпоха, когда целевое планирование было основой экономической модели стран социалистического лагеря.

Первые ППК сформировали в ЦНИГРИ для геолого-промышленных типов месторождений меди, полиметаллов, никеля, золота и алмазов. Затем были разработаны ППК для других рудных полезных ископаемых – урана, молибдена, флюорита (ВИМС), почти всего спектра нерудных полезных ископаемых (ЦНИИГеолнеруд). А. И. Кривцов, в 1984–1991 гг. работавший в министерстве геологии СССР, организовал большую кампанию по внедрению ППК в практику проведения геологоразведочных работ. Благодаря настойчивости начальника отдела научно-технического прогресса Мингео СССР А. И. Кривцова на рубеже 1980–1990-х гг. вышли многочисленные публикации на эту тему, институты снабжали территориальные геологические организации соответствующими методическими документами и проводили семинары и обсуждения. В итоге разработанные ППК и созданные на их основе «Требования к результатам и качеству геологоразведочных работ» утвердили в Мингео СССР в качестве методических документов. Авторы – А. И. Кривцов, И. Ф. Мигачёв, А. Г. Волчков, О. В. Минина, В. М. Яновский, М. М. Константинов и Р. Н. Володин – в 1987 г. стали лауреатами премии Министерства геологии СССР.

Надо сказать, что большинство научных трудов Анатолия Ивановича Кривцова посвящены разработке и совершенствованию научно-методических и геолого-генетических основ прогноза, поисков и оценки месторождений твёрдых полезных ископаемых. Таким образом, он создавал фундамент для системы управления геологоразведочной отраслью, главная задача которой – развитие минерально-сырьевой базы страны.

После упразднения 1 декабря 1991 г. Министерства геологии СССР[1] Анатолий Иванович Кривцов вернулся в ЦНИГРИ. Казалось, что нужно полностью перестраивать ритм жизни. В те дни он признался своему ближайшему соратнику: «Я чувствую, что остановился». Однако очень скоро заместитель директора ЦНИГРИ по научно-исследовательской работе А. И. Кривцов и его коллеги начали реализацию ряда прорывных проектов, которые помогли институту развиваться даже в период фатального сокращения финансирования 1990-х гг. Годы на рубеже XX и XXI вв. стали для Анатолия Ивановича Кривцова и его коллег в ЦНИГРИ очень продуктивными. Итоги подведены в виде нескольких серий книг, изданных в ЦНИГРИ: «Модели месторождений благородных и цветных металлов», «Модели месторождений алмазов», «Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов» [1, 2, 8, 9 и др.]. По инициативе Анатолия Ивановича выходили различные методические руководства по широкому спектру исследований института, была издана серия монографий по методике разномасштабного прогнозирования, поискам и разведке месторождений цветных, благородных металлов и алмазов. В первое десятилетие XXI в. ЦНИГРИ стал лидером в создании методических разработок, направленных на успешное ведение геологоразведочных работ на твёрдые полезные ископаемые. Не случайно в 2001 г. именно этому институту на государственном уровне было поручено возглавить организацию научно-методического обеспечения и сопровождения геологоразведочных работ на ТПИ, выполняемых за счёт средств федерального бюджета.

Одновременно с исследованиями, начатыми А. И. Кривцовым в ЦНИГРИ ещё до работы в Мингео СССР и продолженными им по возвращении в институт, в его жизни началась новая работа, которая захватила его и расширила горизонты. Речь идёт об экспертном анализе геолого-экономической ситуации, возникшей в определённом историческом периоде. В изменившихся экономических условиях начался неумолимый спад производства даже в тех отраслях, где лидирующее положение России в мире было бесспорным. Внутреннее потребление минерального сырья в последнем десятилетии XX в. снизилось в 1,2–2,4 раза по энергетическим ресурсам и до 10 раз по цветным и редким металлам. Это сказывалось на состоянии горнодобывающей промышленности страны. Поэтому в конце 1990-х гг. по инициативе Правительства РФ была создана рабочая группа экспертов, которой предстояло провести всесторонний анализ ситуации в отрасли и подготовить документы по вопросу «О сырьевой безопасности России в XXI веке» для Межведомственной комиссии Совета Безопасности РФ по безопасности в сфере экономики [13]. А. И. Кривцова и авторов настоящей статьи Б. И. Беневольского, И. Ф. Мигачёва пригласили войти в состав этой экспертной группы.

В своей работе Анатолий Иванович и его коллеги учитывали, что минерально-сырьевая база России унаследовала диспропорции и проблемы советского времени и оказалась дефицитной по ряду полезных ископаемых и масштабам запасов некоторых стратегических металлов. Кроме того, обострились диспропорции между географо-экономическим размещением объектов сырьевой базы, инфраструктурой, производительными силами и производственными мощностями. Эксплуатируемые месторождения ряда полезных ископаемых были отрезаны от завершающей металлургической стадии технологических циклов, как и ряд предприятий российской металлургии

[1] 1 декабря 1991 г. имущество, предприятия и организации Министерства геологии СССР переданы Министерству экологии и природных ресурсов РСФСР. 26 декабря 1991 г. Совет Республик Верховного Совета СССР принял декларацию о прекращении существования СССР.

от горнодобывающих производств в бывших республиках СССР. При этом эксперты считали, что важно создавать государственные (федеральные) запасы минерального сырья буферного, экспортного и иного назначения с учётом вхождения России в мировой рынок и развития внутреннего рынка сырья, так как это позволит сохранять фундаментальное значение минерально-сырьевого комплекса для экономики страны. Кроме того, специалисты отметили: «в современных экономических условиях в России с особой остротой встала проблема воссоздания стратегических запасов… к числу стратегически важного минерального сырья отнесены топливно-энергетические ресурсы, благородные металлы, руды цветных и редких металлов и неметаллов, используемые при производстве специальных сплавов в военной технике и новейших технологических процессах» [12]. Они обратили внимание Межведомственной комиссии Совета Безопасности РФ на то, что «на протяжении последних 10 лет, часть из которых пришлась на период бартерно-вексельной экономики и необязательного исполнения требований закона “О недрах” в части целевого использования отчислений на воспроизводство МСБ, был утрачен контроль над уровнями прироста запасов, созданием новых ресурсных возможностей в традиционно добывающих и новых районах по всем видам полезных ископаемых».

А. И. Кривцов был последовательным сторонником введения в государственную экономическую политику чётких установок о влиянии результатов работы горного сектора на показатели экономической и национальной безопасности. В материалах рабочей группы, в которой он в часто играл лидирующую роль, отмечено: «Высокий уровень потребления полезных ископаемых является материальной основой экономики и национальной безопасности ведущих государств мира, поэтому определяющим фактором здесь становится стратегия развития горного дела в стране. Горный сектор экономики включает в себя широкий набор отраслей промышленности и научных сфер – геологическую оценку ресурсов, разведку, извлечение полезных ископаемых, восстановление ландшафта, обогащение, использование отходов, переработку полезных ископаемых, использование энергии, химикатов, вторичное использование материалов, реализацию продукции на мировом рынке» [12]. Анатолия Ивановича удручала мысль о том, что Россия может уподобиться странам, которые, обладая горной промышленностью, минерально-сырьевыми ресурсами, не могут сами обеспечить их разработку и переработку и вынуждены отдавать эту сферу деятельности иностранным компаниям, становясь сырьевым придатком экономически развитых стран.

В период подготовки «Доктрины минерально-сырьевого обеспечения устойчивого социально-экономического развития России» и «Концепции обеспечения минерально-сырьевой безопасности России в условиях глобализации в XXI веке» А. И. Кривцов и его соавторы отчётливо показали геополитические аспекты национальной минерально-сырьевой безопасности России. Геологи, отдавшие повышению благосостояния страны годы жизни, напомнили: экономическое развитие многих окраинных районов страны произошло за счёт добычи полезных ископаемых, в первую очередь, россыпного золота. И вновь процитируем здесь материалы рабочей группы с участием А. И. Кривцова: «Материально-техническое и энергетическое обеспечение таких районов, преимущественно северных, осуществлялось перевозками “Главсевморпути”. Этими мероприятиями обеспечивалось национальное присутствие РФ на огромных малонаселённых территориях. В связи с закрытием горнодобывающих предприятий миграция населения из таких районов не только усилила социальную напряжённость в ряде субъектов РФ, но и создала предпосылки для возможных внешних территориальных экспансий (в любых формах)…» [12].

Основной вывод аналитической записки, представленной А. И. Кривцовым и его коллегами в Совет Безопасности РФ в 2001 г., состоял в следующем: в ближайшем десятилетии не существует альтернативы эффективному использованию сырьевых ресурсов, внедрению высоких технологий их переработки и использования, которые повысят экспортную стоимость сырья недр; нет разумной альтернативы направлению дополнительных доходов ресурсного сектора на воспроизводство запасов и подъём отечественного машиностроения, без которого невозможна реализация программ изучения и освоения недр на мировом уровне. Эти выводы были учтены в «Основах государственной политики в области использования минерального сырья и недропользования», утверждённых Распоряжением Правительства 494-р от 21.04.2003 г.

В дальнейшем А. И. Кривцов неоднократно выступал в качестве эксперта по ряду законодательных актов Государственной Думы РФ. Он был лидером авторского коллектива Долгосрочной Государственной программы изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы России на основе баланса потребления и воспроизводства минерального сырья (2006). В 2007 г. Анатолий Иванович Кривцов удостоен премии Правительства РФ в области науки и техники за научное обоснование, создание и реализацию системы прогноза и воспроизводства минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов, а в 2010 г. награждён Почётной грамотой Президента Российской Федерации.

Каждое утро доктор геолого-минералогических наук Анатолий Иванович Кривцов записывал задачи, которые ему необходимо решить в течение дня, ежедневно фиксировал краткие выводы по итогам совещаний, конспектировал содержание деловых переговоров – такую практику он завёл ещё во время работы в Мингео СССР. Его записные книжки – отражение стремительной жизни человека, который не привык отдыхать… Даже собственное нездоровье Анатолий Иванович не считал причиной для снижения темпа в работе. Впереди всегда была цель – завершение очередного проекта, направленного на преодоление трудно решаемых проблем отечественной рудной геологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беневольский Б. И., Блинова Е. В., Бражник А. В., Кривцов А. И.* и др. Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов : Методическое руководство. Выпуск «Золото». – М. : ЦНИГРИ, 2002. – 182 с.
2. *Варгунина Н. П., Константинов М. М., Косовец Т. Н.* и др. Золото-серебряные месторождения. (Серия «Модели месторождений благородных и цветных металлов») / Под ред. А. И. Кривцова. – М. : ЦНИГРИ, 2000. – 239 с.
3. *Козловский Е. А., Кривцов А. И.* Моделирование рудных месторождений : направления и задачи // Советская геология. – 1988. – № 3. – С. 3–8.
4. *Кривцов А. И.* Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. – М. : Недра, 1983. – 256 с.
5. *Кривцов А. И.* Методологические основы локального прогноза рудных месторождений // Советская геология. – 1987. – № 9. – С. 12–19.
6. *Кривцов А. И.* Прикладная металлогения. – М. : Недра, 1989. – 286 с.
7. *Кривцов А. И., Волчков А. Г., Мигачёв И. Ф., Минина О. В., Отон Х.* Система «прогноз – поиски – оценка» для месторождений цветных металлов // Советская геология. – 1985. – № 11. – С. 14–19.
8. *Кривцов А. И., Звездов В. С., Мигачев И. Ф., Минина О. В.* Медно-порфировые месторождения (Серия «Модели месторождений благородных и цветных металлов») / Под ред. А. И. Кривцова. – М. : ЦНИГРИ, 2001. – 232 с.
9. *Кривцов А. И., Минина О. В., Волчков А. Г.* и др. Месторождения колчеданного семейства (Серия «Модели месторождений благородных и цветных металлов») / Под ред. А. И. Кривцова. – М. : ЦНИГРИ, 2002. – 282 с.
10. *Кривцов А. И., Нарсеев В. А.* Геологоразведочный процесс и прогнозно-поисковые комплексы // Советская геология. – 1983. – № 1. – С. 17–27.
11. *Методы* поисков скрытых меднорудных месторождений / Отв. ред. А. И. Кривцов, А. Г. Волчков // Труды ЦНИГРИ. – Вып. 186. – М. : ЦНИГРИ, 1983. – 123 с.
12. *О сырьевой* безопасности России в XXI веке (материалы к «Концепции обеспечения минерально-сырьевой безопасности России в условиях глобализации»). – М. : Министерство природных ресурсов Российской Федерации 2002. – 78 с.
13. *Решение* Совета Безопасности Российской Федерации от 28 марта 2001 г. «О сырьевой безопасности России в XXI веке». [Электронный ресурс]. – URL: http://www.scrf.gov.ru. Дата обращения 19.12.2023.

REFERENCES

1. *Benevol'skiy B. I., Blinova Ye. V., Brazhnik A. V., Krivtsov A. I.* et al. Otsenka prognoznykh resursov almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov: Metodicheskoye rukovodstvo. Vypusk "Zoloto" [Estimation of predicted resources of diamonds, precious and non-ferrous metals: Methodological guidance. Issue "Gold"], Moscow, TsNIGRI publ., 2002, 182 p. (In Russ.)
2. *Vargunina N. P., Konstantinov M. M., Kosovets T. N.* et al. Zoloto-serebryanyye mestorozhdeniya. (Seriya "Modeli mestorozhdeniy blagorodnykh i tsvetnykh

metallov”) [Gold-silver deposits. (Series “Models of deposits of precious and non-ferrous metals”)], Ed. A. I. Krivtsov, Moscow, TsNIGRI publ., 2000, 239 p. (In Russ.)
3. *Kozlovskiy Ye. A., Krivtsov A. I.* Modelirovaniye rudnykh mestorozhdeniy: napravleniya i zadachi [Modeling of ore deposits: directions and tasks], Sovetskaya geologiya, 1988, No. 3, pp. 3–8. (In Russ.)
4. *Krivtsov A. I.* Geologicheskiye osnovy prognozirovaniya i poiskov medno-porfirovykh mestorozhdeniy [Geological principles of forecasting and searching for porphyry copper deposits], Moscow, Nedra publ., 1983, 256 p. (In Russ.)
5. *Krivtsov A. I.* Metodologicheskiye osnovy lokal’nogo prognoza rudnykh mestorozhdeniy [Methodological foundations of local forecast of ore deposits], Sovetskaya geologiya, 1987, No. 9, pp. 12–19. (In Russ.)
6. *Krivtsov A. I.* Prikladnaya metallogeniya [Applied metallogeny], Moscow, Nedra publ., 1989, 286 p. (In Russ.)
7. *Krivtsov A. I., Volchkov A. G., Migachov I. F., Minina O. V., Oton Kh.* Sistema “prognoz – poiski – otsenka” dlya mestorozhdeniy tsvetnykh metallov [“Forecast – search – assessment” system for non-ferrous metal deposits], Sovetskaya geologiya, 1985, No. 11, pp. 14–19. (In Russ.)
8. *Krivtsov A. I., Zvezdov V. S., Migachev I. F., Minina O. V.* Medno-porfirovyye mestorozhdeniya (Seriya “Modeli mestorozhdeniy blagorodnykh i tsvetnykh metallov”) [Porphyry copper deposits (Series “Models of deposits of noble and non-ferrous metals”)], Ed. A. I. Krivtsov, Moscow, TsNIGRI publ., 2001, 232 p. (In Russ.)
9. *Krivtsov A. I., Minina O. V., Volchkov A. G.* et al. Mestorozhdeniya kolchedannogo semeystva (Seriya “Modeli mestorozhdeniy blagorodnykh i tsvetnykh metallov”) [Deposits of the pyrite family (Series “Models of deposits of precious and non-ferrous metals”)], Ed. A. I. Krivtsov, Moscow, TsNIGRI publ., 2002, 282 p. (In Russ.)
10. *Krivtsov A. I., Narseyev V. A.* Geologorazvedochnyy protsess i prognozno-poiskovyye kompleksy [Geological exploration process and forecasting and search complexes], Sovetskaya geologiya, 1983, No. 1, pp. 17–27. (In Russ.)
11. *Metody* poiskov skrytykh mednorudnykh mestorozhdeniy [Methods for searching for hidden copper ore deposits], Ed. A. I. Krivtsov, A. G. Volchkov, Trudy TsNIGRI, Is. 186, Moscow, TsNIGRI publ., 1983, 123 p. (In Russ.)
12. *O syr’yevoy* bezopasnosti Rossii v XXI veke (materialy k “Kontseptsii obespecheniya mineral’no-syr’yevoy bezopasnosti Rossii v usloviyakh globalizatsii”) [On the resource security of Russia in the 21st century (materials for the “Concept of ensuring the mineral resource security of Russia in the context of globalization”)], Moscow, Ministry of Natural Resources of the Russian Federation publ., 2002, 78 p. (In Russ.)
13. *Resheniye* Soveta Bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii ot 28 marta 2001 g. “O syr’yevoy bezopasnosti Rossii v XXI veke” [Decision of the Security Council of the Russian Federation of March 28, 2001 “On the raw material security of Russia in the 21st century”], available at: http:,www.scrf.gov.ru (19.12.2023)

Статья поступила в редакцию 30.11.23; одобрена после рецензирования 10.12.23; принята к публикации 12.12.23.
The article was submitted 30.11.23; approved after reviewing 10.12.23; accepted for publication 12.12.23.

DOI:10.47765/0869-7175-2023-10032

УДК 92:553.068

К 110-летию со дня рождения академика Николая Алексеевича Шило

В статье освящены основные этапы работы Николая Алексеевича Шило, создателя современного учения о россыпных месторождениях и крупного организатора российской науки, внёсшего значительный вклад в развитие минерально-сырьевой базы СССР и России, а также в становление и дальнейшее развитие Дальневосточного отделения Академии Наук.

Ключевые слова: россыпи, учение о россыпях, золото, серебро, олово, вольфрам, золоторудные месторождения, Колыма.

ЛАЛОМОВ АЛЕКСАНДР ВАЛЕРИАНОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, lalomov@mail.ru

ЧЕФРАНОВ РОМАН МИХАЙЛОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, roman_chefr@bk.ru

ЧЕФРАНОВА АННА ВИКТОРОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, achefra@mail.ru

БОЧНЕВА АННА АЛЕКСАНДРОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, bochneva@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), г. Москва

To the 110th anniversary of the birth of academician Nikolai Alekseevich Shilo

A. V. LALOMOV, R. M. CHEFRANOV, A. V. CHEFRANOVA, A. A. BOCHNEVA

Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), Moscow

The article covers the main stages of the work of Nikolai Alekseevich Shilo, the creator of the modern doctrine of placer deposits and a major organizer of Russian science, who made a significant contribution to the development of the mineral resource base of the USSR and Russia, as well as to the formation and further development of the Far Eastern Branch of the Academy of Sciences.

Key words: placers, placer theory, gold, silver, tin, tungsten, gold deposits, Kolyma.

7 апреля 2023 г. исполнилось 110 лет со дня рождения академика Николая Алексеевича Шило – создателя современного учения о россыпных месторождениях и крупного организатора российской науки.

Следует признать, что в одном кратком очерке невозможно охватить все стороны крайне насыщенной биографии и достижений Николая Алексеевича, академика РАН, Героя Социалистического труда, лауреата Государственной премии СССР, трёх орденов Ленина, двух орденов «Трудового Красного Знамени», ордена «Знак Почета» и множества других наград. В одной статье затруднительно даже кратко изложить его многогранные научные интересы и достижения, этапы и перипетии жизненного пути, приведшие выходца из крестьянской семьи, родившегося на подступах эпохальных исторических событий XX века («веке, который мною прожит насквозь» [4]), в элиту российской и мировой науки, научно-организационную и общественную деятельность. Попытаемся лишь наметить основные вехи формирования этого незаурядного, не просто Учёного, обладающего поистине энциклопедическим кругозором и поражающей воображение широтой интересов, простирающихся от космогонических проблем до вопросов современной экономики, а выдающегося Организатора Науки [2].

Академик Николай Алексеевич Шило (07.04.1913–08.06.2008)

Главными чертами характера Николая Алексеевича, предопределившими всю его судьбу, были цепкий природный ум, врождённая интуиция, неистребимая жажда знаний, настойчивость в достижении поставленных целей, исключительная коммуникабельность и здоровое честолюбие. Всё это вместе взятое и сформировало его всегда неординарный подход к решению всех тех научных, организационных, да и просто житейских проблем, которыми столь богата его биография [2].

7 апреля 1913 года в Ново-Пятигорске в многодетной крестьянской семье в пасхальное воскресение в хлеву, «в необычной обстановке даже для того патриархального времени» [4] родился будущий академик Н. А. Шило. Вследствие трудного времени, на которое пришлось его детство, постоянной занятости членов семьи Николай Алексеевич с самого детства «приобретал самостоятельность» [4]. В школу поступил уже в одиннадцать лет, причём буквально с боем прорвался во второй класс семилетней школы [2]. Учёбу приходилось совмещать с постоянными делами по хозяйству.

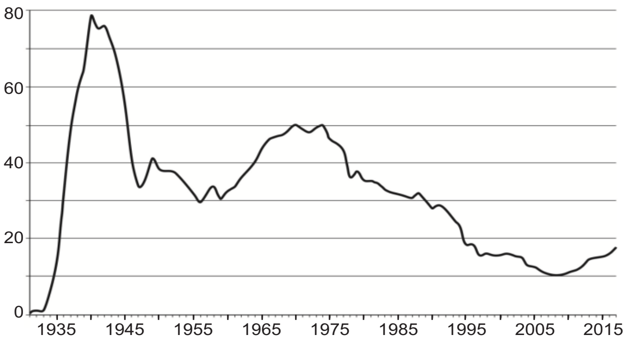
После окончания школы Николай Алексеевич уехал в Грозный на строительство нефтепровода «Грозный–Туапсе». Затем поступил на второй курс рабочего факультета при Грозненском нефтяном институте, также проявив железную настойчивость, написав письмо И. В. Сталину, когда его не захотели принимать из-за нехватки рабочего стажа. После его окончания в 1932 г. Н. А. Шило отправился в Ленинград, где, работая слесарем в тракторостроительном цехе Кировского завода, подготовился к поступлению в высшее учебное заведение. Выдержав конкурс 40 человек на одно место, поступил на геологоразведочный факультет Ленинградского горного института. Здесь он прослушал курсы лекций у таких корифеев, как Д. И. Мушкетов, Н. С. Курнаков, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, А. Н. Заварицкий, Б. И. Бокий, П. М. Татаринов, А. К. Болдырев, А. Г. Бетехтин, С. С. Смирнов, Ю. А. Билибин (с последними пятью в дальнейшем он тесно сотрудничал, будучи на Колыме). После производственных практик на Урале, в Казахстане и Ленинградской области Николай Алексеевич с блеском защитил дипломную работу, после чего по совету Ю. А. Билибина заключил договор с «Дальстроем» и отправился работать в Хатыннах, где тогда размещалось ведущее на Северо-Востоке Северное горно-промышленное управление. Здесь при его участии были открыты богатейшие россыпи в бассейнах рек Хатыннах, Малый и Большой Ат-Юрях, Дебин, что позволило всего за год увеличить добычу золота в 1939 г. в Дальстрое вдвое – довести её до 65 тонн. В 1940 г. на приисках Дальстроя добыто 78 т шлихового золота, а по воспоминаниям Н. А. Шило и того больше – 92 т [1].

Чтобы понять, в какой обстановке происходило формирование личности Николая Алексеевича в период его работы в горной промышленности Дальстроя в 1937–1949 гг., необходимо хотя бы кратко остановиться на существовавших тогда на Северо-Востоке условиях. Сказать о том, что этот регион был «белым пятном» не только на геологических, но и на топографических картах, что он относился (и сейчас относится) к областям, лишь условно пригодным для обитания человека, значит, ничего не сказать. Специфика геологической работы заключалась, прежде всего, в том, что параллельно с геологической необходимо было вести топографическую съёмку, одновременно проводя весь комплекс наблюдений за природой: описывать растительный и животный мир, отмечать гидрологический режим водотоков, осуществлять метеорологические наблюдения, наносить на карту и давать наименования вновь открытым водотокам и горным сооружениям. Всё это формировало из вчерашних выпускников геологических вузов специалистов широчайшего, практически энциклопедического профиля, подлинных естествоиспытателей [1].

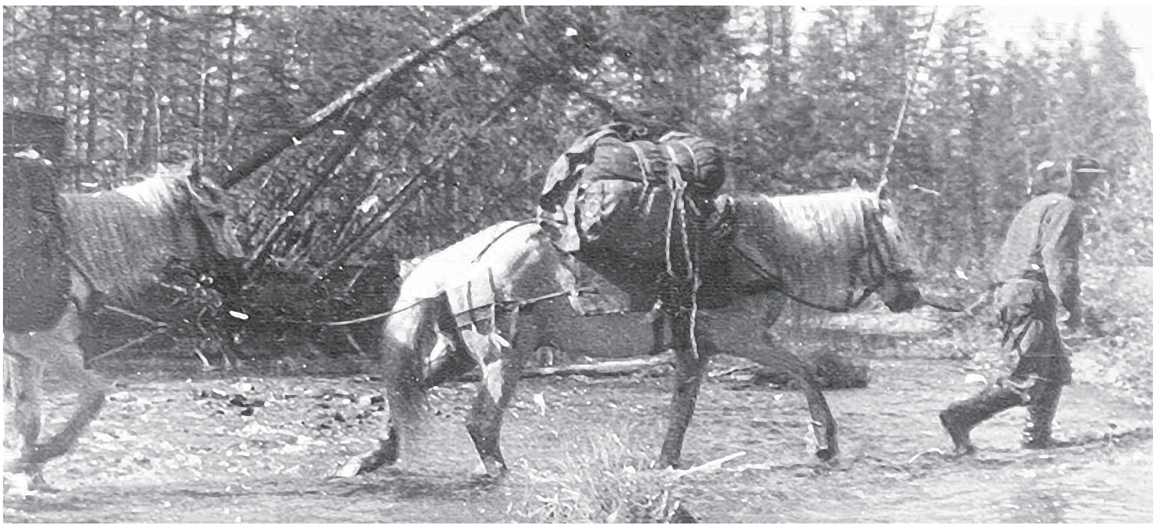
Другой особенностью являлась сама организация геологических исследований. Геолог, обнаруживший в процессе поисково-съёмочных работ перспективный участок, как правило, направлялся на его детальную разведку и разработку. При этом приходилось решать целый комплекс проблем как организационного, так и научного характера, связанных со спецификой формирования в первую очередь россыпных месторождений в условиях многолетней мерзлоты и субполярного климата. Благодаря такой системе в «Дальстрое» постепенно сложилась уникальная геологическая школа, одним из наиболее ярких представителей которой и является Николай Алексеевич Шило, прошедший за 12 лет путь от прораба поисковой партии до начальника Средне-Колымского районного геологоразведочного управления [2].

Характер деятельности Н. А. Шило в этот период можно описать примером, относящимся к 1938 г., когда он вместо обычной в то время проходки шурфов «на пожог», несмотря на все возражения, применил впервые на Колыме взрывной метод, что позволило не только резко сократить сроки разведочных работ, но и значительно сэкономить средства. Свою производственную деятельность

Н. А. Шило (в центре) с друзьями по Ленинградскому горному институту. Ленинград, 1934 г.



Добыча золота с 1931 по 2017 гг. на Верхнеколымских золоторудных месторождениях и прилегающем участке Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. *По материалам [7]*



Н. А. Шило в походе за золотом. Джелгала, 1938 г.

Н. А. Шило успешно совмещал с научной работой. Его научные статьи [3] о проходке шурфов с применением взрывчатых веществ при разведке аллювиальных россыпей и об определении коэффициента разрыхления золотоносных отложений при таком способе разведки (1940 г.) оказали существенное влияние на внедрение в практику наиболее прогрессивного способа разведки россыпей. За решение этой проблемы, которая поднимала разведочный процесс на совершенно новый, более высокий уровень в масштабах Северо-Востока СССР, Н. А. Шило был награждён орденом «Знак Почета».

Смелость и оригинальность решения организационных и производственных вопросов, широкая геологическая эрудиция выдвинули Н. А. Шило в ряд ведущих специалистов «Дальстроя», и в 1940 г. будучи по всем меркам ещё молодым специалистом, проработавшим на Колыме 4 года, он был назначен заместителем начальника Северного горного управления по геологоразведке. В годы Великой Отечественной войны Н. А. Шило было присвоено звание офицера, он был наделён особыми полномочиями для работы в тылу, открывал и добывал золото, серебро, олово, вольфрам, ртуть, платину, медь и др. За большой вклад в выполнение заданий в годы войны Н. А. Шило в 1945 г. был награждён орденом «Трудового Красного Знамени». По его рекомендациям и под его непосредственным руководством открыты и раз-

Здание Северного горного управления в пос. Ягодный. Колыма, декабрь 1947 г. Фото Н. А. Шило

На первой конференции геологов Дальстроя, обсуждавших проблемы геологии золота. В первом ряду слева направо: Г. А. Кечек, А. К. Болдырев, Н. А. Шило, С. С. Смирнов, В. А. Цареградский, М. И. Конычев, А. П. Васьковский. Магадан, 1944 г.

веданы уникальные месторождения стратегических металлов, добыто свыше 700 т золота, несколько сотен т серебра, несколько тысяч т олова и вольфрама.

Руководство одним из крупнейших горных управлений Дальстроя не только давало бесценный опыт организаторской работы и уникальную возможность знакомства с геологическим строением этого региона, но и позволяло установить тесные деловые контакты с ведущими специалистами как самого Дальстроя, так и эпизодически посещавшими Магадан специалистами с «материка», среди которых был и Семён Петрович Александров, один из 14 человек во главе с И. В. Курчатовым, создававших первую атомную бомбу в СССР. Особенно тесные контакты в этот период у него установились с такими крупнейшими специалистами в области рудных и россыпных месторождений, как академик С. С. Смирнов и член-корреспондент АН СССР Ю. А. Билибин.

Н. А. Шило с одним из создателей первой атомной бомбы профессором С. П. Александровым (слева). Магадан, 1949 г.

В 1949 г. Н. А. Шило был приглашён в только что созданный первый на Северо-Востоке научно-исследовательский институт золота и редких металлов – ВНИИ-1, во главе которого стоял С. П. Александров. Начался следующий этап в жизни Николая Алексеевича, в течение которого ему пришлось решать принципиально новый комплекс проблем, связанных с научным обеспечением развития горно-промышленного комплекса северо-восточной Азии. Именно в этот период на первый план в его деятельности вышли такие черты характера, как широта кругозора и коммуникабельность. За короткий срок Николай Алексеевич сумел создать работоспособный коллектив из опытных специалистов-северовосточников, решавший сложнейший комплекс проблем, начиная от обобщения данных по геологическому строению Северо-Востока до создания горно-обогатительных и гидрометаллургических полупромышленных установок [2].

Первое здание ВНИИ-1 МВД СССР, введённое в строй в 1949 г. Это же и первое здание СВКНИИ СО АН СССР

Одновременно Н. А. Шило сумел привлечь к работе в институте в качестве консультантов и соисполнителей тем ведущих специалистов из АН СССР – академиков А. Г. Бетехтина, И. П. Герасимова, Ю. А. Кузнецова, Н. В. Мельникова, П. А. Ребиндера, К. И. Сатпаева, А. А. Трофимука, С. А. Христиановича, Д. И. Щербакова, О. Д. Левицкого, И. Н. Плаксина, К. А. Ненадкевича и ряд других крупнейших учёных страны. Тесное общение с элитой АН СССР не только расширяло научный кругозор самого Н. А. Шило, заставляя его подходить к анализу и решению стоящих перед институтом проблем с более общих позиций, но и создало уникальную возможность для постановки и решения на региональном материале ряда фундаментальных проблем вследствие научного сотрудничества магаданских специалистов с сотрудниками ведущих академических учреждений страны. Наконец оно позволило Н. А. Шило убедить руководство не только Магаданской области, но и АН СССР, в первую очередь её Сибирского отделения, в целесообразности и необходимости организации в Магадане академического института. Окончательное

На месте, где предполагается золото-серебряное месторождение, которое потом назовут Дукатом. Справа налево: В. А. Зильберминц, Н. А. Шило, В. Чехов. Июль 1961 г.

решение по этому вопросу было принято 30 января 1960 г. в виде постановления об организации в Магадане Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института (СВКНИИ), входившего в состав Сибирского отделения АН СССР. Директором его был назначен Н. А. Шило, который исполнял эти обязанности следующие 25 лет.

Н. А. Шило проводил полевые работы на Урале, в Северо-Восточном Казахстане, в бассейнах рек Колымы, Индигирки, Яны, на Чукотке, на острове Врангеля, на Камчатке, Сахалине, в Якутии, на Кавказе, в Узбекистане, на Кольском полуострове. Он осуществлял маршрутные исследования в 42 странах мира: в Финляндии, Франции, Испании, Чили, Перу, на Гавайских островах, в Австралии, Новой Зеландии, Малайзии, Индонезии, Японии, на Британских островах, на Американском континенте работал в Калифорнии, Аппалачских горах, районе Ванкувера, около Большого Медвежьего озера, на Юконе, прошёл Аляску от её Тихоокеанского побережья до Арктики. В 1953 г. Н. А. Шило защитил кандидатскую диссертацию, а в 1962 г. – докторскую. В 1960 г. его утвердили в учёном звании профессора.

С самого начала организации СВКНИИ в полной мере раскрылись свойственный Н. А. Шило организационный талант и его глубокое понимание всего комплекса фундаментальных проблем, который вставал перед вновь созданным институтом в связи со спецификой географического положения и геологического строения Северо-Востока. СВКНИИ замышлялся Н. А. Шило как опорная база для последующего формирования и развития на его основе комплекса самостоятельных научных учреждений, нацеленных на решение фундаментальных проблем в самых различных областях знания – от истории, археологии и этнографии до космофизики.

Учитывая опыт организации ВНИИ-1, Н. А. Шило взял за основу комплектации нового института принцип сочетания и опытных, прошедших производственную школу в центральных и районных экспедициях Северо-Восточного геологического управления, и молодых специалистов, только что окончивших крупнейшие высшие учебные заведения страны. Тщательный отбор приглашаемых, с каждым из которых Николай Алексеевич проводил персональное собеседование, позволил ему в кратчайший срок создать в институте подлинно творческую атмосферу, что не замедлило сказаться на научных результатах, значимость и оригинальность которых немедленно привлекли внимание как отечественной, так и международной научной общественности. Исследования, проводившиеся в СВКНИИ под руководством и при

Академик Н. А. Шило ведёт заседание экспертного совета, обсуждающего ввод в действие Карамкенского золоторудного месторождения. Карамкен, 1977 г.

непосредственном участии Н. А. Шило, привели к формированию самостоятельных научных школ в тектонике и стратиграфии, геологии рудных и россыпных месторождений, геологии и палеогеографии четвертичного периода и мерзлотоведения, биологии и археологии.

Создавая СВКНИИ и рассматривая его в качестве базы для развёртывания разветвлённой сети академических институтов на «ойкумене» Российской Федерации, Н. А. Шило вместе с тем прекрасно понимал, что успешное развитие научных исследований невозможно без подготовки местных квалифицированных кадров. Поэтому одновременно с организацией своего института он принимает самое деятельное участие, с одной стороны, в создании в Магадане Педагогического института (Северо-Восточный государственный университет) и филиала Хабаровского политехнического института, а с другой – в организации в СВКНИИ аспирантуры по различным специальностям. Одновременно, прекрасно зная проблемы, с которыми сталкивалось руководство страны и области при решении многоплановых задач по развитию производительных сил Северо-Востока, он добивается организации в Магадане и отраслевых институтов – филиала Тихоокеанского института рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО) и Зонального научно-исследовательского института сельского хозяйства (ЗНИИСХ), которые, по его замыслу, должны были наряду с ВНИИ-1 обеспечивать динамичное развитие соответствующих отраслей этого уникального региона. В итоге ко второй половине 1960-х гг. в Магадане сложился мощный комплекс учебных, отраслевых и академических институтов, способных решать любые проблемы, касающиеся хозяйственного и социально-культурного развития Востока страны [2].

Бурный рост вновь созданного академического института и впечатляющие результаты его научных исследований не могли не привлекать внимания руководства АН СССР. Указом Президиума Верховного Совета СССР от 6 апреля 1973 г. Н. А. Шило присвоено звание Героя Социалистического Труда с вручением ордена Ленина и золотой медали «Серп и Молот». 26 июня 1964 г. он был избран членом-корреспондентом, а 24 ноября 1970 г. – действительным членом (академиком) АН СССР.

На представителей руководства как Академии Наук, так и государства, посещавших Магадан в те годы, работы и лабораторная оснащённость института производили неизгладимое впечатление – никто из них не ожидал, что за столь короткий срок здесь может быть создан первоклассный институт, ни в чем не уступающий центральным научным учреждениям, а порой и превосходящий

Академик Н. А. Шило (второй слева) в Госплане СССР демонстрирует достижения Дальневосточного научного центра членам правительства СССР. Слева первый – Н. И. Рыжков, справа первый – Н. К. Байбаков. Москва, 1981 г.

их по потенциалу. Здесь необходимо отметить умение Н. А. Шило показать «товар лицом»: он не только демонстрировал всем высокий профессиональный уровень проводимых в институте исследований и оригинальность подходов к решению фундаментальных проблем, предоставляя слово для выступлений ведущим учёным СВКНИИ, но и неизменно подчёркивал то обстоятельство, что все выполняемые в институте работы имеют непосредственный выход на решение прикладных задач. Последние касались как оценки перспектив всей территории на те или иные полезные ископаемые, так и разработки конкретных месторождений. Прикладное значение проводимых в СВКНИИ исследований демонстрировалось «вживую», сопровождаясь обязательным посещением конкретных объектов на территории Магаданской области и Чукотки и широким обсуждением достигнутых результатов, направлений и планов дальнейших работ с руководством как области, так и геологоразведочных и горнопромышленных предприятий региона.

Помимо высокой оценки деятельности института и повышения его авторитета (в 1981 г. его коллектив был награждён орденом «Знак Почета») столь успешные посещения зачастую приводили к выделению дополнительных ассигнований для приобретения новейшего лабораторного и аналитического оборудования, для развития новых направлений исследований и организации соотвествующих подразделений. Именно это обстоятельство и позволило Н. А. Шило уже в начале 1970-х гг. приступить к реализации первоначального замысла – созданию на базе СВКНИИ новых академических учреждений [2].

Выдающиеся организаторские способности Н. А. Шило с середины 1960-х гг. привлекали внимание руководства АН СССР, и в 1977 г. ему было поручено возглавить ДВНЦ АН СССР во Владивостоке. В связи с этим назначением Н. А. Шило, оставаясь директором СВКНИИ, был вынужден переехать во Владивосток, где столкнулся с новыми проблемами, связанными с организацией науки и формированием научно обоснованной стратегии развития всей громадной территории Дальнего Востока. Обладая широчайшим кругозором и ясным видением той роли, которую играет и должен играть этот край в перспективе развития как нашей страны, так и в геополитической структуры Азиатско-Тихоокеанского региона в целом, Н. А. Шило со свойственной ему энергией берётся, с одной стороны, за организацию научных исследований, а с другой – за разработку стратегии развития инфраструктуры всего народнохозяйственного комплекса данного региона.

В период своего руководства ДВНЦ (1977–1985 гг.) Н. А. Шило сумел не только завершить строительство зданий для уже существовавших во Владивостоке и Хабаровске институтов, но и организовать новые научные подразделения. При нём появился 21 научно-исследовательский институт. Фактически именно активная деятельность Н. А. Шило подготовила и предопределила изменение статуса дальневосточной науки и преобразование ДВНЦ в Дальневосточное отделение АН СССР.

Проделанная в короткий срок работа по развитию всего научного комплекса на Дальнем Востоке по достоинству была оценена правительством Советского Союза. В 1980 г. академику Н. А. Шило присуждается Государственная премия. В 1981 г. он награждается орденом «Октябрьской Революции», а в 1983 г. Дальневосточный научный центр АН СССР награждается орденом «Трудового Красного Знамени».

В связи с избранием членом Президиума АН СССР в 1985 г., а затем переходом на работу в качестве Советника Президиума АН СССР начинается «московский» период жизни Н. А. Шило. В 1987 г. в академическом Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) была создана группа россыпей, руководство которой было поручено Николаю Алексеевичу. Помимо решений фундаментальных и прикладных задач, на группу была возложена координация работ по геологии россыпей в рамках Академии Наук. Созданный академиком Н. А. Шило коллектив продолжает работу в заданном направлении по настоящее время.

Основное направление научных исследований Н. А. Шило – геология россыпных месторождений. Благодаря исследованиям Н. А. Шило и его учеников россыпные полезные ископаемые до сих пор занимают видное место среди других типов месторождений минерального сырья. Н. А. Шило опубликовано 12 монографий и около 600 научных статей. Настольными книгами геологов-учёных и геологов-практиков стали работы «Основы учения о россыпях» [5] и «Учение о россыпях» [6], где впервые в мировой литературе представлен всесторонний анализ россыпных месторождений различных полезных ископаемых в России и ряде зарубежных стран, проанализированы условия формирования крупнейших россыпных месторождений, описано поведение россыпеобразующих минералов в экзогенных условиях, введены получившие всеобщее признание новые категории понятий.

Помимо россыпной геологии, весьма значителен вклад Н. А. Шило в изучение геодинамики и металлогении вулканогенных поясов, в первую очередь Тихоокеанской системы приматериковых вулканогенных поясов с их золото-серебряной и серебряной металлогенической специализацией. Он предложил новую магмо-флюидно-газовую модель этой планетарной системы, связанной с единым источником, функционирующим с мела – верхнемантийной абиссальной зоной Тихоокеанского сегмента. Следствием этих работ явилось открытие золото-серебряных месторождений Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, ресурсный потенциал которого продолжает раскрываться и сегодня. Это открытие было отмечено присуждением Н. А. Шило и возглавляемому им коллективу Государственной премии. Однако Н. А. Шило оставил неизгладимый след и в других разделах общей геологии – тектонике и геофизике, в металлогении и петрологии, в мерзлотоведении и палеогеографии, в литологии и планетологии. Выдвинутые им оригинальные идеи продолжают разрабатываться его последователями и учениками не только в созданных им научных подразделениях, но и за их пределами, как в России, так и за рубежом.

На 95-м году жизни Н. А. Шило завершил написание двухтомника «Записки геолога» (Магадан, 2007), чуть позднее в этом же году изданного как трёхтомник уже в Москве [4]: уникальной книги уникального человека, где сплелись история его жизни и взгляд на множество исторических и научных проблем, в том числе с фантастической детальностью описывается становление науки на Дальнем востоке России, Колыме, история открытий золотых месторождений. Книга была признана Академией наук лучшей книгой 2008 г. в области популяризации науки. 8 июня 2008 г. Н. А. Шило не стало. Он был похоронен на Троекуровском кладбище в Москве.

Работа выполнена при финансовой поддержке госбюджета ИГЕМ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Губарев В. С.* Академик Николай Шило: все золото Колымы // Наука и жизнь. – 2006. – № 11. – С. 16–23.
2. *Симаков К. В.* Российский ученый и организатор науки академик Н. А. Шило (доклад академика К. В. Симакова, прочитанный в Государственном геологическом музее им. В. И. Вернадского на торжественном заседании, которое посвящалось 90-летию со дня рождения академика Н. А. Шило) // Записки геолога : [в 3 томах] / Николай Алексеевич Шило. – Т. 2. – М. : Фонд «Новое тысячелетие», 2007. – С. 384–391.
3. *Шило Н. А.* Данные о проходке шурфов на взрыв при разведке россыпей // Колыма. – 1940. – № 10. – С. 28–32.
4. *Шило Н. А.* Записки геолога : [в 3 томах]. – М. : Фонд «Новое тысячелетие», 2007.
5. *Шило Н. А.* Основы учения о россыпях. – М. : Наука, 1985. – 400 с.
6. *Шило Н. А.* Учение о россыпях : Теория россыпеобразующих руд. формаций и россыпей. – Владивосток : Дальнаука, 2002. – 575 с.
7. *Goryachev N. A., Yakubchuk A. S., Litvinenko I. S., Lozhkin A. V., Pruss Yu. V., Smirnov V. N.* Chapter 37: Giant Placers of the Upper Kolyma Gold Fields, Yana-Kolyma Province, Russian Northeast. – USA : Society of Economic Geologists, 2020. – 821 p. DOI: 10.5382/SP.23.37.

REFERENCES

1. *Gubarev V. S.* Akademik Nikolay Shilo: vse zoloto Kolymy [Academician Nikolai Shilo: all the gold of Kolyma]. Nauka i zhizn’, 2006, No. 11, pp. 16–23. (In Russ.)
2. *Simakov K. V.* Rossiyskiy uchenyy i organizator nauki akademik N. A. Shilo (doklad akademika K. V. Simakova, prochitannyy v Gosudarstvennom geologicheskom muzeye im. V. I. Vernadskogo na torzhestvennom zasedanii, kotoroye posvyashchalos’ 90-letiyu so dnya rozhdeniya akademika N. A. Shilo) [Russian scientist and organizer of science Academician N.A. Shilo (report by Academician K.V. Simakov, read at the State Geological Museum named after V.I. Vernadsky at a ceremonial meeting dedicated to the 90th anniversary of the birth of the academician N. A. Shilo)]. Zapiski geologa, In 3 volumes. V. 2, Moscow, Fond ‘’Novoye tysyacheletiye’’ publ., 2007, pp. 384–391. (In Russ.)
3. *Shilo N. A.* Dannyye o prokhodke shurfov na vzryv pri razvedke rossypey [Data on the excavation of blast holes during placer exploration]. Kolyma, 1940, No. 10, pp. 28–32. (In Russ.)
4. *Shilo N. A.* Zapiski geologa: v 3 tomakh [Notes of a Geologist: in 3 volumes], Moscow, Fond ‘’Novoye tysyacheletiye’’ publ., 2007. (In Russ.)
5. *Shilo N. A.* Osnovy ucheniya o rossypyakh [Fundamentals of the doctrine of placers], Moscow, Nauka publ., 1985, 400 p. (In Russ.)
6. *Shilo N. A.* Ucheniye o rossypyakh: Teoriya rossypeobrazuyushchikh rudnykh formatsiy i rossypey [The doctrine of placers: Theory of placer-forming ore formations and placers], Vladivostok, Dalnauka publ., 2002, 575 p. (In Russ.)
7. *Goryachev N. A., Yakubchuk A. S., Litvinenko I. S., Lozhkin A. V., Pruss Yu. V., Smirnov V. N.* Chapter 37: Giant Placers of the Upper Kolyma Gold Fields, Yana-Kolyma Province, Russian Northeast, USA, Society of Economic Geologists publ., 2020, 821 p. DOI: 10.5382/SP.23.37.

Статья поступила в редакцию 05.09.23; одобрена после рецензирования 23.10.23; принята к публикации 24.10.23.
The article was submitted 05.09.23; approved after reviewing 23.10.23; accepted for publication 24.10.23.

Список статей, опубликованных в журнале «Отечественная геология» в 2023 году

ОРГАНИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ЭКОНОМИКА, НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

Алексеев Я. В., Корчагина Д. А. Сырьевая база меди России: состояние и перспективы развития по 2040 г. № 1. С. 3.
Алексеев Я. В., Попов И. В. Особенности реализации механизма «заявительного принципа» на алмазы, благородные и цветные металлы. № 2. С. 14.
Богуславский А. Е., Шиганова О. В., Шварцева О. С., Спирин А. О. Уникальное Кучукское месторождение озёрных солей и правовые аспекты его разработки. № 3. С. 17.
Иванов А. И., Алексеев Я. В., Наумов Е. А., Куликов Д. А., Мигачёв И. Ф., Барышев А. Н., Донец А. И., Конкин В. Д., Звездов В. С. Прогноз долгосрочного освоения и развития минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации. № 6. С. 3.
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. С. 3.

НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ, НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ПРИКЛАДНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Малахова И. Г. История геологии и горного дела в информационном пространстве. № 6. С. 13.

МИНЕРАГЕНИЯ

Звездов В. С., Мигачёв И. Ф., Минина О. В. Комплексные медно-порфировые рудно-магматические системы андезитоидных и базальтоидных вулкано-плутонических поясов. № 5. С. 35.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Дамдинов Б. Б., Викентьев И. В., Дамдинова Л. Б., Минина О. Р., Жмодик С. М., Соболев И. Д., Тюкова Е. Э., Спирина А. В., Извекова А. Д., Москвитина М. Л., Сажина Т. И., Бадмажапов Б. Б. Проблемы генезиса месторождений Озернинского полиметаллического рудного узла (Западное Забайкалье, Россия). № 2. С. 73.
Иванова И. И. Рациональное планирование геологоразведочных работ при поисках медно-порфировых объектов на территории Мэлдэкской интрузивно-купольной структуры (Магаданская область) на основе трёхмерного геолого-геофизического моделирования и использования нейросетей. № 4. С. 16.
Ивлева Е. А., Пак Н. Т. Этапы формирования золотого оруденения и крупные месторождения золота в Кыргызстане. № 3. С. 28.
Кряжев С. Г., Берковский Е. М. Флюидный режим формирования Олимпиадинского золото-сульфидного месторождения. № 1. С. 20.
Кузнецов В. В., Серавина Т. В., Донец А. И., Кудрявцева Н. Г., Кузнецова Т. П., Филиппова С. С. История изучения и основные особенности свинцово-цинково-колчеданных месторождений типа MVT Приаргунской минерагенической зоны. № 5. С. 3.
Миляев С. А. Поиски рудных месторождений по вторичным ореолам рассеяния хлора и брома. № 5. С. 26.
Молчанов А. В., Белова В. Н., Семенова В. В. Локализация площадей для проведения ГДП (ГМК)-200 на золото на основе составления и анализа карт закономерностей размещения и прогноза большеобъёмных черносланцевых и эпитермальных месторождений золота Российской Федерации масштаба 1:2 500 000. № 4. С. 3.
Столяренко В. В., Шатилова Л. В., Минаева С. В., Рябошапко А. Г. Многофакторная прогнозно-поисковая модель Куранахского золоторудного месторождения. № 6. С. 19.

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Мясников Ф. В. Алмазоносная литосфера Сибирской платформы (по геофизическим данным). Эредитарность докембрия, палеопротерозойский плюмовый магматизм, алмазоносность Анабарской тектонической провинции. № 1. С. 70.

ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

Агибалов О. А., Зубова Т. П., Позднякова Н. Н. Отражение особенностей вещественного состава золотоносной коры выветривания в минералогических ореолах и геохимических аномалиях на примере отдельных участков Еравненской перспективной площади (Республика Бурятия). № 1. С. 34.
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. № 3. С. 42.
Гурьянов В. А., Кириллов В. Е. Никеленосность Кун-Маньёнской минерагенической зоны юго-восточного обрамления Сибирской платформы. № 2. С. 43.
Зинчук Н. Н. О геохимических особенностях разновозрастных образований алмазоперспективных территорий. № 1. С. 46.

РУДНАЯ ШКОЛА 2024
ЦНИГРИ

14–16 февраля

Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов

ОТ ПРОГНОЗА К ДОБЫЧЕ

Организатор конференции – ФГБУ «ЦНИГРИ».

Принимаются заявки от студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов в возрасте до 35 лет.

На конференции запланировано проведение:

• лекций ведущими специалистами академических и отраслевых институтов;

• круглого стола на тему «Молодёжь как фактор развития отрасли», где участники конференции смогут узнать о возможностях молодых специалистов в геологической сфере;

• мастер-классов, направленных на приобретение знаний в профессиональной области;

• бесплатных экскурсий в кернохранилище ФГБУ «ВНИГНИ» в г. Апрелевка и на Международную выставку-форум «Россия» на ВДНХ.

Конференция пройдёт в смешанном формате: очно и онлайн.

До 15 января 2024 г.
регистрация и подача тезисов на сайте www.young.tsnigri.ru

Организационный взнос с участников не взимается

Рабочий язык конференции – русский

НАПРАВЛЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИИ

- Металлогения, минерагения и рудогенез
- Прогноз, поиски, оценка и разведка месторождений полезных ископаемых
- Разработка прогнозно-поисковых и геолого-генетических моделей месторождений твёрдых полезных ископаемых
- Методы изучения вещественного состава пород и руд
- Физико-химические условия минералообразования
- Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых и участков недр
- Использование геоинформационных технологий и пространственных данных в геологической отрасли
- Современные технологии добычи и переработки минерального сырья

young@tsnigri.ru
www.young.tsnigri.ru

8 (495) 315-43-65 (доб. 348)
секретарь конференции
Костина Елизавета Дмитриевна

г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129 к. 1

XIII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

МОСКВА ЦНИГРИ

10–12 АПРЕЛЯ 2024

К участию приглашаются представители территориальных органов Роснедр, геологоразведочных предприятий, компаний-недропользователей, научно-исследовательских отраслевых и академических институтов, вузов.

Программа конференции включает пленарное заседание, устные и стендовые доклады на тематических секциях.

Конференция пройдёт в смешанном (очном и онлайн) формате. У докладчиков будет возможность выступить в зале конференций ФГБУ «ЦНИГРИ». Для тех, кто не сможет приехать, доступно выступление онлайн. Все выступления будут транслироваться в прямом эфире.

Официальные языки конференции – русский и английский

Организационный взнос с участников не взимается

Окончание приёма заявок и оплаты участия в полевых экскурсиях – 12 февраля 2024 г.

Окончание регистрации и приёма тезисов – 20 февраля 2024 г.

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

- Минерагения АБЦМ
- Приоритетные направления прогнозно-поисковых работ на АБЦМ
- Перспективные объекты для постановки геологоразведочных работ на АБЦМ различных стадий
- Опыт проведения и результаты геологоразведочных работ на АБЦМ
- Научно-методические основы комплексирования геологических, геохимических, геофизических методов прогноза, поисков, оценки и разведки
- Использование комплексных моделей месторождений для целей прогноза, поисков, оценки и разведки АБЦМ
- Разработка и реализация инновационных методов, методик и технологий ГРР

conference@tsnigri.ru
www.conference.tsnigri.ru

8(495) 315-43-65 (доб. 360)
секретарь конференции
Селиванов Павел Владимирович

г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129 к. 1