

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 4 / 2019

Основан в марте 1933 года

Журнал выходит шесть раз в год

УЧРЕДИТЕЛИ



Министерство природных ресурсов и экологии
Российской Федерации



Российское геологическое общество



Центральный научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главные редакторы: С.А.Аксенов
А.И.Иванов

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

Е.М.Аксенов, А.И.Варламов, С.С.Вартанян,
А.И.Жамойда, А.А.Кременецкий, М.И.Логвинов,
Г.А.Машковцев, Н.В.Межеловский, И.Ф.Мигачев,
А.Ю.Розанов, Г.В.Седельникова, И.Г.Спиридонов,
В.И.Старостин, Е.Г.Фаррахов

Содержание

ОРГАНИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ЭКОНОМИКА, НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

Корчагина Д.А.
Состояние и прогноз развития минерально-сырьевой базы золота Забайкальского края 3

НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ, НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ПРИКЛАДНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Вахрушев А.М., Муравьев В.С.
К вопросу использования государственной системы координат (ГСК-2011) при работах геологической отрасли, формировании единого информационного пространства и требований к функционалу ГИС 14

Ткачева Е.А., Михайлова Г.А., Шпекторова О.А.
Верификация баз данных изученности по результатам ревизионных работ 21

МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Никулин И.И.
Большетроицкое месторождение рыхлых мармитовых руд закарстованной палеокоры выветривания

железистых кварцитов и джеспилитов Курской магнитной аномалии 25

Жирнов А.М.
Крупные золотоносные штокерки в архейской зеленокаменной толще Приамурья – новый тип месторождений России 37

ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ

Николаев В.И.
Роль хромового оруденения в интерпретации генезиса полосчатого комплекса офиолитовой формации на примере уральских ультрабазитовых массивов 47

Афанасьев В.П., Похилenko Н.П.
Докембрийская алмазоносность Сибирской платформы: признаки и масштабы 54

Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.
Типоморфные особенности алмазов как отражение их экзогенной истории 66

Малов А.И.
Геохимические индикаторы формирования подземных вод Юго-Восточного Беломорья 75

Редакция: *Т.М.Панеско, А.П.Фунтикова*
Компьютерная верстка *В.А.Щербакова*

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»

Подписано в печать 05.08.2019

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»

Состояние и прогноз развития минерально-сырьевой базы золота Забайкальского края

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

В статье рассмотрено текущее состояние минерально-сырьевой базы коренного и россыпного золота Забайкальского края. Охарактеризованы собственные и комплексные (разрабатываемые, подготавливаемые и разведываемые) месторождения. Приведены сведения о запасах, добыче и прогнозных ресурсах коренного и россыпного золота. Приведены результаты пересчёта прогнозных ресурсов категорий P_1 , P_2 и P_3 в условные запасы категории C_2 . Показана динамика и прогноз золотодобычи на территории края.

Ключевые слова: золото, запасы, добыча, прогнозные ресурсы, минерально-сырьевая база, Забайкальский край, прогноз добычи до 2035 г.

Корчагина Дарья Александровна



korchagina@tsnigri.ru

Trans-Baikal area gold mineral base status and development forecast

D.A.KORCHAGINA (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals)

The current status of Trans-Baikal area primary and placer gold mineral base is discussed. Gold-only and complex deposits (at mining, development and prospecting stages) are characterized. Data on primary and placer gold reserves, output and inferred resources are provided. Results of inferred resource conversion to reserves are given. Gold output dynamics and forecast for the area are shown.

Key words: gold, reserves, output, inferred resources, mineral base, Trans-Baikal area, output forecast for up to 2035.

Забайкальский край – один из наиболее старых горно-промышленных районов России, находящихся в зоне влияния транспортных коридоров Сибири и Дальнего Востока – Транссибирской и Байкало-Амурской железнодорожных магистралей.

В минерально-сырьевой базе региона одним из ведущих полезных ископаемых является золото. Его добыча началась в середине XIX в., когда были открыты первые россыпи, большинство из которых до 1941 г. в основном отработаны. В настоящее время на многих россыпях продолжается переработка техногенных отложений. Месторождения коренного золота разрабатываются с 1877 г. до настоящего времени. Минерально-сырьевая база золота включает запасы категорий ABC_1C_2 и прогнозные ресурсы различных категорий.

Запасы. На территории Забайкальского края государственным балансом (01.01.2018 г.) учтено 442 месторождения золота с суммарными запасами категорий ABC_1C_2 – 1 306 715 кг и забалансовыми – 321 053 кг. Из них: 65 коренных объектов с запасами категорий ABC_1C_2 – 1 223 635 кг и 377 россыпных объектов с запасами категорий ABC_1C_2 – 83 080 кг.

Коренные месторождения представлены собственно-золоторудными и комплексными.

В 41 собственно-золоторудном месторождении запасы категорий ABC_1C_2 составляют 725 750 кг (ABC_1 – 315 792 кг или 46,41% от балансовых запасов золота края) и забалансовые – 184 776 кг; в 24 комплексных месторождениях запасы категорий ABC_1C_2 составляют 497 885 кг (ABC_1 – 298 358 кг или 43,84 % от всех балансовых запасов золота) и забалансовые – 98 702 кг; в 377 россыпных месторождениях запасы категорий ABC_1C_2 составляют 83 080 кг (ABC_1 – 66 334 кг или 9,75 % от всех балансовых запасов золота) и забалансовые – 37 575 кг.

Основные запасы золота Забайкальского края сосредоточены в 6 рудных месторождениях (рис. 1): собственно-золоторудных – Дарасунском, Ключевском, Тасеевском и Итакинском; комплексных – Быстринском и Култуминском.

В группе разрабатываемых¹ учитываются 190 месторождений с запасами золота категорий ABC_1C_2 –

¹ Степень освоенности взята из государственного баланса запасов



Рис. 1. Распределение запасов коренного золота в Забайкальском крае (запасы категорий ABC_1C_2)

422 676 кг и забалансовыми запасами – 89 834 кг. Из них: 10 собственно-золоторудных, 3 комплексных и 177 россыпных.

Запасы золота десяти собственно-золоторудных месторождений (Александровское, Богомолдовское, Дарасунское, Итакинское, Кирченовское, Ключевское, Тасеевское, Талатуйское, Савкинское, Казаковско-Ключевское и часть месторождения Погромное) категорий ABC_1C_2 составляют 380 030 кг и забалансовые – 62 874 кг. Запасы золота трёх комплексных месторождений (Ново-Широкинское, Железный Кряж и Нойон-Тологой) категорий ABC_1C_2 составляют 51 396 кг и забалансовые – 4 922 кг. В 177 россыпных месторождениях запасы категорий ABC_1C_2 составляют 51 750 кг, забалансовые – 107 055 кг.

В настоящее время к освоению подготавливаются 36 месторождений, из которых: 5 собственно-золоторудных (Верхне-Алиинское, Средне-Голготайское, Любавинское, Дельмачикское и Кулинское), 3 комплексных (Бугдаинское, Солонеченское и Быстринское) и 28 россыпных.

Разведочные работы производятся на 8 собственно-золоторудных (Наседкино (Малоурюмское), Быстринско-Ширинское, Козловское, Арчикуйское, Амурские Дайки, Пильненское, Южное и Кочковское), 3 комплексных (Чинейское, уч. Рудный (медно-никелевое), Шивиинское (полиметаллическое) и Южное (золото-сурьмяное), а также 7 россыпных месторождениях.

В группе не переданных в освоение (нераспределённый фонд недр) числятся 198 месторождений золота с запасами категорий ABC_1C_2 – 338 930 кг (ABC_1 – 106 722 кг или 15,68% от запасов края) и забалансовыми – 82 482 кг, из которых 18 собственно-золоторудных месторождений (Амазарканское, Апрельковское, Андрюшкинское, Балейское, Берданиха, Боровушкинское, Гурулевское, Дыбыксинское, Зергунское, Казаковское (уч. Казаковский), Косачихинское, Култуминское, Лугинское, Серебряное, Сосновское, Теремкинское, Укунинское и Любавинское (уч. Малофедоровский) с запасами категорий ABC_1C_2 – 169 911 кг (ABC_1 – 73 451 кг или 10,79% от запасов края), 15 комплексных (Акатуевское, Алгачинское, Воздвиженское, Екатерино-Благотатное, Ируновское, Кадаинское, Култуминское, Михайловское, Октябрьское, Покровское, Савинское № 5, Северо-Акатуевское, Спасское, Уронайское и Центральное) с запасами категорий ABC_1C_2 – 145 151 кг (ABC_1 – 12 677 кг или 1,86% от запасов края), 165 россыпных месторождений с запасами категорий ABC_1C_2 – 23 868 кг (ABC_1 – 20 594 кг или 3,03% от запасов края) (рис. 2).

В 2017 г. добычные работы золота вели 58 предприятий. Добыча на коренных объектах осуществлялась открытым и подземным способами.

К предприятиям, обрабатывающим месторождения открытым способом, относятся: АО «Рудник Алексан-

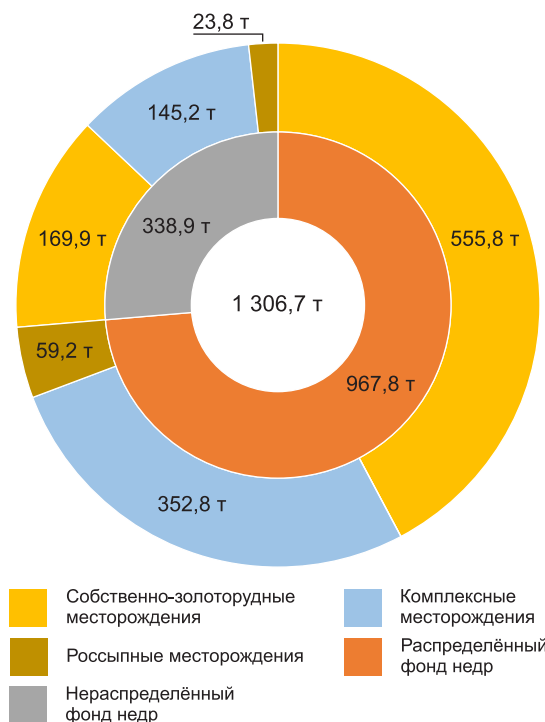


Рис. 2 Структура запасов категорий ABC_1C_2 золота Забайкальского края

1. Обеспеченность разрабатываемыми запасами коренного золота предприятий на 01.01.2018 г.

Предприятие, месторождение	Запасы категорий ABC ₁ C ₂ (металл, кг)	Годовая добыча в 2017 г. (металл, кг)	Обеспеченность добычи, лет (по ТЭО)	Исчерпание запасов, год (по ТЭО)
Собственно-золоторудные месторождения				
АО «Рудник Александровский», Александровское	20 151	1371	7	2024
ООО «Мангазея Майнинг», Савкинское	7250	1199	4	2021
ООО «Дарасунский рудник», Дарасунское, Талатуйское	55 590	94	48	2065
ООО ГРК «Дархан», Кирченовское	30 709	9	Н.д.	Н.д.
ООО ГРК «Дархан», Кирченовское	2970*	342,6	7	2026
ООО «Тасеевское», Тасеевское	143 326*** (ABC ₁ C ₂ – 105 619)	7300**	21	2042
Комплексные месторождения				
АО «Ново-Широкинский рудник», Ново-Широкинское	28 522	2747	16	2033
ООО ГРК «Быстринское», Быстринское	290 673	5202	36	2055
ООО «Байкалруд», Нойон-Тологой	4753	271	35	2054
АО «Висмут», Железный кряж	18 452	2400**	12	2031

Примечание. * – оперативные сведения о запасах из протокола ГКЗ/ТКЗ ТПИ за 2018 г.; ** – предполагаемая добыча по ТЭО; *** – сумма запасов категорий ABC₁C₂ и забалансовых запасов, согласно ТЭО, планируется совместная отработка балансовых и забалансовых руд.

дровский» (АО ГРК «Западная»), месторождение Александровское, добыча – 1371 кг и ООО «Мангазея Майнинг», месторождение Савкинское, добыча – 1199 кг.

К предприятиям, отрабатывающим месторождения подземным способом, относятся: ОАО «Ново-Широкинский рудник», золото-полиметаллическое месторождение Ново-Широкинское, добыча – 2747 кг и ООО ГРК «Быстринское», золото-железо-медное месторождение Быстринское, добыча – 5202 кг.

Суммарная добыча золота в Забайкальском крае в 2017 г. составила 21 454 кг, в том числе из собственно-золоторудных месторождений – 3447 кг, комплексных – 8220 кг, россыпных – 9787 кг.

Добыча. На *собственно-золоторудных месторождениях* (согласно государственному балансу запасов) в 2017 г. добыто 3447 кг золота. В том числе на месторождениях: Александровское – 1371 кг (39,7%), Савкинское – 1199 кг (34,8%), Дельмачикское – 371 кг (10,8%), Кирченовское – 268 кг (8%), Верхне-Алиинское – 95 кг (2,7%), Дарасунское – 94 кг (2,7%) и Талатуйское – 9 кг (0,3%).

Александровское золоторудное месторождение (среднее² по запасам, табл. 1) расположено на территории

Могочинского района Забайкальского края, в 35 км к югу от районного центра г. Могоча. В настоящее время добыча и переработка руды осуществляется в соответствии с проектной документацией, которая в ближайшее время предусматривает вовлечение в первичную переработку руд участка Ивачиха и увеличение производительности золотоизвлекательной фабрики (ЗИФ) с 750 до 850 тыс. т руды в год. Период совместной отработки запасов Александровского месторождения (участки Западный, Восточный и Иванчиха) до 2024 г.

Талатуйское золоторудное месторождение (среднее по запасам, см. табл. 1) расположено на территории Тунгокоченского района Забайкальского края в 15 км северо-западнее пос. Вершино-Дарасунский, в Дарасунском рудном поле, в пределах которого так же известны Дарасунское и Теремкинское месторождения.

В настоящее время производится доработка технического проекта отработки Талатуйского золоторудного месторождения, по которому среднегодовой объём добычи золотосодержащих руд должен составлять

² Размерность месторождений принята согласно металлогеническому кодексу

38,5 тыс. т. Согласно календарному графику, срок отработки заложенных в проекте запасов месторождения составит 6 лет.

Дарасунское полиметалльно-золотое месторождение (крупное по запасам, см. табл. 1) расположено в пос. Вершино-Дарасунский Тунгокоченского района Забайкальского края, в 78 км от ст. Шилка Забайкальской железной дороги.

Из-за финансовых трудностей предприятия работа рудника с 1 августа 2018 г. была приостановлена. Однако, по данным администрации Тунгокоченского района Забайкальского края, предприятие ООО «Дарасунский рудник» в январе 2019 г. возобновило работу, приступив к добыче золота.

Савкинское золоторудное месторождение (среднее по запасам, см. табл. 1) расположено на территории Нерчинско-Заводского административного района в 30 км юго-западнее районного центра Нерчинский Завод. В настоящее время добыча и переработка руды осуществляется в соответствии с проектной документацией, которая предусматривает вовлечение в первичную переработку руд уч. Хлебный-3 с вводом нового дробильно-сортировочного комплекса. Суммарная производительность по переработке руд методом кучного выщелачивания составит 1000 тыс. т/год, в том числе по участку Хлебный-3 – 450 тыс. т/год.

Кирченское золото-серебряное месторождение (мелкое по запасам, см. табл. 1) расположено на территории Оловянининского района Забайкальского края, в 6 км северо-западнее пос. Золоторечинск.

Срок отработки месторождения в соответствии с календарным графиком горных работ составит 7 лет. В 2019 г. золотоизвлекательная фабрика, запущенная в августе 2017 г., ещё не вышла на полную проектную мощность в 340 тыс. т руды в год. Вывести предприятие на полную проектную мощность планируется в ближайшее время. В 2019 г. проводятся мероприятия по настройке технологических процессов, а также отладке нового оборудования.

Тасеевское золоторудное месторождение (крупное по запасам, см. табл. 1) расположено на южной окраине г. Бaley Забайкальского края, в 285 км от краевого центра – г. Чита. Хотя месторождение имеет статус разрабатываемого, добычные работы фактически не ведутся.

По сообщениям компании ООО «Руссдрагмет», месторождение Тасеевское уже отрабатывалось преимущественно подземным способом. Однако в связи со снижением содержания золота в руде эксплуатация его была остановлена. После остановки производства водоотлив в шахтах был прекращён, а месторождения Бaleyское и Тасеевское затоплены.

В соответствии с проектной документацией с 2022 г. предусмотрено возобновление работ на месторождении Тасеевское с целью отработки запасов золотосодержащих руд. Первое золото компания рассчитывает

добыть в 2023 г. Однако перед началом освоения месторождения необходимо полностью откачать воду из Тасеевского и Бaleyского карьеров. Согласно техническому проекту, годовая производственная мощность предприятия составит 2000 тыс. т руды в год. Срок отработки – 21 год. Выход на проектную мощность планируется в 2025 г.

Комплексные золотосодержащие месторождения. Добыча золота на комплексных месторождениях, согласно государственному балансу, в 2017 г. составила – 8220 кг, в том числе: Ново-Широкинском – 2747 кг (33,4%), Быстринском – 5202 кг (63,3%) и Нойон-Тологое – 271 кг (3,3%).

Ново-Широкинское золото-полиметаллическое месторождение (см. табл. 1) расположено в 500 км от краевого центра, рядом с пос. Новоширокинский, в 85 км от границы с КНР. Недропользователь осуществляет проект по дальнейшему увеличению к концу 2019 г. объёма перерабатываемой руды и повышению производительности фабрики до 1,3 млн. т руды в год. Отработка забалансовых запасов пока не предусматривается. Золото на данном месторождении добывается как попутный компонент.

Нойон-Тологой – полиметаллическое золотосодержащее месторождение (см. табл. 1), расположенное на территории Александрово-Заводского района Забайкальского края, в 50 км на юго-запад от районного центра – села Александровский Завод.

В результате доразведки месторождения в 2018 г. прирост балансовых запасов золота категорий АВС₁С₂ составил 5337 кг. Золото на данном месторождении добывается как попутный компонент.

Предприятие обеспечено запасами на 35 лет при производственной мощности 3 млн. т руды в год (обогажительная фабрика I производительностью 1 млн. т и обогажительная фабрика II производительностью 2 млн. т). К 2023–2024 гг. компания планирует расширить мощности фабрик.

Быстринское золото-железо-медное месторождение (см. табл. 1) находится на территории Газимуро-Заводского района Забайкальского края. ООО ГРК «Быстринское» в конце 2017 г. запустило фабрику в режиме пуска-наладки. В первой половине 2018 г. был получен медный и магнетитовый железорудный концентрат. Во второй половине 2018 г. первая партия золотосодержащего гравитационного концентрата (металл добывается попутно) была направлена на дальнейшую переработку в г. Норильск. В настоящее время продолжается наладка и подготовка к запуску основного оборудования на Быстринском ГОКе. Завершить этот этап планируется в 2019 г., а с 2020 г. компания намерена выйти на плановый показатель по переработке 10 млн. т руды в год и добыче золота 9 т. Обеспеченность запасами составит 36 лет.

Железный кряж – золото-сульфидное месторождение (см. табл. 1), расположенное на территории Кал-

ганского района Забайкальского края, в 37 км к северо-востоку от районного центра с. Калга. Месторождение имеет статус разрабатываемого, но добычные работы фактически не ведутся.

В соответствии с техническим проектом отработки месторождения предприятие АО «Висмут» запланировало начало строительства ГОКа на вторую половину 2018 г. Однако работы были перенесены на вторую половину 2019 г. (согласно пресс-релизу).

Согласно техническому проекту, годовая производственная мощность предприятия составит 850 тыс. т руды в год. Срок отработки – 12 лет. Выход на проектную мощность планируется через два года после начала добычных работ.

Подготавливаемые и разведываемые месторождения. В группе подготавливаемых и разведываемых объектов коренного золота на 01.01.2018 г. учитываются 13 собственно-золоторудных месторождений (табл. 2).

Собственно-золоторудные месторождения. Наиболее крупными по запасам являются два золоторудных месторождения – Итакинское (27,6%) и Кочковское (18,5%).

Разведываемое месторождение рудного золота *Итакинское* (крупное по запасам, см. табл. 2) расположено в Могочинском районе, на левобережье среднего течения р. Итака, в 38 км севернее ст. Ксеньевка Забайкальской железной дороги. Месторождение относится к участкам недр федерального значения (запасы золота категорий АВС₁С₂ составляют 62 т). В настоящее время перспектива освоения месторождения не вполне ясна.

Разведываемое *Кочковское* (среднее по запасам, см. табл. 2) золоторудное месторождение расположено в Газимуро-Заводском районе, в 39 км от районного центра пос. Газимуровский Завод.

В настоящее время осуществляется первый этап освоения Кочковского месторождения – опытно-промышленная разработка, – который продлится примерно до 2020 г. В ходе этих работ предприятие намерено в 2019 г. добыть не менее одной тонны золота. Всего же на первом этапе освоения Кочковского месторождения планируется добыть и переработать окисленных руд в объеме 390 тыс. т в год. Срок отработки окисленных руд – 11 лет.

На втором этапе будут добывать неокисленные упорные руды. Производственная мощность предприятия составит 1190 тыс. т руды в год. Срок отработки упорных руд – 16 лет.

Согласно пресс-релизам, ООО «Мангазея Майнин» с 2022 г. планирует выход предприятия на полную производственную мощность по добыче и переработке окисленных и первичных руд.

Разведываемое золоторудное *месторождение Наседкино* (среднее по запасам, см. табл. 2) расположено на территории Могочинского района Забайкальского края. Согласно утверждённому проекту разработки

месторождения, осуществляется строительство обогатительного комплекса, хвостохранилища, ремонтно-складского комплекса, автомобильных дорог. Годовая мощность обогатительного предприятия составит 1 млн. т руды. Фабрика будет перерабатывать руду участков «Придолинный», «Гора-5», «Желанный» и «Правобережный».

Первое золото компания планирует получить в 2019 г. Срок эксплуатации месторождения составит 10–11 лет.

Разведываемое *Арчикуйское* золоторудное месторождение (среднее по запасам, см. табл. 2) расположено на территории Чернышевского района Забайкальского края.

Месторождение планируется отрабатывать открытым способом. Первичная переработка руд Арчикуйского месторождения будет осуществляться в период с 2020 по 2030 гг. на строящейся золотоизвлекательной фабрике по цианистой схеме обогащения.

Начать добычу руды в объеме 346 тыс. т планируется в 2019 г. По плану компании строительство рудника с проектной мощностью 1050 тыс. т руды в год завершится к 2020 г. И уже в 2020 г. ООО «Армет» намерено произвести 1262,3 кг золота.

Подготавливаемое к освоению *Верхне-Алиинское* золоторудное месторождение (среднее по запасам, см. табл. 2) расположено на территории Бaleyского района, в 30 км восточнее города Бaley. Разработку Верхне-Алиинского месторождения планируется вести подземным способом.

Переработка руды будет производиться с использованием флотационно-гравитационной технологии на ЗИФ с годовой производительностью 200 тыс. т руды, что позволит производить ежегодно 1300 кг золота.

Выход на полную проектную мощность горно-перерабатывающего предприятия «Верхне-Алиинское» планируется осуществить в 2019 г. Срок обеспеченности запасами составляет 14 лет.

Подготавливаемое к освоению *Любавинское* (уч. *Евграфовский*) золоторудное месторождение (среднее по запасам, см. табл. 2) расположено в Кыринском районе, в 400 км к юго-западу от Читы и в 25 км к северу от границы с Монголией.

По итогам геологоразведочных работ в 2012 г. было утверждено ТЭО временных разведочных кондиций и подсчитаны запасы. Основные технико-экономические показатели месторождения: производительность по руде – 800 тыс. т, обеспеченность запасами – 12 лет.

Дельмачикское золото-сурьмяное месторождение (среднее по запасам, см. табл. 2) расположено на территории Шилкинского района Забайкальского края, в 27 км к северо-востоку от пос. Первомайский.

Руководство ООО «Золото Дельмачик» приняло решение о продлении этапа опытно-промышленных работ до второй половины 2019 г.

Согласно утверждённому проекту, компания планирует создать производственный комплекс по перера-

2. Оценка состояния запасов и обеспеченности подготавливаемых и разведываемых объектов золота на 01.01.2018 г.

Месторождение	Запасы категорий АВС ₁ С ₂				Возможная добыча, кг		Обеспеченность, лет	Попутное ПИ	Недропользователь	Степень освоения
	Среднее содержание, г/т	Руда, тыс. т	Металл, кг	Металл, кг	Руда, тыс. т	Металл, кг				
Дельмачикское	0,798	17 096	13 807		1500	1200	11	Сурьма, серебро	ООО «Золото Дельмачик»	Подготавливаемое
Верхне-Алиинское	10,123	1699	18 009		200	1300	9	Серебро	ЗАО «Золоторудная компания «Омчак»	Подготавливаемое
Наседкино (Малоурюмское)	3,017	8220	23 547		1000	2300	8	Серебро, медь	ООО «Дальцветмет»	Разведываемое
Кочковское	2,283	17 296	41 926		330*	750*	11*	Серебро	ООО «Корякмайнинг»	Разведываемое
Арчийское	1,825	10 233	18 194		1050	1701	10	Серебро	ООО «Армет»	Разведываемое
Итакинское	8,875	6663	62 553		Н.д.	Н.д.		Сурьма, серебро	ООО «Итакинская золотодобывающая компания»	Разведываемое
Любавинское (уч. Евграфовский)	1,773	6999	13 171		800	1200	12	Серебро	ООО «Любавинское»	Подготавливаемое
Средне-Голготайское	16,93	1172	9920		100	700	15	Серебро, висмут	ООО «Тасеевское»	Подготавливаемое
Быстринско-Ширинское	2,58	2357	6081					Серебро	ООО «Ширинское»	Разведываемое
Козловское**	9,31	1059	8615						ООО «Геологоразведочная экспедиция № 324»	Разведываемое
Амурские Дайки	2,13	2078	4436						ООО «Чита Ресурс»	Разведываемое
Пильненское	1,6	2122	3405						ООО «Чита Ресурс»	Разведываемое
Кулинское	7,02	433	3043					Серебро, молибден	ЗАО «Золоторудная компания «Омчак»	Подготавливаемое

Примечание. * – цианируемые (для кучного выщелачивания) руды; ** – на основании решения ТКР от 17.03.2017 г была согласована документация «Консервация производственной деятельности на объектах открытых горных работ месторождения Козловское».

3. Запасы золота месторождений нераспределённого фонда недр (средние и крупные объекты)

Месторождение	Среднее содержание	Запасы категорий АВС ₁ С ₂		Год утверждения запасов
		Руда, тыс. т	Металл, кг	
Балейское	2,135	19 426	40 302	1984
Серебряное	1,636	29 965	40 829	2013
Култуминское	0,791	187 632	125 380	2014

ботке золотосодержащих руд. Мощность предприятия должна составить 1,5 млн. т руды в год (порядка 1,2 т золота в год). Запуск месторождения в промышленную эксплуатацию запланирован на 2020 год.

На месторождении уже построены основные объекты инфраструктуры, ведётся реконструкция подъездной дороги к месторождению длиной 17 км.

Семь охарактеризованных выше золоторудных месторождений из тринадцати (см. табл. 2) составляют 84,3% всех запасов подготавливаемых к освоению и разведываемых объектов. На остальные шесть месторождений приходится 15,7% общих запасов. Это, как правило, небольшие по масштабам месторождения, часть из которых обрабатывалась ранее. Ввод этих объектов в эксплуатацию не окажет значительного влияния на общий рост добычи золота в регионе.

В *нераспределённом фонде недр* учитываются:

41 собственно-золоторудное месторождение, из которых Балейское и Серебряное – средние по запасам (табл. 3);

24 комплексных месторождения, из которых одно Култуминское – крупное.

Балейское месторождение (см. табл. 3) находится на южной окраине районного центра Балей. Основные технико-экономические показатели месторождения: фактическая производительность по руде – 785 тыс. т; обеспеченность запасами – 17 лет (при открытой разработке).

Серебряное золото-серебряное месторождение (см. табл. 3) находится в Газимуро-Заводском районе Забайкальского края, в 200 км северо-восточнее села Газимурский Завод, являющегося районным центром.

В 2013 г. ТКЗ были утверждены технико-экономическое обоснование временных разведочных кондиций и подсчёт запасов золота и серебра на месторождении. Основные технико-экономические показатели месторождения: производительность по руде – 1550 тыс. т; обеспеченность запасами – 14 лет; выход на полную производственную мощность – 4 года; срок строительства ГОКа – 2 года; срок существования ГОКа (с учётом рекультивации) – 17 лет. В год планировалось добывать около 2500 кг золота.

Права пользования недрами в 2015 г. прекращены из-за истечения срока действия лицензии. ПАО «Нор-

никель» отказался от её продления, так как компания посчитала нецелесообразным разработку месторождения «в силу его низкой инвестиционной привлекательности».

Култуминское золото-железо-медное (с серебром) скарновое месторождение (см. табл. 3) находится на территории Газимуро-Заводского района Забайкальского края, в 90 километрах к северу от районного центра – села Газимурский Завод.

В 2008 г. ТКЗ были утверждены ТЭО временных разведочных кондиций и подсчёт запасов золота, серебра, меди и железа на месторождении. Основные технико-экономические показатели месторождения: производительность по руде – 8300 тыс. т; обеспеченность запасами – 23 года; срок строительства предприятия – 2 года.

В 2015 г. в связи с невозможностью эффективного освоения в современных экономических условиях ГМК «Норильский никель» принято решение отказаться от права пользования недрами на Култуминском месторождении. Указанные месторождения в случае повышения цен на золото являются резервом минерально-сырьевой базы золота Забайкальского края и могут быть повторно лицензированы и переоценены новым недропользователем. По-видимому, целесообразно рассмотреть вопрос о предоставлении потенциальному инвестору преференциальных мер государственной поддержки в рамках режима ТОР.

Россыпные месторождения. В сырьевой базе россыпного золота Забайкальского края по состоянию на 01.01.2018 г. учитываются 377 месторождений с запасами категорий АВС₁С₂ – 83 080 кг (АВС₁ – 66 334 кг или 9,75% от всех балансовых запасов золота) и забалансовые – 37 575 кг (рис. 3). Основное значение имеют месторождения, подготовленные для открытого раздельного (355 месторождений), дражного (14 месторождений) и подземного (8 месторождений) способов добычи (табл. 4).

Из них в распределённом фонде недр находятся 211 объектов, в которых сосредоточено 59 т запасов категорий АВС₁С₂, в нераспределённом фонде – 166 объектов, заключающих 23,8 т россыпного золота.

Обеспеченность добычи разведанными запасами россыпного золота распределённого фонда составляет 7–8 лет. Проведение доразведки особенно техноген-

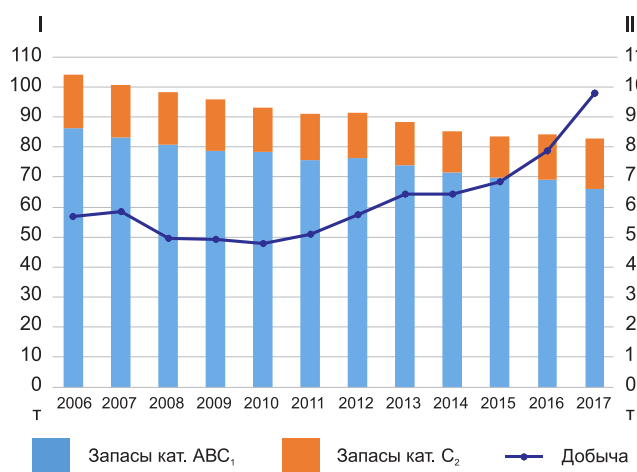


Рис. 3. Динамика запасов (I) и добычи (II) россыпного золота Забайкальского края (запасы на 31.12. 20... г., добыча за 20... г.)

ных образований может значительно удлинить срок их эксплуатации.

Запасы месторождений нераспределённого фонда составляют 28,7% балансовых запасов категорий ABC_1C_2 .

Прогнозные ресурсы (ПР) коренного золота в Забайкальском крае составляют по категориям: $P_1 - 259$, $P_2 - 406$ и $P_3 - 1490$ т, по сумме категорий $P_3 + P_2 + P_1 - 2155,4$ т.

В их структуре преобладают прогнозные ресурсы категории $P_3 - 68,8\%$, доли более достоверных категорий $P_2 - 19\%$ и $P_1 - 12,2\%$. Относительно небольшое количество прогнозных ресурсов категории P_1 свидетельствует об ограниченных возможностях воспроизводства запасов в ближайшие годы.

В распределённом фонде сосредоточены ресурсы категорий: $P_1 - 159$ т (41,7%), $P_2 - 152$ т (39,9%) и $P_3 - 70$ т (18,4%). В нераспределённом фонде – ресурсы катего-

рий: $P_1 - 100,5$ т (5,7%), $P_2 - 254,3$ т (14,3 %), $P_3 - 1419,7$ т (80%), по сумме категорий $P_3 + P_2 + P_1 - 1774,5$ т (рис. 4).

Соотношение прогнозных ресурсов и балансовых запасов коренных объектов показано на рис. 5, из которого видно, что значительную часть составляют наименее достоверные прогнозные ресурсы категории P_3 .

Для оценки количества балансовых запасов, которые могут быть получены в процессе проведения геологоразведочных работ на участках с прогнозными ресурсами, в ФГБУ «ЦНИГРИ» рассчитаны коэффициенты перевода прогнозных ресурсов из категорий в категорию, коэффициент успешности, коэффициент востребованности (А.И.Иванов, А.И.Черных, С.С.Вартамян, 2018). Применение этих коэффициентов позволило оценить количество ожидаемых условных запасов коренного золота категории C_2 и количество потенциально-промышленных объектов (табл. 5).

Таким образом, общее количество запасов потенциально-промышленных собственно-золоторудных объектов, в которые можно реализовать прогнозные ресурсы, может составить 115 т, из них 42 т – в объектах с запасами более 20 т (всего 2 объекта); 20 т – в объектах с запасами 10–20 т (2 объекта) и 52 т – в объектах менее 10 т (14 объектов).

Прогноз добычи золота в Забайкальском крае. В настоящее время добыча золота осуществляется из коренных и россыпных месторождений. Обеспеченность действующих месторождений запасами различная (см. табл. 1).

Приведённые в табл. 2 сведения о подготавливаемых и разведываемых месторождениях с данными по планируемой добыче показывают, что расчётная суммарная годовая добыча из этих объектов составит 8400 кг. То есть, при реализации сценария ввода всех этих объектов в эксплуатацию произойдёт не только восполнение выбывающих в этот период мощностей действующих предприятий, но и рост добычи золота (рис. 6).

В последние годы происходит наращивание золотодобычи из россыпей на фоне снижения балансовых запасов (см. рис. 3) за счёт вовлечения в разработку

4. Состояние запасов россыпного золота Забайкальского края

Способ добычи	Распределённый фонд		Нераспределённый фонд		Добыто за 2017 г, кг
	Число объектов	Запасы категорий ABC_1C_2 , кг	Число объектов	Запасы категорий ABC_1C_2 , кг	
Всего	211	59 212	166	23 868	9787
Открытый	202	50 438	153	18 554	9036
Подземный	1	175	7	2666	–
Дражный	8	8599	6	2648	751

Примечание. «–» – добыча не ведётся.

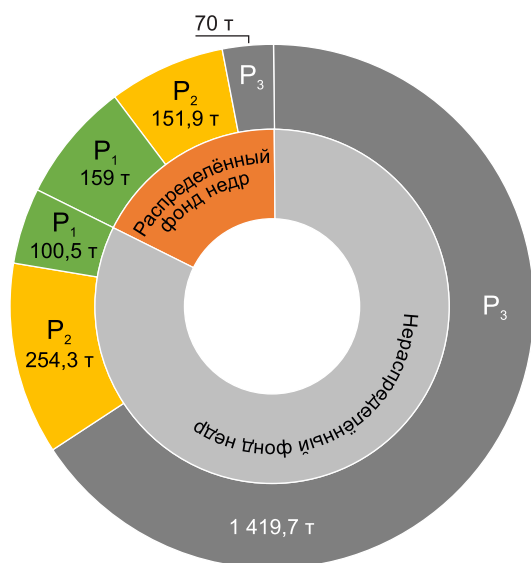


Рис. 4. Структура прогнозных ресурсов коренного золота Забайкальского края

техногенных объектов. Поэтому продолжительность и объёмы россыпной золотодобычи в Забайкальском крае, исходя из анализа состояния балансовых запасов и их ежегодного списания, оценивать не корректно. Можно констатировать, что в обозримом будущем добыча золота из россыпей будет вносить значительный вклад в её общий объём.

В случае повышения цен на золото возможным резервом для получения балансовых запасов являются забалансовые, количество которых на 01.01.2018 г. составляет 321 т (РФН 235,9 т). Однако прогнозировать, какая их часть, и в какой временной период может стать балансовой в настоящее время не целесообразно.

Запасы месторождений, находящихся в нераспределённом фонде недр и требующих переоценки, являются

резервом для восполнения минерально-сырьевой базы золота в регионе. Однако необходимо учитывать, что существует ряд сложностей с освоением некоторых из этих месторождений.

К таким относится Бaleyское собственно-золоторудное месторождение, которое в период с 1948 по 1994 гг. разрабатывалось открытым и подземным способами (карьер находится в городе), с обогащением руды методом флотации с последующим цианированием концентратов. После окончания отработки месторождения карьер был заброшен и со временем подвергся разрушению и затоплению. Для возобновления золотодобычи на объекте необходимы очень крупные финансовые вложения, что с учётом экологических аспектов позволяет высказать сомнения в реальности отработки остаточных запасов, находящихся в нераспределённом фонде недр. Необходимо провести специальные геолого-экономические исследования для определения целесообразности сохранения в государственном балансе запасов этого месторождения.

Култуминское золото-железо-медное (с серебром) скарновое месторождение, в котором золото является попутным компонентом, а основным компонентом – медь, также имеет неясные перспективы освоения. Дело в том, что в 2020-х годах планируется ввод в эксплуатацию ряда крупных месторождений меди – Удоканского, Малмыжского, Песчанки, Кун-Манье и, соответственно, значительное увеличение предложения меди на рынке.

Добыча из Ключевского месторождения не показана в прогнозе (см. рис. 6) по причине неопределённости его дальнейшего статуса. Это связано с тем, что 28 декабря 2018 г. вышел приказ Федерального агентства по недропользованию «Об ограничении пользования недрами». В нём предписано ограничить (с даты его регистрации) право пользования недрами, предоставленное АО «Рудник Западная-Ключи» в соответствии с лицензией ЧИТ 11545 БЭ на пользование недрами с целью разведки и добычи полезных ископаемых, в том числе использование отходов горнодобывающего и

5. Ожидаемые запасы собственно-золоторудных месторождений

Показатели	Всего	По группам потенциальных месторождений		
		> 20 т	10–20 т	< 10 т
Всего C ₂ условные, т	115	42	20	52
Количество объектов, шт.	18	2	2	14
Условные C ₂ в НРФН, т	75	16	14	43
Условные C ₂ в РФН, т	13	1	1	11
Итого объектов в НРФН, шт.	40	24	5	9
Итого объектов в РФН, шт.	5	1	1	3

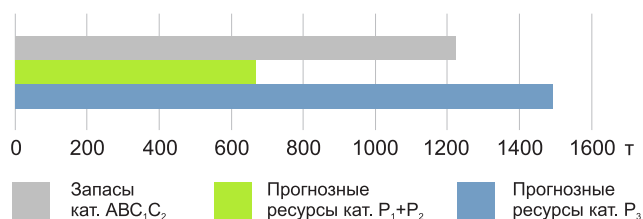


Рис. 5. Соотношение прогнозных ресурсов и балансовых запасов коренного золота

связанных с ним перерабатывающих производств на Ключевском золоторудном месторождении в Забайкальском крае в части срока ввода месторождения в эксплуатацию до 01.12.2023 г.

Освоение Тасеевского месторождения предусматривается в две очереди: в первую очередь (с 2019 по 2029 гг.) будут отрабатывать балансовые и забалансовые запасы руды в границах лицензионного участка по действующему проекту. Вторая очередь (с 2030 по 2042 гг.) предусматривает отработку оставшихся балансовых и забалансовых запасов руд в лицензионном контуре в соответствии с отдельно разработанной проектной документацией. Согласно ТЭО, добыча руды в конце первого периода отработки (с 2027 по 2029 гг.) сокращается с 2 млн. т до 0,5 млн. т, что отражено на рис. 6. Вероятно, для того чтобы сохранить производственные мощности фабрики (производство золота) в период 2029–2031 гг., до 2029 г. предприятие, по-

видимо, будет добывать больше руды, чем требуется для переработки, для её накопления на рудном складе. Соответственно, в период перехода ко второй очереди эксплуатации месторождения перерабатываться на обогатительной фабрике будет в основном заскладированная руда. Таким образом, спад добычи руды и, соответственно, списание балансовых запасов, по-видимому, не приведут к снижению производства золота.

Несмотря на ввод в эксплуатацию новых месторождений, после 2028 г. предполагается спад добычи золота в Забайкальском крае. Это будет обусловлено выбыванием (исчерпанием запасов) отрабатываемых месторождений и отсутствием в настоящее время серьезного задела на выявление новых объектов.

Из имеющихся прогнозных ресурсов могут быть подготовлены относительно небольшие запасы категории C_2 (см. табл. 5), добыча которых не сможет поддержать её современный уровень. Согласно расчётам, в процессе геологоразведочных работ (ГРП) на объектах с прогнозными ресурсами может быть выявлено два средних месторождения с суммарными запасами 42 т и два мелких объекта с суммарными запасами 20 т. Их введение в эксплуатацию возможно через 10 лет (А.И.Иванов, А.И.Черных, С.С.Вартанян, 2018) с суммарной добычей 6 т в год, при сроке полной отработки запасов за 10 лет. Остальные мелкие объекты (14) с суммарными запасами в 52 т могут быть введены в эксплуатацию после 2035 г.

Таким образом, представленные данные свидетельствуют о том, что проведение ГРП на подготовленных площадях с оценёнными на 01.01.2019 г. прогнозными ресурсами Забайкальского края не сможет обеспечить

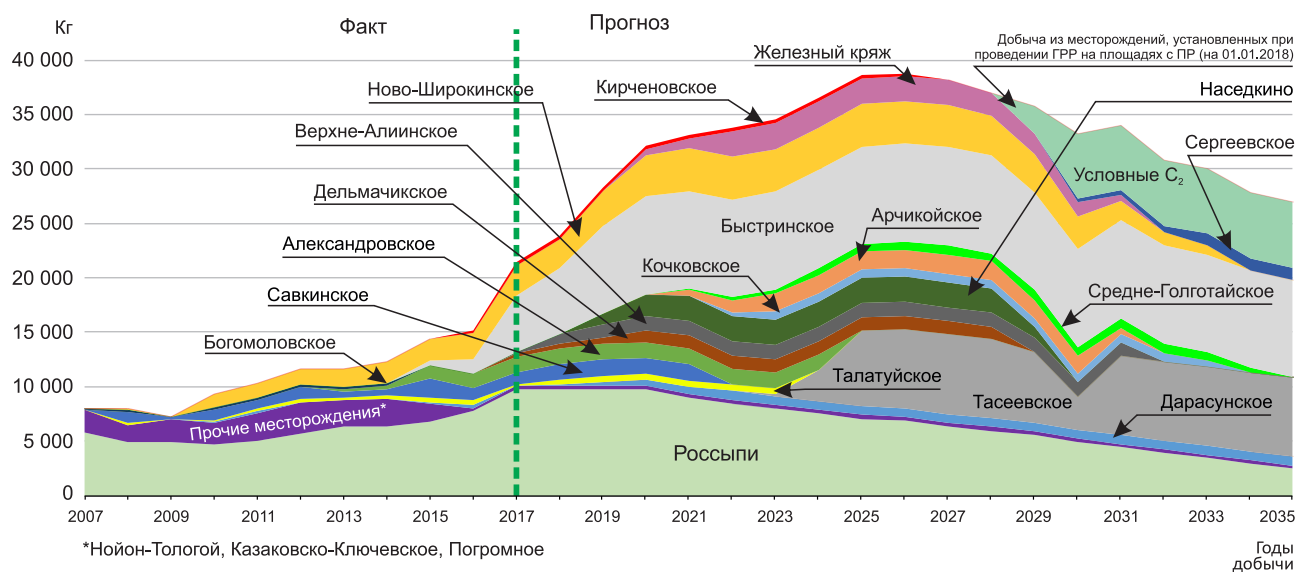


Рис. 6. Динамика золотодобычи (списание балансовых запасов) в 2007–2017 гг. и прогноз до 2035 г.

восполнение запасов золота при сохранении добычи на достигнутом уровне.

В связи с этим очевидна необходимость усиления ГРР на новых, слабоизученных территориях. В условиях дефицита средств федерального бюджета необходимо усиление ГРР недропользователями, особенно по заявительному принципу лицензирования.

С 2014 г. на территории Забайкальского края (по данным АСЛН от 17.07.2019 г.) было подано 577 заявок на сырьё, содержащее золото. Из них 175 заявок удовлетворены, 83 находятся на рассмотрении, 17 аннулированы, 5 заявок были удовлетворены, но лицензия пока не выдана, 153 заявки (лицензия выдана) действуют, 144 заявки имеют статус «отклонены» и «возвращены».

С 7 июля 2019 г. вступили в действие поправки к приказу Министерства Природных ресурсов № 583 (от 10 ноября 2016 г.) о внесении изменений в порядок рассмотрения заявок на получение права пользования недрами для геологического изучения недр – приказ № 299 (от 14 мая 2019 г.), согласно которому можно лицензировать объекты с любыми категориями прогнозных ресурсов (без балансовых запасов). Вероятно, это приведёт к повышению активности недропользователей по лицензированию по заявительному принципу

и, соответственно, в перспективе к увеличению минерально-сырьевой базы золота Забайкальского края и обеспечению сохранения объёмов добычи.

Что касается геологоразведочных работ на золото за счёт средств федерального бюджета, то на территории Забайкальского края в период с 2010 по 2017 гг. было проведено 9 проектов на поиски россыпного и рудного золота. Из них 7 объектов были завершены с апробированными прогнозными ресурсами категорий P_1 и P_2 (см. рисунки 4, 5 и табл. 5). Согласно проекту по-объектного плана геологоразведочных работ на твёрдые полезные ископаемые за счёт средств федерального бюджета до 2024 г., на территории края в период с 2019 по 2026 гг. предполагается проведение работ на рудное золото на нескольких объектах с ожидаемыми приростами прогнозных ресурсов категорий P_1 и P_2 .

Следует отметить, что для локализации площадей для поисковых работ как за средства федерального бюджета, так и по заявительному принципу необходимо усиление прогнозно-металлогенических изысканий. Такие работы в ограниченном объёме в пределах Забайкальского края проводит ФГБУ «ЦНИГРИ», но для их активизации необходимо дополнительное финансирование не только за средства федерального бюджета, но и из других источников.

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

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

К вопросу использования государственной системы координат (ГСК-2011) при работах геологической отрасли, формировании единого информационного пространства и требований к функционалу ГИС

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

Рассмотрен принятый порядок использования государственной системы координат 2011 г. (ГСК-2011). Приводятся сведения об основных документах, определяющих порядок ввода, сроки действия государственных систем координат, их параметры, методы преобразований координат. Дается краткая характеристика основных существующих глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС, GNSS), используемых ОГСК. Проведено сравнение эллипсоидов, соответствующих СК ГНСС и ГСК-2011. Приведены значения элементов трансформирования для основных систем координат, используемых в РФ на основании регламентных документов. Отмечены как положительные, так и отрицательные (препятствия) аспекты введения и использования ГСК-2011 в геологической отрасли. Сформулированы рекомендации для повышения эффективности применения ГСК-2011, в частности, и для информационной обеспеченности геологической отрасли в целом.

Ключевые слова: государственные системы координат, общеземная геоцентрическая система координат, ГСК-2011, СК-42, СК-95, WGS-84, ITRF-2008, глобальные навигационные спутниковые системы, ГНСС, картография, референц-эллипсоид, значения элементов трансформирования, информационное обеспечение, геологическая отрасль.

Вахрушев Андрей Михайлович
кандидат геолого-минералогических наук

vahrushev@tsnigri.ru

Муравьев Владимир Сергеевич



vmuravev@tsnigri.ru

Using the State Coordinate System (GSK-2011) for works in geology, creating the unified data space and requirements for the GIS functionality

A.M.VAKHRUSHEV, V.S.MURAVIEV (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals)

The paper is reporting the existed procedure of using the State Coordinate System of the year 2011 (GSK-2011). Information about the major documents designated the process of commissioning and period of validity of coordinate systems, their parameters and methods of transformation is published. The existed global navigation satellite systems (GNSS) and geocentric coordinate systems are shortly characterized. The authors have compared ellipsoids for the coordinate systems SK GNSS and GSK-2011. Transformation coefficients are reported for the main coordinate systems applicable in Russian Federation based on the approved guidelines. The main advantages and problems of using the GSK-2011 for geological work are noted. The paper contains recommendations for the improvement of information coverage in general and the efficiency of GSK-2011 usage in geology.

Key words: state coordinate systems, geocentric coordinate system, GSK-2011, SK-42, SK-95, WGS-84, ITRF-2008, global navigation satellite systems, GNSS, cartography, reference ellipsoid, transformation coefficients, information coverage, geology.

С 1 января 2017 г. была введена в действие государственная система координат 2011 г. (ГСК-2011), согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 24 ноября 2016 г. № 1240 «Об установлении государственных систем координат, государственной

системы высот и государственной гравиметрической системы» [10, 11]. Ранее ГСК-2011 уже вводилась постановлением Правительства РФ от 28 декабря 2012 г. № 1463 «О единых государственных системах координат» [12]. Однако постановление № 1240 его отменяет

и даёт некоторые послабления по предельным срокам использования СК-42 и СК-95.

Разработка и введение ГСК-2011 являются этапом в развитии геодезического обеспечения Российской Федерации, в том числе и в области решения задачи совершенствования соответствия между национальной и глобальными системами координат [10]. Таким образом, появилась система координат, точность которой не уступает спутниковым геодезическим измерениям, основанным на данных глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). До введения ГСК-2011 исполнители картографических работ, выполнив спутниковые измерения (получив координаты с приёмников ГНСС), вынуждены были искажать полученные данные, переходя к ранее определённым государственным системам координат, таким как СК-95 и СК-42 [10], применяемым в геологической отрасли. В результате точность конечной информации существенно снижалась. По опубликованным данным и мнению специалистов геодезической отрасли, ГСК-2011 практически на порядок точнее СК-95 и на два порядка – СК-42 [9].

Основные документы, определяющие порядок ввода, сроки действия государственных систем координат, их параметры, а также методы преобразований координат и их приращений из одной системы в другую, приведены в табл. 1.

Система координат СК-42 в силу поэтапности её развития и технологии уравнивания результатов измерений с позиции современных требований обладает низкой точностью, а погрешности координат пунктов государственной геодезической сети (ГГС), реализующей её, имеют неоднородное распределение на территории России. Даже в пределах одного административного района погрешности координат пунктов могут колебаться в пределах нескольких метров [16]. Стоит отметить, что СК-42 1942 г., введённая Постановлением Совета Министров СССР от 7 апреля 1946 г. № 760, представляет собой систему плоских прямоугольных координат в проекции Гаусса-Крюгера (референц-эллипсоид-Красовского). В основе СК-42 лежит классическая наземная триангуляция. Начальным пунктом в системе координат 1942 г. был принят центр круглого зала Пулковской обсерватории.

В результате совместного уравнивания трёх самостоятельных, но связанных между собой геодезических построений различных классов точности – КГС (космическая геодезическая сеть), ДГС (доплеровская геодезическая сеть), АГС (астрономо-геодезическая сеть) по их состоянию на период 1991–1993 гг. – на смену СК-42 была принята новая система координат СК-95. Она установлена так, что её оси параллельны осям геоцентрической системы координат. Положение начала СК-95 задано таким образом, что значения координат пункта ГГС Пулково в системах СК-95 и СК-42 совпадают [14].

Уровень и интенсивность развития системы геодезического обеспечения определяются двумя основными

факторами: состоянием средств геодезических измерений и востребованностью экономики к точности и оперативности получения геодезических данных. В настоящее время эти факторы непосредственно связаны с созданием и внедрением глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС, GNSS) [15, 16], характеристики которых приведены в табл. 2.

Параметры эллипсоидов, соответствующих СК и ГСК-2011 по данным регламентных документов, ГОСТ и др. (в том числе по данным ООН), приведены в табл. 3 [3, 13, 15, 17].

Развитие технологий и требования к оперативности получения пространственной информации определили переход от классических наземных измерений к методам определения с использованием спутниковых измерений и спутниковых геодезических сетей. Как видно из приведённых ранее таблиц, большинство развитых стран (или их объединения) с протяжёнными территориями, помимо активного участия в международных проектах, связанных с единой ОГС, ведут программы по развитию национальных (государственных) СК, что позволяет сохранять и развивать существующий геодезический и картографический потенциал.

Основу системы координат ГСК-2011 составляют государственные спутниковые геодезические сети, использованные при выводе её параметров [6, 8, 16]:

- сеть пунктов постоянных наблюдений ГНСС – фундаментальная астрономо-геодезическая сеть (ФАГС);
- сеть пунктов периодически повторяемых наблюдений ГНСС – высокоточная геодезическая сеть пунктов (ВГС);
- спутниковая геодезическая сеть 1 класса (СГС-1).

В структуру государственной геодезической сети, практически реализующей систему координат ГСК-2011 и обеспечивающей её доступность для использования потребителями, также входят сети триангуляции, полигонометрии и трилатерации 1–4 классов (~283 000 пунктов), уравниваемые с опорой на пункты ФАГС, ВГС и СГС-1, что обеспечивает возможность использования в системе координат ГСК-2011 большого количества геодезических, топографических и картографических материалов, полученных ранее на основе традиционных методов и технологий.

На практике при подготовке и проведении полевых (геологических) работ уже давно и активно применяются портативные спутниковые навигаторы для ориентирования на местности и получения координат (привязки на местности) пройденных маршрутов, мест работ и др. При этом основной объём материалов и пространственных данных (картографических, геологических, топографических и др.), используемых на всех этапах отраслевых работ, представлен в системе координат СК-42, а для ГНСС базовой системой координат в подавляющем большинстве случаев является WGS-84, в связи с чем необходимы этапы пред- и постобработки загружаемой и получаемой с навигаторов информации

1. Основные документы, определяющие порядок ввода, сроки действия государственных систем координат, их параметры, методы преобразований координат

Документ	Дата вступления в силу, ввода в действие	Основные положения документа
Постановление Правительства РФ от 24 ноября 2016 г. № 1240 «Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы» [11]	01.01.2017	Введение на территории РФ новой государственной геодезической системы координат 2011 г. (ГСК-2011); картографические работы, предусматривающие создание новых пространственных данных в государственной системе координат, должны выполняться только в ГСК-2011; применение СК-42 и СК-95 допускается до 1 января 2021 г. в отношении материалов (документов), созданных с их использованием; приведены параметры, применяемые в государственных системах координат
ГОСТ 32453-2017. Глобальная навигационная спутниковая система; системы координат; методы преобразований координат определяемых точек [3]	01.07.2018	Стандарт устанавливает методы преобразований координат и их приращений из одной системы в другую, а также порядок использования параметров преобразования систем координат при выполнении геодезических, навигационных, картографических работ с применением аппаратуры потребителей глобальных навигационных спутниковых систем
Приказ Росреестра от 23.03.2016 № П/134 «Об утверждении геометрических и физических числовых геодезических параметров государственной геодезической системы координат 2011 года» [13]	23.03.2016	Геометрические и физические числовые геодезические параметры государственной геодезической системы координат 2011 г., значения элементов трансформирования для основных систем координат, используемых на территории Российской Федерации, в том числе параметры трансформации из СК-42 в ГСК-2011, WGS-84 (G1150) в ГСК-2011, ITRF-2008 в ГСК-2011

посредством различного программного обеспечения. Применение и приёмы работы со спутниковыми навигаторами описываются во многих учебных курсах и программах по геологии, а также весьма подробно рассмотрены в созданном специалистами ФГБУ «ВСЕГЕИ» методическом пособии по использованию систем спутниковой навигации при производстве ГСР-200 и работах по созданию Госгеолкарты-1000/3 [4]. Фактически в связи с развитием технологий, их доступностью, удобством использования достаточно давно произошёл переход от классических наземных измерений к методам определения пространственных координат посредством ГНСС. Однако сама точность получаемых пространственных данных может в итоге не соответствовать возможностям используемых технических и программных средств из-за множества причин, так или иначе связанных с особенностями пересчёта значений в различных системах координат. Исполнитель может как ошибаться при пересчётах, так и просто забыть выполнить рекомендуемые действия

для получения удовлетворительных результатов точности. Для мелкомасштабных работ это не так критично. Согласно «Инструкции по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ (утв. Министерством природных ресурсов Российской Федерации 3 декабря 1996 г.)» [2], на стадиях геологической съёмки, глубинного геологического картирования и общих поисков с составлением отчётных карт масштабов 1:100 000 и мельче по СКП допуски могут быть до 100 м, для более крупных масштабов – пропорционально меньше.

Внедрение ГСК-2011 как основной системы координат в данном случае весьма положительно, так как её согласованность с другими общеземными СК высока. Значения элементов трансформирования для основных систем координат, используемых на территории Российской Федерации, определённых в Приказе Росреестра от 23.03.2016 № П/134, приведены в табл. 4.

На основе значений этих параметров можно сделать вывод о том, что даже в случае неприменения транс-

2. Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС, GNSS)

Наименование	Тип, статус	Принадлежность	Точность определения местонахождения объекта*	Система координат, эллипсоид**
GPS (NAVSTAR)	Глобальная, действующая	США, МО	Типичная точность примерно 6–8 м, может быть улучшена до метров, десятков сантиметров	WGS-84 (G1762), приближен к ITRF-2008 (расхождения порядка десятков сантиметров)
ГЛОНАСС	Глобальная, действующая	РФ, МО	До 2,8 м, к 2020 г. – до 0,6 м с дальнейшим доведением до 10 см	ПЗ-90 (ПЗ-90.11), параметры близки к ITRF-2008
GALILEO	Глобальная, строящаяся	ЕС	Пока сравнима с GPS, планируется в специальных режимах до 10 см	GTRF (GTRF16v01), приближен к ITRF-2008 с субсантиметровой точностью
BEIDOU	Глобальная, строящаяся	Китай	К 2012 г. точность порядка 10 м	CGCS2000 (CTRF 2000), практически соответствует WGS-84
QZSS	Региональная, действующая	Япония	СДК (система дифференциальной коррекции) для GPS, улучшение точности позиционирования до сантиметров на ограниченной территории	JGS, близка к ITRF-2008
IRNSS (NAVIC)	Региональная, действующая	Индия	Точность до 10 м	WGS-84

Примечание. *С применением функциональных дополнений глобальных навигационных спутниковых систем, RTK, DGPS и др. точность может возрастать до первых сантиметров; **все версии ОГСК (Общеземная геоцентрическая система координат) к настоящему времени с достаточно высокой точностью согласованы с ITRF-2008.

формации между WGS-84 (как основной при использовании ГНСС) расхождения должны быть весьма далеки от критических значений, не говоря уже о разнице с ПЗ-90.11, чего нельзя сказать о СК-42 и СК-95.

Не углубляясь в нюансы и особенности применяемых ранее СК-42 и СК-95, можно сказать, что для согласованности пространственных данных при итоговом формировании картографических материалов исполнителю необходимо привести их в соответствие с ГСК-2011 соответствующими методами трансформации (семипараметрическое, Гельмерта). При этом программное обеспечение, используемое для картографических работ (геоинформационные системы), должно содержать данные о соответствующих СК (параметры референц-эллипсоидов и их датумы) и параметрах перехода между ними или как минимум позволять их задать, а также обеспечивать возможность пересчёта координат «на лету». Вместе с тем важна возможность создания «цепочки» последовательных преобразований, так как ГОСТ регламентирует выполнение пересчёта пространственных прямоугольных координат пользователями ГНСС ГЛОНАСС и GPS по схеме из системы

ПЗ-90 в систему WGS-84 и обратно, а также из ПЗ-90 и WGS-84 в референчные системы координат Российской Федерации, используя семь элементов трансформирования, точность которых определяет точность преобразований [3].

Однако даже современные версии (2018–2019 гг.) многих актуальных для картографических работ программных продуктов (особенно иностранных проприетарных) класса ГИС не имеют данных о ГСК-2011 в базовом пакете установки. То же самое можно отметить и для российских программных комплексов. В таких случаях перед конечным пользователем встаёт проблема самостоятельного внесения параметров утверждённой к использованию ГСК-2011 в настройки программных продуктов, что зачастую является нетривиальной задачей, так как необходимо найти такие сведения, корректно их добавить в базы систем координат ПО, верно указать методы и параметры пересчёта между СК. В отдельных случаях можно ожидать, что исполнитель просто будет выбирать наиболее близкие по параметрам СК из уже имеющихся в программе. Также существует проблема соответствия между российским

3. Сравнение эллипсоидов соответствующих СК и ГСК-2011

Эллипсоид	Большая полуось эллипсоида, а	Сжатие эллипсоида, $\alpha, ^{-1}$	Малая полуось эллипсоида, b	$ \Delta a $ от ITRF-2008	$ \Delta b $ от ITRF-2008	$ \Delta a $ от WGS-84	$ \Delta b $ от WGS-84
PZ-90.11	6 378 136	298,25784	6 356 751,361796	0,60	0,50	1,00	0,95
GSK-2011	6 378 136,50	298,2564151	6 356 751,757956	0,10	0,10	0,50	0,56
ITRF-2008/2014	6 378 136,60	298,25642	6 356 751,857972	0,00	0,00	0,40	0,46
WGS 84 (G1762)	6 378 137,00	298,2572236	6 356 752,314245	0,40	0,46	0,00	0,00
CTRF 2000	6 378 137,00	298,2572221	6 356 752,314140	0,40	0,46	0,00	0,00
СК-95/СК-42, Красовского	6 378 245,00	298,3	6 356 863,018773	108,40	111,16	108,00	110,70

и международным именованием вводимых систем координат, что существенно затрудняет их поиск как в программе, так и по онлайн-базам (EPSG и др.)

В виду вышеуказанных аспектов возникают вопросы, напрямую касающиеся формирования единого информационного пространства отрасли как в части требований к программным продуктам, их технической поддержки, импортозамещения, так и нормативно-методического обеспечения. Требуется документ, который бы регламентировал порядок ввода в действие и использования ГСК-2011 в отрасли, разъяснял с какого времени и для каких наборов данных информацию об их пространственном положении предоставлять в этой системе координат. В связи с переходным периодом актуально регламентировать указание используемой СК как для формируемых картографических материалов в целом, так и для отдельных представленных на них информационных слоёв (особенно для цифровых комплектов). То же касается и координат, приводимых в проектах технических (геологических) заданий для описания пространственного положения объекта работ, а также и других отраслевых документов, содержащих такого рода сведения (приложения к лицензионным соглашениям, паспортам объектов учёта участков недр). Регламентировать перевод существующих и применяемых цифровых основ (математических, географических, топографических, геологических и др.) в новую СК, модифицировать существующие ИС, возможно, пересчитать хранящиеся в них координаты в соответствии с законодательной базой. Регламентировать в какой СК будут выгружаться пространственные данные из отраслевых ИС и ресурсов. Важно обо-

значить одним из основных требований к программным продуктам, оперирующим пространственными данными, поддержку ГСК-2011 по умолчанию, в том числе и в рамках импортозамещения, и предусмотреть сопровождение комплекта поставки ПО соответствующей инструкцией, где было бы рассмотрено, что необходимо выполнить для использования государственных систем координат РФ. Например, ESRI CIS опубликовала необходимую информацию на своём сайте в разделе «Блоги» (там же можно найти и готовые ГП для местных систем координат) [1, 7]. Такие меры повышают привлекательность программного продукта, его коммерческую успешность. ГИС Панорама, судя по информации с их сайта, тоже давно обеспечила поддержку государственных систем координат. «Наша ГИС» от «СибГеоПроект» также, по информации с сайта производителя, поддерживает ГСК-2011. QGIS 3.6 содержит описание ГСК-2011, но не параметры ГП. NEXTGIS QGIS не содержит. ГИС Интегро – в базовой конфигурации не содержит, необходимо вводить вручную. Конечно, современные геоинформационные системы в большинстве своём поддерживают ввод произвольных систем координат, параметров географических преобразований, но механизмы ввода различаются существенно, что, как уже отмечалось, может стать для пользователя нетривиальной задачей.

В виду того, что большое количество данных о пространственном положении объекта в отраслевых документах приводится в табличном виде (таблица координат угловых точек, повсеместно в паспортах объекта, в проектах Т(Г)З, лицензионных соглашениях и др.), востребованность «калькулятора», инструмента

4. Значения элементов трансформирования для основных систем координат, используемых в Российской Федерации

Исходная система (А)	Конечная система (Б)	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м	ω_x 10^{-3} угл.с	ω_y 10^{-3} угл.с	ω_z 10^{-3} угл.с	m , 10^{-6}
СК-42	ГСК-2011	+23,56 $\pm 2,00$	-140,86 $\pm 2,00$	-79,77 $\pm 3,00$	-2 ± 10	-346 ± 10	-794 ± 10	-0,227 $\pm 0,25$
СК-95	ГСК-2011	+24,65 $\pm 0,43$	-129,14 $\pm 0,37$	-83,06 $\pm 0,54$	-67 ± 10	+4 ± 10	+129 ± 10	-0,175 $\pm 0,2$
ПЗ-90	ГСК-2011	-1,44 $\pm 0,2$	+0,17 $\pm 0,2$	+0,23 $\pm 0,3$	+1,738 ± 1	+3,559 ± 1	-134,263 ± 1	-0,2274 $\pm 0,06$
ПЗ-90.02	ГСК-2011	-0,37 $\pm 0,1$	+0,2 $\pm 0,1$	+0,21 $\pm 0,1$	-1,738 ± 1	+3,559 $\pm 0,5$	-4,263 $\pm 0,5$	-0,0074 $\pm 0,05$
ПЗ-90.11	ГСК-2011	+0,000 $\pm 0,01$	-0,014 $\pm 0,02$	-0,008 $\pm 0,01$	-0,562 $\pm 0,7$	-0,019 $\pm 0,26$	-0,053 $\pm 0,23$	+0,0006 $\pm 0,001$
WGS-84 (G1150)	ГСК-2011	-0,34 $\pm 0,1$	+0,47 $\pm 0,1$	+1,13 $\pm 0,2$	-1,738 ± 1	+3,559 $\pm 0,5$	+65,737 $\pm 0,5$	-0,1074 $\pm 0,05$
ITRF-2008	ГСК-2011	+0,002 $\pm 0,1$	-0,003 $\pm 0,02$	-0,003 $\pm 0,01$	-0,053 $\pm 0,7$	-0,093 $\pm 0,26$	-0,012 $\pm 0,23$	+0,0008 $\pm 0,001$

Примечание. ΔX , ΔY , ΔZ – линейные параметры трансформирования при переходе из системы А в систему Б; ω_x , ω_y , ω_z – угловые параметры трансформирования при переходе из системы А в систему Б; m – масштабный параметр трансформирования при переходе из системы А в систему Б.

пакетного пересчёта наборов координат в числовом представлении, а ещё желательнее – отдельного инструмента перепроецирования пространственных данных в цифровом виде, поддерживающего основные применяемые форматы файлов.

По литературным данным [5], в кадастровой палате Росреестра имеется ПО MSK2GSKALLR для пересчёта массивов данных из СК-95 в ГСК-2011; декларируемая разработчиками точность преобразования – 5 см. Однако в настоящее время ни непосредственно данное ПО, ни его основной компонент, определяющий точность пересчёта – региональные параметры связи и матрицы деформации СК-95 по отношению к ГСК-2011 – широкой общественности (за исключением кадастровой платы Росреестра) недоступны. Для геологической отрасли такая точность видится избыточной, поэтому достаточно опираться на представленные в ГОСТ и Приказе Росреестра параметры пересчёта. В сети Интернет в свободном доступе имеются ресурсы по пересчёту координат (www.latlong.ru, www.geobridge.ru, www.mapbasic.ru, тематические форумы, собственные разработки отдельных пользователей), но всем вышеприведённым требованиям они не соответствуют (или пока нет поддержки ГСК-2011, или можно пересчитывать координаты только по одной точке, да и не очевидны сами формулы пересчёта – неясно на основе каких значений параметров выполняются преобразования).

Понятно, что для эффективного внедрения и применения ГСК-2011, помимо разработки нормативно-методических отраслевых документов, следует если не на государственном, то как минимум на отраслевом уровне решить задачи разработки и принятия технологии, создания ПО для преобразования координат и пространственных данных из ранее использовавшихся (и используемой до сих пор повсеместно СК-42) в утверждённую государственную систему ГСК-2011 с необходимой и достаточной точностью. При этом нормативная база и программно-технологическое обеспечение должны быть доступны всем заинтересованным субъектам. В виду того, что Росгеолфонд, ответственный за создание и ведение ЕФГИ, стал ключевым субъектом «цифровизации» отрасли, держателем цифровой информации, представляется разумным организовать в рамках информационных ресурсов Росгеолфонда раздел методических отраслевых руководств и сопутствующих программных средств, в том числе в виде «онлайн-сервисов», поскольку информация – это не только данные, но и средства их обработки, документы по принципам работы с ними, инструкции.

Следует отметить, что какими бы полными не были данные, без интерпретации и осмысления они сами по себе не станут информацией, и не факт, что в такой ситуации человек сможет на их основе правильно сформировать собственные знания. Для преодоления такого

рода трудностей целесообразно иметь своего рода площадку мониторингового обсуждения и сбора информации об актуальных для геологической отрасли законодательных инициативах, законах, инструкциях, регламентах, приёмах работы и др., с возможностью оперативного обновления содержания, указания ссылок и текстов самих документов, предложения исправлений, их экспертной оценки и дополнения специалистами. Сформировать своего рода вики-систему, базу знаний, энциклопедию и интегрировать её в структуру информационного обеспечения отрасли, при этом в системе организовать отображение информации по градациям уровня заинтересованности пользователя (специалиста). Например, страница, отображающая базовые параметры и сведения, необходимые для выполнения операций пересчёта из одной СК в другую, с информацией по настройке ПО – для технических специалистов (базовая информация); информация по принятым документам, регламентирующим введение, особенности применения, формулы расчёта, сведения, связанные с углублённым изучением вопроса – для специалистов, более заинтересованных в понимании проблемы и её решения, обсуждения (расширенная информация).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Географические преобразования*. ESRI CIS Блоги [электронный ресурс]. Источник: <https://blogs.esri-cis.ru/2018/02/14/geo-transformations>. Дата обращения: 19-03-2019: 14-00.
2. *Инструкция по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ* (утв. Министерством природных ресурсов РФ 3 декабря 1996 г.). – Новосибирск: СНИИГТиМС, 1997.
3. *Межгосударственный стандарт ГОСТ 32453-2017 «Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек»* (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12.09.2017 № 1055-ст).
4. *Методическое пособие по использованию систем спутниковой навигации при производстве ГСР-200 и работах по созданию Госгеолкарты-1000/3*. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. [электронный ресурс]. Источник: http://www.vsegei.ru/ru/info/normdocs/metod_gps.pdf. Дата обращения: 19-03-2019:13-40.
5. *Обиденко В.И.* Об изменении координат на территории Российской Федерации при переходе от СК-95 к ГСК-2011 // Вестник СГУГиТ. 2017. Вып. 2 (22). С. 5–21.
6. *Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации*. ГКИНП (ГНТА)-01-006–03. Утверждены приказом Роскартографии от 17.06.2003 г. № 101-пр.
7. *Перепроецирование из/в МСК и трансформации по ГОСТам 2001, 2008, 2013 и 2017*. ESRI CIS Блоги [электронный ресурс]. Источник: https://blogs.esri-cis.ru/2018/10/22/custom_projections_arcgis. Дата обращения: 19-03-2019:14-05.
8. *Побединский Г.Г.* Системы координат и нормативное регулирование создания и функционирования спутниковых сетей точного позиционирования // Геопрофи. 2016. № 6. С. 4–12.
9. *Побединский Г.Г., Столяров И.А.* Современное состояние государственной системы геодезического обеспечения Российской Федерации и основные направления ее развития. Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2017 // Сборник материалов XIII Междунар. науч. конгр., 17–21 апреля 2017 г. –Новосибирск: СГУГиТ, 2017. С. 14–27.
10. *Попрыгин В.А., Третьяков В.И.* ГСК-2011. Проблема перехода // Геопрофи. 2018. № 1. С. 8–12.
11. *Постановление Правительства РФ от 24 ноября 2016 г. № 1240 «Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы»*.
12. *Постановление Правительства РФ от 28 декабря 2012 г. № 1463 «О единых государственных системах координат»*.
13. *Приказ Росреестра от 23.03.2016 № П/134 «Об утверждении геометрических и физических числовых геодезических параметров государственной геодезической системы координат 2011 года»*.
14. *Система геодезических координат 1942 года (СК-42)*. Геодезический словарь. Санкт-Петербургский техникум геодезии и картографии [электронный ресурс]. Источник: <http://spbtgik.ru/book/2128.htm>. Дата обращения: 19-03-2019:12-00.
15. *Современные навигационные спутниковые системы*. Информационно-аналитический центр КВНО ФГУП ЦНИИмаш, г. Королев, Россия [электронный ресурс]. Источник: www.glonass-iac.ru. Дата обращения: 19-03-2019:13-20.
16. *Современное состояние и направления развития геодезического обеспечения РФ*. Системы координат / В.П.Горобец, Г.В.Демьянов, А.Н.Майоров, Г.Г.Побединский // Геопрофи. 2013. № 6. С. 4–9.
17. *Regional Reference Systems*. United Nations Office for Outer Space Affairs [электронный ресурс]. Источник: <http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/icg/resources/Regl-ref.html>. Дата обращения: 19-03-2019:13-00.

Верификация баз данных изученности по результатам ревизионных работ

Е.А.ТКАЧЕВА, Г.А.МИХАЙЛОВА, О.А.ШПЕКТОРОВА (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский федеральный геологический фонд» (ФГБУ «Росгеолфонд»); 125993, г. Москва, 3-я Магистральная ул., д. 38)

В статье рассмотрены вопросы по качественному улучшению системы информационного обеспечения недропользования, мониторинга и контроля минерально-сырьевой базы Российской Федерации путём развития информационных технологий. На примере обработки материалов, содержащихся в учётных карточках геологической изученности, в которых кратко представлены все основные данные о проведённых геологических исследованиях, рассматриваются основные принципы создания ГИС-проекта. Предлагаемая модель выверенных материалов предоставляет огромные возможности для создания каталога работ и построения специализированных карт и картограмм с 3-D визуализацией для отражения геологической изученности любой заданной территории.

Ключевые слова: геологическая изученность недр, хранение геологических данных, ревизионные работы, восстановление материалов, ГИС-проекты, атрибутивная таблица, картограмма.

Ткачева Елена Александровна

etkacheva@rfgf.ru

Михайлова Галина Александровна



gmikhaylova@rfgf.ru

Шпекторова Ольга Андреевна

oshpektorova@rfgf.ru

Verification of databases of knowledge based on the results of audit work

E.A.TKACHEVA, G.A.MIKHAILOVA, O.A.SHPEKTOROVA (Russian Federal geological Fund)

The article deals with the issues of qualitative improvement of the system of information support of subsoil use, monitoring, and control of the mineral resource base of the Russian Federation through the development of information technologies. Through processing the materials in the accounting cards of geological study, which contain all the basic data on the geological surveys, the basic principles of creating a GIS project were established. The proposed model of verified materials provides great opportunities for the creation of a catalog of works and the construction of specialized maps, as well as, cartograms with 3-D visualization to reflect the geological knowledge of any given territory.

Key words: geological study of subsoil, storage of geological data, revision works, restoration of materials, GIS projects, attribute table, cartogram.

Качественное улучшение системы информационного обеспечения недропользования, мониторинга и контроля минерально-сырьевой базы Российской Федерации путём развития информационных технологий, в том числе за счёт внедрения автоматизированных систем обработки, интерпретации, хранения и предоставления в пользование геологических данных, — одна из задач «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года», утверждённой распоряжением Правительства РФ от 22.12.2018 №2914-р.

В соответствии с потребностями национальной экономики, состоянием международных отношений и колебанием мировых цен на минеральное сырьё периодически меняются направления использования различ-

ных видов полезных ископаемых, перечень стратегических и наиболее значимых видов сырья, соответственно, меняются приоритеты в задачах геологической отрасли. Поэтому особенно важно максимально полно вести государственный учёт всех работ по геологическому изучению недр, в том числе и на долгосрочную перспективу, так как на основе имеющейся геологической информации принимаются ключевые решения при планировании и проведении работ всех этапов и стадий.

Согласно Закону «О недрах» (статья 27. Геологическая информация о недрах), пользователь недр обязан обеспечивать передачу геологической информации для государственного учёта и ведения государственного реестра по единой системе в порядке, устанавливаемом

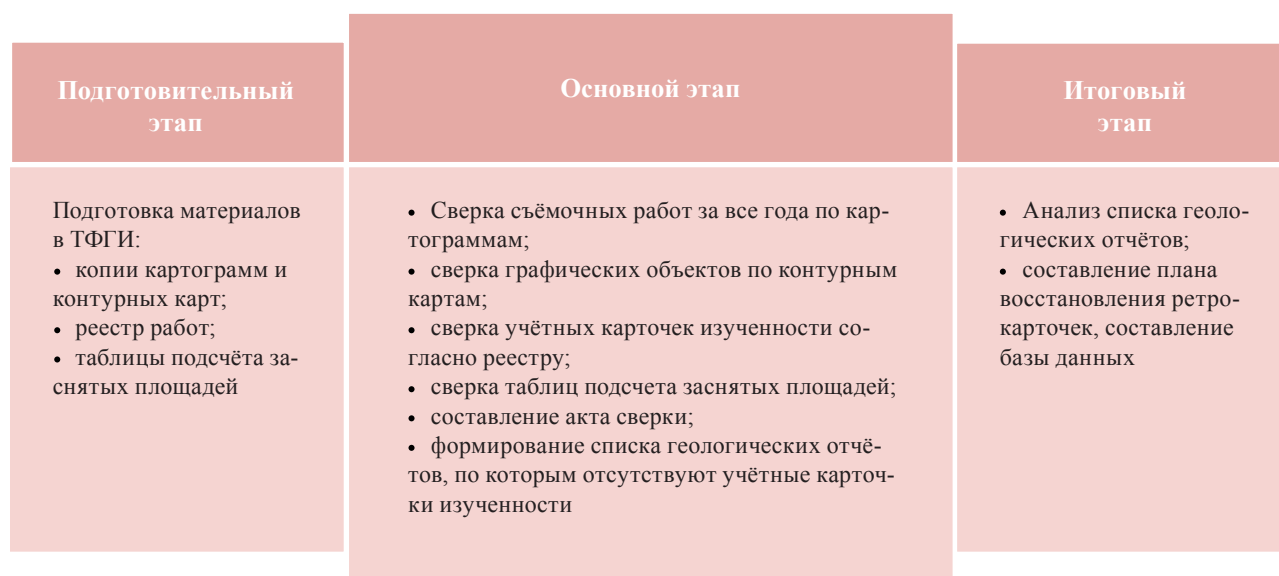


Рис. 1. Схема проведения сверки

федеральным органом управления государственным фондом недр. С геологическим отчетом авторами в обязательном порядке предоставляется учётная карточка изученности, которая заполняется отдельно для каждого вида проведённых исследований («Инструкция по учёту геологической, гидрогеологической, инженерно-геологической, геофизической, эколого-геологической и геохимической изученности территории РФ», 1995 г., пункт 3.1). Учётная карточка изученности представляет собой строго структурированную форму, в которой кратко представлены все основные данные о проведённых геологических изысканиях.

Информация, представленная в учётных карточках, позволяет:

осуществлять поиск хранящихся в геологических фондах отчётных геологических материалов;

отражать характер и степень изученности территории Российской Федерации;

выявлять и предотвращать дублирование работ по геологическому изучению недр;

создавать информационные базы для обоснования выбора дальнейшего направления работ, выдачи лицензий на право пользования недрами, а также планирования и оперативного управления геологическим изучением недр на территории Российской Федерации.

Однако в переходный для страны период (от СССР к РФ) произошла частичная потеря фондовой геологической информации, вызванная следующими факторами:

нарушением советской системы учёта геологической информации;

изменениями в административном делении территории РФ;

отсутствием достаточного финансирования;

образованием новых территориальных фондов, у которых нет основной части геологических материалов за предшествующие годы (данные остаются в Головных фондах);

геологические отчёты и учётные карточки изученности поступали не в полном объёме;

в процессе массового перевода бумажных носителей в электронный вид наблюдалось существенное искажение данных о площадях, на которых проведены исследования, связанные с недостаточным качеством программного обеспечения.

Всё это негативно сказалось на процессе аккумуляции и обобщения работ по исследованию недр. В связи с этим возникла необходимость проведения сверки учётно-справочных материалов изученности согласно пункту 12.2 «Инструкции по учёту ... изученности территории РФ» (1995 г.), которая в период перехода страны к рыночной экономике прекратилась и не проводилась более 20 лет.

На основании утверждённого Роснедра плана по выполнению работ по государственному заданию на 2014–2015 гг. в отделе изученности ФГБУ «Росгеолфонд» с 2014 г. возобновились работы по сверке материалов всех видов изученности согласно разработанной и согласованной схеме (рис. 1).

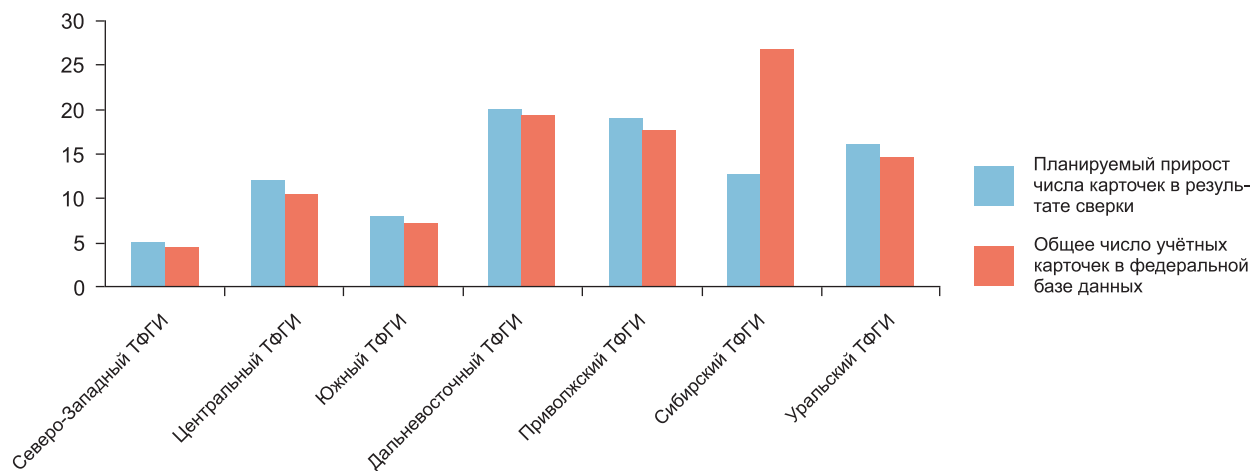


Рис. 2. Восстановление ретро-карточек изученности

В результате проведённой работы по сверке учётных материалов был составлен список геологических отчётов (125 700 отчётов), по которым отсутствовали учётные карточки изученности. При этом было определено, что восстановление отсутствующих материалов сможет увеличить массив изученности на 40% (рис. 2).

Благодаря успешному проведению сверки материалов начались работы по устранению несоответствий в массивах изученности федерального и территориального уровней, возросли полнота, точность и достоверность геологической информации, а также увеличен бумажный и электронный фонд учётных материалов изученности (базы данных, ГИС-проекты картограмм и контурных карт изученности, интернет-каталог геологической изученности).

Всё это позволило начать поэтапное проведение актуализации и верификации (ревизии) информации, находящейся в учётных карточках изученности фондов ФГБУ «Росгеолфонд» по миллионным номенклатурным листам (или по субъектам РФ) отдельно по каждому виду изученности — геологической, геофизической, геохимической, гидрогеологической, инженерно-геологической, эколого-геологической.

Основная задача ревизионных работ — подготовить сформированную по заданным параметрам базу данных для создания ГИС-проектов, а именно:

собрать всю имеющуюся информацию по территории изучаемого листа (или субъекта РФ) отдельно для каждого вида изученности;

привести собранные данные к единому стандарту (масштабы, индексы);

оценить корректность и полноту данных, указанных в учётных карточках. В случае получения неудовлетворительной оценки материала специалист, от-

вечающий за данную работу, проверяет информацию (масштаб, контур площади, индекс работ, результирующие данные) по первоисточникам (геологические отчёты, карты). Как показала практика, по результатам такой проверки восстанавливается не менее 30% данных.

Особое внимание уделяется материалам по съёмочным работам, которые включены в таблицы по подсчёту заснятых площадей по субъектам РФ и по номенклатурным листам с указанием процента изученности территории по масштабам для каждого вида изученности. Данные таблицы ФГБУ «Росгеолфонд» ежегодно предоставляет в Федеральное агентство по недропользованию и профильные организации.

Фиксируемое протоколом решение о признании результатов съёмки кондиционными принимает НТС учреждения (по профилю съёмки), подведомственного Роснедра. В процессе восстановления данных по съёмочным работам в ФГБУ «Росгеолфонд» изменить индекс съёмочных работ (снять или поставить) имеет право только руководство на основании предоставленного ответственным исполнителем анализа материалов. Основными критериями, по которым проведённые работы оцениваются как съёмочные, являются:

1. Обязательное наличие результирующей карты заявленного масштаба, выполненной по результатам полевых наблюдений с учётом работ предшественников (анализ фондовых и опубликованных материалов не может относиться к съёмочным работам).

2. Протокол заседания НТС по рассмотрению отчёта по итогам выполненных работ, в котором указывается кондиционность (или некондиционность) представленных для оценки результатов, карт и их соответствие заявленному масштабу.

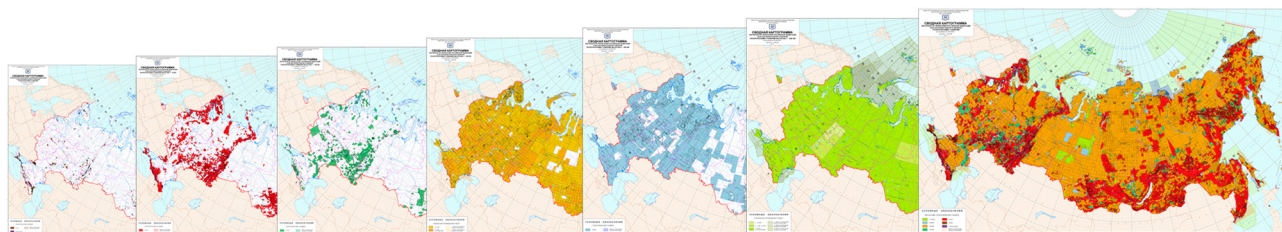


Рис. 3. Сводные картограммы геологической съёмки для каждого масштаба

3. При отсутствии (утере) протокола заседания НТС находятся следующие критерии, помогающие отнести работы к съёмочным:

целевое назначение работ, геологическое задание; полученный результат, где особое внимание уделяется завершённости (виду) выпускаемой карты: карта, схема, предварительная карта и др.;

экономические показатели – приведённая краткая смета работ или акт о списании затрат, в которых съёмочные работы выделены отдельным пунктом;

методика проводившихся работ и полевых наблюдений (картировочное бурение, съёмочные маршруты, выдержанность сети).

После завершения работ по верификации материалов исправленные базы в электронном виде направляются для проверки и последующего согласования в территориальные фонды, административная площадь которых учитывается в проверяемом массиве данных.

После согласования и при необходимости внесения исправлений в соответствии с замечаниями ТГФ по скорректированным базам формируются ГИС-проекты, которые позволяют отразить степень изученности территории различными видами работ (съёмка, региональные, поисковые, тематические работы). На печать выводятся кондиционные картограммы и контурные карты изученности номенклатурного листа за весь период изучения данной площади. К каждой составленной карте прилагается перечень работ в формате Excel (атрибутивная таблица), нашедших своё отражение в

ГИС-проекте, и позволяющий пользователю недр осуществлять поиск информации по заданным критериям.

Одним из результатов проведённой работы в 2018 г. стал пилотный проект по созданию отдельных сводных картограмм или картограмм для каждого масштаба геологической съёмки по всей территории России. На первом этапе глобальной проверки полноты представления информации в базах данных подверглись геологосъёмочные работы масштабов 1:200 000 и 1:1 000 000. В рамках данного проекта была проведена большая совместная работа с сотрудниками ВСЕГЕИ (рис. 3).

На следующем этапе по верификации баз данных необходимо провести работу по созданию для каждого номенклатурного листа согласованного и в дальнейшем утверждённого ответственными лицами каталога съёмочных работ, содержащего картограмму с нанесёнными контурами съёмочных работ в соответствии с масштабом, атрибутивную таблицу и таблицу подсчёта заснятых площадей (с учётом и без учёта перекрытия). Данная работа позволит пользователям не пересматривать повторно огромный архив фондовых материалов.

Наличие ГИС-проектов с выверенными материалами предоставляет огромные возможности для создания каталога работ и построения специализированных карт и картограмм с 3-D визуализацией для отображения геологической изученности любой заданной территории.

Большетроицкое месторождение рыхлых маритовых руд закарстованной палеокоры выветривания железистых кварцитов и джеспилитов Курской магнитной аномалии

И.И.НИКУЛИН (Общество с ограниченной ответственностью «Норильскгеология»; 195220, г. Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д. 11)

Рассмотрено геологическое строение и вещественные особенности железорудной палеокоры выветривания (КВ), развитой на железистых кварцитах и джеспилитах Большетроицкого месторождения в допоздневизейское время. Комплексные исследования КВ, а также продуктов её размыва в формирующуюся на то время карстовую полость позволили восстановить особенности формирования минеральных типов богатых железных руд (БЖР). Мощности Большетроицкой остаточной палеокоры выветривания наибольшие в регионе – 80–310 м. По минеральному составу выделяются 9 минеральных типов БЖР, основные из которых: маритовые, лептогематит-маритовые и карбонатно-гематитовые. Преобладающими минералами в КВ являются оксиды и гидроксиды Fe, сидерит и бертьерин в различных сочетаниях. При формировании залежи БЖР в профиле выветривания происходило накопление железа и активный вынос кремнезёма. Последующие наложенные процессы привели к частичной цементации и разубоживанию руд, понижению в них содержаний F_2O_3 , увеличению концентраций FeO и SiO_2 . Анализ минерально-геохимической дифференциации вещества позволил выделить 4 основных этапа: 1) долатеритный, 2) латеритный, 3) диагенетический и 4) эпигенетический. Выяснено, что минеральный состав остаточной залежи БЖР зависит от исходного субстрата и этапа перекрытия более молодыми отложениями. Предложенная модель формирования БЖР позволяет объяснить их сложный минеральный состав и прогнозировать участки залежей рыхлых гематитовых руд.

Ключевые слова: мартит, железная слюдка, лептогематит, бертьерин, сидерит, богатая железная руда, кора выветривания, железистый кварцит, джеспилит, сланец, Курская магнитная аномалия, историко-генетический анализ, геолого-генетическая модель.

Никулин Иван Иванович
доктор геолого-минералогических наук



iinikulin@mail.com

Bol'shetroitskoye deposit of friable martite ores as karst in the paleoweathering crust of ferruginous quartzites and jaspilites of the Kursk Magnetic Anomaly

I.I.NIKULIN (PLC «Norilskgeologia»)

The geological structure, mineralogical and chemistry features of the iron-bearing paleoweathering crust and developed on ferruginous quartzites and jaspilites of the Bol'shetroitskoye deposit in the pre-late Vise period are considered. As a result of the comprehensive research of iron-bearing paleoweathering crust, as well as its erosion products into the karstic cavity that was being formed at that time, found out to restore the peculiarities of the formation of mineral types of high-grade iron ores. The capacity of the paleoweathering crust of the Bol'shetroitskoye deposit is the largest in the region – 80–310 m. The mineral composition is divided into 9 mineral types of high-grade iron ores, the main of which are martite, leptoهماتит-martite and carbonate-hematite. The predominant minerals in paleoweathering crust are oxides and hydroxides of Fe, siderite and berthierine in various combinations. During the formation of the friable martite ores in the weathering profile, iron accumulation and active removal of silica occurred. Subsequent superimposed processes led to partial cementation and dilution of ores, a decrease in their F_2O_3 contents, and an increase in the concentrations of FeO and SiO_2 . Analysis of the mineral-geochemical differentiation of substances allowed us to distinguish 4 main stages: 1) pre-lateritic, 2) lateritic, 3) diagenetic and 4) epigenetic. It was found that the mineral composition of the residual deposit of friable martite ores depends on the initial substrate and the stage of overlapping by younger sediments. The proposed model for the formation of friable martite ores allows us to explain their complex mineral composition and predict areas of deposits of high-grade ores.

Key words: martite, microplaty hematite, leptoهماتит, berthierine, siderite, high-grade ore, weathering crust, ferruginous quartzites, jaspilites, shale, Kursk Magnetic Anomaly, historic-genetically analysis, geologic-genetically model.

Большетроицкое месторождение расположено вблизи пос. Большетроицкое Шебекинского района Белгородской области, в 50 км к востоку от г. Белгород. При проведении поисковых работ (1960–1963 гг.) по сети 3800–5500×200–400 м 24 скважинами были вскрыты железистые кварциты Корочанско-Большетроицкой грабен-синклинали, являющейся частью Белгородского грабен-синклинория, и охарактеризовано Большетроицкое месторождение железных руд в пределах профилей IV, V и VI. Затем для выяснения бокситоносности сланцев курской серии в 1964–1965 гг. пробурены ещё 16 скважин. По результатам этих работ на государственном балансе с 1964 г. числилось 1500 млн. т запасов мартитовых и железно-слюдково-мартитовых руд по категории C_2 с содержанием $Fe_{\text{общ.}}=61,5\%$ (Н.И.Визирякин, В.Н.Клекль и др., 1964). Согласно уточнённым данным 1989 г., запасы составляли 2150 млн. т по категории C_2 с содержанием $Fe_{\text{общ.}}=62,41\%$. В связи с положительными результатами гидродобычных работ (СГД) на Шемраевском месторождении и Южном участке Гостищевского месторождения в 1988–1998 гг. на Большетроицком месторождении в 2007 г. произведён первый пуск геолого-технологической скважины диаметром 630 мм. Методом СГД осуществляли добычу рыхлых мартитовых руд средней плотности 5,6 г/см³ с глубины более 680 м. Добыча проводилась без применения щелочей, а в качестве источника воды для рудной пульпы в эксплуатационный цикл задействовалась вода из самого рудного горизонта. В период 2007–2012 гг. геологоразведочными работами уточнено структурное положение пород курской серии, вновь выделена верхняя сланцевая подсвита ($PR_1^1kr_4$), оконтурена залежь богатых железных руд [1], запасы увеличены на 30% (И.И.Никулин, 2011): по категориям В – 110,3, C_1 – 306,4 (при $Fe_{\text{общ.}}=67\%$) и C_2 – 1980 млн. т (при $Fe_{\text{общ.}}=62,41\%$).

Геологическое строение. По всему бассейну Курской магнитной аномалии (КМА) зафиксированы залежи БЖР (рис. 1), которые являются остаточными корами выветривания, развитыми преимущественно по породам железисто-кремнисто-сланцевой формации курской серии [2]. Яковлевская, Разуменская, Гостищевская, Беленихинский участок Ольховатской, Больше троицкая и Шемраевская залежи БЖР составляют более 65% запасов всего железа Белгородского рудного района (Ф.Я.Волочаев, 1985). Рудная зона Белгородского района КМА расположена в пределах южной части Белгородско-Михайловского синклинория. Главная рудоносная структура – Белгородская синклиналь северо-западного простирания [8], в которой выделены три крупные складчатые структуры второго порядка северо-западного простирания: Яковлевская и Ольховатская синклинали, разделённые Мелихово-Гостищевской антиклиналью и осложнённые складками более высоких порядков. Корочанская синклиналь северо-восточного простирания расположена на борту Курско-

Корочанского антиклинория и отделяется от Белгородской синклинали Алексеевско-Лодеевской блоковой антиклиналью. Корочанская синклиналь к югу сменяется Большетроицкой, которая резко меняет простирание с северо-западного на юго-западное. Складчатые рудоносные структуры железисто-кремнисто-сланцевой формации Большетроицкой синклинали залегают на глубинах свыше 500 м и разбиты системой крупных продольных и поперечных разломов, которые выявлены по геофизическим и аэрокосмическим материалам геологоразведочных экспедиций. Мелкие разрывные нарушения установлены в ходе буровых работ по материалам керна скважин.

На палеоповерхность под мезозой-кайнозойским осадочным чехлом Большетроицкого месторождения выходят породы михайловской и курской серий, слагающие одноимённую синклиналь, на сложноскладчатом шарнире которой развита кора выветривания, сложенная БЖР и бокситами (рис. 2). Михайловская серия (AR_2mh) представлена александровской свитой (амфиболиты и сланцы различного состава с прослоями метапесчаников). Курская серия (PR_1kr) – стойленской (метапесчаники с прослоями метаалевролитов, алеврофиллитов и кварц-мусковитовых, кварц-биотит-мусковитовых и кварц-серицитовых с углистым веществом сланцев) и коробковской (нижняя сланцево-железородная, средняя сланцевая, верхняя железородная и верхняя сланцевая подсвиты ($PR_1^1kr_{1-4}$)) свитами [3].

Пологая моноклиналь пород курской серии, интенсивно гофрированная только на уровне мелкой складчатости, осложнена рудоконтролирующими разрывными структурами – малоамплитудными зонами дробления западно-северо-западного и северо-северо-восточного простираний, вдоль которых мощность БЖР резко возрастает в 1,5–3 раза. Абсолютные отметки кровли залежи БЖР меняются от –200 до –370 м (рис. 3). Остаточные мощности КВ варьируют: 1) БЖР от 80 м на джеспилитах и до 310 м на железистых кварцитах верхней надсвиты коробковской свиты ($PR_1^1kr_3$) и 2) бокситов и железо-глиноземистых руд до 50–70 м на сланцах верхней надсвиты коробковской свиты ($PR_1^1kr_4$).

Кора выветривания плащеобразной морфологии с соотношением своей длинной оси к мощности около 1:6 (рис. 4, А) осложнена развитием зон повышенной трещиноватости на контактах между разнотипными (кварцсодержащими и бескварцевыми) материнскими породами. За счёт этого мощность увеличивается в 1,5–2,0 раза, что в целом характеризует её как контактово-площадную КВ [6]. Центральная часть коры выветривания сильно закарстована собственно БЖР с незначительным количеством прослоев джеспилитов (см. рис. 4, Б). Вдоль двух осей тектонических нарушений северо-восточного и северо-западного направлений подошва залежи БЖР приобретает черты «фальшкиля» с увеличением мощности в 1,5–3 раза: от 100–150 до 200–300 м по профилям V и V+400 и от 50–60 до 150 м по профилю V-400.

1–4 – осадочный чехол: 1 – глины, J₂₋₃ и K, 2 – известняки и доломиты, C_{1v}, 3 – глинистые известняки, C_{1t}, 4 – глины, глинистые известняки, D₂; железорудная формация: 5 – залежи БЖР, 6 – железистые кварциты и сланцы курской серии, PR, kr



В северо-западной части месторождения в породах михайловской серии зафиксированы граниты атаманского комплекса.

Осадочный комплекс на Большетроицком месторождении имеет мощность 389–550 м при среднем значении 495 м. Как и на всей территории Белгородского рудного района КМА он сложен каменноугольными отложениями палеозоя, юрскими и меловыми отложениями мезозоя, палеогеновыми и четвертичными отложениями кайнозоя.

Каменноугольные отложения в связи со значительными колебаниями абсолютных отметок кристаллического фундамента характеризуются весьма изменчивой мощностью – от 141 м до их полного выклинивания в профиле V-2000, при среднем значении 64 м. Они сложены серыми органогенно-детритовыми, нередко гранулированными и перекристаллизованными известняками с желваками чёрных камней и прослоями тёмно-серых и серых глин мощностью до 4 м михайловского и веневского горизонтов визейского яруса, а также белых и светло-серых кремнистых, перекристаллизованных, закарстованных известняков стешевского и тарусского горизонтов серпуховского яруса. В основании каменноугольных отложений залегают перотложные железные руды, бокситовые породы мощностью 0–14 м.

Средне- и верхнеюрские отложения (пески и глины апта и альб-сеномана, мела турон-коньяка и мергели сантон-компана) имеют среднюю мощность 242 м, а меловые кампан-маастрихтского яруса и палеогеновые отложения сохранились лишь на водоразделах, где мощность достигает, соответственно, 28 и 22 м. Мощность четвертичных отложений около 12 м.

Особенности железорудной палеокоры выветривания. В разрезе незакарстованной части КВ (рис. 5) выделяются пять зон (снизу вверх): 1) мартитизированные железистые кварциты (начального окисления), 2) пористые мартитовые руды (выщелачивания), 3) лептогематит-гётитовые руды (выветривания). Верхняя половина зоны 2 подверглась бертьеринизации (зона диагенеза – 4 зона), а зона 1 и верхняя часть зоны 2 – карбонатизации (зона эпигенеза – 5 зона). В закарстованном профиле коры выветривания залегание БЖР обусловлено многократными провалами пород в карстующиеся железистые кварциты.

Мартитизированные железистые кварциты нижней зоны мощностью до 9 м встречаются преимущественно в восточной части месторождения, подстилая рыхлые и слабосцементированные БЖР. От железистых кварцитов они отличаются чётко выраженной мартитизацией магнетита и повышением содержаний Fe_2O_3 в профиле. По куммингтонит-магнетитовым кварцитам развит ферроселадонит.

Зона выщелачивания со средней мощностью 76 м представлена пористыми мартитовыми БЖР, которые условно делятся на верхнюю и нижнюю подзоны.

Нижняя подзона характеризуется рыхлыми мартитовыми рудами. Верхняя подзона выделяется наличием в ней прожилков шамозитов различной ориентации и слоистой вкрапленности бертьерина. Нижняя граница бертьеринизации находится в пределе одной абсолютной отметки. БЖР представлены [4, 5, 7] следующими разновидностями: 1) рыхлые-полурыхлые существенно мартитовые серовато-синие до тёмно-синих, 2) слоистые мартитовые серовато-синие из уплотнённых рыхлых, слабо- и сильносцементированных, 3) слабо- и сильносцементированные мартитовые с магнетитом и лептогематитом, 4) рыхлые-полурыхлые существенно лептогематитовые и лимонитизированные, красноватые и буровато-жёлтые.

Зона выветривания в виде маломощного латерита сложена преимущественно гидроксидами железа и лептогематитом по джеспилитам в самой западной части месторождения. По всей зоне развита бертьеринизация. Породы пестроцветные в нижней части, сменяются кверху более светлыми и голубоватыми окрасками за счёт большей интенсивности сидеритизации БЖР. Последние представлены следующими разновидностями: 1) слоистые уплотнённые рыхлые, хорошо- и сильносцементированные лептогематитовые, лимонитизированные, на сидеритовом цементе серые, красноватые и буровато-жёлтые, 2) хорошо- и сильносцементированные мартитовые с магнетитом и лептогематитом на частично сидеритовом цементе серые и буровато-красноватые, 3) рыхлые и уплотнённо-рыхлые существенно лимонитовые с гематитом и мартитом от бурых до ярко-жёлтых, 4) слоистые уплотнённые рыхлые, хорошо- и сильносцементированные существенно лимонитизированные со слоистыми силикатами на частичном сидеритовом цементе, 5) хорошо- и сильносцементированные мартитовые существенно лимонитизированные, сидеритизированные с магнетитом и лептогематитом, бурые и светло-красные.

Бертьеринизация проявлена в двух формах – в виде вкрапленных прослоев (до 10 мм) в БЖР невыдержанной мощности и в рассеянном виде в составе цементирующего карбонатного материала в хорошо- и сильносцементированных БЖР. Бертьерин характеризуется скрытокристаллической массой оливково-зелёного и травяно-зелёного цветов. Общее затухание зоны бертьеринизации с глубиной предполагает наиболее существенное развитие этого процесса в верхних частях рудных тел. Однако в действительности ни один исследователь это не наблюдал. Бертьерин встречен и в подошве Большетроицкой КВ под 280-метровой толщей БЖР, и в её прикровельной части.

Зона сидеритизации придаёт БЖР массивный облик, плавно сменяясь вверх по разрезу полным замещением БЖР сидеритом, а затем визейскими известняками. Здесь наблюдается более позднее окисление сидерита, сопровождающееся замещением по спаянности и граням зёрен гидроксидами железа, за счёт чего первый

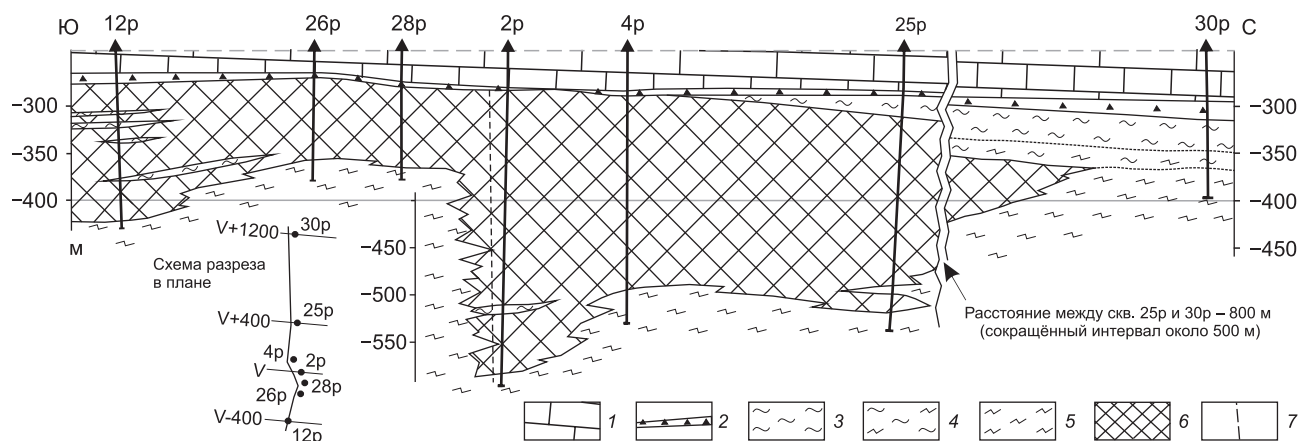


Рис. 3. Схематический геологический разрез вдоль рудной залежи Большетроицкого месторождения:

1 – визейские известняки и сидериты, C_1v ; 2 – нижнекаменноугольные рудные конгломерат-брекчии; 3 – выветрелые филлитовидные сланцы, бокситы, Fe-Al-породы, $PR_1^1kr_4$ и прослои сланцев среди Fe-кварцитов, kr_{2-3} ; 4 – толща, переходная от сланцев к Fe-кварцитам; 5 – Fe-кварциты, kr_{2-3} и kr_1 ; 6 – БЖР по kr_{2-3} ; 7 – предполагаемая ось зоны дробления

приобретает желтовато-бурую окраску. В лимонитизированных кавернах на стенках пустот часто развиты щётки более поздних карбонатов. Нередко мелкие пустоты заполнены рыхлым силикатным минералом. Карбонатный минерал в этих генерациях образует более крупнозернистые агрегаты.

Очень часто в прослойках карбонатов встречаются реликты кварца. В смешанном сидерито-кальцитовом цементе сидерит обычно расположен между кальцитом и мартитом, образуя рубашки вокруг зёрен последнего.

Закарстованные БЖР залегают в виде пластов и линзообразных прослоев, нижние пласты имеют более крутое падение, верхние постепенно выполаживаются. В средней части провал не фиксируется, встречаются пёстрые тонкодисперсно-гематитовые прослои, включающие фрагменты слабосцементированных мартитовых пород. В коррозионно-просадочной части закарстованной коры выветривания БЖР залегают слоями в нижней части примерно параллельно рельефу депрессии. Это указывает на постепенное проседание заполняющих железорудных пород по мере углубления воронки за счёт выноса кремнезёма из роговиков. В верхней части закарстованной коры выветривания слои выполаживаются и едва отражают рельеф депрессий. В коррозионно-провальной части КВ стенки обрывистые, со следами обрушения материнских пород. По границе депрессий устанавливаются тектонические нарушения, выраженные маршаллитовой мукой. Наличие провала фиксируется по нагромождению хлоритовых глин и глыб сланцев. Проявление обвальных смещений после заполнения карстовой воронки выражается

наклонным положением слоёв рыхлых мартитовых или железослюдковых пород депрессии. Горизонтальное залегание выполняющих отложений, с резким несогласием упирающихся в крутые, почти отвесные стенки воронки, указывает на то, что провал происходил в ранее существующие полости. В целом выделяются следующие литогенетические группы (снизу вверх):

1. Карстовые провально-оползневые брекчии и глыбы материнских метаморфических пород с гнёздами рыхлого мартитового материала. Мощность провально-оползневого обломочно-глыбового горизонта варьирует от 5 до 50 м. В разрезах преобладают крупноглыбовые образования, которые сложены неизменёнными (или со слабыми следами окисления) метаморфическими породами. Крупные обломки имеют размеры от 0,5 до 5,0 м. В обрушенных и сползших глыбах джепилитов или сланцев слоистость ориентирована под углом 50° . В непрочном тонкодисперсном цементе присутствуют примеси мартита, железной слюдки и маршаллита. Последний выполняет пустоты выщелачивания и трещины в обломках, реже образует межблочные гнёзда мощностью до 3 мм. Состав разноминеральный. Мелкие обломки метаморфических пород представлены материнскими кремнями, гематитовыми и магнетитовыми сростками.

В отдельных интервалах керна скважин обильно представлены визуально видимые хлоритовые продукты размыва метаморфических пород. На дне карстовой воронки мартитовый рыхлый материал локализован под глыбами (до 5 м) сланцев или тонкослоистых джепилитов. Тонкодисперсный гематит расслаивается косослоистыми образованиями и аргиллитоподобной

ленточной слоистостью. В составе тонкодисперсно-гематитовых красных прослоев с примесью более крупной гематитовой фракции встречаются редкие бобовины гидроксидов железа жёлтой окраски.

2. Просадочно-оползневой горизонт – пёстроцветные глинисто (тонкодисперсно)-алевритовые и алеврито-глинистые с щебнем железистых роговиков неслоистые разнотектонические породы со следами сплывов, гравитационного скольжения (зеркала скольжения) и пластических деформаций, с многочисленными бобовинами и оолитами гидроксидов железа, с подчинённой ролью тонкодисперсно-гематит-мартитовых линзовидных тел и мелкообломочных брекчий сланцев.

Преобладающие в керновых разрезах железная слюдка с щебнем материнских пород представляют собой сильно глинистые плотные неслоистые породы с кусковой отдельностью, серой, кирпично- и вишнёво-красной, жёлтой, розовой и ярко-зелёной окраски. Содержание щебнистых обломков светло-серых кремне-кварцитов размером 2–5 см составляет 10–30%. В небольшом количестве до 10% отмечены оолиты и бобовины гидроксидов железа размером от 15 мм. В верхней части горизонта в центральной части воронки нередко залегают линзы крупных вторичных брекчий мощностью до 3 м.

Это разнообломочные брекчии вишнёво-красной и светло-фиолетовой окраски, содержащие до 20% щебнистых обломков мучнистых желтовато-белых маршаллитизированных пород размером 1–4 см. Нередко встречаются крупные до 30 см обломки железистых роговиков и реже сланцев. Прослой щебенчатых железослюдковых пород мощностью от 15 до 30 м в отдельных случаях составляет основную массу горизонта.

3. В прикровельной осевой части депрессионной полости залегает крупная прогнутая линза рыхлых мартитовых или железослюдковых руд мощностью до 40 м, пестроцветных каолинит-тонкодисперсно-гематитовых аргиллитов с обугленными растительными остатками. Эта линза сложена озёрно-болотными и пролювиально-озёрными отложениями в просадочно-оползневом залегании. Озёрные фации представлены просевшими отложениями тёмно-серой, розовой, лиловой, бурой, коричневой и зеленоватой окрасок с постоянной незначительной примесью песчаного кварцевого материала. Границы слоёв расплывчатые, с обилием поверхностей скольжения. Постоянные включения бобовин гидроксидов железа.

Факторы формирования закарстованной контактово-площадной КВ. Анализ всей имеющейся геологической и минералогической информации позволяет сделать вывод о том, что обогащение железистых кварцитов в экзогенных условиях и образование БЖР были обусловлены рядом факторов. Среди них важнейшими [5] выделены: тектонический, петрохимический, климатический и биотический.

Тектонический фактор, действуя через рельеф, определил ослабленные зоны по материнским породам для образования элювия. Контрастность рельефа, в котором железистые кварциты возвышались над участками развития гранитогнейсов, способствовала выносу растворимых компонентов из пород профиля выветривания.

Петрохимический фактор определён восприимчивостью к выветриванию исходных горных пород, вышедших на дневную поверхность.

Климатический фактор связан с благоприятными условиями для развития поверхностных гипергенных процессов (высокие температуры, обильные атмосферные осадки). Воздействие атмосферы (аэрация исходного субстрата) проявлено преимущественно на начальном этапе развития, формируя окислительные условия и, как следствие, образование латеритной КВ. Многократная смена уровня и интенсивности промывного режима определила вертикальную зональность профиля КВ. Температура во многом определяет циркуляцию атмосферных вод, которые вкупе с подземными водами формируют пористость выветриваемых пород.

Биотический фактор вызван обширным развитием растительности в раннем карбоне и в связи с этим интенсификацией процессов гипергенного рудообразования. Поэтому КВ, перекрытые девонскими породами, имеют гораздо меньшую мощность и проработанность экзогенными процессами по сравнению с раннекаменноугольными. Роль биологического фактора в формировании КВ осуществляется при воздействии химических и физических процессов атмосферы. По многочисленным данным геохимиков понятно, что выветривание под влиянием органического вещества усложняется и ускоряется, а сами изменения касаются не качества, а количества за счёт темпа деструкции. Поэтому необходимо ставить акцент на состав и свойства главных агентов выветривания – атмосферу и гидросферу, которые коренным образом трансформированы деятельностью «живого вещества» планеты (по В.В.Вернадскому) – резкое увеличение содержания кислорода за счёт фотосинтеза, когда «жизнь» вышла на сушу.

На минеральный состав БЖР при их дальнейшем сохранении повлияли диагенетические и эпигенетические процессы. Все перечисленные процессы через геохимическую дифференциацию минерального вещества, изоморфных замещений и кислотно-щелочного равновесия привели к естественному минеральному отбору и его некоторой диссимметризации.

Стадии образования контактово-площадной КВ. Таким образом, структурно-морфологическая особенность, закономерность перехода между породами, подчёркивающая пористость и слоистость материнских пород, общий геохимический профиль, указывающий на окислительные условия и вынос кремнезёма без привноса новых химических элементов и их соединений, а также вертикальную зональность, отражающую смену фациальных условий с некоторыми особенностями,

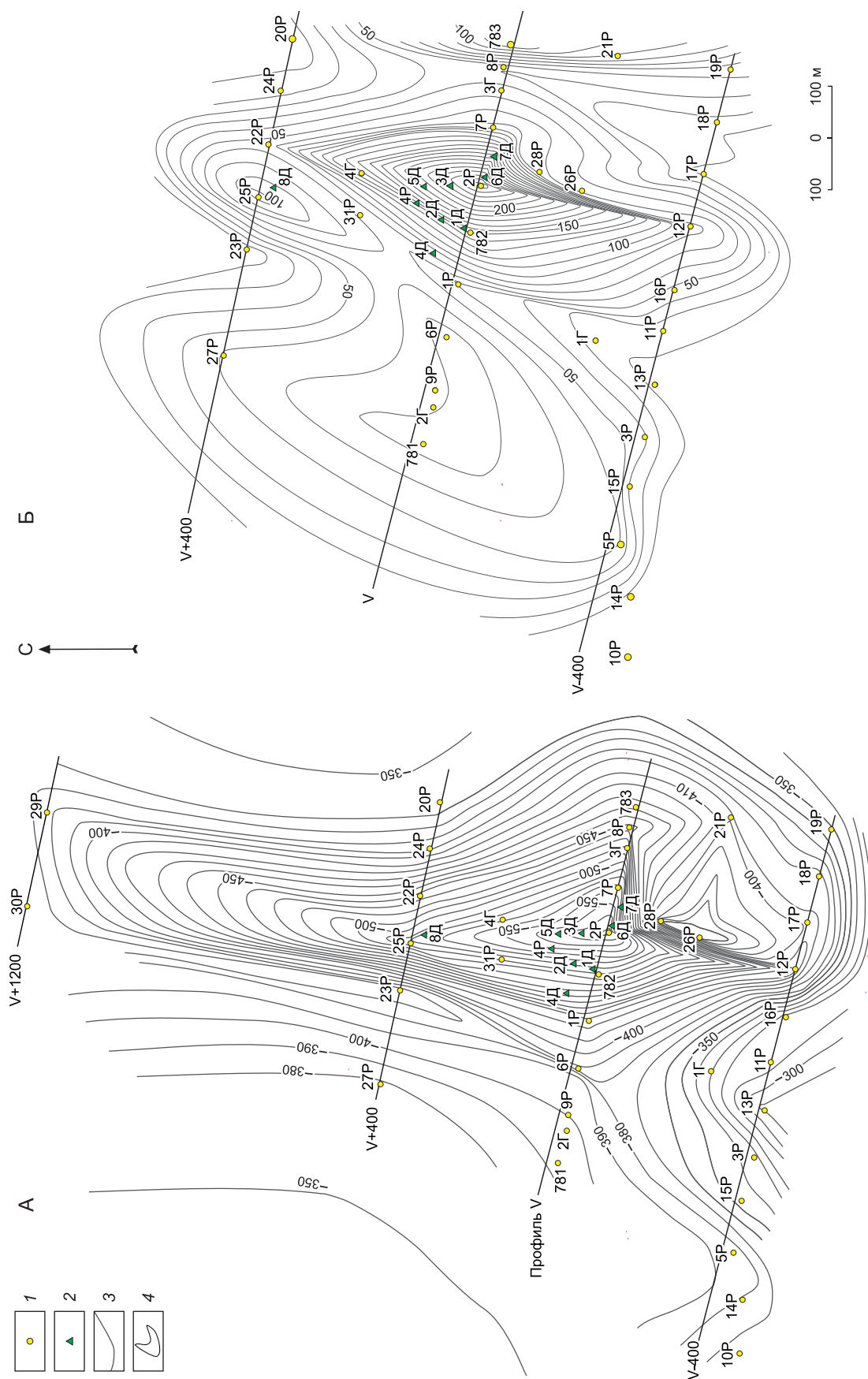


Рис. 4. Морфология залежи БЖР центральной части Большетроицкого месторождения:

А – рельеф подошвы и В – изолинии мощностей БЖР; скважины: 1 – геологоразведочные и 2 – технологические (добычные); изолинии: 3 – абсолютных отметок подошвы, м и 4 – мощностей, м

позволяют выделить как минимум 4 этапа формирования БЖР.

1. На начальном этапе выветривания (долатеритный этап выветривания – додевонское время) на сложной системе складок железистых кварцитов и джеспилитов небольшой и средней мощности сформировались преимущественно красноцветные маломощные БЖР, по трещинам в магнетитовых роговиках – мартитовые, а на межрудных сланцах – гидрослюдисто-каолинитовый профиль выветривания. Из-за многократных тектонических деструкций и выветривания в джеспилитах произошла дезинтеграция метаморфического гематита до железной слюдки и тонкодисперсного гематита (лептогематита), а по силикатам сланцев образовался каолинит.

В условиях пониженного содержания кислорода в атмосфере окисление магнетита было малозначительным. Мартитизация связана преимущественно с выносом части ионов двухвалентного железа (Н.А.Корнилов, 1968, 1970):

$3\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{тв.}) = 4\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{тв.}) + \text{Fe}^{2+}(\text{в водн. раств.}) + 2\text{e}$, при $E_h = -0,032 + 0,0295 \lg [\text{Fe}^{2+}]$ (Р.М.Гаррелс, 1962).

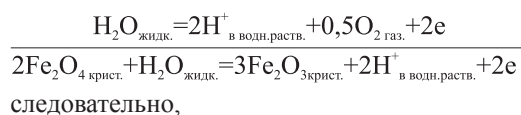
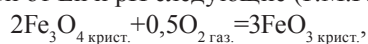
Это подтверждается наличием пористости в магнетитовых кварцитах, затронутых процессами мартитизации, в самых нижних частях профиля выветривания. Окисление магнетита контролировалось концентрацией углекислоты, образовавшейся в результате разложения карбонатов, которые в разных количествах находятся в неокисленных железистых кварцитах.

Растворение карбонатов при ничтожном содержании кислорода сопровождалось образованием лептогематита (ярко-красных БЖР) (Н.А.Корнилов, 1970): $2\text{FeCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}(\text{жидк.}) + 0,5\text{O}(\text{газ}) \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{H}_2\text{CO}_3(\text{водн.})$, при $\lg \text{PO}_2 = 4 \lg [\text{H}_2\text{CO}_3] - 58,06$.

Те же процессы наблюдаются в работах исследователей БЖР Кривбасса (В.С.Федорченко, 1955, 1956; Г.Г.Бура, 1957 и др.).

2. Данные палеоландшафтного анализа визейского века позволяют судить о елховско-бобриковском времени как об основном в стадии латеризации (допоздне-визейская стадия), наложенной на более древние КВ [10]. В раннем визе зона гумидного климата фиксируется вытянутой полосой через Воронежский свод и Днепровско-Донецкий прогиб с широким распространением угленосных формаций на востоке и в центре Русской платформы.

В профилях выветривания с глубокими горизонтами по ослабленным проницаемым зонам по магнетиту образовывался преимущественно мартит, а по гематиту – железная слюдка. Реакции окисления в зависимости от E_h и pH следующие (Р.М.Гаррелс, 1960):



следовательно,



$$(3 \times -177,1) + (2 \times 0) - (2 \times 242,4) - (-56,69) = +10,2 \text{ ккал.}$$

$$E^\circ = \frac{+10,2}{2 \times 23,06} = 0,221 \text{v; } E_h = 0,221 + \frac{0,059}{2} \log \frac{[\text{Fe}_2\text{O}_3][\text{H}^+]^2}{[\text{Fe}_3\text{O}_4][\text{H}_2\text{O}]}$$

$$E_h = 0,221 + \frac{0,059}{2} \log [\text{H}^+]^2$$

$$E_h = 0,221 - 0,059 \text{pH.}$$

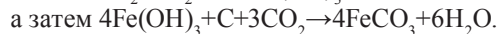
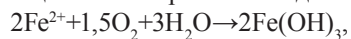
Этот расчёт по предложенной реакции показывает, что минимальный окислительно-восстановительный потенциал для процесса окисления железистых минералов меньше, чем 0,221v, и уменьшается с повышением pH. Поэтому на глубине могло происходить окисление магнетита при этих условиях со значением $E_h = -0,232 \text{v}$ и даже меньше.

3. Диагенетический этап (средневизейский, послебобриковский) характеризуется сменой тектонического режима, заключающейся в погружении БЖР, развитых по железистым кварцитам и джеспилитам, создании гидроморфных условий и начала диагенетических преобразований латеритного покрова, выраженных в бертьеринизации, шамозитизации и сидеритизации их в зоне цементации перед перекрытием её осадками. Исследования отложений тульского времени позволяют считать его рубежом между латеритизацией и диагенетическим преобразованием продуктов выветривания метаморфического комплекса КМА [11].

Индикаторными минералами, помимо сохранившихся от второго этапа, являются бертьерин-1М, шамозит, а также сидерит первой генерации, развитие в верхних частях профилей. Бертьерин-1М является преобладающим минералом среди слоистых силикатов. Он мог образоваться за счёт гидролиза и смены pH-условий при инфильтрации щелочных растворов из вышеформирующихся осадков [14]:

$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 2\text{FeCO}_3 \rightarrow \text{Fe}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 2\text{CO}_2$. Эта реакция подтверждается в экспериментальных работах [16, 17]. При глубинном метасоматозе дальнейшее увеличение температуры приводит к преобразованию каолинита в шамозит [13].

В образовании сидеритов на стадии диагенеза принимала участие углекислота морского бассейна [12]. Эта реакция могла протекать в две стадии [9]:



4. Этап эпигенеза и формирования современного облика БЖР связан с образованием юго-западного склона палеозойской Воронежской антеклизы. После визейского времени вся территория КМА претерпела погружение. В позднем карбоне, перми, триасе, ранней юре рассматриваемая территория тектоническими процессами была приподнята, а каменноугольные отложения размывались, особенно на севере Белгородского района, вплоть до кристаллического фундамента. Начиная со средней юры и вплоть до неогена территория была погружена под морским бассейном, трансгрессирующим из Днепровско-Донецкой впадины. В неогене

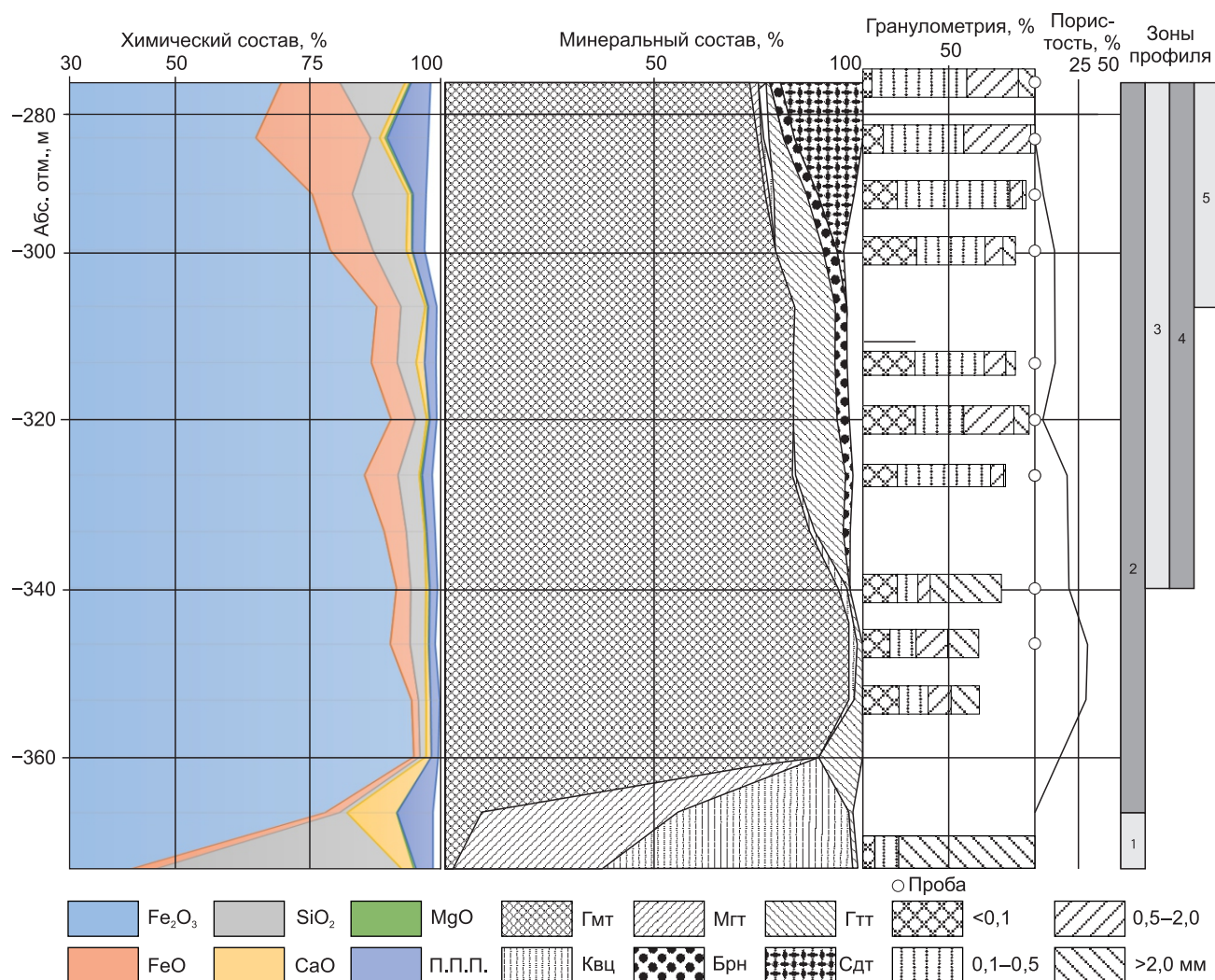


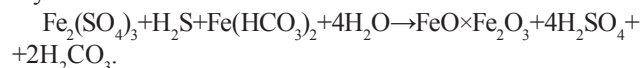
Рис. 5. Диаграмма вещественного состава разреза контактово-площадной части залежи БЖР Большетроицкого месторождения:

минеральный состав: Гмт – гематит, Мгт – магнетит, Гтт – гётит, Квц – кварц, Брн – бертьерин, Сдт – сидерит; зоны профиля: 1 – начального окисления (мартитизированные железистые кварциты), 2 – выщелачивания (пористые мартитовые руды), 3 – выветривания (тонкодисперсно-гематит-гётитовые руды), 4 – бертьеринизации (зона диагенеза), 5 – сидеритизации (зона эпигенеза)

регион КМА вновь стал сушей. Всё это время продолжалась трансформация минерального и химического составов руд, слагающих КВ их структурно-текстурного облика.

Обширное затопление железорудной КВ образовало окисно-карбонатный геохимический барьер в верхней части профиля, где происходило частичное преобразование гематита в магнетит (мушкетовит). Образование гипергенного магнетита, по-видимому, происходило из поверхностных растворов в условиях низких температур и давления в слабокислой и восстановительной водной среде при взаимодействии сульфатных

и бикарбонатных соединений железа с сероводородом и углекислым газом:



В итоге БЖР приобрели новые текстуры (за счёт сидеритизации), в том числе полосчатые и паутинообразные за счёт бертьеринизации [15]. По трещинам и сколам происходили сульфидизация и кальцитизация. Бертьерин занял главенствующую роль среди силикатов. Руды в зависимости от слагающих их минералов приобрели различную плотность в результате неравномерной цементации в верхних частях профилей.

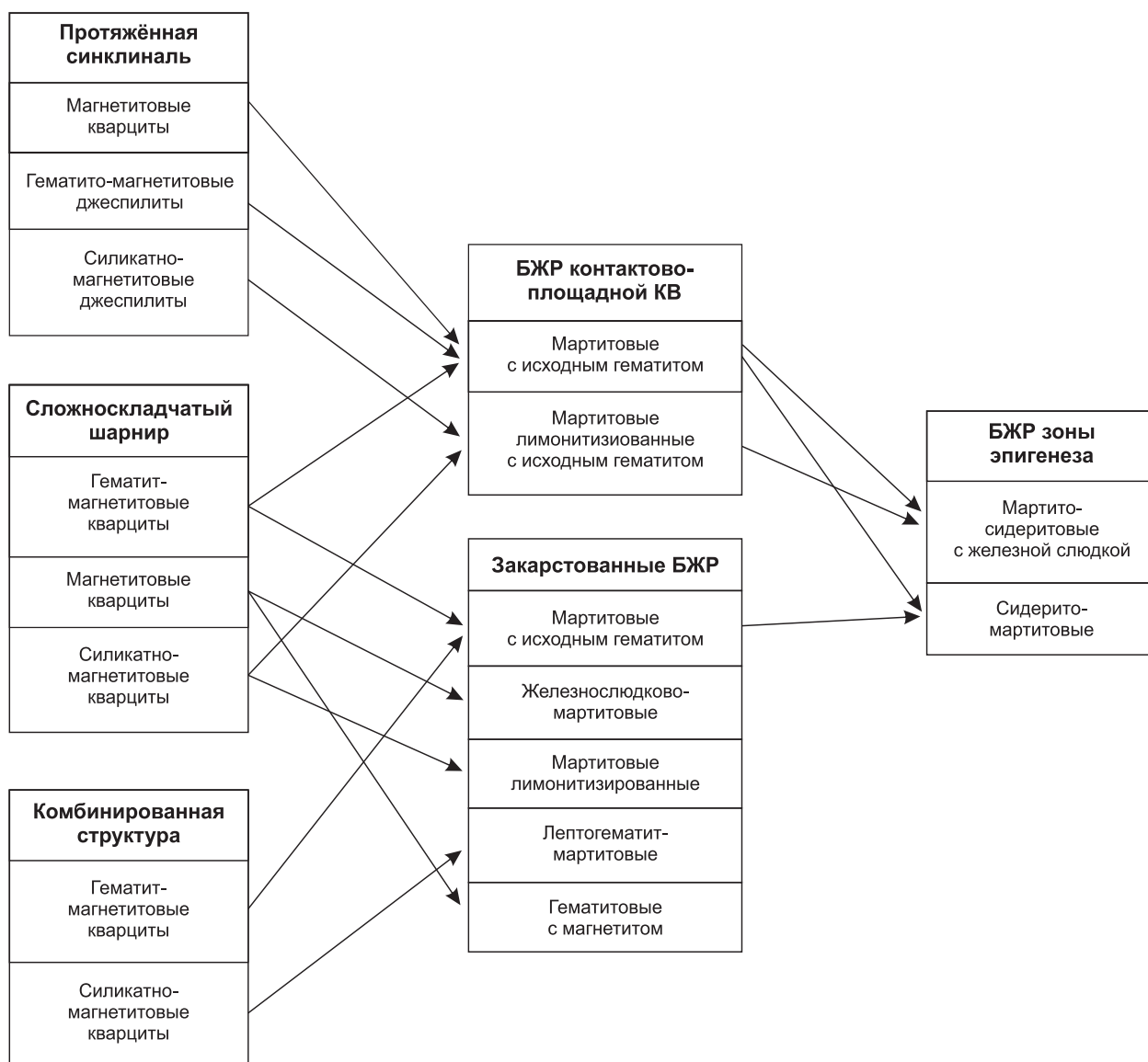


Рис. 6. Геолого-генетическая схема формирования остаточного профиля выветривания Большетроицкого железорудного месторождения

Результаты из вышеприведённого историко-генетического анализа позволяют составить геолого-генетическую схему для универсального понимания механизмов геологических процессов формирования БЖР. Модельными объектами выбраны литологические и минеральные признаки БЖР (рис. 6), относящиеся к определённым структурам материнских пород, удовлетворяющие большинству требований при решении генетической задачи и обеспечивающие большую способность дальнейшего анализа.

По изложенным материалам можно сделать следующие выводы. При формировании контактово-площадной КВ по железистым кварцитам и джеспилитам Боль-

штроицкого месторождения происходили накопление железа и вынос кремнезёма. Преобладающими минералами в КВ являются его оксиды и гидроксиды, сидерит и бертьерин в различных сочетаниях. Последующие наложенные процессы привели к частичной цементации и разубоживанию руд, понижению в них содержаний Fe_2O_3 , увеличению концентраций FeO и SiO_2 .

Месторождением мармитовая залежь стала на стадии латеритизации, когда произошёл максимальный вынос нерудных минералов из кварцитов, в особенности кварца. Субвертикальные слои джеспилитов разрыхлились за счёт дезинтеграции гематита до железной слюдки. Обширное карстование позволило законсервировать

большой объём богатых железных руд и сохранить на последующих этапах размыва.

Результаты системного историко-генетического анализа позволили составить представление о геологических процессах на разных этапах формирования железорудной контактово-площадной КВ. Предложенная модель формирования БЖР позволяет объяснить их сложный минеральный состав и прогнозировать участки залежей богатых железных руд, образованных в результате латеритизации железистых кварцитов и дже-спилитов.

Рекомендуется провести рекогносцировочный анализ структур железисто-кремнисто-сланцевой формации КМА с целью выявления закарстованных палеокор выветривания, который позволит прирастить запасы высококачественных железных руд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безуглый М.М., Никулин И.И. Новые сведения о геологическом строении и характере рудоносности Больше-троицкого месторождения (Белгородский район КМА) // Вестник ВГУ. Сер. геология. 2010. № 2. С. 171–179.
2. Железные руды КМА / Под ред. В.П.Орлова, И.А.Шевырева, Н.А.Соколова. – М.: Геоинформмарк, 2001.
3. Клець В.Н. Больше-троицкое месторождение // Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии. Т. III. Железные руды. – М.: Недра, 1969. С. 181–191.
4. Никулин И.И. Бертьерин – главный силикат месторождений богатых железных руд КМА // Вестник ВГУ. Сер. геология. 2013. № 1. С. 89–97.
5. Никулин И.И., Савко А.Д. Железорудные коры выветривания Белгородского района Курской магнитной аномалии // Труды НИИ геологии Воронежского государственного ун-та. 2015. Вып. 85. С. 102.
6. Никулин И.И. Морфология и условия формирования железорудных кор выветривания Белгородского района КМА // Вестник ВГУ. Сер. геология. 2014. № 3. С. 64–73.
7. Никулин И.И. Характеристика минерального состава богатых железных руд Больше-троицкого месторождения КМА // Вестник ВГУ. Сер. геология. 2012. № 1. С. 144–154.
8. Романов И.И. Белгородский рудный район // Железные руды КМА. – М.: Геоинформмарк, 2001. С. 293–438.
9. Савченко Л.Т., Жуков Ф.И. Исследование вариаций изотопов серы, углерода и кислорода в железисто-кремнистых формациях докембрия Европейской части СССР // Геология рудных месторождений. 1987. № 6. С. 26–37.
10. Сиротин В.И. Закономерности визейского бокситообразования (на примере КМА и других провинций Русской платформы) // Автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. – Воронеж, 1988. Т. 1.
11. Сиротин В.И. О диагенезе и эпигенезе латеритной коры выветривания и общей схеме эволюции бокситового вещества КМА // Литология терригенных толщ фанерозоя Воронежской антеклизы. – Воронеж, 1979. С. 53–58.
12. Berthierine-like mineral formation and stability during the interaction of kaolinite with metallic iron at 90° C under anoxic and oxic conditions / C.Rivard, M.Pelletier, N.Michau et al. <http://dx.doi.org/10.2138/am.2013.4073>
13. Carroll S.A., Walther J.V. Kaolinite dissolution at 25°, 60° and 80°C // American Journal of Science. 1990. № 290. P. 797–810.
14. Effects of temperature, pH, and iron-clay and liquid-clay ratios on experimental conversion of dioctahedral smectite to berthierine, chlorite, vermiculite, or saponite / R.Mosser-Ruck, M.Cathelineau, D.Guillaume et al. // Clays and Clay Miner. 2010. № 58. P. 280–291.
15. Iijima A. Berthierine and Chamosite in Coal Measures of Japan. Clays and Clay Minerals 30. 1982. P. 264–274.
16. Matsumoto R., Iijima A. Origin and diagenetic evolution of Ca-Mg-Fe carbonates in some coalfields of Japan // Sedimentology. 1981. Vol. 28. P. 239–259.
17. Millimeter-Scale variations of stable isotope abundances in carbonates from iron-formations in the Hamersley group of Western Australia / M.E.Baur, G.M.Hayes, S.Q.Studley et al. // Economic geology. 1985. Vol.80. № 2. P. 270–282.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

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

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

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

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

Крупные золотоносные штокерки в архейской зеленокаменной толще Приамурья – новый тип месторождений России

А.М.ЖИРНОВ (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН; 679016, г. Биробиджан, Шолом-Алейхема, д. 4)

Рассмотрены условия локализации малоизученных штокерковых месторождений золота в архейской зеленокаменной толще Дамбукинского района Амурской области, представляющих новый перспективный тип месторождений золота в России. За рубежом это был важнейший тип месторождений золота в XX в., заключавших 30% разведанных запасов, к настоящему времени уже отработанных. В России подобные месторождения пока не известны. Первоочередным объектом для проведения поисково-оценочных работ в Дамбукинском районе определено месторождение Золотая Гора с отработанным 100 лет назад богатым участком «ураганных» руд.

Ключевые слова: Приамурье Дальнего Востока, архейская зеленокаменная толща, перспективные золотоносные штокерки.

Жирнов Анатолий Михайлович
доктор геолого-минералогических наук



zhantmich@yandex.ru

Large gold bearings shtokwerks in archaen green-rocs of Priamurye – new type of Russia deposits

A.M.ZHIRNOV (Federal state budgetary institution of science Institute of Complex Analysis of Regional problems)

The paper is focused on the new type of gold deposits in Russia - stock-holding gold deposits in the Archean greenstone stratum. Localization patterns are reviewed for the little-studied deposits of the Dambukinsky district of the Amur Region. Abroad this type of gold deposits was one of the main gold source in XX century containing 30% of proven reserves and already mined to date. However, in Russia this deposit type was not known until recent time. The Golden Mountain deposit of the Dambukinsky district contained a site with rich ore mined out 100 years ago. This deposit has been identified as the first priority site for evaluation work.

Key words: Priamurye of the Far East, Archaen green-rocks strata, prospective gold-bearing stocks.

Одно из приоритетных направлений геолого-поисковых работ на ближайшую перспективу – поиски крупно-объёмных (крупнотоннажных) месторождений золота в терригенных толщах фанерозоя и докембрия, представленных штокерками с низким содержанием золота (0,5–1,5 г/т), но большими запасами, пригодными для открытой отработки [3, 5, 18]. Для поддержания производства золота в России на достигнутом уровне (около 300 т/год) необходимо значительно увеличить объёмы поисковых и поисково-оценочных работ с целью выявления новых золоторудных объектов, расширенной подготовки прогнозных ресурсов [11].

Золото – один из важнейших металлов гранит-зеленокаменных поясов архея, из которых за рубежом добыто 20 тыс. т золота. В XX веке в них было сосредоточено около 30% мировых запасов золота гидротермальных месторождений [3, 18], к настоящему времени

уже отработанных. Месторождения золота подобного типа в России пока неизвестны.

Однако наиболее перспективным районом для выявления весьма сходных месторождений является Дамбукинский рудно-россыпной район, один из крупнейших золото-россыпных районов Дальнего Востока [2, 15].

Район находится в южной части Становой складчатоблоковой области с развитием архейских зеленокаменных поясов [6], в благоприятных географо-экономических условиях – вблизи железных дорог и крупных посёлков [7, 10]. Месторождение Золотая Гора, наиболее известное и частично отработанное, связано с пос. Тыгда и одноимённой железнодорожной станцией (магистрали Москва–Владивосток), автотрассой длиной 180 км (рис. 1).

Цель настоящей работы – рассмотрение условий локализации малоизученных золотоносных штокерков

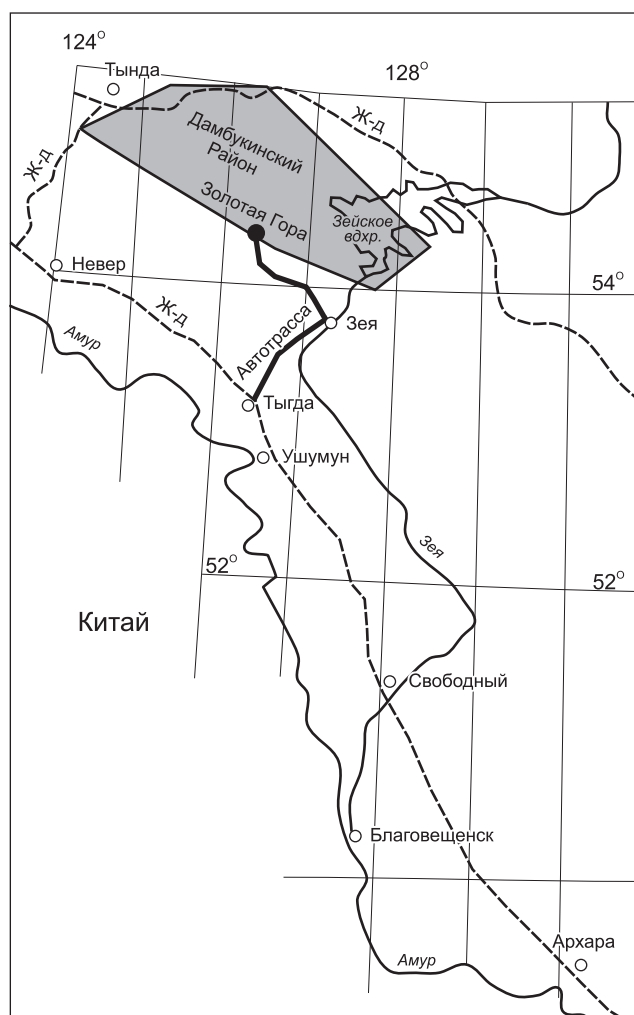


Рис. 1. Схема географического положения Дамбукинского района

в пределах архейской зеленокаменной толщи Дамбукинского золоторудного района Амурской административной области и их перспективная оценка до глубины 300 м от поверхности.

Сведения о золотоносности территории. Амурская золотоносная область Приамурской провинции характеризуется высокой россыпной золотоносностью. С 1867 г. в ней добыто более 1,3 тыс. т золота, из них 1133 т из россыпей и 180 т из коренных месторождений [16]. В 2007 г. добыча рудного и россыпного золота сравнялась, а к 2015 г. добыча рудного золота втрое превысила добычу россыпного золота [15]. Весьма существенна доля Амурской области и в общей добыче золота по стране. Так, по итогам 2011 г. область заняла второе место в России по добыче золота (28,4 т), что позволяет рассматривать её как одну из важнейших золоторудных провинций в стране [15, 16]. Хотя в последующие

годы темпы добычи коренного золота несколько снизились (табл. 1).

Таким образом, в настоящее время главная роль в добыче золота Амурской области отводится коренным месторождениям. В перспективе рудная добыча должна ещё возрасти, поскольку ресурсы коренных месторождений золота оцениваются сейчас весьма значительно – 3500 т, в том числе по категории P_1 – 650 т [13].

К настоящему времени сложилось общее представление, что наиболее перспективной частью Амурской золотоносной провинции на рудное золото является её центральная часть, вмещающая в том числе и Дамбукинский рудно-россыпной район [10, 14, 15]. Однако золотоносность архейских зеленокаменных структур Дамбукинского района впервые привлекла внимание исследователей лишь в конце прошлого века [14].

Особенности геологического строения территории. Амурская золотоносная провинция расположена на территории двух крупных широтных структур Восточной Азии – древней Сибирской платформы и Центрально-Азиатского складчатого пояса палеозой-мезозойского возраста [6]. Её северная половина представлена Становой складчато-блоковой структурой архейского возраста, отделённой Становым хребтом от Алданского щита, расположенного севернее. Южной половиной территории является Амурская мезозойская область, отделённая от Становой области субширотной Амазаро-Удской зоной тектонитов [6, 10], представляющей восточную часть трансрегионального Монголо-Охотского разлома (рис. 2).

При общем архейском возрасте метаморфических образований Алданского щита и Становой области геологическое строение этих территорий весьма специфично. Для территории Алданского щита характерны меридиональные и широтные разломы и меридиональный пояс архейских гранитных интрузий. В пределах Становой области продолжают меридиональные разломы и локализованы отдельные архейские интрузивы. Но наиболее распространены в Становой области крупные интрузии мезозойских гранитов и северо-западные разломы (см. рис. 2).

Характерный структурный элемент рассматриваемой части Сибирской платформы – Якокут-Желтунакский линеамент меридионального простираения, пересекающий территорию от меридиональной излучины р. Алдан на севере до Амазаро-Удской широтной сутуры на юге, между меридианами $125^{\circ}30'$ – 127° в.д. с основным разломом вдоль меридиана $126^{\circ}30'$ в.д. В гравиметрическом и магнитном полях отдельные разломы линеамента (в том числе зоны бластомилонитов) проявлены полосами градиентных ступеней, цепочками локальных максимумов и минимумов силы тяжести, локальных магнитных максимумов [10, 20]. На площади Алданской области в зоне линеамента расположен согласный Иенгрский антиклинорий, рассечённый вдоль оси Якокутским глубинным разломом, который

1. Добыча золота в Амурской области в период с 2013 по 2017 гг. [13]

Показатели	Годы				
	2013	2014	2015	2016	2017
Всего добыча (в кг), в том числе:	30 600	29 508	25 575	22 362	25 770
коренное золото	23 900	22 297	18 616	15 041	17 530
россыпное золото	6700	7211	6959	7321	8240

чётко отображается в геофизическом поле положительной магнитной аномалией [20]. Вдоль зоны сближенных меридианов 126°–126°30' чётко выражена градиентная зона поля силы тяжести [10]. В южной части Становой области зона линеамента трассируется меридиональной цепочкой аномалий повышенного магнитного поля, интерпретируемых как аномалии над скрытыми дайками ультрабазитов [7]. Этот линеament контролирует положение Алдан-Верхнеамурского золотоносного пояса, к центральной части которого приурочен и рассматриваемый Дамбукинский золоторудный район [10].

Геология и золотоносность Дамбукинского рудно-го района. Дамбукинский рудный район представляет собой тектонический блок, ограниченный с юго-запада тектоническим хребтом Тукурингра, с юга – Амазаро-Удской (Монголо-Охотской) тектонической шовной зоной, на востоке – Унахинским северо-западным разломом, на севере – Ларба-Майским широтным разломом (55° с.ш.) (см. рисунки 2 и 3).

Район пространственно совмещён с Гилуйским эвгеосинклинальным зеленокаменным трогом северо-западного направления [6, 9, 10]. В Дамбукинском рудном районе преобладают архейские метаморфические породы, представленные амфиболитами, амфиболовыми, амфибол-пироксеновыми и биотитовыми гнейсами с прослоями и линзами гранат-дистен-ставролитовых и графитовых кристаллических сланцев. Они разделены на ряд серий – дамбукинскую, иликанскую, усть-гилуюскую и зейскую [6, 9].

Характерная особенность пород основного состава – низкое содержание калия и высокое содержание магния, некогерентных элементов (по М.З.Глуховскому, 1990) и большая плотность пород, на уровне 3,0–3,05 г/см³; они близки по составу к толеитовым базальтам [6]. Суммарная мощность пород раннеархейского возраста варьирует в пределах от 5000 м до 7500 м. Абсолютный возраст пород отвечает интервалу 3,5–3,8 млрд. лет [6].

Метаморфические толщи пород прорваны крупными мигматит-плутонами гранитов и серией мелких интрузий габбро-амфиболитов, метаультрабазитов, плагиогранитов и аляскитов архейского возраста, а также серией мезозойских интрузий гранодиоритов и даек.

Рассмотренный метаморфический комплекс зеленокаменных пород свидетельствует о первичном заполнении Дамбукинского эвгеосинклинального трога базальтовой и коматиит-базальтовой магмой, выплавленной из неистощённой мантии. Позже породы были метаморфизованы в амфиболитовой стадии метаморфизма и превращены в зеленосланцевые метаморфические породы – диафториты (амфибол-актинолит-хлоритового состава), инъецированные затем многочисленными мелкими телами базит-ультрабазитового состава.

На геоэлектрическом разрезе территории видно, что перидотитовая мантия образует под Дамбукинским районом приподнятый купол на расстоянии до 20 км от поверхности (как и в Вилуйском прогибе, севернее Алдана), а земная кора района представлена в основном нижним метабазитовым слоем [12] с низкими значениями электрического сопротивления, близкими для перидотитовой мантии. Непосредственно под этим слоем находится маломощный слой с очень низкими значениями электрического сопротивления, на уровне 16–65 Ом·м, который интерпретируется как слой пониженной вязкости [12]. Верхний гранитогнейсовый слой земной коры почти полностью эродирован, что и предопределяет преобладающий базит-ультрабазитовый состав пород в пределах Дамбукинского района (рис. 4).

Гилуйский зеленокаменный трог сходен с золотоносными зеленокаменными поясами Канады, развивавшимися в сходных геотектонических условиях и представленных подобными формациями метаморфических пород [7, 9, 18].

Горные породы территории рассечены серией крупных разнонаправленных разломов. Из числа широтных наиболее значительны и важны для металлогении золота Становой области Ларба-Майский, Амазаро-Удской и Амуро-Нинни-Селемджинский разломы (см. рисунки 2 и 3). Довольно многочисленна серия меридиональных скрытых разломов фундамента [10, 20]. Со стороны Забайкалья территория дополнительно рассечена серией северо-восточных разломов, создающих в совокупности сложный решетчато-блоковый тектонический рисунок разломной тектоники региона [2].



Рис. 2. Металлогеническая схема меридионального Алдан-Верхнеамурского золотоносного пояса [7, 12]:

1 – коренные месторождения золота в пределах золотоносного пояса: 1 – Желтунак, 2 – Покровское, 3 – Пионерское, 4 – Боргуликан, 5 – Золотая Гора и другие (без номеров); 2 – крупное месторождение Добрашань комплексных руд (Au, Mo, Cu), Китай; 3 – золотороссыпные районы и узлы; крупные месторождения: 4 – урана, 5 – железа; 6 – месторождения слюды – флогопита; 7 – мелкие мезозойские массивы габбро-диоритового, сиенитового и перидотитового составов; 8 – Гонжинский выступ архейских пород в мезозоидах Амурской области; 9 – разломы; 10 – Амазаро-Удской фрагмент крупного Монголо-Охотского разлома – граница между Становой областью археид (к северу) и Амурской складчатой областью мезозойских (к югу)

Как подчёркивает А.Ф.Баранов, «положение района в тектоническом блоке, ограниченном, по крайней мере, с трёх сторон зонами крупных разломов глубинного заложения, обусловило образование в его пределах густой сети разломов широтного, северо-западного и северо-восточного направлений. Здесь возник своеобразный узел наиболее интенсивного тектонического раскалывания, что и определило своеобразие геологической структуры района» [2, с. 289].

Дамбукинский рудно-россыпной район – крупнейший на Дальнем Востоке по количеству россыпей золота и величине добытого россыпного золота (~300 т). На его площади известно более 170 россыпных месторождений золота, выявлено три мелких месторождения коренных руд (Золотая Гора, Успенское, Уган), 20 рудопроявлений золота и 248 точек минерализации, многие из которых с содержанием золота более 5 г/т [2, 14]. Как будет показано ниже, этот район наиболее перспективен для выявления серии крупнообъемных месторождений золота типа минерализованных зон и штокверков.

По данным металлогении зарубежных зеленокаменных поясов, важное значение для размещения месторождений золота имеет конфигурация зеленокаменных поясов. Месторождения обычно тяготеют к фланговым частям и к изгибам бортовых частей таких протяжённых рудоносных структур. Решающее региональное рудоконтролирующее значение принадлежит продольным прибортовым разломам. При этом месторождения обычно локализуются в узлах пересечения региональных разломов, часто на участках повышенной концентрации магматических штоков и даек [18].

Подобная закономерность чётко проявлена и на примере золотоносности хребта Тукурингра северо-западного направления, длиной 200 км и шириной 10–20 км.

Именно в осевой части продольного Желтулакского разлома (с юго-западной стороны хребта Тукурингра) локализовано, через 20–40 км, пять коренных

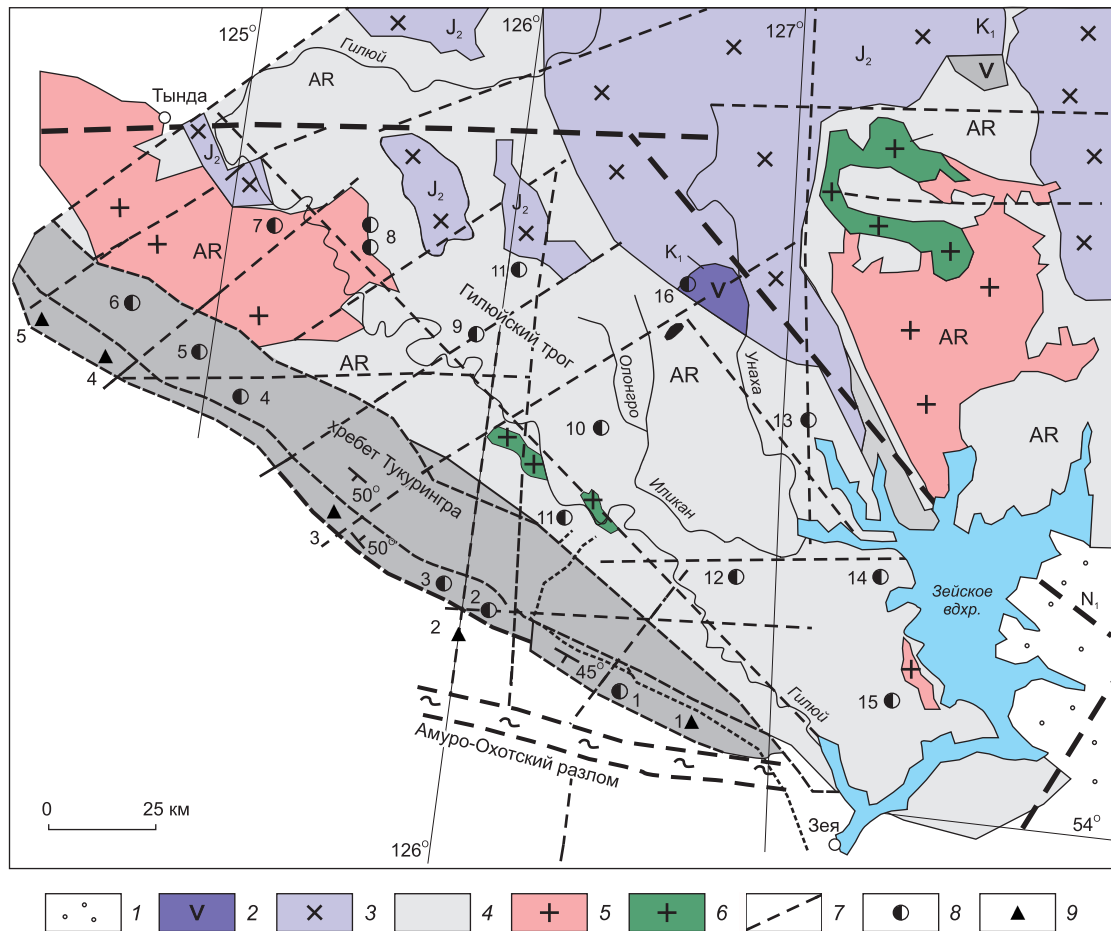


Рис. 3. Схема геологического строения Дамбукинского района и размещения месторождений и рудопроявлений золота и урана [7, 10, 16]:

1 – неогеновые рыхлые отложения, N_1 ; 2 – меловые вулканогенные впадины, K_1 ; 3 – юрские интрузивные массивы гранодиоритов, J_2 ; 4–6 – архейские, AR: 4 – зеленокаменные породы Гилейского трога, 5 – массивы гранитов и 6 – мелкие массивы ультрабазитов; 7 – крупные блоко-ограничивающие разломы (тонкие линии – соподчинённые разломы); 8 – мелкие месторождения и рудопроявления золота: 1 – Золотая Гора, 2 – Успенское, 3 – Талгинское, 4 – Софийское, 5 – Гульде, 6 – Балдыглия, 7 – Могоктан, 8 – Заветное, 9 – Иличи, 10 – Олонгро, 11 – Миллионное, 12 – Горациевское, 13 – Язонов Клад, 14 – Ямчукское, 15 – Уган; 9 – месторождения урана: 1 – Джигда, 2 – Талгинское, 3 – Кавли, 4 – Перевальное, 5 – Джелтулакское

источников золота и пять мелких месторождений-рудопроявлений урана (см. рис. 3).

Морфологические особенности золоторудных объектов Дамбукинского района и возможные перспективы. По морфологии рудных тел месторождения золота разделяются на: золото-кварцевые жилы мощностью до 3 м, золото-кварц-сульфидные минерализованные зоны мощностью до 20 м и штокверки линейные и округлые мощностью до 100 м и более, с прожилково-вкрапленным золото-кварц-сульфидным оруденением [3].

В пределах Дамбукинского района проявлены все морфологические типы золоторудных объектов. Широко распространены кварцевые жилы мощностью 0,3–1 м,

реже до 3 м, как правило, с высокими содержаниями золота (10–100 г/т). В XX веке, когда промышленные кондиции на золото были достаточно высоки, кварцевые жилы всегда являлись главным объектом тщательных поисков. Однако протяжённость кварцевых жил была обычно невелика (до 100–200 м) и большого практического значения эти жилы не имели.

Геологические исследования в районе, проведённые в конце XX и начале XXI веков, позволили обратить внимание на новые типы золотого оруденения – в минерализованных зонах с прожилково-вкрапленным кварцевым и золото-сульфидным оруденением. Были выявлены новые золотоносные зоны подобного типа и определены достаточно крупные перспективы на руд-

2. Перечень некоторых перспективных на рудное золотое штокверковых зон в Дамбукинском районе [14–17]

Название зоны	Минеральный состав	Длина, км	Мощность, м	Содержание Au, г/т, проба Au, ‰	Ресурсы золота, т (по данным разных авторов), категория (без апробации)	Автор оценки
1. Золотогорская:						
Золотая Гора	Окварцованные амфиболиты, гнейсы, пирит, молибденит	3	200	1–30, 945	290, P ₃	Ю.С.Ляховкин и др., 1976
Новая Аляска		1,5	20–80	1–8, 965		
2. Успеновская	Окварцованные гнейсы, с пиритом	3	40,0	1–30, 909	12, P ₂	С.Г.Агафоненко и др., 2008
3. Гульдэ	Диафторит с прожилками кварца, сульфидами, баритом, блёклой рудой	4	1–14	3–42, 900	76, P ₃	В.В.Домчак, 2003
4. Курбатовская	Окварцованные граниты	0,5	40	0,8–6,0, 770	20, P ₂	Л.В.Савенко, 2011
5. Заветное-Раковская	Окварцованные граниты	1	3–25	1–20, 900	28, P ₁	А.И.Лобов и др., 1996
6. Могоктак	Зона дробления с кварцем	0,8	0,5–15	4–5, 800	20, P ₁	О.И.Мельникова и др., 1989
7. Вершининская	Рассланцованные гнейсы, амфиболиты	3	200	1–7, 900	10, P ₃	С.Г.Агафоненко и др., 2008
8. Дождливая	Зона смятия в диафторитах	2	10	1–3, 730	50, P ₃	А.Н.Серезников и др., 2005
9. Уганская	Окварцованные гнейсы, амфиболиты	2	5	1–10, 890	30, P ₂	С.Г.Агафоненко и др., 2008
10. Иличи	Зона окварцевания в эффузивах мела	1	80–250	1–5, 600–700	8, P ₁ ; 55, P ₂	И.Ю.Громаковский, 2007
Итого					599	

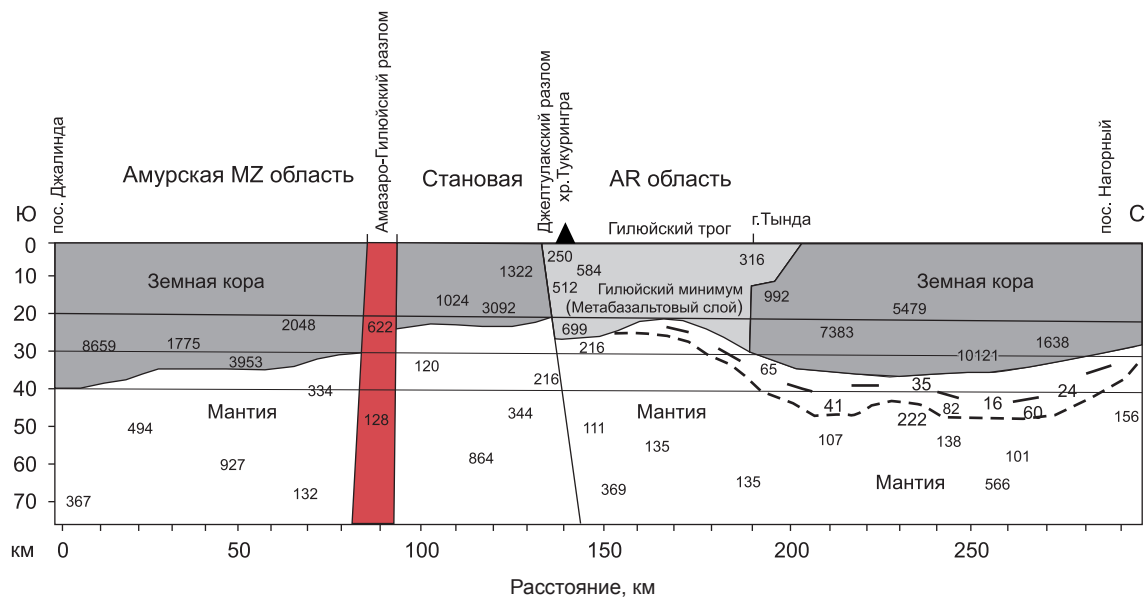


Рис. 4. Глубинное строение Гилёвского трога с преобладающей метабазальтовой корой. По данным геоэлектрического разреза по линии Джалинда–Нагорный [14, 22], с упрощением:

цифрами на разрезе показаны электрические сопротивления пород (в Ом·м)

ное золото многих минерализованных зон и штоков.

Выяснилось, что в районе широко распространены зеленосланцевые зоны расщеливания и диафтореза (кварц-биотит-мусковит-хлоритового и эпидот-хлорит-серицит-актинолитового или амфиболового состава), часто окварцованные, сульфидизированные и насыщенные тонкими жилами и линзами кварца [6, 9, 14], которые и являются главными концентраторами коренного золотого оруденения. Кроме того, коренными источниками россыпей золота и платины являются многочисленные медно-никелевые рудопоявления (Джалта, Стрелка, Горациевские и др.), связанные с массивами габбро, амфиболитами и пироксенитами [17].

Перечень некоторых перспективных на рудное золото прожилково-вкрапленных зон и штоков приведен в табл. 2.

Однако изученность многих рудных зон с поверхности недостаточная и неравномерная. Отдельные участки рудных зон исследованы канавами, расчистками и даже короткими штольнями (обычно вблизи долин рек), но основная часть рудных зон не покрыта даже геолого-геохимической съёмкой масштаба 1:10 000. Отсутствуют и скважинные пересечения зон на глубину. Поэтому прогнозные ресурсы золота рудных зон определены в основном только до глубины 100 м от поверхности. Скважинные пересечения рудовмещающей толщи хребта Тукурингра до глубин 200–300 м на ме-

сторождении Золотая Гора и урановом месторождении Кавли не учитывались.

В рудах многих рудных зон Дамбукинского района установлены минералы, характерные для верхнерудного эрозионного среза – аргентит, барит, антимонит, блёклая руда. Высокая пробность золота в рудах на уровне 880–960‰ свидетельствует об их глубинном происхождении и возможной протяжённости рудных тел до глубины 1 км и более. Как например, на месторождениях зеленосланцевой формации и крупных месторождениях золота в терригенных толщах – Кумтор, Мурунтау, Кокпатас, Сухой Лог и др. [19]. Поэтому выполненные в прежние годы прогнозные оценки ресурсов золота рудных зон Дамбукинского района являются, по современным требованиям, недостаточными.

Согласно Инструкции по применению классификации запасов к золоторудным месторождениям, ресурсы золота по категориям P_2 и P_3 должны определяться до глубин, представляющих промышленный интерес, и основываться в том числе на аналогиях с известными месторождениями того же формационного типа. Об этом свидетельствуют и рекомендации многих авторов о необходимости тщательного сопоставления исследуемых рудопоявлений и рудных зон с эталонными месторождениями сходного формационного типа, детально разведанными горными выработками до глубины 500 м и более. Для более обоснованной оценки ресурсов исследуемых рудных зон рекомендуется ис-

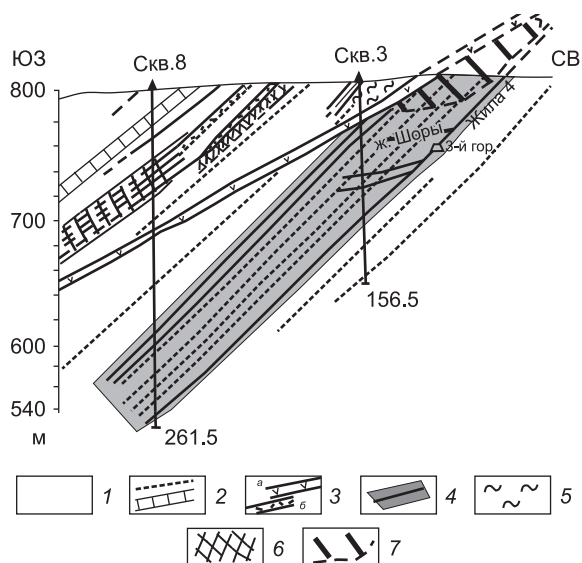


Рис. 5. Геологический разрез месторождения Золотая Гора. По Г.К.Цивелеву, 1959 из работы [18], с добавлением эродированной части дайки и рудного столба:

1 – архейские гнейсы; 2 – слои амфиболитов; 3 – дайки: а – микродиоритов, б – фельзитов и сиенит-порфиров; 4 – кварцевые жилы в золотоносной зоне амфиболитов; зона: 5 – смятия и 6 – дробления, смятия и рассланцевания; 7 – контур эродированного богатого рудного столба

пользовать некоторые параметры эталонных месторождений [4].

На основе приведённых рекомендаций автором статьи выполнена переоценка ресурсов золота отдельных рудных полей Дамбукинского района на основе сопоставления с характерным, эталонным месторождением Хэмло – типичным представителем месторождений золота зеленокаменной формации.

Месторождение Хэмло весьма сходно с месторождениями золота Дамбукинского района. Оно представлено наклонными рудными телами, согласно залегающими в серо-зелёной толще архейских микроклинизированных кварц-биотитовых, кварц-серицитовых и амфиболитовых пород с гранатом, ставролитом, кианитом. Характерные минералы руд – золото, пирит, молибденит, антимонит, блёклая руда, сфалерит, галенит, самородный мышьяк, барит. Длина месторождения 2,2 км, мощность рудных тел 20 м, протяжённость (длина) их по падению 2500 м, содержание золота 3–11 г/т, разведанные и отработанные запасы золота 500 т [1, 18].

Переоценка ресурсов золота выполнена по трём рудным зонам – Золотогорской, Успеновской и Гульдэ. Их длина принята согласно фактической длине, установленной по редким геологическим пересечениям, средняя мощность равна 20 м (как на месторождении Хэмло), среднее содержание золота принято равным

3 г/т – минимальное для месторождений зеленокаменной формации, протяжённость рудных тел по падению – 300 м, уже доказанная бурением на месторождениях Золотая Гора и Кавли. Результаты подсчёта представлены в табл. 3.

Ресурсы золота, по данным выполненного подсчёта, составляют по отдельным рудным полям (в т): Золотогорское поле – 218,7, Успеновское поле – 145,8, рудное поле Гульдэ – 194,4. Всего по трём полям – 558,9 т. Результаты приведённого подсчёта ресурсов золота представляются более реальными. Принятая средняя мощность рудных зон (как на месторождении Хэмло) намного меньше установленной в рудных полях, среднее содержание золота – на уровне минимально промышленного для этого формационного типа, протяжённость оруденения по падению также принята на уровне минимально возможной, но уже доказанной бурением скважин.

Фактические ресурсы золота в рассмотренных рудных полях могут быть и больше, если в процессе дальнейших геолого-оценочных работ будут установлены более высокие параметры рудных зон относительно принятых в данном предварительном подсчёте ресурсов.

Характерным модельным объектом для установленных и прогнозируемых штоковерковых месторождений золота может быть месторождение Золотая Гора. Это – наиболее крупный и почти неизвестный в литературе объект коренного золота в районе. Оно расположено на юго-западной стороне хр. Тукурингра, в истоках р. Хугдер, на расстоянии 85 км от пос. Зезя [16]. Месторождение Золотая Гора было открыто старателями в 1917 г. при отработке россыпи золота в верховье руч. Хугдер и отработано к 1922 г. до глубины 40–50 м от поверхности. Площадь отработки невелика – 427×107 м. Добыча золота велась из интенсивно раздробленных и окисленных кварц-кальцитовых пород. Содержание золота в этих породах доходило до 520–1041 г/т, иногда до 20–60 кг/т [16, 17]. По частично учтённым данным, добыто около 2 т золота [16].

Месторождение приурочено к нижней части дамбукинской свиты, представленной чередующимися биотитовыми, амфибол-биотитовыми, биотит-амфиболовыми и амфиболовыми гнейсами. В гнейсах наблюдаются линзы, прослои амфиболитов, мраморов, графитсодержащих и гранат-дистен-ставролитовых кристаллических сланцев, кварцитов и магнетитовых руд (нижний архей). Широко проявлены кварц-микроклиновые метасоматиты с абсолютным возрастом 1,8 млрд. лет [9]. Породы метаморфической толщи прорваны серией даек граносиенит-порфиров, сиенит-порфиров, лампрофиров и жил кварцевого, кварц-полевошпатового и кварц-кальцитового состава, залегающих в большинстве случаев согласно с вмещающими их породами. Внедрение этих даек происходило по многочисленным разрывным нарушениям. Время внедрения даек и жильных образований определяется как нижнемеловое [16].

3. Переоценка ресурсов золота некоторых рудных объектов Дамбукинского района на основе сопоставления с эталонным объектом – месторождением Хэмло.
По данным А.М.Жирнова

Название рудного объекта	Длина, м	Мощность, м	Площадь, тыс. м ²	Протяжённость на глубину, м	Объём рудной массы, млн. м ³	Вес 1 м ³ руды, в т	Количество руды, в млн. т	Среднее содержание Au, г/г	Ресурсы золота, т кат. Р ₃
1. Золотая Гора	3000	20	60	300	18	2,7	48,6	3,0	145,8
2. Новая Аляска	1500	20	30	300	9	2,7	24,3	3,0	72,9
Итого									218,7
3. Успенское	3000	20	60	300	18	2,7	48,6	3,0	145,8
4. Гульдэ	4000	20	80	300	24	2,7	64,8	3,0	194,4
Итого									558,9

Длина рудовмещающей зоны месторождения 3 км, мощность 200 м [17].

Рудовмещающая толща зеленокаменных пород месторождения имеет северо-западное простирание, согласное с направлением хребта Тукурингра (330°), и моноклинальное падение на юго-запад под углами 30°–50°. Она рассечена шестью жилами кварца с расстоянием между ними 6–8 м на поверхности и 15–20 м на глубине. Отрабатывалась только главная жила (жила 4) мощностью 1 м. Минералогический состав жилы: кварц, кальцит, амфиболы. Рудные минералы – пирит, пирротин, халькопирит, молибденит, магнетит, антимонит, галенит, золото. Околожилные изменения вмещающих пород проявились в окварцевании, серицитизации, пиритизации, гранатизации, хлоритизации.

Рудоносная толща прослежена на глубину 250 м по вертикали. Распределение золота в жиле неравномерное и варьирует от 4,9 до 13 г/т. Проба золота 900–990‰ [2, 16]. Содержания золота во вмещающих гнейсах от 12,2 до 29,6 г/т, в кристаллических сланцах – 1,1–7,8 г/т. Характерна вкрапленность пирита и молибденита [15]. Высокие содержания золота (десятки–сотни г/т) установлены в пирите [17].

По данным детальной литогеохимической съёмки в пределах месторождения, проведённой в 1973–1975 гг. Ю.С.Ляховкиным, установлен крупный геохимический ореол золота длиной 2,5 км, с содержанием Au 0,1–3 г/т и Mo – 0,01–0,02%. В 400 м к северо-востоку от Главной зоны была выявлена минерализованная зона Трансформаторная мощностью до 90 м, длиной 800 м, параллельная Главной зоне. Ещё далее, в 1 км к северо-востоку от Главной зоны, была выявлена рудная зона Новая Аляска длиной 1500 м, мощностью 20–80 м. По данным анализа валовой пробы из этой зоны, содержание золота составило 5 г/т [14]. Ресурсы месторождения оценены Ю.С.Ляховкиным в 290 т. по категории Р₃. Позже геохимическая аномалия золота была вскрыта серией канав, но отобранные бороздовые пробы не были обработаны и проанализированы в связи с прекращением финансирования и закрытием Зейской геологической экспедиции в 1991 г.

На разрезе месторождения по центральному профилю 2-2 видно, что богатый рудный столб месторождения мощностью 60 м образовался под экраном пологой дайки микродиоритов (рис. 5). Именно этим объясняется исключительное богатство золотом верхней части месторождения.

Высокотемпературные золото-сернисто-кремнистые растворы продвигались снизу вверх по всей массе тонкорассланцованных и брекчированных амфиболитов и вмещающих гнейсов, метасоматически замещающая их и обуславливая повышенную золотоносность пород и вкрапленность в пирите.

О предварительной оценке месторождения Золотая Гора. Рудное поле месторождения отличается наиболее крупными ресурсами золота в Дамбукинском

районе. Суммарная длина штокверковых зон в нём равна 4,5 км, а ресурсы золота по падению на 300 м оцениваются в 218–290 т.

В настоящее время на первый план выступает необходимость предварительной оценки крупной геохимической аномалии золота путём проходки 2–3 магистральных канав длиной по 200 м с тщательным бороздовым опробованием по всей длине канав для выделения промышленных интервалов в пределах Главной минерализованной зоны. Затем – бурение 2–3 скважин до глубины 300 м для проверки степени золотосодержимости рудовмещающей толщи на глубине. Эти работы предпочтительно выполнить за счёт бюджетных средств.

В заключение отметим, что Дамбукинский золоторудный район в архейской зеленокаменной толще Становой области является наиболее приоритетным районом Дальнего Востока для выявления крупнообъёмных штокверковых месторождений золота как содержащий 3 месторождения и 9 достаточно крупных рудопоявлений золота штокверкового типа, а также 248 точек золоторудной минерализации, с ресурсами золота на уровне 600–700 т.

Наиболее крупный объект района, месторождение Золотая Гора (длиной 4,5 км, мощностью рудной зоны 200 м), до сих пор не изучен горными выработками канавами даже в центральной части, хотя его промышленная золотосодержимая доказана частичной отработкой богатого рудного столба в первой половине XX в. Прогнозные ресурсы месторождения до глубины 300 м определены в количестве 218–290 т. Месторождение Золотая Гора является первоочередным объектом для проведения поисково-оценочных работ в Дамбукинском рудном районе как расположенное в благоприятных географо-экономических условиях. Аналогичными по перспективности являются рудные поля Успенское и Гульдэ.

Автор благодарен рецензенту за ряд полезных замечаний, способствовавших улучшению качества статьи, а также О.И.Мельниковой и А.В.Мельникову за предоставленные публикации.

Работа выполнена в рамках государственного задания институту ИКАРП ДВО РАН, при частичной поддержке Гранта ДВО РАН 15-И-2-004 по программе фундаментальных исследований ДВО РАН «ДАЛЬНИЙ ВОСТОК» на 2015–2017 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аполлонов В.Н., Кудрявцева Г.П., Щеглов А.Д. Месторождение золота Хэмло в Канаде // Геология рудных месторождений. 1992. № 6. С. 80–89.
2. Баранов А.Ф. Дамбукинский золоторудный район // Геология СССР. Т. XIX. Хабаровский край и Амурская область. Ч. 2. Полезные ископаемые. – М.: Недра, 1973. С. 288–294.
3. Беневоольский Б.И. Золото России. – М.: Геоинформмарк, 2002.
4. Бойцов В.Е., Вальков В.О., Фролов А.А. Факторы локализации и прогноз оруденения. – М.: Недра, 1991.
5. Волков А.В., Сидоров А.А. Крупнотоннажные месторождения золота // Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. № 11. С. 992–998.
6. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. Масштаб 1:1 250 000. Объяснительная записка. – Санкт-Петербург–Благовещенск–Харбин, 1999.
7. Глубинное строение и особенности металлогении юга Дальнего Востока / Отв. ред. Е.А.Радкевич. – М.: Наука, 1984.
8. Горошко М.В., Малышев Ю.Ф., Кириллов В.Е. Металлогения урана Дальнего Востока. – Владивосток: Дальнаука, 2006.
9. Горошко М.В., Каплун В.Б., Малышев Ю.Ф., Джелтулакский разлом: глубинное строение, эволюция, металлогения // Литосфера. 2010. № 6. С. 38–54.
10. Жирнов А.М. Металлогения золота Дальнего Востока на линейно-плумовой основе. – Владивосток: Дальнаука, 2012.
11. Иванов А.И., Черных А.И., Вартанян С.С. Состояние, перспективы развития и освоения минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации // Отечественная геология. 2018. № 3. С. 18–28.
12. Каплун В.Б. Геоэлектрические модели литосферы // Глубинное строение и металлогения Восточной Азии. – Владивосток: Дальнаука, 2010. С. 94–97.
13. Латкин А.П., Стародубов С.В. Перспективы развития золотодобывающей промышленности Амурской области // Управление экономическими системами: электронный журнал 2018. № 10. С. 17.
14. Мельникова О.И. Коренная золоторудность Дамбукинского района // Геология и минеральные ресурсы Амурской области. – Благовещенск, 1995. С. 134–139.
15. Мельников А.В., Степанов В.А. Рудно-россыпные узлы Приамурской золоторудной провинции. Ч. 2. Центральная часть провинции. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2014.
16. Месторождения рудного золота Приамурской золоторудной провинции / А.В.Мельников, В.А.Степанов, А.С.Вах и др. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2017.
17. Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В. Золоторудные месторождения Востока России. – Владивосток, Дальнаука, 1996.
18. Некрасов Е.М. Крупные эндогенные золоторудные месторождения поддерживают высокий уровень добычи золота в мире // Геология рудных месторождений. 2005. Т. 47. № 3. С. 203–210.
19. Рафаилович М.С. Золоторудные гиганты в черносланцевых толщах Центральной и Северной Азии // Отечественная геология. 2012. № 1. С. 29–39.
20. Угрюмов Ар.Н., Угрюмов А.Н. Сравнительный анализ рудоносных областей тектономагматической активизации // Советская геология. 1990. № 7. С. 30–38.

Роль хромового оруденения в интерпретации генезиса полосчатого комплекса офиолитовой формации на примере уральских ультрабазитовых массивов

В.И.НИКОЛАЕВ (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М.Федоровского» (ФГБУ «ВИМС»); 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 31)

Рассмотрены гипотезы формирования дунит-верлит-клинопироксенит-габбрового (ДВКГ) комплекса офиолитовой формации. На примере ультрабазитовых массивов Урала показана генетическая связь хромитоносных дунитов ДВКГ комплекса с хромитоносными дунитами мантийных перидотитов. Предлагается гипотеза формирования ДВКГ комплекса в результате воздействия хромсодержащего расплава дунитов на основание коровых габброидов. *Ключевые слова:* офиолиты, дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый комплекс, мантийные перидотиты, кумуляты, реститы, хромовые руды, пироксенизация, дунитовый расплав, генезис.

Николаев Владимир Иванович



vims_cr@mail.ru

The role of chromium mineralization in the interpretation of the genesis of the banded ophiolite complex formation on the example of the Ural ultrabasic massifs

V.I.NIKOLAEV (Federal state unitary enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral resources named after N.M.Fedorovsky»)

Hypotheses of formation of dunite-wehrlite-clinopyroxenite-gabbro (DVKG) complex of ophiolite formation are considered in the article. The genetic link of the chromite-bearing dunite DVKG complex with chromite-bearing dunite mantle peridotites is shown by the example of ultramafic massifs of the Urals. The author proposed the hypothesis of formation DVKG complex because of interaction of dunite melt with the base of crustal gabbro.

Key words: : ophiolites, dunite-wehrlite-clinopyroxenite-gabbro complex, mantle peridotite, cumulate, restite, chrome ore, pyroxenization, dunite melt, genesis.

Дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый комплекс в различных работах интерпретируется как кумулятивный, полосчатый, переходный, габброидный, слоенный. В разрезе офиолитовой формации он занимает вполне определенное и постоянное положение между подстилающими мантийными перидотитами, чаще всего представленными гарцбургитами, и перекрывающими их коровыми габброидами. Его присутствие на этой границе не является обязательным, и коровый габброидный комплекс чаще непосредственно контактирует с мантийными перидотитами. В альпинотипных массивах Южного, Среднего и Полярного Урала этот комплекс проявлен достаточно широко. Среди 40 массивов, вошедших в Реестр хромитовых проявлений Урала [9], он присутствует в 16. В большинстве из них содержит мелкие месторождения или рудопроявления хромовых руд. Структурно полосчатый

комплекс всегда располагается в краевых частях ультрабазитовых массивов. Постоянное отсутствие пород полосчатого комплекса в центральных частях массивов не может быть объяснено эрозионными процессами [10], а обусловлено его формированием на отдельных участках – крыльях антиформных рифтовых структур океанической коры. В большинстве массивов область распространения ДВКГ комплекса занимает лишь какую-то ограниченную в плане зону контакта мантийных перидотитов с перекрывающим габброидами. В Ключевском массиве он развит по южному краю, в массивах Средний Крака, Нуралы, Рай-Из, Сыум-Кей, Первомайский – по их восточным краям. В некоторых массивах ДВКГ комплекс занимает симметричное положение относительно центральных частей массива (массивы Войкаро-Сынынский, Хабарнинский), однако особенности его строения на проти-

воположных краях массивов существенно различаются. Так, в Войкаро-Сыньинском при близком строении западной и восточной полос распространения ДВКГ комплекса западная отличается от восточной повышенной хромитоносностью. В Хабаровинском данный комплекс образует широкую полосу по восточному краю перидотитового ядра с многочисленными проявлениями хромовых руд и узкую прерывистую полосу по юго-западному без хромовых руд.

Изучению внутреннего строения полосчатого комплекса, его взаимоотношению с подстилающими и перекрывающими породами посвящено большое количество работ, одна из наиболее ранних – публикация Р.Г.Колмана [4]. В ней на основе анализа и обобщения большого количества разрезов офиолитовых комплексов перечислены основные разновидности пород, слагающих «переходную» зону, отмечается её слоистый характер, несовпадение полосчатости пород переходной зоны с полосчатостью подстилающих перидотитов, значительные колебания мощности и состава слагающих пород, характерная последовательность пород в разрезе комплекса, проявленная в смене снизу вверх оливиновых с хромитом слоёв (так называемых краевых дунитов) клинопироксен-оливиновыми и клинопироксен-оливин-плаггиоклазовыми кумулятами, которые сменяются двупироксеновым габбро, норитами и габброноритами. Вся эта серия пород перекрывается массивным габбро, в котором нередко присутствуют лейкократовые дифференциаты.

Е.Е.Лазько [5], подтверждая изменчивость состава пород в разрезе полосчатого комплекса, отмечает следующие особенности его строения: микроструктура пород часто именуется кумулятивной, тем не менее она редко имеет типично кумулятивный облик и значительно чаще является деформационной, порфирокластической и даже гранобластовой, состав породообразующих минералов закономерно изменяется от краевых дунитов к пироксенитам, слагающим верхние части разреза, в этом направлении растёт железистость оливина от 6% (аналогичной дунитам гарцбургитовой части офиолитового комплекса) до 25%, содержание ферросилитовой составляющей в ортопироксене – от 10 до 30%, железистость клинопироксена – от 7,5 до 25%. В дунитах, расположенных в непосредственной близости от клинопироксенит содержащих пород, неизменно повышается их железистость. Краевые дуниты в некоторых случаях проникают в подстилающие гарцбургиты, переходя в типичные жильные дуниты дунит-гарцбургитового комплекса. В последнем случае они неотличимы от секущих гарцбургиты жильных дунитов гарцбургитового комплекса, что позволяет относить краевые дуниты не только к полосчатому, но и к ультрабазитовому комплексу. Наряду с генеральной закономерностью изменения состава пород в разрезе полосчатого комплекса в направлении от подошвы краевых дунитов к перекрывающим габброидам

минеральная зональность проявляется в локальных ситуациях. Вокруг крупных ксенолитов габбро внутри дунитов полосчатого комплекса наблюдается зональность габбро-клинопироксенит-верлит-клинопироксенсодержащий дунит-дунит [5]. Аналогичная, но обратная зональность описана Г.Н.Савельевой [11] к востоку от восточной границы Хойлинского блока Войкаро-Сыньинского массива, где среди габброидов кершорского комплекса, перекрывающего полосчатый комплекс, расположена крупная линза дунитов, вокруг которой на контакте с габбро проявлена зональность дунит-верлит-клинопироксенит-габбро. В обоих случаях наблюдаются реакционные отношения между дунитом и габбро, приводящие к формированию пироксенитов и верлитов.

Относительно генезиса полосчатого комплекса существует большое количество гипотез. Так, Р.Г.Колман [4] рассматривал образование расслоенной серии в результате кумулятивных процессов в магме коматитового состава, Г.Н.Савельева [11] – как результат кристаллизации расплава, выделившегося из перидотитов лерцолитового состава, а образование значительной части краевых дунитов как результат реститогенных процессов в кровле мантийных перидотитов.

Е.Е.Лазько, рассмотрев существующие гипотезы образования полосчатого комплекса, предположил, «что породы такситового комплекса могли сформироваться в результате взаимодействия подстилающих их метасоматических дунитов и перекрывающих габброидов» [5]. Это предположение отчасти совпадает с моделью автора данной статьи. Однако образование дунитов Е.Е.Лазько объясняет проработкой краевых зон гарцбургитового комплекса высокотемпературными водными флюидами. Образование хромовых руд в составе ДВКГ комплекса в этой модели не рассматривается.

С.А.Щербаков [13] на основе структурных исследований полосчатого комплекса и подстилающих его перидотитов Войкаро-Сыньинского массива пришёл к выводу о том, что ДВКГ комплекс представляет собой более позднее образование по отношению к подстилающим перидотитам, сформировавшееся в результате сложного взаимодействия процессов пластических деформаций, метасоматоза и инъекций габбровых выплавов, происходивших одновременно в зоне проскальзывания гарцбургитов относительно габброидов. Деформации в полосчатом комплексе носили характер вязкого скалывания, количество тектонических зон постепенно росло вверх по разрезу и достигало максимума вблизи контакта ультрабазитов с габброидами. Нижние ультрабазитовые горизонты полосчатого комплекса, по его мнению, образовывались за счёт существенно дунитового субстрата, образовавшегося по породам лежащего ниже дунит-гарцбургитового комплекса, ультрабазиты верхних горизонтов формировались путём кумулятивного осаждения кристаллов из базальтоидной магмы.

А.С.Варлаков [1] в специальной монографии, посвящённой происхождению ДВКГ комплекса, рассмотрел строение ряда уральских и зарубежных массивов офиолитовой формации, в которых присутствует ДВКГ комплекс. Критикуя представления о кумулятивном происхождении ДВКГ комплекса, а также его формирования под воздействием габброидных интрузий на мантийные перидотиты, он предложил гипотезу, согласно которой данный комплекс образуется в результате железо-магнезиального метасоматоза, протекавшего в зоне контакта габбро-габброноритовых интрузий с мантийными гипербазитами. Автор, к сожалению, не поясняет, что представляют собой растворы метасоматоза, как они образуются и почему образование ДВКГ комплекса и связанного с ним хромового оруденения происходит только по контакту габброидов и перидотитов.

Е.В.Шарков [12] по результатам изучения разреза ДВКГ комплекса в восточной краевой части Войкаро-Сыньинского массива пришёл к выводу о том, что ДВКГ комплекс мощностью более 3000 м представляет собой расслоенный интрузив, сформировавшийся в промежуточной камере над областью магмогенерации под зоной океанического спрединга. Однако он отметил, что кумулятивные структуры в породах комплекса проявляются редко и, по существу, представляют собой метаморфизованные интрузивные породы. В составе разреза Е.В.Шарков выделил два мегаритма мощностью 2100 и 1100 м и между ними переходную зону мощностью 500 м. По данным геологического картирования и изучения участка этого же разреза [11], нижний мегаритм занимает характерное для полосчатого комплекса структурное положение между подстилающими гарцбургитами и перекрывающими габброидами, которые Е.В.Шарков относит к верхней части нижнего мегаритма. Верхний представляет собой крупную линзу дунитов протяжённостью 4000 м и шириной в средней части 700 м, мощные зальбандовые части которой сложены линзовидно-полосчатым чередованием верлитов, дунитов и клинопироксенитов [11]. Западная зальбандовая часть этого переслаивания отнесена Е.В.Шарковым к переходной зоне.

Во всех этих гипотезах образования ДВКГ комплекса не рассматривается роль хромового оруденения в его генезисе. Однако хромовые руды вместе с вмещающими их дунитами представляют собой определённую петрографическую разновидность среди ультраосновных пород, являются составным членом их дифференциального ряда и не выходят за границы ультрабазитовых массивов [8]. Месторождения и рудопроявления хромовых руд в дунитах ДВКГ комплекса широко проявлены в ультрабазитовых массивах Урала (Хабарнинский, Ключевской, Алапаевский, Верх-Нейвинский и др.). И в разрезе, и на площадях распространения полосчатого комплекса участки с хромовым оруденением распространены локально и не образуют протяжённых

горизонтов хромититов, характерных для стратиформных базит-ультрабазитовых массивов. Несмотря на разницу в строении разрезов полосчатого комплекса в различных массивах, объёма дунитов в их составе, характер хромового оруденения сохраняется во всех массивах. Преобладает линзо-пластообразная форма рудных тел, располагающихся кулисообразно в объёме дунитов, образуя своеобразный линейный шток-верк, состоящий из сближенных или рассредоточенных мелких, реже протяжённых рудных тел, объединяемых обычно в рудные зоны. Простираение и падение рудных тел в целом совпадает с элементами залегания рудовмещающих дунитов. Преобладают тонко-мелкозернистые бедновкрапленные руды полосчатой, линзовидно-полосчатой текстуры с полосами, шлирами, мелкими линзовидными телами средне-густовкрапленных и сплошных среднезернистых руд. При преобладании полосчатых текстур отмечаются нодулярные, пятнистые, брекчиевые, полосчатые плейчато-деформированные, характерные и для месторождений дунит-гарцбургитового и гарцбургитового комплексов. Рудный хромшпинелид по составу высокохромистый, повышенной железистости.

Близким аналогом хромового оруденения в полосчатом комплексе является оруденение в линзо-пластообразных телах дунитов среди пород дунит-гарцбургитового комплекса, которые по особенностям строения дунитов, приуроченному к ним хромовому оруденению и структурному положению, часто вблизи краевой части гарцбургитового ядра массива, условно выделены в тип близкраевых [7].

Этот тип хромитоносных дунитов достаточно широко проявлен в ультрабазитовых массивах Полярного Урала и практически не известен на Среднем и Южном Урале. Наиболее типичными представителями рудных объектов на Полярном Урале являются рудопроявления Лаптапайские II, III, IV в одноимённом блоке Войкаро-Сыньинского массива, рудопроявления Правояньягинской площади в Пайерском блоке этого же массива и рудопроявления Енгайского рудного поля массива Рай-Из. Вероятно, к этому же типу относится крупное рудопроявление Нурали одноимённого массива на Южном Урале. Характерные черты строения рудных объектов данного типа – структурное положение крупных уплощённо-линзовидных тел хромитоносных дунитов среди гарцбургитов в краевой части ультрабазитовых массивов, их субпараллельная граница массива ориентация, морфология рудных залежей, состав, структура и текстура руд аналогичны хромовым рудам полосчатого комплекса. Сравнение составов рудных шпинелей полосчатых комплексов массивов Хабарнинский и Ключевской с составами рудных шпинелей хромититов в близкраевых дунитах (Правояньягинские рудопроявления в Войкаро-Сыньинском массиве, Енгайские в массиве Рай-Из) дунит-гарцбургитового комплекса показаны в табл. 1.

1. Составы рудного хромшпинелида месторождений и рудопроявлений базит-ультрабазитовых массивов альпийского типа

Компоненты	Альпийские массивы			
	Месторождения в дунитах дунит-гарцбургитового комплекса	Рудные объекты в дунитах ДВКГ комплекса		Рудные объекты в близкраевых дунитах дунит-гарцбургитового комплекса
	Кемпирсайский массив, Юго-Восточное рудное поле	Ключевской массив, Южное рудное поле	Хабарнинский массив, месторождение 5/П	Войкаро-Сынынский массив, Правоньягинские рудопроявления Массив Рай-Из, Енгайские рудопроявления
Cr_2O_3	59,6–62,9	56,6–61,2	50,84–54,24	51,12–59,72
Al_2O_3	5,8–11,2	8,5–11,8	12,0–14,3	9,71–14,28
Fe_2O_3	1,9–2,9	2,1–6,0	4,5–6,64	Н.д.
FeO	9,5–14,7	11,4–21,23	11,82–17,0	24,56
MgO	13–16	10,7–14,1	11,5–14,44	8,24–14,40
TiO_2	0,13–0,26	0,10–0,25	0,30–0,48	0,08–0,27
Железистость оливина рудовмещающих дунитов, %	6,0–9,5	6,0–12,0	8–10; 16–22	Н.д.

Название «дуниты близкраевые» достаточно условно. В южной рудоносной полосе массива Рай-Из, кроме этого типа дунитов, развиты и другие типы хромитовых дунитов. Так, Центральное месторождение расположено в крупном 500×500 м в плане штокообразном теле дунитов, в линзо-пласто-линзообразных телах дунитов локализованы месторождения Западное и 214 с богатыми рудами, не характерными для руд в близкраевых дунитах. Размещение хромитовых дунитов в краевых частях альпийских массивов является общей тенденцией для всех типов хромового оруденения. Совмещенность разных типов в одной рудоносной полосе и близость некоторых из них к породам ДВКГ комплекса могут указывать на генетическое единство всех разновидностей хромитовых дунитов.

Наиболее ярким примером подобия и одновременного проявления хромового оруденения в краевых и близкраевых дунитах являются рудопроявления Лаптапайского блока Войкаро-Сынынского массива. В табл. 2 сопоставлены параметры дунитов, рудных зон, рудных тел и хромовых руд рудопроявления Двуглавое в краевых дунитах и Лаптапайского II в близкраевых. В рудопроявлениях близки составы рудных хромшпинелидов. При повышенной железистости (FeO 15,71–20,56%) в рудах Двуглавое рудопроявления обладают близкими значениями содержаний Cr_2O_3 и Al_2O_3 в рудном хромшпинелиде (в %): в Двуглавом Cr_2O_3 58,59–60,77, Al_2O_3 7,41–8,50, в Лаптапайском II Cr_2O_3 54,40–58,66 и Al_2O_3 6,67–9,59.

Группа Енгайских рудопроявлений на юге массива Рай-Из примечательна тем, что она входит в южную хромитовую полосу массива, объединяющую разнотипные месторождения и крупные рудопроявления в породах дунит-гарцбургитового комплекса. Группа из шести Енгайских рудопроявлений расположена в 5 км к востоку от крупного месторождения Центральное. Рудные тела локализованы в узких дунитовых телах, параллельных южной границе массива. Самое южное Енгайское II расположено непосредственно у границы массива, а остальные пять к северу от него на равном расстоянии около 800 м друг от друга. Длина крутопадающих тел дунитов от 500 до 1200 м, мощность от 50 до 270 м. Каждое из них содержит от одного до шести рудных тел уплощенно-линзовидной формы, залегающих кулисообразно и параллельно контактам дунитового тела. Длина рудных тел от 10 до 120 м, мощность от 0,4 до 2,7 м, ширина рудных зон достигает 120–140 м. Содержание Cr_2O_3 в рудах от 6,08 до 11,6% и только в одном рудопроявлении с небольшими ресурсами – 31,6%. Состав хромшпинели этих рудопроявлений вполне сопоставим с рудными шпинелями полосчатых комплексов массивов Ключевской и Хабаровинский (см. табл. 1). Юнъягинские рудопроявления Войкаро-Сынынского массива (Западное, Центральное и Восточное) расположены в крупном дунитовом теле протяженностью 3000 м и мощностью от

80 до 300 м. Простираение дунитов параллельно краю массива, от габброидов кершорского комплекса они отделены полосой гарцбургитов шириной 300–500 м, перекрываются также гарцбургитами, под которые они падают под углом около 30°. Самое крупное Западное рудопоявление содержит рудную залежь длиной 350 и мощностью 80–100 м. Она состоит из серии коротких субпараллельных линзообразных тел длиной до нескольких десятков метров и мощностью 0,7–3,5 м, «разбросанных» по всей мощности рудной зоны и разделённых дунитами с повышенной вкрапленностью хромшпинели. Форма рудных тел уплощённо-линзовидная, руды бедновкрапленные с мелкими линзами и шлирами средне-густовкрапленных, неяснополосчатой, лизовидно-полосчатой текстуры. Содержание Cr_2O_3 в рудах от 12 до 29,3%, при среднем 21%. Состав рудной шпинели этих рудопоявлений аналогичен рудам полосчатого комплекса (см. табл. 1). Описанные рудопоявления в близкраевых и краевых дунитах обладают достаточно крупными рудоносными зонами и ресурсами бедных руд. Близкое структурное положение, состав дунитов, аналогичное строение рудных зон, рудных тел и состав руд позволяют рассматривать рудоносные дуниты полосчатого комплекса и расположенные в краевой части мантийных перидотитов близкраевые дуниты как генетически единые образования. Несмотря на относительно низкие содержания Cr_2O_3 5–30% (преобладающие 8–15%) в хромовых рудах данных типов месторождений и рудопоявлений, их объём весьма значителен. В Ключевском массиве суммарный объём оценённых ресурсов рудопоявлений в краевых дунитах при содержании Cr_2O_3 6,76–10,78% составляет более 40 млн т. Запасы месторождения 5/II в Хабаровинском массиве с содержанием Cr_2O_3 15,31% оценены в 189 тыс. т. По этим параметрам данные месторождения вполне сопоставимы с объёмами и содержаниями в рудах близкраевых дунитов. Ресурсы рудопоявления Енгайское в массиве Рай-Из с содержанием Cr_2O_3 11% оценены в 770 тыс. т.

Эпигенетический характер дунитов, в том числе и близкраевых хромитоносных, внутри мантийных перидотитов вне зависимости от взглядов на их генетическую природу признаётся большинством исследователей. Показанные аналогии между хромитоносными дунитами полосчатого комплекса и близкраевыми дунитами мантийных перидотитов позволяют считать эпигенетическими и дуниты ДВКГ комплекса. Эпигенетический характер краевых дунитов по отношению к подстилающим мантийным перидотитам проявляется в проникновении жильных апофиз краевых дунитов в подстилающие гарцбургиты, а по отношению к перекрывающим габброидам – в формировании зональности верлит-клинопироксенит-габбро по внешним границам линз дунитов внутри габбро [11] и образовании аналогичной зональности по внешним границам блоков габбро внутри дунитов полосчатого комплекса [5].

Образование пироксенитов в результате воздействия расплава дунитов на вулканиты основного состава как одну из основных моделей рассматривал О.К.Иванов при анализе геологического строения платиноносных массивов Урала [3].

Положение пород ДВКГ комплекса в офиолитовом разрезе определяется тектонической границей мантийных перидотитов и коровых габброидов, признаками которой, по С.А.Щербакову, является усиление пластических деформаций, синхронных процессу образования полосчатого комплекса, растущих вверх по разрезу и достигающих максимума вблизи контакта ультрабазитов с габброидами. По данным Г.Н.Савельевой, тектонический характер границы Мохо фиксируется невыдержанной мощностью слоёв пород, составляющих полосчатый комплекс, выклиниванием их по простиранию, высокотемпературными деформациями пород, выраженными бластомилонитами, складками течения, мегабрекчиевым строением отдельных участков разреза. На востоке Хабаровинского массива тектоническая граница между пироксенитами и габброидами выражена метаморфизованными клинопироксенитами-тылаитами [2].

Интрузивным характером дунитов объясняются и другие особенности строения и состава пород полосчатого комплекса. Внедрение дунитов на границе мантийных перидотитов и перекрывающих габброидов в условиях тектонических движений между ними приводит к сложным магмо-метасоматическим процессам. Ввиду близости состава с подстилающими перидотитами они не оказывают на них существенного влияния. Взаимодействие с перекрывающими габброидами приводит к формированию сложного чередования пород дунит-верлит-клинопироксенит-габбрового состава. Наиболее интенсивным процессом является пироксенизация, масштаб проявления которой – от рассеянной вкрапленности, мелких струек, линз и прослоев небольшой мощности до образования горизонтов в первые десятки метров. Образование таких горизонтов, как и других пироксенсодержащих пород полосчатого комплекса предполагается за счёт метасоматической переработки дунитовым расплавом отслоённых горизонтов и блоков габброидов, перекрывающих мантийные перидотиты. Последнее подтверждается увеличением объёма клинопироксенитов от мантийных перидотитов к коровым габброидам. В результате взаимодействия расплава дунитов на габбро из образующихся расплавов формируются слоистые серии с кумулятивными структурами. Неравномерное остывание отдельных очагов и тектонические подвижки приводят к формированию жильной серии, в целом близкой составу расслоенного комплекса. Жильная серия полосчатого комплекса Хабаровинского массива представлена аутометасоматическими верлитами, клинопироксенитами, флогопит-пироксенитами, габбро и магматическими исситами [2]. Пересечение дайками

2. Параметры рудопроявлений в краевых и близкраевых дунитах Лаптапайского блока Войкаро-Сыньинского массива

Параметры	Рудопроявления	
	Двуглавое (в краевых дунитах)	Лаптапайское II (в близкраевых дунитах)
Размеры дунитовых тел, м	600×1000–1500	120–230×1250
Размеры рудных зон, м	300×1000	40–80×800
Количество рудных тел	10	16
Длина рудных тел, м	200–350	50–300
Мощность рудных тел, м	0,8–31	0,9–20
Морфология рудных тел	Уплощённые линзы	Уплощённые линзы
Текстура руд	Шлирово-полосчатая, прожилково-вкрапленная	Струйчато-полосчатая, шлирово-полосчатая
Содержание Cr_2O_3 в рудах (в среднем), %	5,03–33,29 (7,16)	5,08–35,94 (18,46)
Содержание Cr_2O_3 в рудном хромшпинелиде, %	56,99–59,02	54,4–58,66

габброидов пород полосчатого комплекса позволило считать габброиды более поздними образованиями по отношению к полосчатому комплексу. На вероятность метасоматической переработки отслоенных горизонтов и блоков габброидов дунитовым расплавом указывают гнездообразные и широкообразные тела верлитов, оливиновых клинопироксенитов и клинопироксенитов среди дунитов, развитых в пределах дунитов на востоке Хабаровинского массива. Мощность таких блоков изменяется от 0,5 до 50 м, протяжённость до 250 м, внутри них сохраняются обособления пегматоидного габбро и оливиновых габбро-пегматитов.

Несмотря на увеличение железистости оливина дунитов вверх по разрезу полосчатого комплекса, все дуниты ДВКГ комплекса несомненно являются генетически едиными образованиями, что подтверждается проявлением однотипного хромового оруденения во всём его разрезе. В Хабаровинском массиве рудопроявления хромитов установлены не только в краевых дунитах, но и в дунитах зоны переслаивания их с пироксенитами.

Процессы, происходящие при внедрении расплава дунитов на границу Мохо достаточно сложные. Интрузивный характер дунитов полосчатого комплекса подтверждается: во многих случаях их огромными массами, локальностью проявления в структурах альпинотипных массивов; приуроченностью к тектонической границе кора–мантия; реакционными отношениями с перекрывающими габброидами; большими объёмами хромовых руд, не отличимых по многим параметрам от хромитов мантийных перидотитов. Некоторой особенностью хромовых руд полосчатого комплекса (так

же как и руд в близкраевых дунитах) является характерная для них линзовидно-полосчатая морфология рудных тел, что согласуется с субслоистым строением всего полосчатого комплекса, структура пород которых соподчинена (контролируется) тектонической границей Мохо.

Одними из основных аргументов в пользу эпигенетического, интрузивного характера дунитов полосчатого комплекса являются морфология и состав хромового оруденения, входящего в состав этого комплекса, по своим параметрам аналогичного оруденению в близкраевых дунитах мантийных перидотитов, присутствие хромового оруденения в составе полосчатого комплекса трудно объяснить с других позиций. Приведённые материалы позволяют рассматривать образование полосчатого комплекса за счёт реакционного взаимодействия магматических хромитонесущих дунитов с коровыми габброидами.

Естественно, данная гипотеза образования ДВКГ комплекса затрагивает вопрос о генетической природе дунитов альпинотипных массивов. Теоретические и экспериментальные данные как будто указывают на невозможность формирования дунитового расплава. Однако структурные взаимоотношения дунитов и вмещающих пород говорят об интрузивном характере дунитов. Такими фактами являются: огромный объём дунитов в некоторых массивах и их несогласное залегание по отношению к вмещающим перидотитам; резкие в большинстве случаев границы дунитовых жил, линз, штокверков дунитов без какого-либо влияния на вмещающие перидотиты; движение дунит-хромитового расплава, зафиксированное в текстурах рудных тел,

рассмотренное Г.Г.Кравченко на примере рудных тел Кемпирсайского массива [8]; смешение текстурных разновидностей руд, как пример, захват единичных или группы нодулей вкрапленными рудами; деформация нодулей при сближении и давлении друг на друга; сложная морфология рудных тел, указывающая на их формирование в результате давления рудоносного расплава на вмещающие породы. Приведённые факты побуждают исследователей к поиску новых идей образования дунит-хромитового расплава. Одна из современных гипотез – образование расплава под воздействием флюидно-водных растворов на деплетированную мантию над зоной погружающихся блоков океанической коры. Отражением этих флюидов является наличие первичных микровключений амфибола, флагопита в рудном хромшпинелиде [14, 15].

Краевые дуниты ДВКГ комплекса как хромитоносные, так и безрудные во многих альпинотипных массивах пространственно сближены с дунитами гарцбургитовых комплексов и не только с близкраевыми, как это описано выше, но и с хромитоносными дунитами других комплексов. На севере Алапаевского массива краевые хромитоносные дуниты с рудопроявлениями Малокаменское, Баканов Ключ входят в одно рудное поле с дунитами гарцбургитового комплекса с месторождениями Вершина Алапахи и Третий Поденный Рудник. В настоящее время не установлено отличий между дунитами различных комплексов альпинотипных массивов. Понижение содержания никеля в дунитах ДВКГ комплекса объясняется повышением их железистости, что в свою очередь связывают с влиянием клинопироксенитов и габбро на состав дунитов. Пространственная сближенность хромитоносных дунитов различных структурных комплексов, формирование в них однотипных текстурных разновидностей хромовых руд могут указывать на одновременное образование хромитоносных дунитов ДВКГ комплекса с дунитами дунит-гарцбургитового и гарцбургитового комплексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варлаков А.С. Дунит-верлит-клинопироксенитовый комплекс и его происхождение. – Екатеринбург, 1996.
2. Варлаков А.С. Петрография, петрохимия и геохимия гипербазитов Оренбургского Урала. – М.: Недра, 1978.
3. Иванов О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. – Екатеринбург: Из-во Уральского государственного университета, 1997.
4. Колман Р.Г. Офиолиты. – М.: Из-во Мир, 1979.
5. Лазько Е.Е. Ультрабазиты офиолитовой ассоциации // Магматические горные породы. Ультраосновные породы. – М.: Наука, 1988. С. 8–95.
6. Малахов И.А. Петрохимия ультрабазитов Урала / Тр. института геологии. Вып. 79. – Свердловск, 1966.
7. Николаев В.И., Руднев А.В. Типы хромоворудных концентраций и закономерности их размещения в альпинотипных массивах Урала // Руды и металлы. 2016. № 1. С. 15–24.
8. Павлов Н.В., Кравченко Г.Г., Чупрынина И.И., Хромиты Кемпирсайского плутона. – М.: Наука, 1968.
9. Реестр хромитопоявлений в альпинотипных ультрабазитах Урала / Б.В.Перевозчиков, Л.Д.Булыкин, И.И.Попов и др. – Пермь: КамНИИКИГС, 2000.
10. Перфильев А.С., Руженцев С.В. Структурное положение габбро-гипербазитовых комплексов в складчатых поясах // Геотектоника. 1973. № 3. С. 14–26.
11. Петрология и метаморфизм древних офиолитов на примере Полярного Урала и Западного Саяна // Отв. ред. В.С.Соболев и Н.Д.Добрецов. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1977.
12. Шарков Е.В. Формирование расслоенных интрузивов и связанного с ними оруденения. – М.: Научный мир, 2006.
13. Щербаков С.А. Пластические деформации ультрабазитов офиолитовой ассоциации Урала. – М.: Наука, 1990.
14. Kubo K. Dunite formation processes in highly depleted peridotite: case study of the Iwanaiake peridotite, Hokkaido, Japan // Journal of petrology. 2002. Vol. 43. № 3. P. 423–448.
15. Thalhammer and Eugen F. Stumpf. Petrogenesis of the Ophiolitic GiantChromite Deposits of Kempirsai, Kazakhstan: a Study of Solid and FluidInclusions in Chromite / F.Melcher, W.Grumb, G.Simon, V.Tatiana // Journal of Petrology. 1997. Vol. 38. № 10. P. 1419–1458.

Докембрийская алмазоносность Сибирской платформы: признаки и масштабы

В.П.АФАНАСЬЕВ, Н.П.ПОХИЛЕНКО (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева Сибирского отделения Российской академии наук; 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3)

На основе анализа алмазов из россыпей Сибирской платформы, а также находки рифейских алмазоносных лампроитов в Восточном Саяне делается вывод о существовании докембрийской эпохи алмазоносного магматизма. Описываются его особенности, сравниваются с проявлениями докембрийской алмазоносности в мире.

Ключевые слова: алмаз, кимберлит, некимберлитовые источники алмазов, докембрий, россыпь.

Афанасьев Валентин Петрович
доктор геолого-минералогических наук

avp-diamond@mail.ru

Похиленко Николай Петрович
академик РАН



chief@igm.nsc.ru

Precambrian Diamond Potential of the Siberian Craton: Signatures and Extent

V.P.AFANASIEV, N.P.POKHILENKO (Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian branch Russian Academy of Sciences)

The existence of Precambrian diamondiferous magmatism is inferred from studies of placer diamonds in the Siberian craton, as well as from findings of Riphean diamond-bearing lamproites in the East Sayan. Precambrian diamond sources are discussed in terms of their features and are compared with their counterparts known from different diamond provinces worldwide.

Key words: diamond, kimberlite, non-kimberlitic diamond source, Precambrian, placer.

Проявления докембрийской алмазоносности установлены во многих регионах мира [11, 39, 43, 44 и др.]. При этом количество известных коренных источников алмазов докембрийского возраста достаточно ограничено [38]. Это связано главным образом с перекрытием древних коренных алмазоносных пород более молодыми осадками, а также с весьма значительной изменённостью потенциально алмазоносных древних магматических пород, большой величиной эрозионного среза, необычным составом пород и др. Более широко представлены докембрийские россыпи [11, 39, 43, 44 и др.]. Однако необходимо учитывать, что после размыва этих россыпей алмазы могут попадать в более молодые осадки разного возраста вплоть до современных. Поэтому в настоящее время провести объективную оценку масштабов докембрийской алмазоносности невозможно.

Общие проблемы докембрийской алмазоносности впервые специально были рассмотрены М.П.Метелкиной с соавторами [11]. В своей книге они описали известные коренные источники и россыпи алмазов Юж-

ной Америки, Африки, Индии, структурную позицию каждой провинции, состав и строение алмазоносных формаций, минералогические особенности алмазов и на этой основе разработали комплекс «признаков древности» алмазов, наличие которых свидетельствует о происхождении алмазов из докембрийских источников. Опираясь на него, М.П.Метелкина и её соавторы в своей книге попытались проанализировать возможность докембрийской алмазоносности Сибирской платформы, а годом ранее вышла статья этих авторов, специально посвящённая данному вопросу [15].

Наряду с очевидными достоинствами данный комплекс «признаков древности» обладает и недостатками. Например, в первую очередь он характеризует алмазы из древних россыпей и лишь в малой мере касается их коренных источников. Некоторые признаки присущи алмазам не только из докембрийских, но и фанерозойских россыпей, в частности, зелёные пятна пигментации, ожелезнение, механический износ. В отношении последнего можно лишь отметить, что в россыпях, связанных с фанерозойскими источниками,

отсутствуют предельно окатанные (полностью овалованные) алмазы, характерные для докембрийских россыпей [46]. В результате при изучении алмазов из молодых россыпей, в которых могут быть смешаны алмазы из фанерозойских и докембрийских источников, не всегда удаётся надёжно выделить последние. Тем не менее в ряде случаев при яркой выраженности «признаков древности» можно достаточно определённо обосновать происхождение алмазов из докембрийских источников. Необходимо заметить, что М.П.Метелкина и её соавторы отмечают определяющую роль выступов докембрийского фундамента на платформах в распределении алмазов с «признаками древности».

Вместе с тем работы авторов данной статьи по различным аспектам проблемы происхождения богатых россыпей алмазов на северо-востоке Сибирской платформы привели к осознанию ограниченности данного комплекса «признаков древности». Использование классификации Ю.Л.Орлова при описании алмазов позволило выделить в этих россыпях группы алмазов, полностью отсутствующие в фанерозойских кимберлитах (V+VII разновидности) или содержащиеся в них в несопоставимо меньших количествах, чем в россыпях (II разновидность, скрытоламинарные ромбододекаэдрониды I разновидности) [8, 32, 33]. Это обстоятельство, а также ряд необычных минералогических особенностей данных разновидностей алмазов, тяготение максимумов их распределения в россыпях к выступам докембрийского фундамента (Анабарский щит, Оленёкское, Уджинское поднятия) позволили авторам данной статьи предположить поступление данных алмазов из размытых в пределах поднятий протерозойских прибрежно-морских отложений [8, 32, 33]. Среди перечисленных разновидностей алмазов из россыпей северо-востока Сибирской платформы лишь скрытоламинарные ромбододекаэдрониды I разновидности полностью вписываются в комплекс «признаков древности» [11]. Своеобразие минералогических особенностей потенциально докембрийских алмазов по сравнению с алмазами из фанерозойских кимберлитов (лёгкий изотопный состав алмазов V, VII и облегчённый – II разновидности, преобладание алмазов эклогитовых парагенезисов среди скрытоламинарных ромбододекаэдронидов – 58% [55] и др.) позволяет предположить специфический характер докембрийской алмазоносности, связанный с источниками углерода для формирования алмазов, условиями роста, типами пород-транспортёров, масштабами алмазоносности. Наряду с лампроитами, возможно являющимися источниками округлых ромбододекаэдронидов, на северо-востоке Сибирской платформы предполагается существование пока неизвестных типов источников для алмазов V, VII и II разновидностей [8, 32].

Авторы данной статьи полагают, что к настоящему времени сформировались концептуальный и феноменологический базисы для оценки перспектив докем-

брийской алмазоносности Сибирской платформы на новом уровне с учётом последних данных по минералогии алмазов и особенностям алмазоносности данного региона, а также с учётом таких данных по другим алмазоносным регионам. Этой проблеме и посвящена настоящая работа.

Признаки докембрийской алмазоносности. До настоящего времени на Сибирской платформе алмазы известны в фанерозойских кимберлитах и россыпях. Однако существует ряд предпосылок широкого развития в её пределах докембрийской алмазоносности.

Россыпные признаки докембрийской алмазоносности представлены наиболее широко. Прямые предпосылки могли бы основываться на находках алмазов в докембрийских отложениях, однако до сих пор достоверных находок алмазов непосредственно в этих отложениях не известно, что осложняет обоснование докембрийской алмазоносности. Также необходимо учитывать, что никто не ставил задачу специального опробования этих отложений, в частности вендских прибрежно-морских, на обнаружение алмазов. Косвенные предпосылки основываются, с одной стороны, на выделении в фанерозойских россыпях алмазов, не идентифицируемых с фанерозойскими кимберлитами, с другой, на специфичности минералогических особенностей выделенных групп алмазов и их геологической позиции, которые наиболее убедительно объясняются предположением о докембрийском возрасте коренных источников этих алмазов.

К основным россыпным предпосылкам докембрийской алмазоносности Сибирской платформы следует отнести:

1. В россыпях Сибирской платформы, особенно её северо-восточной части, присутствует большое количество алмазов, либо совершенно отсутствующих в фанерозойских кимберлитах платформы (V+VII разновидностей, по классификации Ю.Л.Орлова), либо содержащихся в несопоставимо меньших количествах (II разновидность, скрытоламинарные ромбододекаэдрониды с «признаками древности» I разновидности) [4, 22, 25, 26].

Алмазы V+VII разновидностей (высокодефектные кристаллы и сростки ромбододекаэдрического или переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитуса, переполненные чёрными хлопьевидными включениями графита) отсутствуют в кимберлитах Сибирской платформы [5, 25, 26]. В то же время в богатейшей россыпи р. Эбелях Анабарского района [33, 21] их доля достигает 50% (см. таблицу). Алмазы этой разновидности (рис. 1) были детально изучены [5].

В результате установлено, что алмазы принадлежат к одному генетическому типу с весьма специфическим комплексом минералогических особенностей, к которым относятся: лёгкий изотопный состав углерода ($\delta^{13}\text{C}$ от -19 до -25‰); высокая примесь азота в форме А (до 630 ppm), обуславливающая практически полное туше-

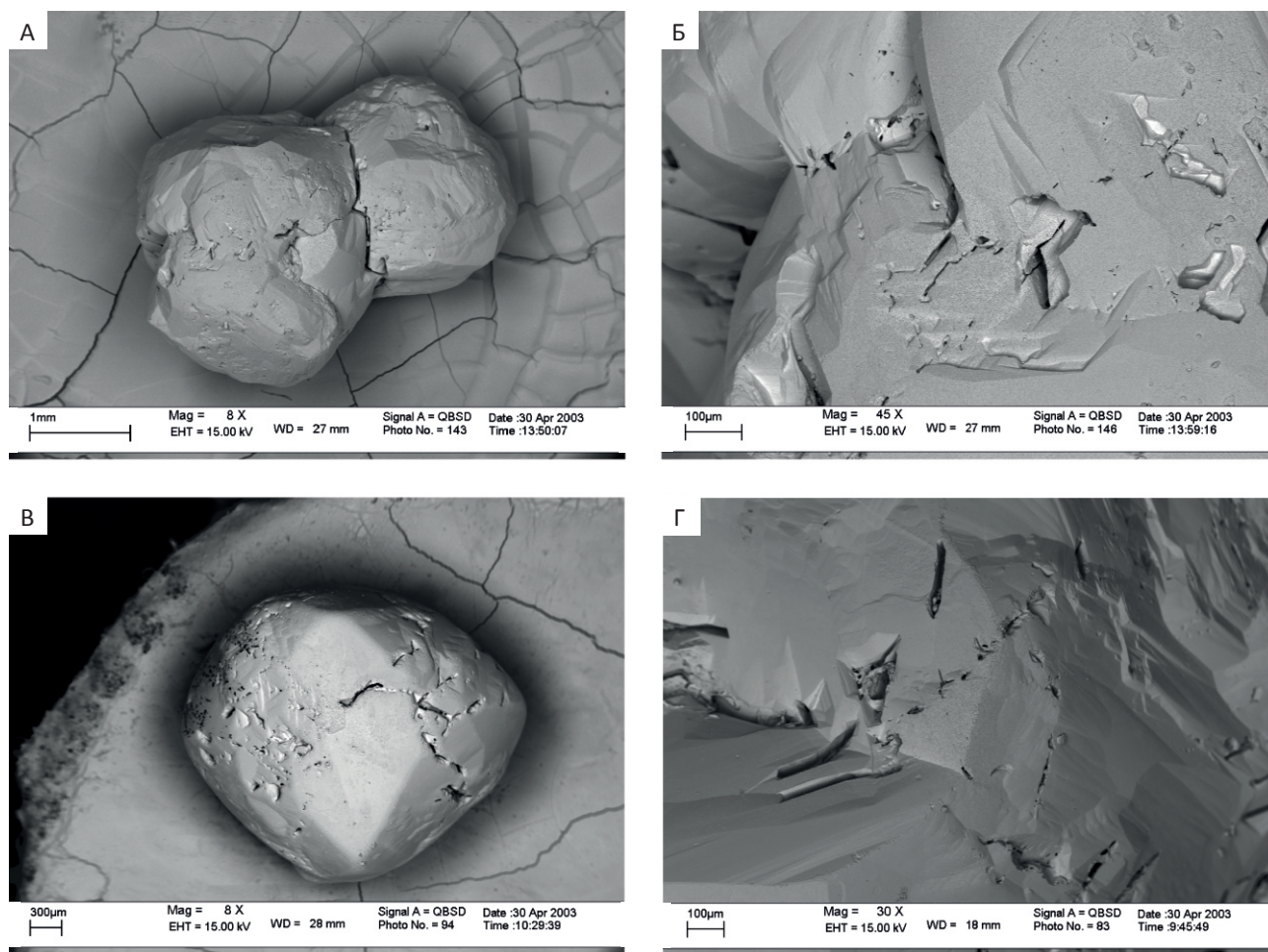


Рис. 1. Разновидности алмазов. По классификации Ю.Л.Орлова:

алмазы: А, Б – VII и В, Г – V разновидностей

ние рентгено-, фото-, катодолюминесценции; редкая встречаемость твёрдых минеральных включений при обилии флюидных, представленных азотом, углекислотой, углеводородами; радиально-лучистое строение (сферокристаллы) с крайне дефектной структурой и признаками полигонизации и рекристаллизации; блоковое строение кристаллов V разновидности с постепенными переходами к поликристаллам VII разновидности; признаки магматического растворения, обуславливающего появление искривлённых поверхностей на месте рёбер исходных октаэдров и изменение габитуса от октаэдрического через переходный до ромбододекаэдрического; изобилие шрамов магматического растворения по трещинам и зонам напряжений; аномально низкая плотность 3,500–3,508 г/см³ против 3,515 г/см³ у качественных алмазов; меньшей плотностью обладают только карбонадо, а также ряд других особенностей. Исходя из лёгкого изотопного состава углерода,

а также минеральных включений – рутил [6], коэсит [10] – парагенетическую принадлежность данных алмазов можно оценить как экзогенную.

Необходимо отметить, что алмазы, морфологически похожие на алмазы V разновидности, встречаются в кимберлитах, например, Архангельской алмазоносной провинции [17]. Однако результаты изучения алмазов так называемой «V» разновидности из трубки Карпинского указывают на иные алмазы, отличающиеся по изотопному составу, характеру кристаллического строения, составу флюидов и другим признакам [30]. К сожалению, одних только физиографических признаков, на которые опирается классификация Ю.Л.Орлова, недостаточно для идентификации алмазов, поэтому данный вопрос подробно рассмотрен в работе [4].

Алмазы II разновидности (по классификации Ю.Л.Орлова) также выделены на основе материалов изучения северных россыпей. К этой разновидности отнесены

все жёлтые алмазы – как кубоиды, так и додекаэдрониды. Последние рассматриваются как продукты магматического растворения кубоидов (рис. 2). При этом жёлтые алмазы из кимберлитов также относят ко II разновидности. Исследования показывают, что данная разновидность полигенна, кубоиды отличаются от додекаэдронидов по характеру внутреннего строения, что хорошо видно на картинах катодолюминесценции. Однако кубоиды этой разновидности из россыпей однотипны и отличаются от жёлтых кубоидов из кимберлитов, в частности по изотопии углерода, что также указывает на происхождение первых из источников некимберлитового типа.

Скрытоламинарные ромбододекаэдрониды алмазов (округлые алмазы) относятся к I разновидности, наименее удачно выделенной Ю.Л.Орловым из-за её очевидной полигенности [4, 22]. Группу скрытоламинарных ромбододекаэдронидов как специфическую группу алмазов в рамках I разновидности в северных россыпях выделил В.И.Коптиль [21]. Их называют также алмазами «бразильского», «индийского», «тунгусского», «уральского» типов, что подчёркивает широкую распространённость. В северных россыпях их доля сильно колеблется и может достигать 40% (см. таблицу), тогда как в кимберлитах Сибирской платформы не превышает 10–15% [21]. Для этих кристаллов характерно большинство из указанных выше «признаков древности», и именно эту группу алмазов М.П.Метелкина и её соавторы [11] отнесли к продуктам докембрийского алмазоносного магматизма. К их специфическим особенностям, помимо морфологии, следует отнести высокую долю изотопически лёгких алмазов и различную парагенетическую принадлежность (ультраосновные и эклогитовые парагенезисы) при повышенной доле алмазов эклогитовых парагенезисов (58% для северных россыпей, по данным Н.В.Соболева с соавторами).

Для алмазов V+VII, II разновидностей и скрытоламинарных ромбододекаэдронидов в россыпях не установлены минералы-спутники, с которыми эти алмазы ассоциировали в коренных источниках. Минералы-индикаторы кимберлитов, сопровождающие их в северных россыпях, происходят из фанерозойских кимберлитов и для данных алмазов являются лишь гидравлическими спутниками. Алмазы имеют независимое от кимберлитовых минералов распределение и могут встречаться самостоятельно [32].

2. Тяготение максимумов распределения алмазов V+VII, II разновидностей, скрытоламинарных ромбододекаэдронидов I разновидности к выступам докембрийского фундамента платформы [24, 32]. На данный признак как один из важнейших в обосновании происхождения алмазов из докембрийских источников указано в работе [11], но это, как отмечено выше, касалось преимущественно округлых алмазов с «признаками древности». Алмазы V+VII, II разновидностей также распространены вблизи выступов докембрия на северо-

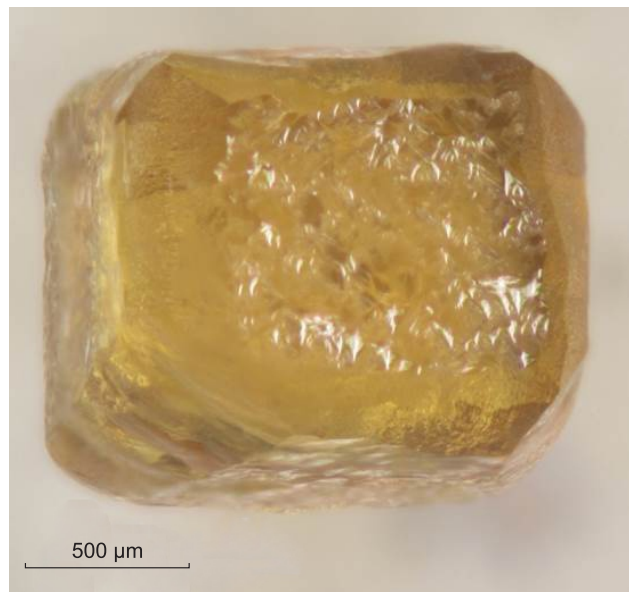


Рис. 2. Алмаз II разновидности. По классификации Ю.Л.Орлова

востоке Сибирской платформы – Анабарского щита, Оленёкского, Уджинского поднятий. Но в отношении этих групп алмазов существует альтернативная точка зрения, в соответствии с которой они происходят из неизвестных источников триасового возраста, расположенных в районе нижнего течения р. Лена. Эта точка зрения отражена в работах С.А.Граханова [14, 27 и др.], который обосновывает её тем, что алмазы V+VII, II разновидностей появляются в россыпях только начиная с триаса (прибрежно-морские отложения карнийского яруса позднего триаса в Нижне-Ленском районе) и отсутствуют в более древних отложениях, например в раннекарбонных прибрежно-морских гравелитах Кютюнгинского грабена. Та же точка зрения отстаивается в работе Ю.К.Голубева с соавторами, в которой он полагает источником алмазов «эбеляхского» типа, то есть тех, которые авторы статьи относят к докембрийским, триасовые кимберлиты, найденные, по прогнозу авторов статьи, на северном склоне Оленёкского поднятия [12]. Авторами данной статьи этот факт трактуется иначе – именно с начала мезозоя северо-восточная часть Сибирской платформы стала активно воздыматься, и в пределах Анабарской антеклизы, Уджинского и Оленёкского поднятий вовлеклись в разрыв присутствующие на этих территориях протерозойские прибрежно-морские отложения, которые, наиболее вероятно, и явились источниками алмазов в мезозойские и более молодые россыпи. Соответственно, коренные источники данных алмазов имеют докембрийский возраст. Эта трактовка, по мнению авторов, более убедительна, поскольку подтверждена и другими фактами,

Распространённость алмазов основных разновидностей, по классификации Ю.Л.Орлова, в россыпях северо-востока Сибирской платформы. По [21], с дополнениями авторов

Площадь россыпной алмазности	Разновидности алмазов			
	I(o-p)	I(p)	II	V+ VII
1. Эбеляхская	$\frac{10}{3}$	$\frac{30}{30}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{55}{33}$
2. Куонамская	$\frac{25}{10}$	$\frac{55}{25}$	$\frac{10}{26}$	$\frac{10}{30}$
3. Силигирьянская	$\frac{11}{-}$	$\frac{28}{20}$	$\frac{50}{44}$	$\frac{11}{50}$
4. Сопкинская	$\frac{25}{-}$	$\frac{64}{-}$	$\frac{3}{25}$	$\frac{8}{25}$
5. Муно-Моторчунская	$\frac{22}{-}$	$\frac{63}{3}$	$\frac{4}{25}$	$\frac{11}{33}$
6. Хахчанская	$\frac{22}{2}$	$\frac{68}{3}$	$\frac{4}{12}$	$\frac{6}{8}$
7. Молодо-Далдынская	$\frac{42}{2}$	$\frac{46}{2}$	$\frac{4}{-}$	$\frac{8}{2}$
8. Бееичиме-Куойкская	$\frac{21}{2}$	$\frac{47}{3}$	$\frac{2}{-}$	$\frac{30}{4}$
9. Нижне-Ленская	$\frac{12}{-}$	$\frac{38}{-}$	$\frac{1}{-}$	$\frac{49}{-}$
10. Келимьярская	$\frac{25}{-}$	$\frac{35}{-}$	$\frac{5}{7}$	$\frac{35}{4}$

Примечание. I(o-p) – I разновидность (ламинарные кристаллы ряда октаэдр-ромбододекаэдров), близкие по своим особенностям к алмазам известных кимберлитовых тел; I(p) I разновидность (округлые скрытоламинарные додекаэдровиды «уральского» или «бразильского» типов, практически отсутствующие в известных кимберлитовых телах); II – жёлто-оранжевые кубовиды; V+VII – комбинированные многогранники ряда октаэдр-ромбододекаэдр V разновидности и поликристаллические сростки VII разновидности; в числителе – доля (в %) кристаллов данной разновидности в общем комплексе алмазов, в знаменателе – доля (в %) окатанных кристаллов от общего числа алмазов данной разновидности.

изложенными как в предыдущих публикациях [3, 5, 8, 24, 33], так и в данной работе. Округлые алмазы с «признаками древности» широко распространены по всей Сибирской платформе, в том числе в Красноярском крае (Тычанский район), Иркутской области. Их повышенные концентрации в ряде случаев располагаются вне видимой связи с выступами докембрия, экспонированными в настоящее время на дневной поверхности и не отражёнными, соответственно, на геологической карте [24]. Существует ряд выступов докембрия, незначительно перекрытых молодыми осадками. В мезозое и кайнозое эти выступы также могли служить поставщиками алмазов в россыпи. Так, округлые алмазы бассейна среднего течения р. Вилуй [24, 33] можно связать с Сунтарским выступом. Большое количество округлых алмазов с «признаками древности» в россыпях среднего течения р. Молодо корреспондирует с наличием здесь погребённого Нижне-Ленского выступа, существование которого обосновывается в работе [20]. Округлые алмазы встречаются и вне современных пределов платформы, в частности в складчатых областях Верхояныя (Алах-Юньская золотоносная

россыпь). Здесь в зоне мезозойской складчатости выведены на поверхность отложения юдомской свиты венда, которые, по-видимому, и являются поставщиками алмазов в современные отложения. Это позволяет расширить применимость признака тяготения докембрийских алмазов к выступам докембрия на платформе, дополнив его выходами докембрия в складчатых областях, сформированных на платформенном основании [10, 17].

3. Исследования авторов подтверждают «признак древности» [27], связанный с повышенным механическим износом докембрийских алмазов. Однако специальное исследование позволило расширить и уточнить представления о нём [45]. Прежде всего, необходимо отметить, что диапазон степени механического износа докембрийских и потенциально докембрийских алмазов из россыпей очень широк – от практически полного отсутствия (не фиксируется визуально) до полной оваллизации (уничтожение огранки и приобретение алмазом овальной формы). Последнее особенно характерно для высокодефектных алмазов V+VII разновидностей из россыпей Анабарского района (см. таблицу

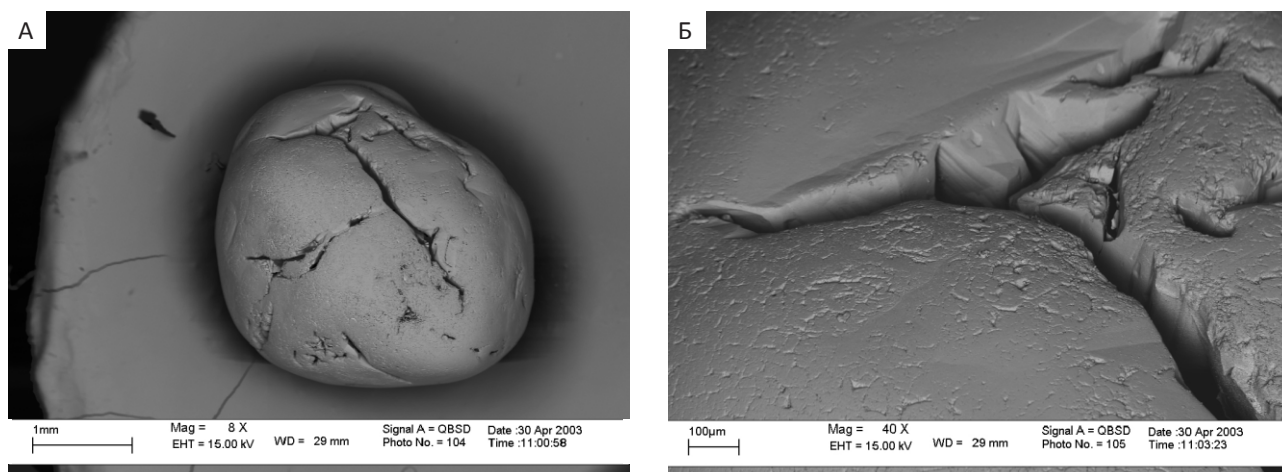


Рис. 3. Предельно окатанный алмаз V разновидности. По классификации Ю.Л.Орлова:

А – общий вид; Б – детали рельефа

и рис. 3). В то же время такие алмазы из триасового коллектора в Нижне-Ленском районе изношены слабо [37]. Причины наблюдаемых вариаций степени износа алмазов, по-видимому, связаны с различиями условий докембрийского россыпеобразования. Большинство проявлений докембрийской россыпной алмазности связаны с прибрежно-морскими обстановками. По исследованиям авторов, именно в прибрежно-морских обстановках алмазы могут приобретать заметные признаки износа [2, 7, 16, 23, 31, 46]. Степень износа алмазов при прочих равных условиях зависит от характера ложа бассейна и абразивной среды, энергетики береговой зоны, длительности пребывания алмазов в условиях волноприбойной зоны. Различия этих факторов обеспечивают широкие вариации степени механического износа. Длительная обработка алмазов в высокоэнергетической прибрежно-морской обстановке трансгрессирующего бассейна на жёстком ложе докембрийских метаморфических пород могла обеспечить высокую степень износа алмазов V+VII разновидностей в Анабарском районе (см. рис. 3). Здесь необходимо предостеречь от представления, что высокая дефектность алмазов определяет их низкую устойчивость при механической обработке в процессе формирования россыпей. Алмазы V+VII разновидностей имеют радиально-лучистое, спутанно-волоконистое балласовое строение, что хорошо видно на лауэграммах и рентгеновских топограммах по методу Ланга. В соответствии с правилом Холла-Петча, это обеспечивает им высокую абразивную устойчивость, в которой легко убедиться при шлифовке алмазов V+VII разновидностей: они несравненно более устойчивы, чем обычные монокристалльные алмазы с совершенной струк-

турой. Поэтому максимальная окатанность этих алмазов в россыпях свидетельствует в первую очередь об их значительно более длинной седиментологической истории, то есть они являются наиболее древними в общем комплексе потенциально докембрийских алмазов. В настоящее время авторы статьи проводят в этом направлении специальные исследования.

Причины слабого износа этих алмазов в триасовых отложениях Нижне-Ленского района, в которые они, вероятно, поступали при размыве докембрийских отложений Оленёкского поднятия, следует искать в разнообразных фациальных обстановках докембрийского осадконакопления на данной территории, представляющей собой северную оконечность крупной положительной структуры вдоль Ленского фрагмента Предверхоанского краевого прогиба [20].

Механический износ наблюдается и на алмазах прибрежно-морских россыпей (в первичном состоянии или переотложенных), сформированных за счёт размыва фанерозойских кимберлитов. Например, россыпь в раннекарбонных гравелитах Кютюндинского прогиба, россыпь Восточная (Мало-Ботуобинский район), россыпь Дьукуннахская (верховья р. Аламджа, притока р. Вилуй), россыпь Тарыдакская, Красноярский край и др. Однако износ никогда не достигает высокой степени, характерной для докембрийских россыпей. Для Сибирской платформы это связано, в частности, с развитием россыпей на мягком ложе нижнепалеозойских терригенно-карбонатных пород. Высокая степень износа алмазов несопоставима с фанерозойскими условиями формирования россыпей на Сибирской платформе.

Существуют две основные, различающиеся между собой формы механического износа алмазов: 1 – обра-

зование шероховатых механогенных поверхностей и рельефа выкрашивания и 2 – механогенная полировка, так называемые «леденцовые скульптуры» [22, 46]. Шероховатые поверхности и рельеф выкрашивания развиваются преимущественно при наличии высокодинамичной жёсткой абразивной среды, тогда как для формирования «леденцовых скульптур» благоприятны более «мягкие» условия [31, 34, 46]. Обе формы механического износа присущи алмазам и из докембрийских, и из фанерозойских россыпей. Однако докембрийский износ, даже в случае невысокой степени его развития, сопоставимой с износом в фанерозойских условиях, часто проявляется в косвенных признаках (рис. 4), отражённых в комплексе «признаков древности» – серпообразные, кольцевые трещины на поверхности кристаллов, ромбическая сеточка поверхностных микротрещин по спайности [22]. Данные морфологические признаки обусловлены соударениями алмазов с твёрдым субстратом или частицами абразивной среды, в результате чего в поверхностном слое кристалла накапливаются упругие напряжения. Их релаксация в форме поверхностных микротрещин осуществляется под действием термических и физико-химических экзогенных факторов и требует для своей реализации длительного времени. Фактор времени, выражающийся через длительность пребывания алмазов в различных агрессивных средах, обуславливает поверхностное растрескивание у алмазов из докембрийских источников, прошедших через докембрийские россыпи, и его отсутствие при прочих равных условиях у алмазов из фанерозойских россыпей, попавших в эти россыпи из коренных источников фанерозойского возраста.

Серпообразные, кольцевые трещинки, ромбическая сеточка трещин характерны для округлых алмазов I разновидности, но отсутствуют у алмазов V+VII разновидностей в связи с их высокой собственной дефектностью, на фоне которой теряются поверхностные напряжения механогенного характера.

Таким образом, признаки механического износа характерны для алмазов и из докембрийских, и из фанерозойских источников, но только у алмазов из докембрийских источников он может достигать средней и высокой степени. При заметных признаках износа докембрийских алмазов сопровождающие их индикаторные минералы уничтожаются полностью [23, 32, 46], а те глубинные минералы, с которыми эти алмазы ассоциируют в россыпях, происходят из фанерозойских кимберлитов и являются гидравлическими спутниками.

Таковы основные признаки россыпной докембрийской алмазоносности. Их комплекс достаточно убедительно свидетельствует о реальности данной гипотезы.

Признаки коренной докембрийской алмазоносности. В начале 1960-х годов при проведении поисковых работ на алмазы на юге Иркутской области были обнаружены жильные тела оливин-флогопитовых пород, диагностированных как слюдяные кимберлиты.

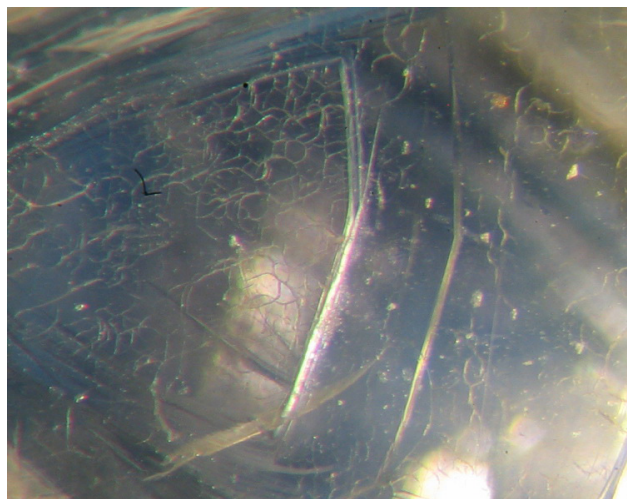


Рис. 4. Сеточка поверхностных микротрещин – следов удара на алмазе из Шелеховской россыпи (Восточный Саян)

В настоящее время в Присяянье известно девять жильных тел подобного состава [29, 35, 36], формирующих Ингашинское поле (бассейн р. Ингаши, левый приток р. Ока). Жилы прорывают и фенитизируют метаморфизованные в зеленосланцевой фации песчано-сланцевые отложения урикской и ингашинской свит раннего протерозоя и являются кососекущими по отношению к структурам вмещающих пород. Прослеженная длина жил достигает 850 м при мощности от первых сантиметров до одного метра. Возраст этих пород, определённый рубидий-стронциевым изохронным методом, составляет 1268 ± 12 млн. лет [10]; близкие цифры (1100–1200 млн. лет) получены калий-аргоновым методом (С.Б.Брандт, ИЗК, г. Иркутск). По данным [29, 35], среди рудных минералов данных пород преобладают хромшпинелиды. Исследования состава и морфологии нескольких кристаллов хромшпинелидов из описываемых пород показали, что это типичные «мантийные», аналогичные хромшпинелидам из кимберлитов и лампроитов [3, 23]. Большинство гранатов ингашинских пород составляют альмандин-пиропы, характерные для эклогитов (75% от общего количества). Около 25% относятся к хромистым пиропам лерцолитового парагенезиса; гранатов алмазного парагенезиса не обнаружено [40, 41]. Отсутствуют пикроильмениты, соответствующие кимберлитовым. Изученные ильмениты этих пород содержат повышенное количество марганца (MnO до 4 вес.%). Породы содержат также оливины, клино- и ортопироксены. При обогащении этих пород найдено несколько алмазов преимущественно ромбодекаэдрического габитуса весом 1–9 мг [1]. Анализ геолого-структурной позиции (расположение в зоне интракратонного мобильного пояса), минералогии, петро- и

геохимических особенностей этих пород дали основание А.П.Секерину с соавторами [35, 36] отнести их к породам лампроитовой серии.

Наличие алмазоносных лампроитов рифейского возраста, содержащих алмазы ромбододекаэдрического габитуса, характерные для докембрийских источников, является прямым свидетельством существования докембрийской эпохи алмазоносности на Сибирской платформе.

Все алмазы, которые авторы относят к потенциально докембрийским, обладают признаками магматического растворения, что указывает на магматический тип источника этих алмазов.

Обсуждение признаков докембрийской алмазоносности. На основе исследований алмазов из северных россыпей можно предположить их происхождение из разных типов коренных источников, в том числе не-кимберлитовых. Как отмечено выше, алмазы V+VII разновидностей являются моногенными, их материнские породы имели эклогитовый состав. Независимость распределения данных алмазов в россыпях от других разновидностей алмазов [32] свидетельствует о том, что их коренные источники содержали только эту разновидность алмазов. Такое явление не характерно для кимберлитов/лампроитов, которые содержат полигенные комплексы алмазов, различающиеся по парагенезисам, изотопии углерода, условиям роста и эпигенеза алмазов и др. Данное обстоятельство наряду с отсутствием алмазов V+VII разновидностей в фанерозойских кимберлитах Сибирской платформы послужило основанием для выделения неизвестного типа коренных источников предположительно докембрийского возраста для алмазов данной разновидности. То же касается алмазов II разновидности, для которой можно также предположить источники неизвестного, но иного, чем для V+VII разновидностей, типа.

Скрытоламинарные ромбододекаэдриды I разновидности в малом количестве встречаются в фанерозойских кимберлитах, однако они характерны для некоторых протерозойских лампроитовых тел, например для трубки Маджгаван в Индии. Учитывая широкую распространённость округлых ромбододекаэдридов в индийских протерозойских россыпях, можно предположить большое количество лампроитов подобного типа в этом регионе. Возможно, округлые алмазы из россыпей Сибирской платформы также происходят из пород данного типа, но протерозойского возраста, так как до сих пор в пределах платформы не найдены фанерозойские кимберлиты, способные обеспечить высокую долю этих алмазов в россыпях.

Таким образом, есть основания предполагать для докембрийской эпохи алмазоносности Сибирской платформы следующие типы коренных источников алмазов.

1. Лампроиты с характерными для этих пород минералогическими, петрохимическими и другими при-

знаками, содержащие полигенную смесь алмазов с переменным соотношением изотопически «тяжёлых» и «лёгких» кристаллов по сравнению с фанерозойскими кимберлитами, увеличенное содержание скрытоламинарных ромбододекаэдридов и повышенная доля среди них алмазов эклогитовых парагенезисов. Эти породы были источниками округлых алмазов в россыпях Сибирской платформы. Лампроиты Ингашинского поля являются представителями данного типа докембрийских источников алмазов. Однако необходимо учитывать, что протерозойская лампроитовая трубка Аргайл (Австралия) содержит алмазы морфологического ряда «октаэдр–переходная форма–ромбододекаэдрид» с преобладанием переходных форм и ламинарных додекаэдридов [50], которые обычны в фанерозойских кимберлитах, в том числе Сибирской платформы. Поэтому, ограничивая морфологический спектр алмазов из докембрийских лампроитов на Сибирской платформе только округлыми додекаэдридами, можно, вероятно, сузить его. Не исключено, что докембрийские источники могли содержать и октаэдрические алмазы. При идентификации алмазов из докембрийских источников необходимо учитывать весь комплекс «признаков древности».

2. Неизвестные типы источников, несущие моногенные комплексы алмазов (V+VII, II разновидностей). В соответствии с облегчённым или лёгким составом углерода парагенетическую принадлежность этих алмазов можно определить как эклогитовую. Характер породы-транспортёра алмазов предположить затруднительно, так как минералы-индикаторы этих пород могли быть уничтожены полностью в процессах докембрийского прибрежно-морского россыпеобразования и последующих физико-химических изменений. Источников, точнее типов источников алмазов должно быть несколько, не меньше двух, поскольку по меньшей мере два независимых типа источников должны были обеспечить вынос на земную поверхность алмазов V, VII и II разновидностей, об этом свидетельствуют и коэффициенты корреляции, отражающие степень их связи в россыпях (II–(V+VII):+0,05; округлые – (V+VII):–0,55).

Наряду с общей закономерностью тяготения потенциально докембрийских алмазов к выходам докембрия в распределении их разновидностей наблюдаются значительные различия [32]. Алмазы V+VII, II разновидностей распространены только в россыпях северо-востока Сибирской платформы. В южных румбах их доля быстро уменьшается, и к югу от р. Муна они практически отсутствуют. Также отсутствуют они и на территории Красноярского края, Иркутской области. Алмазы, подобные V и VII разновидностям, не описаны для других алмазоносных регионов мира. Это позволяет предположить их эндемичность для северо-востока Сибирской платформы. II разновидность, вероятно, также эндемична для данной территории.

В то же время скрытоламинарные ромбододекаэдрониды распространены в качестве минералогического фона по всей Сибирской платформе, они характерны также для россыпей большинства алмазоносных регионов мира. По-видимому, специфика потенциально докембрийских алмазов V+VII, II разновидностей и их коренных источников находит отражение и в локальности их распределения. Напротив, скрытоламинарные ромбододекаэдрониды связаны, вероятно, с широко распространёнными породами типа лампроитов.

Эндемичность характерна не только для алмазов V+VII разновидностей Сибирской платформы. Эндемичными являются карбонадо из неизвестных источников докембрийского возраста, развитые в Центральной Африке и Бразилии [15, 43, 44, 56]. В настоящее время эти территории разделены Атлантическим океаном, хотя в рамках Гондваны и занимали единую площадь.

Анализ предпосылок докембрийской алмазоносности Сибирской платформы по сравнению с фанерозойской позволяет выделить ряд её специфических черт:

1) разнообразие возможных типов коренных источников алмазов (кимберлиты/лампроиты, экзотические источники, вероятно нескольких типов), тогда как в фанерозое – только кимберлиты;

2) повышенная (для лампроитов) или абсолютная (для неизвестных источников, в частности для источников алмазов V+VII, II разновидностей) доля алмазов эклогитовых парагенезисов, тогда как в фанерозойских кимберлитах резко доминируют алмазы ультраосновных парагенезисов [28], и лишь мезозойская трубка Дьянга содержит повышенное количество алмазов эклогитовых парагенезисов при типичном для кимберлитов морфологическом спектре алмазов [55];

3) повышенная до абсолютной доля изотопически лёгких алмазов в некоторых типах источников, отнесённых главным образом к категории неизвестных типов, тогда как в фанерозойских кимберлитах платформы резко преобладают алмазы с более тяжёлым, мантийным составом изотопов углерода;

4) моногенный и весьма специфический комплекс алмазов из некоторых, отнесённых к категории неизвестных типов источников, а также повышенная, возможно преобладающая, доля округлых алмазов в источниках типа лампроитов; в то же время фанерозойские кимберлиты несут полигенную смесь алмазов с преобладанием кристаллов октаэдрического и переходного габитусов с ламинарным строением граней.

Таким образом, специфика докембрийской алмазоносности в понимании авторов данной статьи выглядит значительно шире и разнообразнее, чем это было представлено в работе [11].

Описанные особенности потенциально докембрийской алмазоносности Сибирской платформы в сравнении с фанерозойской соответствуют в общих чертах особенностям докембрийской (преимущественно про-

терозойской) алмазоносности других регионов мира. Так, для докембрия характерно разнообразие типов коренных источников.

В Бразилии уже давно известны алмазоносные филлиты, распространённые в штате Минас-Жерайс на площади Дамантина [18, 38, 43, 44, 53 и др.].

На северо-востоке Канады обнаружены алмазоносные лампрофиты [45]. Возраст пород составляет 1832 ± 28 млн. лет.

Во Французской Гвиане обнаружены докембрийские алмазоносные вулканокластические коматииты [48].

Необычное сочетание ультраосновной породы-транспортёра (кимберлит) и эклогитовых алмазов [57] свойственно для района Гуаньямо (Венесуэла, Гвианский щит). Возраст кимберлитов оценён в 710 млн. лет. В них, а также в сформированных за их счёт аллювиальных россыпях содержатся алмазы октаэдрического, додекаэдрического и переходного между ними габитуса. По результатам изучения минеральных включений установлено, что доля алмазов эклогитовых парагенезисов составляет 99,4%. Исследования изотопного состава алмазов этих месторождений показывают, что 79% изученных образцов имеют облегчённый изотопный состав углерода с $\delta^{13}\text{C}$ от -10 до -22‰ [52].

В южно-африканской кимберлитовой трубке Премьер (возраст 1250 млн. лет), из которой происходит знаменитый алмаз «Куллинан», алмазы эклогитового типа составляют 60% от общего количества кристаллов с включениями [47, 49].

В докембрийской лампроитовой трубке Аргайл (Западная Австралия), имеющей возраст 1150 млн. лет [50, 54], также резко доминируют алмазы эклогитового типа парагенезиса (93%), этому соответствует облегчённый изотопный состав углерода алмазов. Среднее $\delta^{13}\text{C}$ по 35 анализам составляет $-11,7\text{‰}$ при диапазоне колебаний от $-7,63$ до $-18,68\text{‰}$ [42].

Иной комплекс алмазов содержится в протерозойской лампроитовой трубке Маджгаван (Индия, штат Мадхья-Прадеш, округ Панна), возраст которой составляет 1067 ± 31 млн. лет [51]. В ней преобладают округлые додекаэдрониды, часто с полосами пластической деформации и шагреньевым рельефом, по морфологии соответствующие комплексу «признаков древности». В то же время все изученные алмазы с включениями относятся к ультраосновному типу парагенезисов и имеют тяжёлый изотопный состав углерода в диапазоне $\delta^{13}\text{C}$ от $-3,66$ до $-7,22\text{‰}$ с максимумом от -5 до -6‰ [19].

Данный краткий обзор показывает разнообразие коренных проявлений докембрийской алмазоносности, подтверждающее предположения авторов относительно Сибирской платформы. Следует отметить, что малое количество найденных докембрийских источников, помимо прочего, является, по-видимому, артефактом: система поисков коренных месторождений алмазов ориентируется на индикаторные минералы кимберлитов/лампроитов, главным образом на пиропы,

пикроильмениты, хромшпинелиды, а также макроалмазы, тогда как не(кимберлитовые/лампроитовые) источники имеют иные индикаторные минералы, ещё совершенно неизученные, и содержат, вероятно, во многих случаях микроалмазы. Иначе говоря, не формулируется специальная поисковая задача, ориентированная на не(кимберлитовые/лампроитовые) источники алмазов.

Перечень находок «проблемных» алмазов можно продолжить. Однако приведённых примеров достаточно, чтобы иметь представление о разнообразии типов алмазов и типов коренных источников в докембрии. В фанерозое резко сужается разнообразие типов источников алмазов, ими остаются главным образом кимберлиты, а также значительно менее распространённые алмазоносные лампроиты, представителями которых являются раннемиоценовые лампроиты поля Эллендейл (Западная Австралия) [50]. Разнообразие типов алмазов тоже сужается, хотя остаётся достаточно широким, особенно среди алмазов низкого качества, например в мезозойских кимберлитах Западной и Центральной Африки [44].

Относительно масштабов проявления докембрийского алмазоносного магматизма на Сибирской платформе можно отметить, что в настоящее время она в значительной мере закрыта нижнепалеозойскими терригенно-карбонатными породами, а до мезозоя – практически полностью, поэтому реально оценить масштабы докембрийского алмазоносного магматизма невозможно. Однако, судя по тому, что «экзотические» типы потенциально докембрийских алмазов только на северо-востоке платформы распространены на площади около 400 000 км², а округлые додекаэдриды почти по всей платформе [32], можно полагать, что эти масштабы были весьма значительными, и большинство докембрийских алмазов и их источников погребено сейчас под чехлом нижнепалеозойских отложений.

В пользу существования докембрийской эпохи алмазоносного магматизма на Сибирской платформе накоплено большое количество аргументов. Фактически это развитие идей, сформулированных предшественниками. Помимо М.П.Метелкиной с соавторами [11, 15], нельзя не отдать должное И.Ф.Гориной, которая в 1973 г. фактически на интуитивном уровне, без детальной аргументации обосновала те же признаки, которые авторы развивают в данной статье. К сожалению, идеи И.Ф.Гориной были мало известны, так как изложены в локальном малотиражном издании [13] и не усвоены геологами, иначе не пришлось бы тратить огромные средства, время, человеческие усилия на поиск фанерозойских источников алмазов второго типа. Авторы данной статьи также поздно обнаружили эту работу и вынуждены были идти своим путём. Задача изучения протерозойских потенциально алмазоносных отложений остаётся актуальной.

В заключение следует отметить, что анализ предпосылок докембрийской алмазоносности Сибирской

платформы в сравнении с другими алмазоносными регионами позволяет предположить широкое развитие докембрийской алмазоносности в её пределах и значительное влияние докембрийских алмазов на минерогению фанерозойских россыпей. Однако поиск докембрийских источников алмазов затруднён из-за ряда обстоятельств: 1) поиск возможен только на выступах докембрийского фундамента, где поисковая обстановка, как минералогическая, так и геофизическая, крайне сложна, тогда как на остальной территории Сибирской платформы докембрийские алмазоносные объекты закрыты мощным чехлом нижнепалеозойских терригенно-карбонатных пород, а также обширными и мощными покровами туфов и лав пермо-триасового возраста и в ряде районов – осадочными породами мезозойского возраста; 2) неизвестны индикационные характеристики докембрийских источников, в частности их индикаторные минералы, поэтому для них невозможно сформулировать поисковую задачу; 3) возможен высокий эрозионный срез алмазоносных пород, из-за которого остались лишь корневые части незначительного размера, что осложняет поиск; 4) возможна сильная изменённость пород, например по типу бразильских филлитов, что затрудняет идентификацию пород. В результате обнаружение докембрийских коренных алмазоносных пород – дело случая, и специальные поиски их практически бесперспективны, но реальна задача обнаружения россыпных алмазов «северного» типа в отложениях протерозоя. По результатам работ авторов, благоприятным для этого являются отложения венда (морские конгломераты, гравелиты, грубозернистые песчаники) мастахской, туркутской, хатыспытской свит в апикальной части Оленёкского поднятия, в районе Уджинского поднятия, где, по сообщению И.Ф.Гориной, в протолочке вендских отложений найден алмаз V разновидности, по восточному обрамлению Анабарского щита, в бассейне р. Кютюнгда, где в верховьях её притоков Улахан-Юэртэх и Куччугуй-Юэртэх обнажены отложения венда. Из этого следует, что за «северными» алмазами Сибирской платформы, включающими V+VII, II разновидности (по Ю.Л.Орлову), округлые скрытоламинарные додекаэдриды, а также редко встречающиеся балласты VI разновидности, следует оставить перспективы только россыпной алмазоносности. Перспективы коренной алмазоносности связаны с кимберлитами наиболее вероятно среднепалеозойского возраста, формирующими ореолы механического рассеяния индикаторных минералов и алмазов в разновозрастных отложениях начиная с позднего девона, после ормирования кимберлитов. Этот вывод имеет большое практическое значение, поскольку позволяет делить россыпные алмазы северо-востока Сибирской платформы на связанные с коренными источниками (кимберлитами, в первую очередь среднепалеозойского возраста) и фоновые, оторванные от коренных источников

неизвестных типов наиболее вероятно докембрийского возраста.

Изложенные в статье материалы позволяют сформулировать новую парадигму алмазоносности Сибирской платформы, предусматривающую существование докембрийской эпохи алмазоносного магматизма и присутствие её алмазов в россыпях начиная с верхнего триаса, а также в погребённых россыпях, связанных с прибрежно-морскими отложениями протерозойского возраста.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИГМ СО РАН, а также при поддержке гранта РФФИ № 18-05-70063/18.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аргунов К.П., Зинчук Н.Н., Темников И.А. Типоморфные особенности алмазов юго-западной части Сибирской платформы (в связи с проблемой поисков коренных месторождений алмазов) // Методы прогноза и поисков алмазов на юге Восточной Сибири. – Иркутск, 1990. С. 50–51.
2. Атлас морфологии алмазов России / В.П.Афанасьев, Э.С.Ефимова, Н.Н.Зинчук, В.И.Коптиль. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГТМ, 2000(б).
3. Афанасьев В.П. О классификации алмазов по Ю.Л.Орлову и рамках ее применимости // Записки Российского минералогического общества. 2011. Т. 140. № 1. С. 130–143.
4. Афанасьев В.П. О механическом износе кимберлитовых минералов в шлихах // Советская геология. 1986. № 10. С. 81–87.
5. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н. Основные литодинамические типы ореолов индикаторных минералов кимберлитов и обстановки их формирования // Геология рудных месторождений. 1999. Т. 41. № 3. С. 281–288.
6. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Полигенез алмазов в связи с проблемой коренных источников россыпей северо-востока Сибирской платформы // Доклады Академии наук. 1998. Т. 361. № 3. С. 366–369.
7. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Логвинова А.М. Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // Записки Российского минералогического общества. 2009(б). № 2. С. 1–13.
8. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П. Поисковая минералогия алмаза. – Новосибирск: Гео, 2010.
9. Афанасьев В.П., Похиленко Н.П., Лобанов С.С. Россыпная алмазоносность Сибирской платформы: возрастные уровни и возможные источники питания // Геология рудных месторождений. 2011(б). Т. 53. № 6. С. 538–542.
10. Включения коэсита в округлых алмазах из россыпей северо-восточной части Сибирской платформы / А.Л.Рагозин, В.С.Шацкий, Г.М.Рылов, С.В.Горайнов // Доклады Академии наук. 2002. Т. 384. № 4. С. 509–513.
11. Геологические предпосылки алмазоносности докембрийских терригенных формаций Сибирской платформы / М.П.Метелкина, Б.И.Прокопчук, О.В.Суходольская, Е.В.Францессон // Геология и геофизика. 1975. № 12. С. 82–89.
12. Голубев Ю.К., Прусакова Н.А., Лукьянова Л.И. Опыт выявления возможных коренных источников алмазных россыпей Арктической зоны Якутии // Отечественная геология. 2017. №1. С. 54–67.
13. Горина И.Ф. Об источниках алмазов северо-востока Сибирской платформы // Россыпная алмазоносность Средней Сибири (сборник статей). – Л.: НИИГА, 1973. С. 49–54.
14. Граханов С.А., Смелов А.П. Возраст прогнозируемых коренных источников алмазов на севере Якутии // Отечественная геология. № 5. 2011. С. 56–63.
15. Докембрийские алмазоносные формации мира / М.П.Метелкина, Б.И.Прокопчук, О.В.Суходольская, Е.В.Францессон. – М.: Недра, 1976
16. Зинчук Н.Н., Афанасьев В.П. Генетические типы и основные закономерности формирования алмазоносных россыпей // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 1998. № 2. С. 66–71.
17. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Махин А.И. Об основных типоморфных особенностях алмазов в краевых частях Восточно-Европейской и Сибирской платформ // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2001. № 4. С. 22–35.
18. Зубарев Б.М. Дайковый тип алмазных месторождений. – М.: Недра, 1989.
19. Изотопный состав углерода алмазов, содержащих кристаллические включения / Н.В.Соболев, Э.М.Галимов, И.Н.Ивановская, Э.С.Ефимова // Доклады Академии наук. 1979. Т. 249. № 5. С. 1217–1220.
20. Константиновский А.А. Нижнеленский погребенный массив и некоторые вопросы размещения кимберлитов на северо-востоке сибирской платформы / Геотектоника. 1979. № 1. С. 48–57.
21. Коптиль В.И. Типоморфизм алмазов северо-востока Сибирской платформы в связи с проблемой прогнозирования и поисков алмазных месторождений // Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Новосибирск, 1994.
22. Минералогия и некоторые вопросы генезиса алмазов V и VII разновидностей (по классификации Ю.Л.Орлова) / В.П.Афанасьев, А.П.Елисеев, В.А.Надолинный и др. // Вестник Воронежского государственного ун-та. Сер. геология. 2000(а). Вып. 10(5). С. 79–97.
23. Механический износ индикаторных минералов кимберлитов: экспериментальные исследования / В.П.Афанасьев, Е.И.Николенко, Н.С.Тычков и др. // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 2. С. 120–127.
24. О генезисе алмазов V разновидности из месторождения им. Ломоносова (Архангельская алмазоносная провинция) / В.П.Афанасьев, Н.Н.Зинчук, П.В.Гриб и др. // Вестник Воронежского государственного ун-та. Сер. геология. № 2. 2005. С. 38–59.
25. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. – М.: Наука, 1973.
26. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. 2-е издание. – М.: Наука, 1984.
27. Осадочно-вулканогенная природа основания карнийского яруса – источника алмазов северо-востока Сибирской платформы / С.А.Граханов, А.П.Смелов, К.Н.Егоров, Ю.К.Голубев // Отечественная геология. № 5. 2010. С. 3–12.
28. Особенности изотопного состава углерода алмазов из россыпей юго-восточной Австралии / Н.В.Соболев, И.Н.Ивановская, Э.С.Ефимова, Э.М.Галимов // Всесоюзное совещание по геохимии углерода: тезисы докладов. – М., 1981. С. 220–222.

29. Особенности кимберлитового магматизма Присяня / А.П.Секерин, Б.М.Владимиров, В.А.Лашенов и др. // Проблемы кимберлитового магматизма. – Новосибирск: Наука, 1989. С. 23–28.
30. Особенности морфологии и состава хромшпинелидов алмазоносных площадей в связи с проблемой «ложных» индикаторов кимберлитов / В.П.Афанасьев, Н.П.Похиленко, А.М.Логвинова и др. // Геология и геофизика. 2000(в). Т. 41. № 12. С. 1729–1741.
31. Относительная абразивная устойчивость пиропы и пикроильменита – индикаторных минералов кимберлитов / В.П.Афанасьев, Н.В.Соболев, Е.А.Кириллова, Т.С.Юсупов // Доклады Академии наук. 1994. Т. 337. № 3. С. 359–362.
32. Палеозойский U-Pb возраст включения рутила в алмазе V–VII разновидностей из россыпей северо-востока Сибирской платформы / В.П.Афанасьев, А.М.Агашев, Ю.Оришаши и др. // Доклады РАН. 2009(а). Т. 428. № 2. С. 228–232.
33. Перспективы алмазоносности территории Вьетнама / В.П.Афанасьев, Чан ЧонгХоа, НгоТхиФьонг и др. // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2001. С. 454–461.
34. Полигенез алмазов Сибирской платформы / В.П.Афанасьев, С.С.Лобанов, Н.П.Похиленко и др. // Геология и геофизика. 2011(а). Т. 52. № 3. С. 335–353.
35. Секерин А.П., Меньшагин Ю.В., Лашенов В.А. Докембрийские лампроиты Присяня // Доклады Академии наук. 1993. Т. 329. № 3. С. 328–331.
36. Секерин А.П., Меньшагин Ю.В., Лашенов В.А. Присянская провинция высококальциевых щелочных пород и лампроитов // Доклады Академии наук. 1995. Т. 342. № 1. С. 82–86.
37. Селиванова В.В. Типоморфизм алмаза и его минералов-спутников из прибрежно-морских триасовых россыпей Северного Верхоянья / Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – М.: МГРИ, 1991.
38. Скосырев В.А. О докембрийских коренных источниках алмазов // Геология и полезные ископаемые стран Азии, Африки и Латинской Америки. – М., 1977. № 2. С. 111–124.
39. Соболев В.С. Геология месторождений алмазов Африки, Австралии, Борнео и Северной Америки. – М.: Госгеолтехиздат, 1951.
40. Соболев Н.В. О минералогических критериях алмазоносности // Геология и геофизика. 1971. № 3. С. 70–80.
41. Соболев Н.В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. – Новосибирск: Наука, 1974.
42. Сравнительная характеристика морфологии, включений и изотопного состава углерода алмазов аллювиальных отложений Кинг Джордж Ривер и лампроитового месторождения Аргайл (Западная Австралия) / Н.В.Соболев, Э.М.Галимов, К.Б.Смит и др. // Геология и геофизика. 1989. № 12. С. 3–19.
43. Трофимов В.С. Основные закономерности размещения и образования алмазных месторождений на древних платформах и в геосинклинальных областях. – М.: Недра, 1967.
44. Трофимов В.С. Геология месторождений природных алмазов. – М.: Недра, 1980.
45. A dimondiferous lamprophyre dike, Gibson Lake Area, Northwest Territories Int. Geol. Rev. / N.D. MacRae, A.E. Armitage, A.L. Jones, A.R. Miller. 1995. 37. P. 212–229.
46. Afanasiev V.P., Pokhilenko N.P. Wear of Diamond: An Experimental Study and Field Evidence // Proceedings of 10th International Kimberlite Conference. New Delhi: Springer India. 2013. Vol. 1. P. 317–321.
47. Barrett D.R., Allsop H.L. Kimberlites. Abstracts. – Cape Town, 1973. P. 23–25.
48. Deines P., Gurney J.J., Harris J.W. Associated chemical and carbon isotopic composition variations in diamonds from Finsh and Premier kimberlite, South Africa // Geochim. Cosmochim. Acta. 1984. 48. № 2. P. 325–342.
49. Diamonds in volcanoclastic komatiite from French Guiana / R. Capdevila, N. Arndt, J. Letendre, J.-F. Sauvage // Letters to Nature. 1999. 399. P. 456–458.
50. Jaques A.L., Levis J.D., Smith C.B. The kimberlites and lamproites of Western Australia. Gov. Print. Office. Perth. 1986.
51. Kumar A. et al. Br-Sr ages of Proterozoic kimberlites of India: evidence for contemporaneous emplacement. Precamb. Res. 1993. 62. P. 227–237.
52. Maltsev K.A., Zakharchenko O.D., San Claudio A. Carbon isotope composition of diamonds from Guaniamo placer, Venezuela // 30th Int. Geol. Congr., Beijing. 1996. Abstracts. Vol. 6. P. 86.
53. Moraes L.I. Depositos diamantíferos no norte do estado de Minas Geraes. – Bol. Serviço de Fomento do Produção mineral, Rio de Janeiro. 1934. № 3.
54. Pigeon R.T., Smith C.B., Fanning C.M. Kimberlite and lamproite emplacement ages in Western Australia. Proc. of 4th Int. Kimb. Conf., Perth. 1988. Vol. 1.
55. Sobolev N.V., Yefimova E.S., Koptil V.I. Mineral inclusions in the Northeast of the Yakutian Diamondiferous Province // Proceedings of the VII Intern. Kimberlite Conf. Vol. 2. 1998. P. 816–822.
56. Trueb L.F., Buttermann W.C. Carbonado: a microstructural study // Amer. Miner. 1968. 54. № 3–4. P. 412–425.
57. Unusual upper mantle beneath Guaniamo, Guyana shield, Venezuela: evidence from diamond inclusions / N.V. Sobolev, E.S. Yefimova, D.M. DeR. Channeret et al. // Geology. November 1998. 26. № 11. P. 971–974.

Типоморфные особенности алмазов как отражение их экзогенной истории

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

Результаты комплексного исследования типоморфных особенностей алмазов из россыпей и проявлений Тунгусской алмазоносной субпровинции позволили выделить в южной части Сибирской платформы отдельные алмазоносные области, районы и поля, для которых прогнозируются первоисточники и уровень их потенциальной рудоносности. Важное значение имеет использование типоморфных особенностей кристаллов для восстановления экзогенной истории алмазов на пути от их источников до мест современного нахождения в россыпях, что позволит получить новые сведения о направлениях сноса алмазоносного материала.

Ключевые слова: Тунгусская алмазоносная субпровинция, современные россыпи алмазов, Сибирская платформа.

Зинчук Николай Николаевич
доктор геолого-минералогических наук

nnzinchuk@rambler.ru



Коптиль Василий Иванович
кандидат геолого-минералогических наук

Typomorphic features of diamonds as a reflection of their exogenous history

N.N.ZINCHUK, V.I.KOPTIL (West-Yakutian Scientific Centre of RS (Y) AS, Mirny)

The paper reports the results of complex investigations of typomorphic features of diamonds from placers and occurrences of Tunguskaya diamondiferous sub-province (TDS). The study allowed distinguishing individual diamondiferous areas, regions and fields in the southern part, for which types of original sources and level of their potential ore content may be forecasted. Utilization of typomorphic features of crystals is important for reconstruction of exogenous history of diamonds on the way from their sources to the places of modern location in placers. This will allow receiving new evidence about directions of diamondiferous material drift.

Key words: Tunguskaya diamondiferous sub-province, modern placers of diamonds, Siberian platform.

Алмазопромышленные работы на юге и юго-западе Сибирской платформы (СП) проводятся с переменным успехом и различной интенсивностью с 1930-х годов [1–17]. Однако первые алмазы на Сибирской платформе были найдены на территории Красноярского края в золотоносных россыпях бассейна р. Большой Пит на Енисейском кряже ещё в конце XIX столетия, что вызвало определённый интерес к этой территории. Плановое начало поисков алмазных месторождений на территории этого древнего кратона можно связывать с реализацией теоретического прогноза алмазоносности, осуществлённого Н.М.Федоровским, В.С.Соболевым и А.П.Буровым с учётом упомянутых минералогических находок и сходства геологического строения Сибирской платформы с Южно-Африканской платформой (ЮАП). После войны в южной и юго-западной частях СП (Иркутская область и Красноярский край) были

развёрнуты широкомасштабные алмазопромышленные работы. Однако обнаружение в середине прошлого века алмазоносных кимберлитовых трубок и связанных с ними продуктивных россыпей в центральных частях кратона привело к сворачиванию поисковых работ на других площадях, из-за чего их перспективы остались нереализованными. Несмотря на слабую изученность, особых усилий по увеличению финансирования для планомерного изучения южной и юго-западной частей платформы пока не предпринималось, и основной объём алмазопромышленных работ сосредоточен вблизи (или на небольшом расстоянии) действующих предприятий алмазодобывающей промышленности. Необходимо напомнить, что в середине прошлого столетия Михайловской экспедицией в аллювиальных отложениях р. Тынчан (левый приток р. Нижняя Тунгуска) и её притоков была открыта алмазоносная россыпь, из которой

добыто более сотни алмазов. В 1980-х годах зафиксированы индикаторные минералы кимберлитов (ИМК) и алмазы в средне-верхнекаменноугольных углито-терригенных отложениях Тычанской и Тарыдакской (левобережье р. Подкаменная Тунгуска) алмазоносных площадей. Отложения верхнего палеозоя здесь сложно интродуцированы телами траппов, перекрыты туфами триаса и залегают на размытой поверхности глинисто-карбонатных пород среднего–верхнего кембрия или на сохранившейся на них коре выветривания (КВ). Базальные горизонты этих осадочных древних отложений продуктивны на алмазы. Данные каменноугольные осадочные толщи представлены маломощными (до 1 м) линзовидно залегающими песчано-галечными отложениями или неотсортированными песчано-глинистыми образованиями с угловатыми обломками кремней, кварцитов и подстилающих карбонатных пород, а иногда и дресвяно-щебенчатыми породами. Находящиеся в этих фациальных образованиях ближнего сноса терригенные выделения ИМК (пироп и хромит) характеризуются высокой степенью сортировки и износа, что связано с их обработкой в прибрежно-морских условиях при формировании их более древнего (возможно докембрийского) коллектора и при последующем размыве в позднем палеозое переотложены в фации ближнего сноса. Установлены [2, 6–11] ореолы рассеяния алмазов как в современных, так и верхнепалеозойских отложениях не только на Тычанской и Тарыдакской, но и Шушинской, Чадобецкой и Енисейской площадях, относящихся к Тычанскому алмазоносному району. Здесь находится Ковино-Кординская зона тектонической активизации субмеридиального простираения. В состав Тунгусской субпровинции входят также север (бассейн р. Нижняя Тунгуска) и юг (Присаянье) Иркутской области, значительно удалённые друг от друга.

Особенности проявления кимберлитового магматизма на Сибирской платформе рассмотрены во многих опубликованных работах, в том числе и с участием авторов настоящей статьи [1, 2, 7–11, 13, 17]. Согласно геологическим наблюдениям, стратиграфической принадлежности датированных в кимберлитовых трубках ксенолитов, данным радиологических определений возраста, в пределах СП выделяется четыре основных эпохи кимберлитового магматизма: докембрийская, палеозойская, мезозойская и мезо-кайнозойская [4, 6, 12, 14, 15, 17]. Позднедокембрийские глубинные высококалевые вулканы известны на северо-востоке СП, где они пространственно и генетически связаны с фанерозойскими кимберлитами и другими щелочно-ультраосновными и щелочно-основными образованиями. В фанерозойском мегацikle алмазоносного магматизма выделяются [2, 7–9, 16] ранне- и среднепалеозойский, ранне-, средне- и позднемезозойский, а также раннекайнозойский этапы. Такой широкий возрастной диапазон проявления кимберлитового магматизма, эпох

мощного корообразования, региональных перерывов в денудации и осадконакоплении на Сибирской платформе определил богатый ярусный спектр локализации продуктов разрушения алмазоносных пород в её осадочном чехле. В южной и юго-западной частях СП в качестве промежуточных осадочных коллекторов алмаза выделяются пироповые отложения баероновской, саранчетской свит, нижнечаргинской подсвиты и мурской толщи. С нижнекарбовыми прибрежно-морскими и дельтовыми отложениями этой территории связаны россыпи и алмазопоявления. Повышенные концентрации алмазов здесь отмечаются и в современном аллювии многих водотоков, размывающих докембрийские, каменноугольные и пермские толщи. Средне-верхнекаменноугольные и пермские отложения на этих площадях закартированы на восточном и юго-восточном бортах Тунгусской верхнепалеозойской синеклизы (ТВС). Исследуемая территория представляет собою южную, юго-восточную и юго-западную часть Сибирской платформы, где установлены сотни кристаллов как в современных, так и древних вторичных коллекторах верхнепалеозойского (ранне-среднекарбового) возраста.

Всесторонние исследования алмазов из всех разновозрастных коллекторов и кимберлитовых тел СП с использованием различных минералогических классификаций [3, 5, 12, 14] позволили [7–11] выработать систему анализа их типоморфных особенностей, выделить крупные ассоциации и на структурно-тектонической и формационной основах провести региональное (мелкомасштабное) районирование платформы в целом с выделением четырёх алмазоносных субпровинций (рис. 1): Центрально-Сибирской (ЦАСП), Лено-Анабарской (ЛААСП), Тунгусской (ТАСП) и Алданской (ААСП). В *Тунгусской субпровинции* по типоморфным особенностям алмазов выделены две области – Байкитская, включающая северную часть Енисейского кряжа и Байкитскую антеклизу, и южная – Саяно-Тунгусская. В *Байкитской области* детально изучены алмазы из пространственно разобщённых участков каменноугольного коллектора Тычанской (десять участков), Шушукской (один участок) и Тарыдакской (три участка) площадей. На обширной территории Тунгусской субпровинции была выделена Байкитская область с преобладанием в россыпях алмазов октаэдрического габитуса (Больше-Питский, Северо-Енисейский и Нижне-Вельминский алмазоносные районы). В дальнейшем площадь с преобладанием октаэдрических кристаллов была расширена на юго-восток, в направлении простираения Ковино-Кординской и Тарыдакской зон глубинных разломов. Заметное различие алмазов из современных и каменноугольных отложений в бассейне р. Тычана свидетельствует о множественности коренных источников в данном регионе. Кристаллы крупнее, чем индивиды большинства древних россыпей юго-запада Сибирской платформы, а

также из каменноугольных отложений Тарыдакской и Шушукской площадей. Среди них преобладают кристаллы класса $-2+1$ мм (около 75%) при высоком ($>25\%$) количестве алмазов класса $-4+2$ мм и при единичных находках мелких индивидов класса $-1+0,5$ мм. О крупности свидетельствует распределение по массе: на долю камней массой до 10 мг приходится лишь 25%. Преобладают (см. рисунки 2–4) ламинарные кристаллы ряда октаэдр–ромбододекаэдр (преимущественно октаэдры) при заметном ($>25\%$) содержании округлых в основном с шагренью и полосами пластической деформации. Для сравнения отметим, что в россыпях системы рек Ирелях, Малая Ботуобия и Вилюй (Центрально-Сибирская алмазоносная субпровинция (ЦАСП)), на расстоянии около 300 км от трубки Мир содержание округлых алмазов уральского типа превышает 20%, что сопоставимо с данными Тычанской площади. Содержание двойников и сростков среди алмазов из Тычанского каменноугольного коллектора низкое (15%), преобладают шпинелевые двойники. Количество алмазов со скульптурами травления превышает 50%, причём доминирует ($>40\%$) леденцовая скульптура. Большинство кристаллов представлено бесцветными высокопрозрачными алмазами, слабоокрашенных индивидов лишь 35%. Около 20% составляют кристаллы с зелёными пятнами пигментации. В ультрафиолетовых лучах преобладают индивиды с розово-сиреневым ($>50\%$) и сине-голубым (35%) свечением. Содержание алмазов с твёрдыми включениями превышает 40%. Преобладают эпигенетические включения графита часто в ассоциации с сульфидами, кристаллов с сингенетическими включениями 6%. Большинство включений представлено минералами из ультраосновной ассоциации, но доля включений эклогитовой ассоциации (омфацит+оранжевый гранат) весома – до 40%. Степень сохранности (целостность) алмазов невысокая. Примерно в равных количествах присутствуют целые, повреждённые кристаллы и их обломки. При сравнительно невысокой целостности преобладают алмазы без трещин (около 65%). Преобладают индивиды с аллювиальными сколами, а для половины всех кристаллов характерен только механический износ выкрашивания. Для сравнения отметим, что содержание алмазов с таким механическим износом в Мало-ботуобинском (МБАР) и Среднемархинском (СМАР) алмазоносных районах на небольшом удалении от трубок Мир, Ботуобинская и Нюрбинская не превышает 20%.

В каменноугольных отложениях Тычанской площади [14] преобладают индивиды из кимберлитового первоисточника мирнинского типа ($>50\%$), представленные кристаллами октаэдрического и переходного от него к ромбододекаэдрическому габитусов. Кроме того, присутствуют ромбододекаэдры далдино-алакитского типа с занозистой штриховкой, додекаэдриды уральского типа, близкие к ингашиным, а также свое-

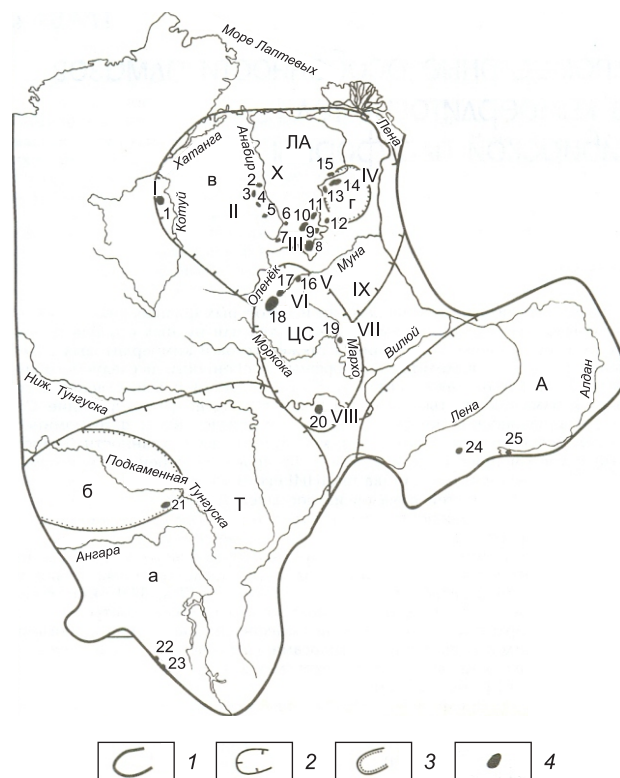


Рис. 1. Схема районирования по алмазам Сибирской алмазоносной провинции:

1–3 – границы: 1 – Сибирской алмазоносной провинции, 2 – субпровинций (ЦС – Центрально-Сибирской, ЛА – Лено-Анабарской, Т – Тунгусской, А – Алданской), 3 – областей (а – Саяно-Тунгусской, б – Байкитской, в – Анабаро-Оленёкской, г – Кютюндинской); 4 – кимберлитовые поля: 1 – Котуй-Меймечинское, 2 – Орто-Ыаргинское, 3 – Старореченское, 4 – Ары-Мастахское, 5 – Дьюкенское, 6 – Лучаканское, 7 – Куранахское, 8 – Чомурдахское, 9 – Огонер-Юряхское, 10 – Западно-Укуитское, 11 – Восточно-Укуитское, 12 – Верхнемоторчунское, 13 – Мерчимденское, 14 – Верхнемолодинское, 15 – Куойкское, 16 – Верхнемунское, 17 – Далдынское, 18 – Алакит-Мархинское, 19 – Накынское, 20 – Мирнинское, 21 – Чадобецкое, 22, 23 – Ингашино, 24 – Верхнеалданское, 25 – Ингилийское; алмазоносные районы: I – Котуй-Меймечинский, II – Куонапский, III – Среднеолёнский, IV – Нижнеолёнский, V – Верхнемунский, VI – Далдино-Алакитский, VII – Среднемархинский, VIII – Малоботуобинский, IX – Моркокинский, X – Анабарский

образные равномерно окрашенные в жёлтый цвет октаэдриды II разновидности, аналогичные этой группе алмазов Дьюкунахского района ЦАСП. Следовательно, по совокупности типоморфных признаков и спектру кристаллов отдельных морфогенетических групп (разновидности, габитус и морфологические типы) алмазы из каменноугольного коллектора Тычанской площади и Байкитской области не имеют аналогов

среди таковых из известных кимберлитовых тел и россыпей Сибирской платформы, что предполагает их собственные продуктивные коренные источники среднепалеозойского возраста. Для них характерна множественность первоисточников (вероятно, порядка 3–4), которыми могут быть несколько кимберлитовых трубок или, возможно, кимберлитовых полей двух эпох магматизма (среднепалеозойская и докембрийская). Выделяются группы алмазов (не исключена возможность смешивания индивидов из нескольких кимберлитовых полей) с преобладанием кристаллов октаэдрического габитуса (>50%), являющихся типоморфным признаком богатых кимберлитовых трубок мирнинского типа, и подчинённой ролью других алмазов, часть из которых встречается только в этом регионе. Материалы комплексного исследования алмазов Саяно-Тунгусской области менее информативны. К настоящему времени имеются [7–9] результаты исследований алмазов из Присянской области (Чуно-Бирюсинский и Ковинский алмазоносные районы), а также 48 кристаллов из Тунгусской площади (Верхне-Катангский, Таймура-Чуньский и Нижне-Тунгусский алмазоносные районы). Алмазы Саяно-Тунгусской области [7] характеризуются сравнительно небольшим размером (5–10 мг, в среднем 9,4 мг). Превалируют кристаллы класса $-2+1$ мм при сравнительно небольших, примерно равных количествах классов $-4+2$ мм и $-1+0,5$ мм (5–10%) и единичных находках более крупных индивидов класса $-8+4$ мм. Типичны округлые алмазы уральского типа (>50%), при заметном содержании поликристаллических образований типа баллас (до 10%). На долю кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов приходится лишь 25%. Содержание двойников и сростков не более 15%. Много кристаллов с леденцовой скульптурой (до 50%) при высоком содержании индивидов с кавернами, матировкой и коррозией до 20%. Подавляющее большинство алмазов обладает высокой степенью прозрачности, а доля окрашенных камней не превышает 35%. Более 20% индивидов имеют зелёные и бурые пятна пигментации радиационного происхождения, половину из которых составляют бурые, что на 2–3 порядка выше значений для алмазов из россыпей других районов Сибирской платформы [8]. Практически все изученные кристаллы с бурыми пятнами пигментации представлены округлыми алмазами уральского типа. Зелёные пятна пигментации немного реже встречаются на додекаэдроидов с шагренью и полосами пластической деформации. Содержание алмазов с признаками ожелезнения составляет 20%, что в 2–3 раза ниже, чем в мезозойских и кайнозойских россыпях северо-востока Сибирской платформы, и на два порядка выше, чем в верхнепалеозойских коллекторах Малоботубинского алмазоносного района (ботубинская свита), Приленского (нучча-юрэгинская свита) и Тычанского (тычанская свита) районов. Среди алмазов

Южно-Тунгусской области (бассейн р. Нижняя Тунгуска) преобладают кристаллы с сине-голубой фотолюминесценцией при близких содержаниях индивидов с зелёным (20%) и розово-сиреневым (17%) свечением. В этом они напоминают алмазы из нижнекаменноугольных и современных отложений Кютюндинской области и её юго-западного и северо-восточного обрамлений. Содержание твёрдых включений в алмазах около 25%, в том числе сингенетических 6%, причём среди последних высокая (20%) доля включений эклогитовой ассоциации (оранжевый гранат). Нечто подобное отмечено для алмазов из россыпей северо-востока Сибирской платформы. По степени сохранности (целостности) преобладают (более половины) целые и в незначительной степени повреждённые индивиды при примерно равных соотношениях (до 20%) обломанных кристаллов и обломков. Вместе с тем, более 75% всех алмазов не имеют трещин при значительном (>17%) содержании кристаллов с механическим износом выкрашивания и 4% индивидов с серповидными трещинами и ромбическим узором, причём последняя цифра максимальна для россыпей СП. Отсутствуют алмазы с механическим износом истирания, характерным для россыпей северо-востока Сибирской платформы. Приведённые данные свидетельствуют о неоднократных перемыве и переотложении алмазов, обусловивших естественную сортировку и значительную удалённость от первоисточников.

Отмечена тесная корреляционная связь кристалломорфологических особенностей алмазов описываемой территории с их прозрачностью, окраской, фотолюминесценцией, оптически активными центрами и другими особенностями [8]. Так, для кристаллов ряда октаэдр–ромбододекаэдр характерны: высокая степень прозрачности, низкая концентрация окрашенных индивидов, сине-голубая фотолюминесценция, а также преобладание кристаллов с центром N3. Для скрыто-слоистых округлых алмазов уральского (бразильского) типа присущи также высокая степень прозрачности, практическое отсутствие дымчато-коричневых кристаллов при наличии индивидов с соломенно-жёлтой окраской, леденцовая скульптура на рёбрах, сине-голубая и розово-сиреневая фотолюминесценция, преобладание кристаллов с центром N3. Для додекаэдроидов с шагренью характерны лилово-коричневая окраска, полосы пластической деформации, жёлто-зелёная фотолюминесценция, преобладание кристаллов с центрами N3, N4 и другие особенности. Содержание двойников и сростков низкое и не превышает 10%, преобладают двойники по шпинелевому закону. Характерной особенностью изученных алмазов является высокое (до 65%) количество кристаллов с признаками природного травления (преимущественно леденцовая скульптура в виде оплавления рёбер). Отмечено, что ~20% алмазов с кавернами, коррозией и матировкой; шрамы (каналы травления), в отличие от россыпей северо-



Рис. 2. Алмазы из древних отложений Тунгусской алмазоносной субпровинции

востока Сибирской платформы, для кристаллов этой территории не характерны. Степень прозрачности алмазов очень высокая – преобладают весьма прозрачные и прозрачные, причём окрашенных и дымчато-коричневых кристаллов иногда больше 35%. Доминируют лилово-коричневая и дымчато-коричневая окраски (обычно слабой интенсивности). Количество кристаллов с соломенно-жёлтой окраской редко превышает 3%. Характерная особенность алмазов из древних осадочных толщ описываемой территории – заметное (>13%) содержание кристаллов с зелёными пятнами пигментации, а также окраской цвета морской волны и позеленением по трещинам, возникающим вследствие радиоактивного облучения обычно в терригенных алмазоносных формациях древнего возраста [6, 15]. Именно для этой группы алмазов установлено [9] присутствие центров GR1 и ND1. Такого рода окраской изученные алмазы близки к кристаллам из россыпей Урала и свиты витваттерсранд (ЮАР) докембрийского возраста. Отмечено существенное (>8%) количество кристаллов с бурыми пятнами пигментации, возникновение которых связано с отжигом зелёных пятен при высокотемпературном метаморфизме (при $T > 550^{\circ}\text{C}$). Концентрация такого рода алмазов в древних осадочных толщах Тунгусской алмазоносной субпровинции более чем на два порядка превышает их количество в россыпях северо-востока Сибирской платформы, но близкое к таковому в древних терригенных алмазоносных формациях мира (Урал, ЮАР, Бразилия и др.). Для подобного типа алмазов также отмечены центры GR1 и ND1. Количество ожелезнённых алмазов не превышает 20%, что заметно ниже по сравнению со многими россыпями центра и северо-востока СП. Преобладают (>50%) алмазы с сине-голубой фотолуминесценцией при заметных количествах индивидов с зелёным и розово-

сиреневым свечением (20 и 17%, соответственно), а также жёлтой (около 10%) фотолуминесценцией.

Для алмазов *Присянья* (Чуно-Бирюсинский район) характерна повышенная крупность, при высокой средней массе кристаллов (39,0 мг), что близко к средней массе из россыпей Урала, имеющих сложную экзогенную историю [3]. Среди изученных кристаллов резко (97,9%) преобладают бесцветные иногда эпигенетически окрашенные в дымчато-коричневые (из-за пластической деформации), а также в зелёные и жёлто-бурые (из-за пигментации радиационного происхождения) цвета алмазы I разновидности различной морфологии. Встречены единичные равномерно окрашенные в янтарно-жёлтый цвет кубы II разновидности, бесцветные полубалласы VI разновидности и серо-стальные карбонадо бразильского типа X разновидности [2, 11]. По своим кристалломорфологическим особенностям среди кристаллов I разновидности преобладают (48,9%) типичные округлые алмазы уральского (бразильского) типа, в основном додекаэдриды, реже (4,8%) октаэдриды. Следует отметить довольно высокое (22,1%) содержание кристаллов октаэдрического габитуса в основном со сноповидной штриховкой (7,6%) и полицентрически растущими гранями (7,6%), а также плоскогранных острорёберных октаэдров (3,4%). При сравнительно невысоком содержании кристаллов переходной формы (7,6%) и ламинарных ромбододекаэдров (9,6%) обращает на себя внимание преобладание гладкогранных скрытослоистых округлых алмазов (в сумме 31%) над додекаэдридами с шагренью и полосами пластической деформации (17,9%). Для алмазов характерно низкое (12,1%) содержание двойников и высокое (70,4%) кристаллов с признаками природного травления, представленных преимущественно леденцовой скульптурой в виде сглаживания (оплавления) вершин, рёбер и гранных швов кристаллов. Алмазам свойственна высокая степень прозрачности и значительное (42,1%) содержание окрашенных камней в основном за счёт приповерхностной бледно-зелёной окраски цвета морской волны радиационного происхождения (16,6%), которое снимается при их огранке в бриллианты. Общее содержание индивидов с признаками слабого ожелезнения очень низкое и составляет 5,5%. Особенностью изученных алмазов является максимальное количество пигментированных камней с зелёными и особенно бурыми пятнами, что является [6] типоморфным признаком кристаллов из терригенных алмазоносных формаций мира докембрийского возраста. Количество таких кристаллов составляет более одной трети изученной выборки (то есть 34,4% от общего количества индивидов), причём в 25,5% из них преобладают зелёные пятна пигментации, а в 3,4% позеленение по трещинам радиационного происхождения.

По степени распространённости первое место на Сибирской платформе наряду с бассейном р. Нижняя Тунгуска (8,1%) занимают алмазы с бурыми пятнами

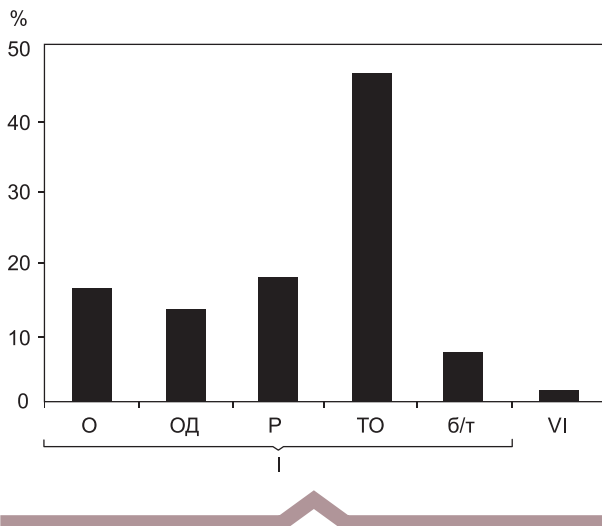


Рис. 3. Типоморфные особенности алмазов из отложений Тунгусской алмазоносной субпровинции:

I, VI – разновидности алмазов, по Ю.Л. Орлову (О – октаэдры, ОД – переходные формы, Р – ламинарные ромбододекаэдры, ТО – сумма типично округлых алмазов, б/т – осколки)

пигментации (4,1%), а также комбинацией буро-зелёных (1,4%). Хотя их суммарное содержание, подверженное метаморфогенному отжигу при T 550–600°C, в Присаянье составляет 8,6% (пятна бурые, буро-зелёные и жёлто-бурые, окраска радиационного происхождения). Это близко к кристаллам бассейна р. Нижняя Тунгуска.

Следует отметить, что суммарное содержание алмазов с окраской цвета морской волны, зелёными пятнами пигментации и позеленения по трещинам составляет 42,1% – максимальное на СП [3], – что сближает их с терригенными докембрийскими алмазоносными формациями мира [14], бассейном р. Нижняя Тунгуска [8, 10], рядом россыпей Урала [9] и Среднего Тимана [16]. Это, по мнению авторов данной статьи, свидетельствует о существовании в районе Присаянья высокотемпературных интрузивов основного состава (дайки, штоки и др.), внедрение которых привело к региональному метаморфизму алмазоносных древних вторичных коллекторов. Для алмазов свойственно низкое (25,6%) содержание кристаллов с твёрдыми включениями при высоком (7,7%) количестве сингенетических включений, среди которых доминируют включения эклогитовой ассоциации. Алмазы характеризуются высокой степенью сохранности (целостностью) и низкой степенью трещиноватости при значительном (22,7%) содержании кристаллов с механическим износом, среди которых много камней с ромбическим узором трещин (7,6%). Следует отметить, что среди изученных алмазов полностью отсутствует механический износ истирания, преобладающий (10–45%) в разновозрастных россыпях северо-востока Сибирской платформы. В При-

саянье преобладают целые высокопрозрачные бесцветные кристаллы, высокое качество которых приближается к таковым из россыпей Урала в сопоставимых классах крупности. Это позволяет (по аналогии с Уралом) предположить, что россыпи Присаянья могут оказаться рентабельными для эксплуатации даже при убогих содержаниях алмазов (в пределах 0,03–0,05 кар/м³). Типоморфными особенностями алмазов Присаянья являются: повышенная крупность кристаллов при средней массе 39 мг; резкое преобладание типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа (додекаэдрониды, реже октаэдрониды) при единичных находках жёлтых кубов II разновидности, бесцветных балласов VI разновидности и чёрных карбонадо бразильского типа X разновидности; низкое содержание двойников и сростков; высокое содержание кристаллов с леденцовой скульптурой, реже своеобразными кавернами без штриховки на днище и тригонтриоктаэдронидов растворения; очень высокая степень прозрачности; невысокое содержание алмазов с лилово-коричневой окраской при преобладании кристаллов с эпигенетической поверхностной окраской цвета морской волны, зелёными и бурыми пятнами пигментации радиационного происхождения с их последующим отжигом при $T > 550^\circ\text{C}$ во вторичном коллекторе; низкое содержание индивидов с сингенетическими графит-сульфидными включениями и при высоком содержании сингенетических включений преимущественно эклогитового парагенезиса; высокая степень сохранности (целостность) и низкая степень трещиноватости, а также высокое содержание кристаллов со своеобразным механическим износом (выкрашивание, фигуры удара и ромбический узор трещин) при полном отсутствии износа истирания; высокое качество алмазного сырья. Не исключено, что такого рода износ объясняется своеобразием плотика, сложенного высокопрочными породами докембрийского возраста (кварциты, гнейсы, кристаллические сланцы и др.). В целом по своим типоморфным особенностям изученные алмазы близки к кристаллам из россыпей бассейна р. Нижняя Тунгуска, что, по мнению авторов [7–9], может свидетельствовать о генеральном направлении сноса с юго-запада (Присаянье) на северо-восток в пределах Иркутского амфитеатра начиная с протерозоя. Судя по присутствию балласов в россыпях бассейна р. Нижняя Тунгуска, карбонадо в бассейне верхнего течения р. Виллой и балласов тунгусского типа в СМАР, типичных округлых алмазов и тригонтриоктаэдров I разновидности, снос мог достигать зоны сочленения Тунгусской синеклизы и Анабарской антеклизы (междуречье рек Марха и Тюннг). По ряду типоморфных особенностей изученные алмазы близки к россыпям Урала и Среднего Тимана. Однако в отличие от них, характеризуются более высоким (не менее чем в 3–5 раз) содержанием ламинарных кристаллов ряда октаэдр–ромбододекаэдр (преимущественно октаэдров), что свиде-

тельствует о полигенезе их коренных источников (не менее двух полей докембрийской фазы и одного для фанерозойской фазы магматизма). Аналогичный спектр алмазов с близкими типоморфными особенностями отсутствует как в кимберлитовых телах, так и россыпях центральной и северо-восточной частей Сибирской платформы. Подобного рода кристаллы также характерны для сопредельных с севером Иркутской области территорий Красноярского края (Верхне-Катангский, Нижне-Тунгусский и Таймура-Чунынский алмазоносные районы).

Для изученных алмазов этой территории типично существенное (>25%) количество кристаллов с твёрдыми включениями, среди которых доминируют (17%) эпигенетические графит-сульфидные выделения в виде розеток, ухудшающих качество алмазного сырья. Концентрация твёрдых сингенетических включений в алмазах региона достаточно высокая по сравнению с большинством известных россыпей Сибирской платформы (а также Урала и Тимана) и составляет примерно 8% от общего количества изученных кристаллов. Больше половины приходится на включения эклогитовой ассоциации, среди которых диагностированы гранаты оранжевого цвета пироп-альмандинового состава, а также омфацита бледно-зелёного цвета. Отдельные бесцветные включения кубооктаэдрического габитуса условно отнесены к оливину, а некоторые зёрна смоляно-чёрного цвета с красноватым оттенком по краям октаэдрического габитуса отнесены к хромшпинелиду. Преобладают [4, 8] включения эклогитового генезиса с облегчённым изотопным составом ($\delta^{13}\text{C} = -10\text{--}20\text{‰}$) углерода. По этим показателям алмазы различных классов крупности практически не различаются, что свидетельствует, в отличие от кристаллов из Тычанского карбонового коллектора Красноярского края, о происхождении их из одного типа первоисточника. Редки (~1%) эпигенетические включения сульфидов гидротермального генезиса. Это подчёркивает незначительную сульфидизацию древних вторичных коллекторов Присяня. Изученные алмазы отличается очень низкая степень трещиноватости (~10%), причём присутствуют только единичные глубокие трещины и не встречено поверхностных, что может свидетельствовать о сложной истории кристаллов, их неоднократном перемыве и переотложении во вторичных коллекторах различного возраста и генезиса начиная от докембрийского возраста, в процессе которого были уничтожены все дефектные камни и резко улучшилась степень их сохранности (целостность). В отличие от степени сохранности (целостности) алмазов их трещиноватость является низкой независимо от крупности. Среди изученных алмазов Присяня преобладают целые высокопрозрачные бесцветные кристаллы, их высокое качество приближается [8] к таковому из россыпей Урала в сопоставимых классах крупности. Это позволяет (по аналогии с Уралом) предположить,

что россыпи Присяня могут оказаться рентабельными для эксплуатации даже при убогих концентрациях алмазов (в пределах 0,03–0,05 кар/м³). Результаты комплексного минералогического исследования алмазов Саяно-Тунгусской алмазоносной области свидетельствуют о множественности их коренных первоисточников, которых может быть не менее трёх [7–9]. К первому относится значительное (~30%) содержание кристаллов октаэдрического, ромбододекаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов I разновидности, характерных для богатых кимберлитовых тел I типа первоисточников фанерозойского возраста, что более чем в пять раз выше по сравнению с россыпями Урала и в 12 раз выше по сравнению с россыпями Среднего Тимана. Вместе с тем среди них преобладают (>50%) округлые алмазы уральского (бразильского) типа I разновидности II типа первоисточника, характерного для кимберлитовых тел с убогой алмазоносностью и кимберлитовых жил [8]. В ассоциации с ними встречаются такие типоморфные признаки алмазов формаций докембрийского возраста, как балласты VI разновидности и карбонадо X разновидности, для которых предполагается некимберлитовый генезис [9]. Следует также отметить и присутствие среди алмазов Присяня жёлто-оранжевых кубоидов II разновидности, близких [7] по своим типоморфным особенностям к алмазам метаморфического генезиса кумдыкольского типа (первоисточник третьего типа).

Таким образом, проведённый анализ типоморфных особенностей алмазов Байкитской и Саяно-Тунгусской областей ТАСП подтверждает их различие, что предполагает неодинаковую роль коренных источников отдельных эпох кимберлитового магматизма в формировании алмазоносных отложений. Для поисков богатых коренных источников алмазов среднепалеозойского возраста наиболее благоприятна территория Байкитской области. Судя по опосредованности Саяно-Тунгусской области, максимальное влияние на формирование здесь россыпей алмазов оказала докембрийская фаза кимберлитового магматизма в Присяне и других подобных структурах южного обрамления Сибирской платформы, откуда кристаллы сносились в Иркутский амфитеатр. Возможные коренные источники среднего палеозоя и мезозоя были убогоалмазоносны и не оказали заметного влияния на россыпную алмазоносность региона. Всё это соответствует мнению о приуроченности областей распространения округлых алмазов к полям развития докембрийских терригенных формаций мира. Результаты комплексного исследования типоморфных особенностей алмазов из россыпей ТАСП позволили выделять в южной, юго-западной и юго-восточной частях Сибирской платформы отдельные алмазоносные области, районы и поля, для которых можно прогнозировать тип первоисточников, уровень их потенциальной рудоносности, а также

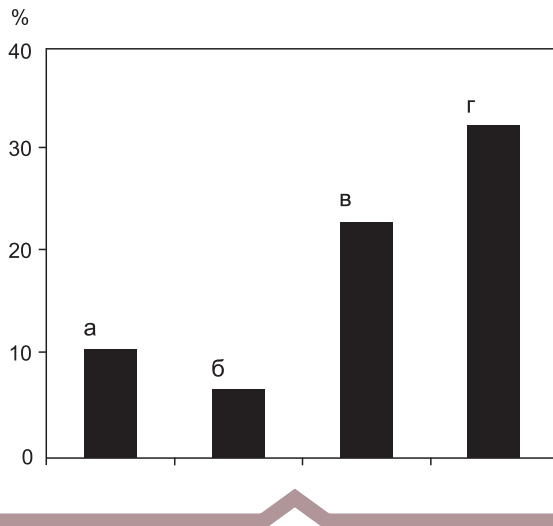


Рис. 4. Некоторые типоморфные особенности алмазов Тунгусской субпровинции:

а – двойники и сростки, б – двойники, в – окрашенные алмазы, г – алмазы с твёрдыми включениями

качество алмазного сырья. В пределах юго-западной части СП с преобладанием типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа, характерных также для россыпей Урала и северо-востока платформы (то есть её краевых частей), а также докембрийских терригенных алмазоносных формаций мира, могут выделяться локальные участки, для которых предполагается множественность первоисточников при заметном преобладании кристаллов ассоциации мирнинского типа, возраст коренных источников которых в МБАР установлен как верхний девон–нижний карбон, что позволяет прогнозировать нахождение в данном регионе ещё неоткрытых коренных источников среднепалеозойского и более древнего возрастов. Типоморфные особенности алмазов Тарыдакского ореола карбонового возраста не позволяют заявлять о непосредственной близости на этой территории коренных источников, что подтверждается гранулометрией, степенью сохранности и механическим износом алмазов, не характерных для ореолов ближнего сноса. Аналогичные свойства алмазов Шушукского каменноугольного ореола свидетельствуют о региональном распространении мелких кристаллов октаэдрического габитуса в пределах юго-западного и северо-восточного бортов ТАС, что отличает данный регион от севера Иркутской области и Присяянья. К типоморфным особенностям алмазов Присяянья относятся: повышенная крупность кристаллов; резкое преобладание типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа (додекаэдры, реже октаэдриды) при единичных находках жёлтых кубов II, бесцветных балласов VI и чёрных карбонадо бразильского типа X разновидности; низкое содер-

жание двойников и сростков; высокое содержание кристаллов с леденцовой скульптурой, реже своеобразными кавернами без штриховки на днище и тригонтриоктаэдридов растворения; высокая степень прозрачности и невысокое количество алмазов с лилово-коричневой окраской при преобладании кристаллов с эпигенетической поверхностной окраской цвета морской волны, зелёными и бурыми пятнами пигментации при отжиге ($T\ 550^{\circ}\text{C}$) во вторичном коллекторе; низкое содержание индивидов с сингенетическими графит-сульфидными включениями и при высокой роли сингенетических включений преимущественно эклогитового парагенезиса; высокое количество кристаллов со своеобразным механическим износом (выкрашивание, фигуры удара и ромбический узор трещин) при полном отсутствии износа истирания, а также высокое качество сырья. Не исключено, что такого рода износ объясняется своеобразием плотика, сложенного высокопрочными породами докембрийского возраста (кварциты, гнейсы, кристаллические сланцы и др.). В целом по своим типоморфным особенностям изученные алмазы близки к кристаллам из бассейна р. Нижняя Тунгуска, что может свидетельствовать о генеральном направлении сноса с юго-запада (Присяянье) на северо-восток в пределы Иркутского амфитеатра начиная с протерозоя. Судя по присутствию балласов в россыпях бассейна р. Нижняя Тунгуска и в СМАР, карбонадо в бассейне верхнего течения р. Вилюй и типичных округлых алмазов и тригонтриоктаэдров I разновидности, снос алмазного материала мог достигать зоны сочленения Тунгусской синеклизы и Анабарской антеклизы. Рядом типоморфных особенностей алмазы описываемой территории близки к минералам из россыпей Урала и Среднего Тимана [7, 8, 14, 16], но в отличие от последних характеризуются более высокой (не менее чем в 3–5 раз) ролью ламинарных кристаллов ряда октаэдр–ромбододекаэдр, что свидетельствует о полигенезе их коренных источников (не менее двух полей докембрийской и одного из фанерозойской фазы магматизма). Такие кристаллы характерны и для сопредельных с севером Иркутской области территорий Красноярского края (Верхнекатангский, Нижнетунгусский и Таймура-Чуеньский алмазоносный районы).

Результаты комплексного минералогического исследования алмазов из древних россыпей и проявлений ТАСП и их сравнение с кристаллами из других субпровинций и полей Сибирской платформы показали, что первые характеризуются определённым комплексом типоморфных особенностей и набором минералогических ассоциаций. Протяжённость древних россыпей в ТАСП, сформированных преимущественно за счёт размыва и переотложения разновозрастных ещё более древних (в том числе и докембрийских) вторичных коллекторов, которые обычно выходят за пределы алмазоносного района, может превышать сотни километров. Их алмазоносность заметно снижается

вниз по течению водотоков I порядка. Среди алмазов в этих россыпях значительную долю составляют округлые алмазы уральского (бразильского) типа, практически отсутствующие в высокопродуктивных кимберлитовых телах МБАР и СМАР в ассоциации с жёлто-оранжевыми кубоидами II разновидности и баллассами VI разновидности (тунгусского и уральского типов), часть из которых с признаками травления, не характерными для кристаллов из трубок среднепалеозойского возраста, а также механического износа. Следует отметить полигенность минералогических ассоциаций алмазов из древних россыпей ТАСП в пределах отдельных алмазоносных районов с широким проявлением россыпной алмазоносности, достигающей повышенных концентраций вместе с алмазопоявлениями карбонового возраста (Тычанский, Тарыдакский и Шушукский ореолы). Локальный прогноз их коренных источников возможен при более крупномасштабных исследованиях с использованием электронной базы данных покристалльного минералогического изучения алмазов с детальными исследованиями по смежным направлениям с обязательным привлечением и анализом всех имеющихся геологических материалов по этим территориям, что определяет стратегию ведения алмазопроисловых работ в регионе. Комплекс особенностей алмазов из россыпей ТАСП по морфологии, окраске, твёрдым включениям, внутреннему строению, фотолюминесценции, примесному составу свидетельствует о множественности первоисточников и наличии в пределах района ещё не открытых кимберлитовых тел. Среди них могут быть месторождения с высоким содержанием алмазов. Отмечено существование регионального минералогического фона типичных округлых алмазов в древних россыпях, который не затухивается даже при наложении на него алмазов из высокоалмазоносных карбоновых коллекторов и россыпей, имеющих совпадающие с ними по площади россыпные ореолы докембрийского и позднепалеозойского возраста в ТАСП. Важное значение имеет использование типоморфных особенностей кристаллов для восстановления экзогенной истории алмазов на пути от коренных источников до мест их нахождения в россыпях, для палеографических реконструкций распространения древних продуктивных отложений и выяснения направлений сноса алмазоносного материала. Проведённое на примере Тунгусской алмазоносной субпровинции Сибирской платформы минералогическое районирование территории россыпной алмазоносности по типоморфным особенностям алмазов показывает возможности проведения локализации перспективных площадей и поиска коренных источников этого минерала, являющегося значительно более устойчивым в экзогенных условиях по сравнению с другими мантийными образованиями. По подобным признакам поискового прогнозирования возможно обнаружение высокоалмазо-

носных кимберлитовых тел в Байkitской области ТАСП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Атлас морфологии алмазов России* / В.П.Афанасьев, Э.С.Ефимова, Н.Н.Зинчук, В.И.Коптиль. – Новосибирск: СО РАН НИЦ ОИГТМ, 2000.
2. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П.* Поисковая минералогия алмаза. – Новосибирск: Гео, 2010.
3. *Бартошинский З.В.* Минералогическая классификация природных алмазов // Минералогический журнал. 1983. Т. 5. № 5. С. 84–93.
4. *Галимов Э.М.* Вариации изотопного состава алмазов и связь их с условиями алмазообразования // Геохимия. 1984. № 8. С. 1091–1117.
5. *Гневушев М.А., Бартошинский З.В.* К морфологии якутских алмазов // Тр. ЯФ СО АН СССР. Сер. геол. 1959. Вып. 4. С. 74–92.
6. *Докембрийские алмазоносные формации Мира* / М.П.Метелкина, Б.И.Прокопчук, О.В.Суходольская, Е.В.Францесон. – М.: Недра, 1976.
7. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.* Алмазы Тунгусской алмазоносной субпровинции Сибирской платформы. Ст. 1. Алмазы Байkitской области // Бюллетень МОИП. Отд. геол. 2002. Т. 77. Вып. 6. С. 63–77.
8. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.* Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. – М.: Недра, 2003.
9. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.* Характеристика алмазов Тунгусской алмазоносной субпровинции Сибирской платформы. Ст. 2. Южно-Тунгусская область // Бюллетень МОИП. Отд. геол. 2003. Т. 78. Вып. 1. С. 54–65.
10. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Борис Е.И.* Основные аспекты разномасштабного районирования территорий по типоморфным особенностям алмазов (на примере Сибирской платформы) // Геология рудных месторождений. 1999. Т. 41. Вып. 16. № 6. С. 516–526.
11. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Борис Е.И.* Среднемасштабное районирование территории Центрально-Сибирской алмазоносной субпровинции по типоморфным особенностям алмазов // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. – Воронеж: ВГУ, 2001. С. 337–357.
12. *Методическое руководство по комплексному исследованию типоморфных свойств алмазов при локальном прогнозировании и поисках коренных месторождений алмазов* / Ф.В.Каминский, З.В.Бартошинский, Г.К.Блинова и др. – М.: ЦНИГРИ, 1988.
13. *О перспективах алмазоносности юго-западного фланга Тунгусской синеклизы* / В.П.Афанасьев, В.Л.Гриффин, Л.М.Натапов и др. // Геология рудных месторождений. 2005. Т. 47. № 1. С. 51–69.
14. *Орлов Ю.Л.* Минералогия алмаза. 2-е изд. – М.: Наука, 1984.
15. *Прокопчук Б.И.* Зональность размещения алмазных россыпей на древних платформах // Минеральные месторождения. – М.: Наука, 1976. С. 186–196.
16. *Россыпи алмазов России* / С.А.Граханов, В.И.Шаталов, В.А.Штыров и др. – Новосибирск: Гео, 2007.
17. *Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И.* Геолого-генетические основы шлихо-минералогического метода поисков алмазных месторождений. – М.: Недра, 1998.

Геохимические индикаторы формирования подземных вод Юго-Восточного Беломорья

А.И.МАЛОВ (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П.Лаверова Российской академии наук (ФГБУН ФИЦКИА РАН); 163061, г. Архангельск, набережная Северной Двины, 23)

Выяснены источники формирования состава и эволюции подземных вод на юго-восточном побережье Белого моря. Для этого были изучены более пятидесяти проб подземных вод из водоносных горизонтов четвертичных, каменноугольных и вендских терригенно-карбонатных отложений. Установлено, что в пресных водах отношение Na/Ca повышается от 0,2 до 40. Это связано с последовательной заменой процесса растворения карбонатов на процессы гидролиза Na-алюмосиликатов и смешивания пресной воды с солёной. В солоноватых и солёных водах отношение Na/Ca снижается до 1–4. Наиболее вероятным процессом является гидролиз Ca-алюмосиликатов, который указывает на значительное время взаимодействия вода–порода.

Ключевые слова: подземные воды, химический состав, геохимические индикаторы, Юго-Восточное Беломорье.

Малов Александр Иванович
доктор геолого-минералогических наук



malovai@yandex.ru

Geochemical indicators of groundwater formation in the South-Eastern Belomorje

A.I.MALOV (Federal Center for Integrated Arctic Research of RAS)

The specific objective of the study is to clarify the sources of formation of the composition and evolution of groundwater on the southeastern coast of the White Sea. To solve it, more than fifty groundwater samples from aquifers of Quaternary, Carboniferous and Vendian terrigenous-carbonate sediments were studied. The ratio of Na/Ca rises from 0,2 to 40. It is due to successive replacement of the process of calcite dissolution in the recharge area on the watershed by the process of hydrolysis of sodium aluminosilicates in the transit zone and by the processes of mixing fresh water with salt water and brines. In the brackish and salty waters the Na/Ca ratio is reduced to 1–4. The most probable process is the hydrolysis of Ca-aluminosilicates, which indicates a significant time of water–rock interaction.

Key words: groundwater, chemical composition, geochemical indicators, South-Eastern Belomorje.

Рассматриваемая территория – одна из наиболее освоенных на Европейском Севере России. Здесь сосредоточены значительные ресурсы питьевых и минеральных подземных вод, которые, однако, используются в крайне ограниченных количествах. Это связано со сложными гидрохимическими условиями в водоносных горизонтах. Территория находится на морском побережье и неоднократно затапливалась морем, о чём свидетельствует практически повсеместное развитие морских отложений микулинского межледниковья и в меньшей степени, преимущественно на приустьевых участках рек, впадающих в Белое море, отложений валдайских и голоценовых трансгрессий. В это время совершалось засоление водоносных горизонтов. В континентальные периоды происходило их рассоление за счёт инфильтрующихся в областях питания атмосферных осадков. Поэтому в настоящее время химический состав подземных вод может быть объяснён смешением солёной морской воды с пресной метеорной, обогащённой растворённым веществом отложений водоносных горизонтов. Кроме того, установлены очаги разгрузки рассолов нижнепермского возраста вблизи морского побережья [2, 4], из-за чего также возможно их участие в формировании химического состава подземных вод. Отсутствие чётко выраженных водоупоров при добыче питьевых и минеральных вод зачастую приводит к осложнениям, выражающимся в существенном изменении их состава по сравнению с кондициями.

Рассматриваемая территория – одна из наиболее освоенных на Европейском Севере России. Здесь сосредоточены значительные ресурсы питьевых и минеральных подземных вод, которые, однако, используются в крайне ограниченных количествах. Это связано со сложными гидрохимическими условиями в водоносных горизонтах. Территория находится на морском побережье и неоднократно затапливалась морем, о чём свидетельствует практически повсеместное развитие морских отложений микулинского межледниковья и в меньшей степени, преимущественно на приустьевых участках рек, впадающих в Белое море, отложений валдайских и голоценовых трансгрессий. В это время совершалось засоление водоносных горизонтов. В континентальные периоды происходило их рассоление за счёт инфильтрующихся в областях питания атмосферных осадков. Поэтому в настоящее время химический состав подземных вод может быть объяснён смешением солёной морской воды с пресной метеорной, обогащённой растворённым веществом отложений водоносных горизонтов. Кроме того, установлены очаги разгрузки рассолов нижнепермского возраста вблизи морского побережья [2, 4], из-за чего также возможно их участие в формировании химического состава подземных вод. Отсутствие чётко выраженных водоупоров при добыче питьевых и минеральных вод зачастую приводит к осложнениям, выражающимся в существенном изменении их состава по сравнению с кондициями.

Отдельные аспекты феноменологической концептуальной модели области исследований, главным образом качественные, рассматривались ранее, в частности, в работе [5]. Однако всестороннее изучение естественных геохимических индикаторов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) для определения взаимодействия между водой и породой отсутствует. Поэтому конкретной задачей исследования было выяснение естественной эволюции химии подземных вод в позднем плейстоцене–голоцене. Результаты этого исследования обеспечивают лучшее понимание взаимосвязи различных потоков подземных вод вблизи морского побережья и способствуют их более обоснованному и эффективному использованию в современный период антропогенного воздействия.

Геолого-гидрогеологические условия. Исследования выполнены в пределах Северо-Двинской впадины ($39^\circ 30' - 41^\circ 57'$ в.д. и $64^\circ 06' - 64^\circ 48'$ с.ш.), являющейся продолжением на суше Двинского залива Белого моря. Она вытянута с северо-запада на юго-восток от Двинской губы Белого моря до устья р. Пинега.

В настоящее время впадина представляет собой открытое в сторону моря чашеобразное углубление в карбонатно-терригенных отложениях среднего карбона (C_2) и терригенных – нижнего карбона–верхнего девона ($\text{C}_1 - \text{D}_3$) падунской (Vpd) и мезенской (Vmz) свит венда (рис. 1). Длина впадины 120 км, максимальные размеры поперечного сечения (по берегу Двинского залива): ширина поверху составляет 100–110, а ширина дна 30–40 км, абсолютная отметка дна –60 м. Уклон склонов $2^\circ - 3^\circ$.

Впадина заполнена в основном глинистыми отложениями бореального моря микулинского межледникового ($mQIII_{mk}$), существовавшего здесь от 140–145 до 70 тыс. лет назад [1]. По работе [6], собственно микулинское море существовало здесь 130–117 тыс. лет назад, а в период 117–20 тыс. лет назад на территории накапливались морские осадки других трансгрессий и аллювиально-озёрные отложения. В данной работе на рис. 1 все они показаны индексом $mQIII_{mk}$. Площадь их распространения в пределах впадины составляет более 7000 км², мощность достигает в центральных частях впадины 50–70 м. Глинистые отложения характеризуются значительной плотностью и прочностью. Это может быть объяснено уплотнением их под собственным весом, а также под весом перекрывавшего их 70–11,5 тыс. лет назад [1] или 20–17 тыс. лет назад [6] валдайского ледника, нагрузка от которого при мощности до 1000 м могла достигать значительных величин.

Снизу глины подстилаются 10–15-метровым слоем суглинков московской морены ($gQII_{ms}$). Возраст московского оледенения >130–140 тыс. лет [1, 6].

Ниже залегает мощная толща терригенных отложений венда, представленная переслаиванием песчаников, алевролитов и аргиллитов падунской, мезенской

и усть-пинежской свит. Её мощность составляет 600–700 м.

Падунская свита, залегающая выше абсолютной отметки –150 м, на территории Северо-Двинской впадины сложена в основном алевролитами, реже песчаниками, разделяющимися прослоями аргиллитов. Породы преимущественно красновато-коричневого цвета с линзами и пятнами бледно-зелёных тонов. Для алевролитов характерно преобладание (до 70%) крупнозернистой (0,01–0,05 мм) фракции; почти постоянно присутствуют пелитовые частицы (до 30%). Среди обломочных зёрен: кварца до 98%, полевых шпатов до 10% и слюды около 1%. Цемент преимущественно глинисто-железистый. Глинистые минералы представлены гидрослюдами, каолинитом, хлоритом. Вверх по разрезу отмечается рост содержания каолинита и снижение примеси хлорита вплоть до полного исчезновения. В верхней части разреза мощностью порядка 50 м алевролиты слабосцементированы.

Отложения мезенской свиты в верхней части разреза (–150...–300 м) представлены тонким переслаиванием аргиллитов (35–40%) с алевролитами (35–40%) и песчаниками (20–30%). Окраска от пестроцветной до полностью красноватой в отдельных разрезах. Алевролиты мезенской свиты мелко- и крупнозернистые. В обломочном материале содержатся (в %): кварца 80–95, полевых шпатов 3–8 и слюды 1–2. Иногда присутствуют полиминеральные обломки пород (до 3–4%). Цемент обычно смешанного состава: гидрослюда, хлорит, карбонат, каолинит, гидроксиды железа.

Сверху микулинские глины перекрываются 10–15-метровым слоем отложений валдайского ледникового ($gQIII_{vd}$), представленных в основном моренными валунными суглинками. На локальных участках развиты флювиогляциальные ($fQIII_{vd}$) и озёрно-ледниковые ($lgQIII_{vd}$) пески. На ограниченных площадях валдайские, реже непосредственно микулинские породы перекрываются 3–5-метровым слоем современных песчано-глинистых отложений: аллювиальных (aIV), озёрных (oIV), болотных (pIV), морских (mIV).

Долина нижнего течения р. Северная Двина проходит примерно по тальвегу Северо-Двинской впадины. Её ширина от 15 км в устье до 2 км в наиболее узкой части. Долина эрозионного происхождения, образована водными потоками валдайского ледника и прорезает почти до подошвы, а местами полностью толщу глини микулинского межледникового (см. рис. 1); в верхней части Северо-Двинской впадины она частично врежется в суглинки московской морены.

Долина реки заполнена песчано-глинистыми верхне-четвертичными и современными отложениями ($QIII - IV$): флювиогляциальными, морскими, аллювиальными, озёрно-болотными. Их суммарная мощность достигает 40–50 м.

Для 90-метровой толщи водоносного комплекса алевролитов и песчаников падунской свиты венда,

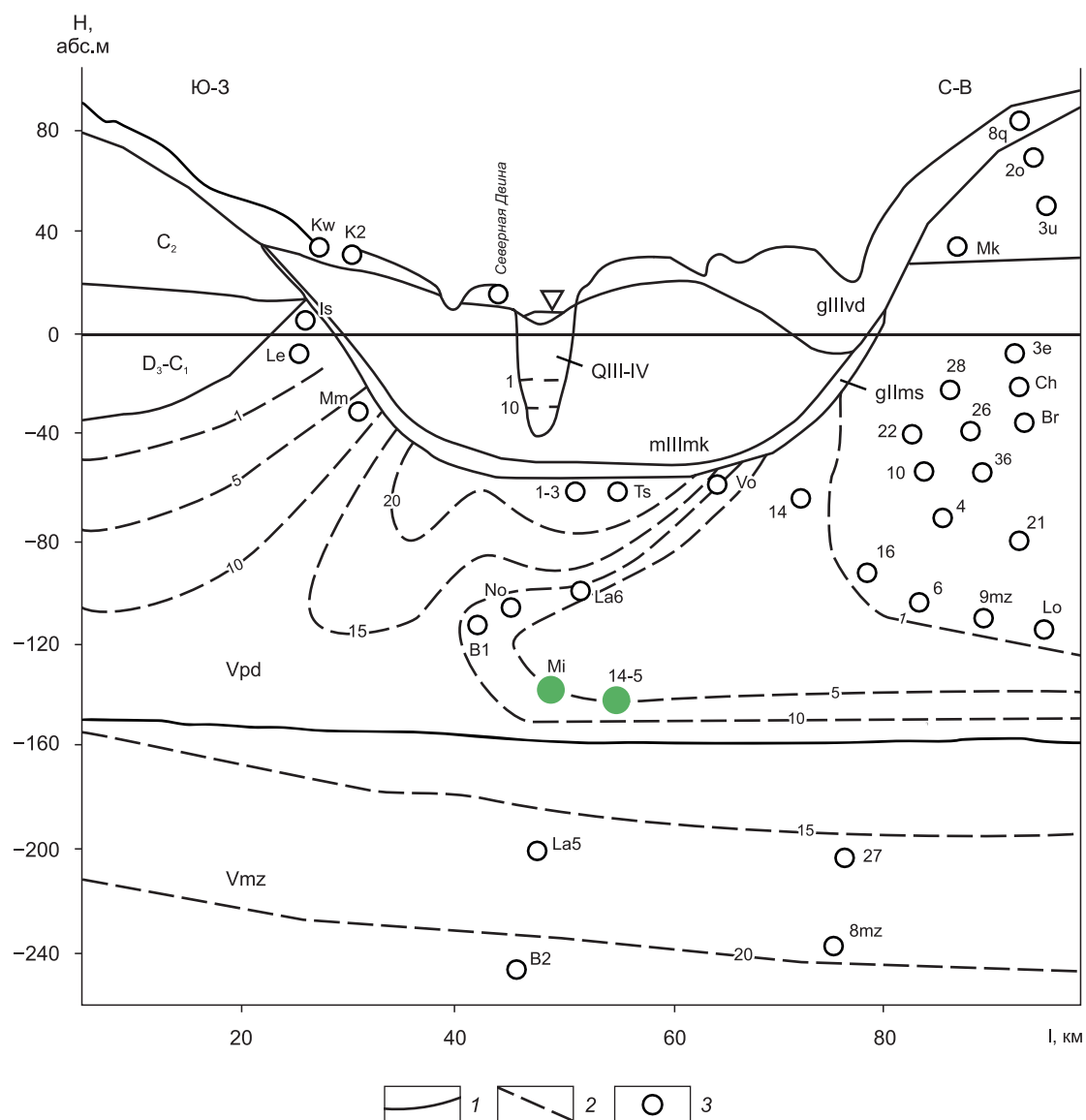


Рис. 1. Концептуальный схематический разрез системы подземных вод перпендикулярно главной оси Северо-Двинской впадины:

1 – границы стратиграфических подразделений, описание которых приведено в тексте; 2 – изолинии общей минерализации подземных вод, г/л; 3 – место отбора пробы и её наименование

располагающейся под центральной частью Северо-Двинской впадины, характерна обращённая зональность [8] с понижением минерализации подземных вод от 29 до 5 г/л (см. рис. 1). Она возникла в первую очередь благодаря опреснению подземных вод в результате длительного существования континентальных условий в мезозое и кайнозое. После трансгрессии микулинского моря ~130 тыс. лет назад опреснение подземных вод под Северо-Двинской впадиной прекратилось. Затем в эту зону инфильтрационных вод стали

поступать седиментогенные солёные поровые воды из морских глин микулинского межледниковья, отжимаемые под весом валдайского ледника. Эти воды оттесняли опреснённые воды вниз и в стороны, а также частично смешивались с ними в результате дисперсии. Глубина проникновения отжатых вод составила порядка 90 м, то есть до кровли слабопроницаемых по сравнению с отложениями падунской свиты венда отложений мезенской свиты (средние коэффициенты фильтрации, соответственно, 0,56 и 0,03 м/сутки).

Следующий не менее существенный процесс формирования химического состава подземных вод в верхней части комплекса терригенных отложений венда – подток пресных вод из областей питания на бортах впадины. Этот подток начался после того, как эрозионная деятельность потоков от тающего ледника привела к образованию долины р. Северная Двина, прорезающей толщу микулинских глин почти на полную мощность (см. рис. 1). Солёные воды из водоносного комплекса терригенных отложений падуновской свиты венда стали перетекать в долину реки, а им на смену начали подтекать пресные воды из областей питания [7, 9].

Материал и методы. В 2006 г. были отобраны десять проб, а в период 2012–2014 гг. – сорок одна проба подземных вод из четвертичных, каменноугольных и вендских водоносных горизонтов (см. таблицу).

Определения pH и температуры производились непосредственно на самоизливающихся, эксплуатируемых и наблюдательных скважинах с использованием полевой экспресс-лаборатории. Пробы воды фильтровали через фильтрующую насадку Миллекс диаметром 33 мм, диаметр пор 0,45 мкм. Пробы на катионы подкисляли 70% особо химически чистой HNO_3 . Щелочность измерялась методом потенциометрического титрования соляной кислотой на автоматизированном титраторе (Metrohm 716 DMS Titrino), используя Gran method с пределом обнаружения 10^{-5} М и аналитической точностью 2% на основе воспроизводимости повторных анализов [13]. Концентрации основных анионов (Cl , SO_4) были измерены методом ионной хроматографии (HPLC, Dionex ICS 2000) с погрешностью 2%. Концентрации кальция, магния, натрия и калия определяли с погрешностью 1–2%, используя Perkin-Elmer 5100 PC атомно-абсорбционный спектрометр (ААС) [13]. Общая минерализация подземных вод (М) определялась путём суммирования компонентов их состава.

Результаты и обсуждение. Химический состав подземных вод. Сводные химические данные по составу подземных вод и их типам на исследуемой территории приведены в таблице.

Общая минерализация пресных подземных вод в исследуемом районе составляет 171–939 мг/л. В четвертичных и каменноугольных водоносных горизонтах эти воды имели Ca-Mg-HCO_3 композицию, которая в вендском водоносном комплексе была характерна для подземных вод с минерализацией до ~300 мг/л. При М ~300–600 мг/л вода приобретала Na-HCO_3 , а при М ~600–1000 мг/л – Na-Cl состав. В целом для пресных вод Ca-Mg-HCO_3 состава свойственна слабощелочная реакция с pH 7,5–8,7, в среднем 8,1, а для Na-HCO_3 вод – pH 7,6–9,2, в среднем 8,7. Температура подземных вод была сравнительно низкой и составляла 3,7°–5,2°C.

Общая минерализация солоноватых вод – от 2523 до 10 088 мг/л с преобладанием Na и Cl в их составе. Максимальное доминирование Na^+ характерно для наименее минерализованных вод. Воды с минерализацией

5–6 г/л заметно обогащены кальцием, его содержание составляет 30–37 мг-экв/л. Содержание SO_4^{2-} в этих водах также сравнительно высокое – 15–30 мг-экв/л.

Минерализация солёных вод в водоносном комплексе падуновских отложений венда составила 12,7–27,6 г/л при Na-Cl составе. Относительное содержание Ca^{2+} и SO_4^{2-} сравнительно невысокое – 40–80 мг-экв/л и 20–40 мг-экв/л, соответственно.

Эволюция химического состава подземных вод. Пресные воды. Наименее минерализованные воды (М до 0,3 г/л) неравновесны по отношению к гипсу и ангидриту [10], но поскольку не наблюдается тренда в отношении SO_4 -Ca и отмечается дефицит SO_4 относительно Ca (рис. 2, А), растворение гипса играет подчинённую роль.

Для этих вод характерен Ca-Mg-HCO_3 состав, что связано с неравновесностью атмосферных осадков, талых и наименее минерализованных вод по отношению к кальциту, анортиту, лабрадориту, андезину, диопсиду [10].

На графике $(\text{Ca}+\text{Mg})\text{-HCO}_3$ (см. рис. 2, Б) для этих вод с М до 0,3 г/л наблюдается корреляция в соотношении 1:1. По мере повышения М увеличивается дефицит Ca и Mg. На графике Na-HCO_3 (см. рис. 2, В) для этих вод наблюдается обратная картина, то есть с увеличением минерализации миллиграмм-эквивалентное содержание Na повышается по экспоненциальной зависимости. Соответственно, Na/Ca возрастает до 40 (см. рис. 2, Г). Значения хлор-щелочных индексов $[\text{Cl}-(\text{Na}+\text{K})]/\text{Cl}$ и $[\text{Cl}-(\text{Na}+\text{K})]/(\text{SO}_4+\text{HCO}_3)$ отрицательные (см. рис. 2, Д), что указывает на ионный обмен Ca и Mg воды на Na водовмещающих отложений [14].

Это можно связывать с насыщением подземных вод по отношению к кальциту и доломиту и частичным осаждением карбонатов кальция. Одновременно повышается относительная роль гидролиза натриевых алюмосиликатов (Na-монтмориллонит, альбит) [11].

При дальнейшем увеличении общей минерализации подземных вод до 0,6–0,9 г/л концентрация Cl возрастает до 106–272 мг/л благодаря процессам смешивания пресной воды с солёной, которая разгружается в речные долины. Однако по отношению к теоретическим линиям растворения галита (см. рис. 2, Е, $y=x$) и разбавления морской воды ($y=0,86x$) содержание натрия увеличивается в 1,5–2 раза. Это свидетельствует о существенной роли других процессов перехода Na в раствор. Пересыщение подземных вод по отношению к альбиту значительно возрастает [10], поэтому можно предположить наличие катионного обмена щелочноземельных элементов со щелочными элементами. На рис. 2, А показан дефицит Ca по отношению к SO_4 , то есть минимальные концентрации Ca (в среднем 11 мг/л) в пресных подземных водах с минерализацией 0,6–0,9 г/л поддерживаются в основном за счёт растворения гипса.

Солоноватые и солёные подземные воды. На графике Ca-SO_4 (рис. 3, А) дефицит SO_4 по отношению к Ca

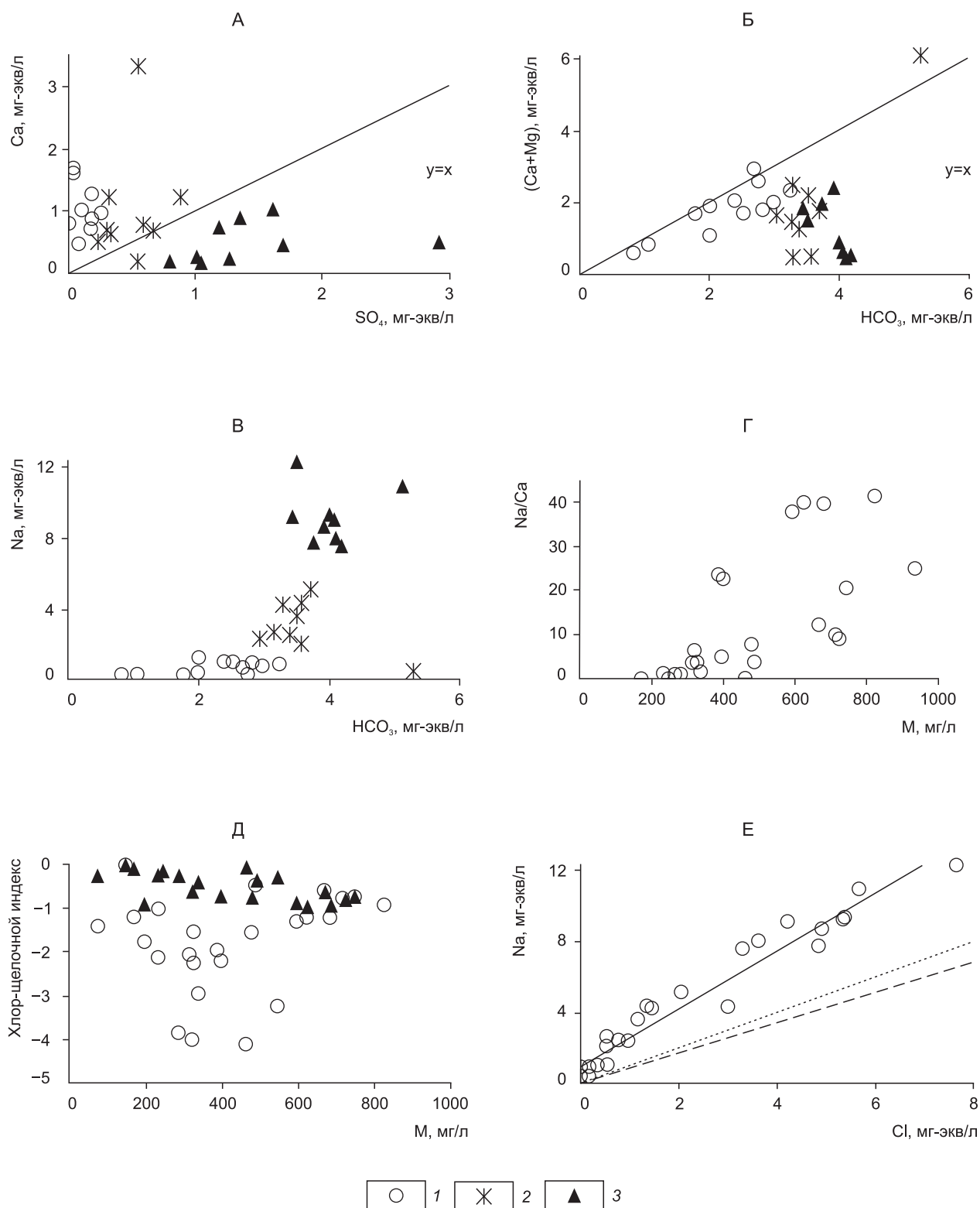


Рис. 2. Графики концентраций ионов (мг-экв/л) и их соотношений в пресных подземных водах с группировкой по значениям общей минерализации:

минерализация (в г/л): 1 – 0–0,3; 2 – 0,3–0,6; 3 – 0,6–0,9

Основные компоненты химического состава и типы подземных вод

Название пробы	Дата отбора/ глубина отбора, м	T, °C	pH	M, мг/л	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Тип воды*
Пресные воды в четвертичном водоносном комплексе (fQIIIvd)												
8q	06.05.2014/20	3,9	7,8	233	24	19,1	9,57	2,23	12,4	12	154	Na-Ca-Mg-HCO ₃
II	29.04.2014/20	4,1	7,8	463	9,15	66,5	33,6	2,28	3,26	26,3	322	Ca-Mg-HCO ₃
Пресные воды в каменноугольном водоносном комплексе (C ₂)												
2o	10.05.2014/20	4,5	7,5	171	7,28	20,1	11,3	0,35	5,35	4,77	122	Ca-Mg-HCO ₃
3u	10.05.2014/40	4,0	7,7	285	23,6	28,5	15,1	1,35	8,1	11,9	196	Ca-Mg-Na-HCO ₃
Mk	23.04.2013/40	4,8	8,2	543	52	51,5	23,8	7,73	20,4	154	233	Ca-Na-Mg-HCO ₃ -SO ₄
Пресные воды в водоносном комплексе падунских отложений венда (Vpd)												
Br	26.04.2013/120	3,7	8,3	233	24	17,4	14,7	2,36	19,3	9,04	146	Mg-Na-Ca-HCO ₃
Ch	24.04.2013/120	4,3	7,8	235	18,5	15,9	15	2,86	1,1	0,6	181	Mg-Na-Ca-HCO ₃
28	25.04.2013/120	3,9	8,6	239	20,8	13,8	13,7	5,01	5,44	8,39	172	Mg-Na-HCO ₃
Le	29.04.2014/60	5,0	8	244	6,78	32	12,6	6,37	2,26	1,64	167	Ca-Mg-HCO ₃
3e	10.05.2014/90	4,8	8,7	249	15,1	33,5	15,4	4,36	1,81	1,53	164	Ca-Mg-HCO ₃
28	10.05.2014/120	3,9	8,6	268	18,9	25,2	13,5	1,54	3,25	8,78	197	Ca-Mg-Na-HCO ₃
26	25.04.2013/140	4,4	8,5	313	55,1	13,5	12	3,53	28,5	15,5	185	Na-HCO ₃
26	14.09.2013/140	4,3	8,6	325	55	13,5	11,8	3,52	34,4	14,5	192	Na-HCO ₃
36	25.04.2013/140	5,2	8,5	326	57,1	12,1	10,8	3,2	27,5	15,9	200	Na-HCO ₃
36	10.05.2014/140	5,2	8,2	336	47,1	24,6	11,9	3,35	19,1	14,7	215	Na-Ca-HCO ₃
10	25.04.2013/140	4,3	9,2	389	97,8	3,66	3,93	4,48	51,7	26	201	Na-HCO ₃ -Cl
22	10.05.2014/140	4,6	8,5	395	83,8	14,7	8,16	3,89	41,6	29,7	214	Na-HCO ₃
10	14.09.2013/140	4,4	9,1	401	98,3	3,85	4,1	4,66	48,3	23,3	218	Na-HCO ₃ -Cl
22	25.04.2013/140	4,6	8,4	480	118	13,8	13,1	5,96	72,7	30,5	226	Na-HCO ₃
Is	23.04.2013/40	4,7	7,6	490	98,8	24,3	15,6	3,96	106	42,2	200	Na-HCO ₃ -Cl
4	25.04.2013/150	4,7	9,2	625	183	3,43	3,99	5,6	129	49,7	250	Na-HCO ₃ -Cl
21	25.04.2013/180	4,7	8,4	669	177	14,8	15,2	5,28	172	56,6	229	Na-Cl-HCO ₃
4	14.09.2013/150	4,7	9,1	686	209	4,62	5,29	7,12	150	61,1	249	Na-Cl-HCO ₃
21	10.05.2014/180	4,7	8,6	719	199	17,7	18,8	6,52	174	64,7	239	Na-Cl-HCO ₃
9mz	11.05.2014/200	4,7	7,6	725	212	20,7	10,1	5,03	189	77,4	210	Na-Cl-HCO ₃
6	11.05.2014/180	4,5	9,1	748	214	9,06	5,42	5,1	190	80,9	244	Na-Cl-HCO ₃
Lo	11.05.2014/180	4,7	9	828	251	5,26	3,6	5,98	201	48,4	313	Na-Cl-HCO ₃

Окончание таблицы

Название пробы	Дата отбора/ глубина отбора, м	T, °C	pH	M, мг/л	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Тип воды*
16	26.04.2013/180	4,0	8,6	939	282	9,82	12,9	8,58	272	140	214	Na-Cl-HCO ₃
Солоноватые воды в четвертичном водоносном комплексе (fQIIIvd)												
Kw	23.09.2012/70	5,0	8,3	3239	980	15,2	25	7,81	935	634	642	Na-Cl-SO ₄
K2	23.09.2012/0,1	4,4	7,8	3930	1147	107	50,1	14,1	1331	847	435	Na-Cl-SO ₄
Солоноватые воды в водоносном комплексе падунских отложений венда (Vpd) (см. рис. 3, солоноватые1)												
14	21.09.2012/180	4,9	7,9	2523	792	49,6	48,4	6,88	1009	292	325	Na-Cl
15	18.04.2006/150	6,6	7,2	4968	905	632	96	20	2294	732	124	Na-Ca-Cl
14	18.04.2006/150	6,7	7,1	5144	1000	588	143	18,8	2486	753	122	Na-Ca-Cl
Mi	29.04.2014/140	5,0	7,4	6011	979	744	175	24,1	2607	1428	53,4	Na-Ca-Cl-SO ₄
Сильносолоноватые воды в водоносном комплексе падунских отложений венда (Vpd) (см. рис. 3, солоноватые2)												
Mm	16.09.2013/80	5,8	7,5	7418	1666	436	350	33	2234	2626	73,2	Na-Cl-SO ₄
Bl	24.09.2012/120	5,7	7,7	8399	1960	495	298	33,6	3034	2323	255	Na-Cl-SO ₄
La6	24.09.2012/120	6,3	8,4	9065	2107	620	232	29,6	3524	2510	42,7	Na-Cl-SO ₄
No	18.04.2014/120	6,8	8,3	10088	2058	936	254	28	4057	2715	38,1	Na-Ca-Cl-SO ₄
Солёные воды в водоносном комплексе падунских отложений венда (см. рис. 3, солёные Vpd)												
Vo	16.09.2013/90	5,3	7,3	12725	3456	799	379	51,1	7327	959	54,9	Na-Cl
Vo	18.04.2006/90	5,7	6,7	19170	5104	996	714	75	11812	198	278	Na-Cl
I3	18.04.2006/90	5,7	6,9	21012	4682	1974	575	69	11451	1546	242	Na-Ca-Cl
I3	21.09.2006/90	5,7	6,4	21080	5280	1810	450	66	11561	1703	262	Na-Ca-Cl
I2	18.04.2006/90	5,7	6,6	21288	4675	1903	868	72	11812	1654	268	Na-Ca-Cl
I1	18.04.2006/90	5,9	6,7	26781	7270	1578	709	99	14666	2063	348	Na-Cl
I1	12.05.2006/90	5,9	7,1	27136	7355	1663	685	118	14846	2032	338	Na-Cl
Ts	18.04.2006/90	5,9	7,1	27180	7179	1659	755	135	14766	2091	331	Na-Cl
I1	21.09.2006/90	5,9	7	27552	7412	1698	742	118	15080	1898	376	Na-Cl
Солёные воды в водоносном комплексе мезенских отложений венда (см. рис. 3, солёные Vmz)												
8mz	11.05.2014/240	6,7	7,6	15640	4074	1185	338	48,3	7857	2136	1,53	Na-Cl
27	18.04.2013/220	6,7	7,3	16583	4532	761	419	47,5	8497	2275	53,4	Na-Cl
La5	18.04.2013/210	6,8	8,1	17030	4564	783	393	39	8551	2685	15,3	Na-Cl
B2	18.04.2014/260	6,9	7,6	27482	6673	2423	630	57,3	15147	2515	38,1	Na-Ca-Cl

Примечание. *Указаны катионы и анионы с содержанием выше 25 мг-экв,% в порядке убывания.

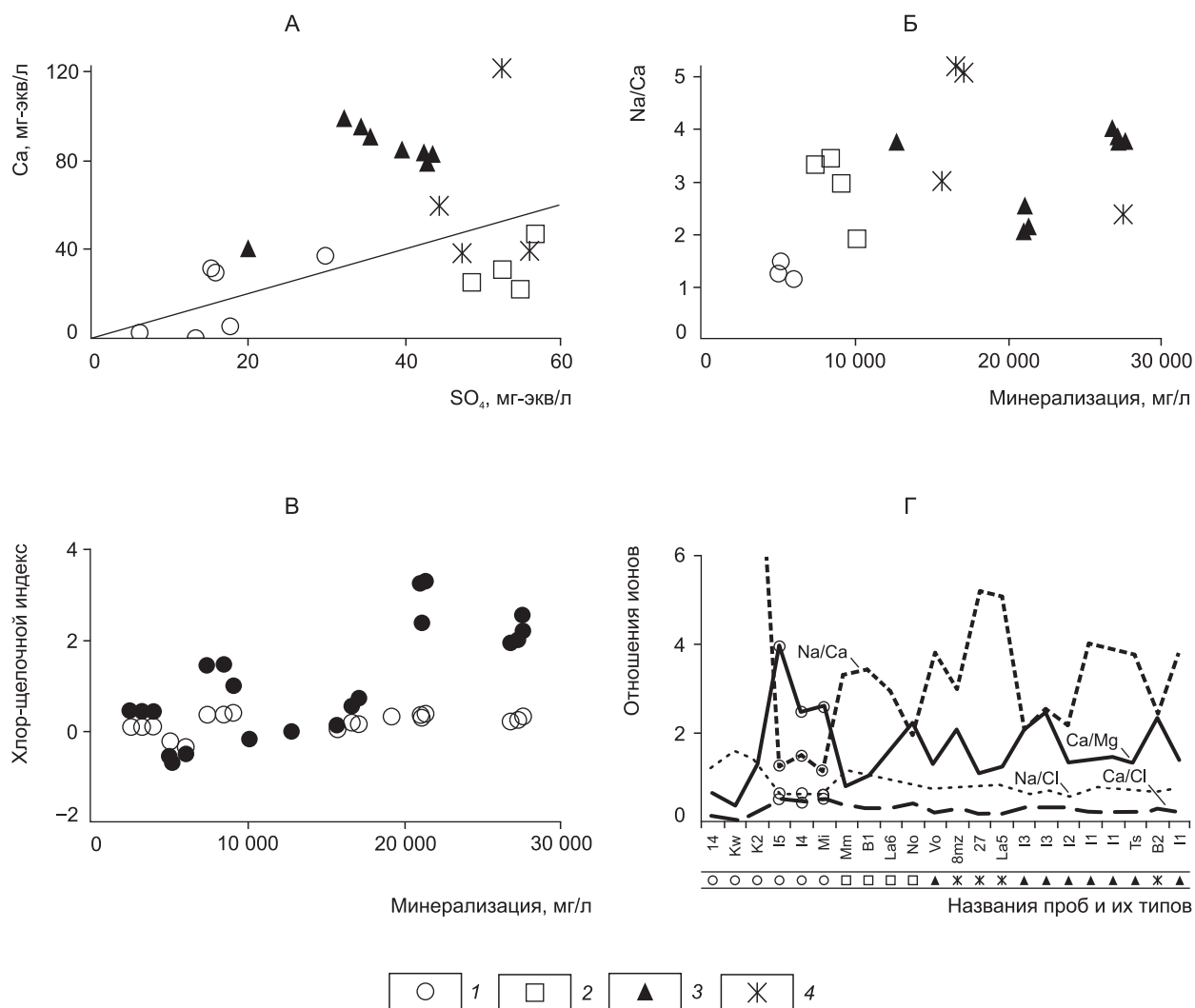


Рис. 3. Графики концентраций ионов (мг-экв/л) и их соотношений в солоноватых и солёных подземных водах с группировкой по значениям общей минерализации (на А, Б, Г):

подземные воды: 1 – солоноватые1, 2 – солоноватые2, 3 – солёные Vpd, 4 – солёные Vmz

отмечен для всех проб из водоносного комплекса падунских отложений венда (см. рис. 3, А, солёные Vpd), а также для образцов Mi, 14-5 солоноватой воды из водоносного комплекса падунских отложений венда (см. рисунки 1 и 3, А, солоноватые1) и двух проб солёных вод из водоносного комплекса мезенских отложений венда (B2, 8 mz) (см. рис. 3, А, солёные Vmz). В этих пробах Na/Ca снижается до 1–4 (см. рис. 3, Б), хлор-щелочные индексы положительные (см. рис. 3, В).

Это указывает на то, что в водоносных горизонтах, помимо растворения гипса, есть и другие источники Са. Наиболее вероятен процесс гидролиза Са-алюмосиликатов, неравновесных с солоноватыми и солёными подземными водами [3]. Этот процесс идёт по ме-

ханизму диффузионной кинетики [12], что свидетельствует о значительном времени взаимодействия вода–порода для перечисленных проб. Образцы 15, 14, Mi, характеризующие солоноватую воду с М 5–6 г/л, особенно отличаются по степени метаморфизации в результате взаимодействия вода–порода (см. рис. 3, Г).

В заключение следует ещё раз отметить, что цель исследования – выяснение источников формирования состава и характеристика подземных вод на юго-восточном побережье Белого моря.

Установлено, что химический состав пресной воды развивается в направлении (Ca-Mg-HCO₃)–(Na-HCO₃)–(Na-Cl). Отношение Na/Ca повышается от 0,2 до 40. Это связано с последовательной заменой процесса рас-

творения карбонатов в областях питания на водоразделах на процессы: гидролиза алюмосиликатов натрия в транзитной зоне, а затем смешивания пресной воды с солёной водой, катионного обмена щелочноземельных элементов со щелочными элементами и растворения гипса вблизи зон разгрузки на побережье и в палеодолинах.

В солоноватых и солёных водах отношение Na/Ca снижается до 1–4. Это указывает на то, что в водоносных горизонтах есть и другие источники Ca, помимо растворения гипса. Наиболее вероятным процессом является гидролиз Ca-алюмосиликатов, который указывает на значительное время взаимодействия вода–порода. Солоноватая вода с минерализацией 5–6 г/л особенно отличается по степени модификации вследствие процессов взаимодействия вода–порода.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 18-05-60151_ Арктика и 18-0501041_А), УрО РАН (проект АААА-А18-118012390242-5) и Министерства образования и науки России (проект АААА-А19-119011890018-3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болиховская Н.С., Молодьков А.Н. Схема периодизации, корреляция и возраст климатических событий плейстоцена / Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. – Новосибирск, 2009. С. 75–78.
2. Гатальский М.А. Подземные воды и газы палеозоя северной половины Русской платформы. – Л.: Гостоптехиздат, 1954.
3. Зверев В.П. Система природных вод Земли. – М.: Научный мир, 2013.
4. Коротков А.И. Гидрогеохимический анализ при региональных геологических и гидрогеологических исследованиях. – Л.: Недра, 1983.
5. Коротков А.И., Потанов А.А., Румынин В.Г. Редкие типы минеральных вод Среднерусского артезианского бассейна. – СПб.: Наука, 2013.
6. Лисицын А.П. Система Белого моря. Т. I. Природа водосбора Белого моря. – М.: Научный мир, 2010.
7. Малов А.И. Взаимодействие вода–порода в песчано-глинистых отложениях венда Мезенской синеклизы // Литология и полезные ископаемые. 2004(1). № 4. С. 401–413.
8. Малов А.И. Экологические функции подземных вод. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004(2).
9. Малов А.И. Использование геологических реперов для оценки времени нахождения подземных вод в водоносном горизонте по уран-изотопным данным на примере Северо-Двинской впадины // Литология и полезные ископаемые. 2013. № 3. С. 274–285.
10. Малов А.И., Сидкина Е.С., Рыженко Б.Н. Модель месторождения алмазов им. М.В.Ломоносова как системы «вода–порода»: формы миграции, насыщенность подземных вод относительно породобразующих и рудных минералов, экологическая оценка качества вод // Геохимия. 2017. № 12. С. 1128–1140.
11. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология. – М.: Альянс, 2012.
12. Helgeson H.C. Kinetics of mass transfer among silicates and aqueous solutions // *Geochemica et Cosmochimica Acta*. 1971. Vol. 35. № 5. P. 421–469.
13. Pokrovsky O.S., Schott J., Dupre B. Trace element fractionation and transport in boreal rivers and soil porewaters of permafrost-dominated basic terrain in Central Siberia // *Geochemica et Cosmochimica Acta*. 2006. Vol. 70. № 3. P. 3239–3260.
14. Schoeller H. Geochemistry of groundwater / Groundwater studies – an international guide for research and practice. – Paris, 1977. Vol. 15. P. 1–18.

ПОДПИСЧИКАМ

Оформить подписку на журнал «Отечественная геология» можно в почтовых отделениях связи по каталогу «Газеты. Журналы» ОАО Агентства «Роспечать» (подписной индекс 70824)

Периодичность – шесть номеров в год.

На электронную версию журнала можно подписаться на сайте Научной Электронной библиотеки: <https://elibrary.ru>

X международная научно-практическая конференция
«Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов,
благородных и цветных металлов»
14–17 апреля 2020 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»

Цель конференции:

развитие научно-методических основ прогноза, поисков и оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов (АБЦМ), определение направлений работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы АБЦМ.

Тематика конференции:

- минералогия АБЦМ;
- приоритетные направления прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ на АБЦМ;
- перспективные объекты для постановки геологоразведочных работ на АБЦМ различных стадий;
- опыт проведения и результаты геологоразведочных работ на АБЦМ объектов распределённого и нераспределённого фондов недр;
- научно-методические основы комплексирования геологических, геохимических, геофизических методов прогноза, поисков и оценки месторождений АБЦМ;
- использование комплексных моделей месторождений для целей прогноза, поисков, оценки и разведки АБЦМ;
- разработка и реализация инновационных методов, методик и технологий ГРП на АБЦМ;

Место проведения:

117545, Москва, Варшавское шоссе, дом 129, корп. 1

ФГБУ «ЦНИГРИ»

Первое информационное письмо

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ») проводит 14–17 апреля 2020 г. X Международную научно-практическую конференцию «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». Конференция проводится при поддержке Федерального агентства по недропользованию, Российской академии наук, Российского геологического общества, Ассоциации геологических организаций.

К сведению участников:

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

Программа конференции включает пленарное заседание, устные и стендовые доклады на тематических секциях, а также геологические экскурсии на золоторудные или полиметаллические месторождения России (участие в экскурсиях платное).

Официальный язык конференции – русский и английский.

Тезисы докладов не редактируются и публикуются в авторском варианте. Сборник тезисов докладов будет издан к началу конференции. Базовые доклады планируется опубликовать в журналах «Отечественная геология» и «Руды и металлы».

Программа конференции будет разослана в электронном виде зарегистрированным участникам.

Регистрация участников и приём тезисов будет проводиться на сайте Института с 1 августа до 01 марта 2020 года

Контакты:

Мишакина Александра Александровна

телефон: 8(495)315-28-10

e-mail: conference@tsnigri.ru