ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 6 / 2020

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

Иванов А.И., Черных А.И., Наумов Е.А., Волчков А.Г., Куликов Д.А., Хасанов В.Н., Алексеев Я.В., Минькин К.М., Тарасов А.С., Попов И.В.
Геологоразведочные работы на благородные металлы за средства федерального бюджета в XXI веке – результаты и перспективы 3

НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ, НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ПРИКЛАДНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Попов Е.В., Захаркин И.В., Ткачева Е.А., Михайлова С.М., Шпекторова О.А., Михайлова Г.А.
Возможности нового геологического информационного ресурса – «Интерактивная карта изученности» 15

МИНЕРАГЕНИЯ

Иволга Е.Г., Манилов Ю.Ф., Каплун В.Б.
Глубинное строение минерагенических зон Южного Приморья 23

МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Нестеренко М.Р.
Строение и состав пикритовых габбро-долеритов центральной части Октябрьского месторождения 39

ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ

Салихов Р.Ф., Гаранин К.В., Толстов А.В., Ковальчук О.Е., Гаранин В.К., Поляничко В.В., Никифорова А.Ю.
Геологическое строение и вещественный состав кимберлитовой трубки заря (Западная Якутия) 48

Гусев А.И., Гусев Н.И.
Новые данные по абсолютному возрасту, петрологии и потенциальной рудоносности Мурзинского интрузивного массива (северо-западный Алтай) 68

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Афанасьев В.П., Николенко Е.И., Лобов К.В., Зольников И.Д., Картозия А.А., Глушкова Н.В.
Геолого-геоморфологические особенности строения и история формирования Ямалахского горста (Южная Якутия) 80

ДИСКУССИИ

Барышев А.Н., Хачатрян Г.К.
Геодинамика, тектоника алмазоносных систем и минерагения 88

75-й ГОДОВЩИНЕ ПОБЕДЫ ПОСВЯЩАЕТСЯ

Ветераны ЦНИГРИ – участники Великой Отечественной войны. Публикация фотоматериалов из архива ЦНИГРИ .. 109

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

85-летие Александра Николаевича Барышева 115

К 90-летию со дня рождения Елены Владимировны Францессон 117

Памяти Игоря Алексеевича Карпенко 128

Памяти Олега Сергеевича Набровенкова 130

Список статей, опубликованных в журнале «Отечественная геология» за 2020 год 131

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

Решением Высшей аттестационной комиссии Министерства образования науки Российской федерации журнал включён в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени доктора и кандидата наук»
Свидетельство о регистрации в средствах массовой информации
№ 01217 от 03 июня 1992 г.
Подписано в печать 26.12.2020
Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1
Телефон: (495) 315-28-47. Факс: (495) 315-43-47. E-mail: ogeo@tsnigri.ru
Сайт: http://tsnigri.ru/o_geology
Сайт электронной библиотеки: http://elibrary.ru

Типография ФГБУ ЦНИГРИ

DOI:10.47765/0869-7175-2020-10026

УДК 553.411:550.812.1
© Коллектив авторов, 2020

Геологоразведочные работы на благородные металлы за средства федерального бюджета в XXI веке – результаты и перспективы

А.И.ИВАНОВ, А.И.ЧЕРНЫХ, Е.А.НАУМОВ, А.Г.ВОЛЧКОВ, Д.А.КУЛИКОВ, В.Н.ХАСАНОВ, Я.В.АЛЕКСЕЕВ, К.М.МИНЬКИН, А.С.ТАРАСОВ, И.В.ПОПОВ (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

Показано размещение объектов геологоразведочных работ (ГРР) на благородные металлы за средства федерального бюджета (ФБ) в пределах территории Российской Федерации и её субъектах в период 2003–2024 гг. Рассмотрена динамика их финансирования, приведены апробированные в результате проведения ГРР прогнозные ресурсы, показаны направления ГРР за средства ФБ на ближайшую перспективу. Обоснован вывод о том, что для поддержания на современном уровне золотодобычи в среднесрочной и дальнесрочной перспективе в ближайшие годы необходимо не только увеличение объёмов поисковых работ, но и развёртывание прогнозно-минерагенических работ за средства федерального бюджета для локализации перспективных участков с ресурсами категории P_2.
Ключевые слова: геологоразведочные работы, благородные металлы, средства федерального бюджета, объёмы финансирования, субъекты РФ, прогнозные ресурсы.

Иванов Анатолий Иннокентьевич
доктор геолого-минералогических наук — a.ivanov@tsnigri.ru

Черных Александр Иванович
кандидат геолого-минералогических наук — chernykh@tsnigri.ru

Наумов Евгений Анатольевич
кандидат геолого-минералогических наук — naumov@tsnigri.ru

Волчков Алексей Гордеевич
кандидат геолого-минералогических наук — volhkov@tsnigri.ru

Куликов Данила Алексеевич
кандидат геолого-минералогических наук — kulikov@tsnigri.ru

Хасанов Владислав Наилович — khasanov@tsnigri.ru

Алексеев Ярослав Владимирович
кандидат геолого-минералогических наук — alekseev@tsnigri.ru

Минькин Константин Матвеевич — minkin@tsnigri.ru

Тарасов Александр Сергеевич — tarasov@tsnigri.ru

Попов Иван Владимирович — popov@tsnigri.ru

Federally funded precious metals exploration in the 21st century: results and prospects

A.I.IVANOV, A.I.CHERNYKH, E.A.NAUMOV, A.G.VOLCHKOV, D.A.KULIKOV, V.N.KHASANOV, Ya.V.ALEKSEEV, K.M.MINKIN, A.S.TARASOV, I.V.POPOV (Central Research Institute of Geological Prospec-ting for Base and Precious Metals)

The paper highlights the location of precious metal deposits within the Russian Federation planned for federally funded exploration within Russia and its subjects during 2003–2024, as well as its funding dynamics; it also presents resources approved as a result of exploration and shows federally funded exploration areas for the near term. The conclusion is validated that supporting gold production at the current level in the mid- to long-term requires both enhancing prospecting activities and launching federally funded forecasting-mineragenetic works to localize promising areas containing potential resources.
Key words: exploration, precious metals, federal budget, funding amounts, Russian subjects, resources.

После распада СССР в течение 1990-х годов в Российской Федерации резко снизилось финансирование геологоразведочных работ за счёт средств федерального бюджета. В результате в связи с лицензированием имеющихся месторождений благородных металлов и приватизацией добывающих предприятий схема подготовки минерально-сырьевой базы (МСБ) полностью была изменена. Так, подготовка запасов для действующих производств легла на недропользователей, интересы которых в первую очередь были сосредоточены на поддержании необходимого их уровня для обеспечения жизнедеятельности предприятий. Значительное количество разведанных месторождений с балансовыми запасами оказалось в начале 1990-х годов в нераспределённом фонде недр и обеспечило в этот период (при их лицензировании) минерально-сырьевой базой действующие и создаваемые горно-обогатительные предприятия. В связи с существованием на 1992 г. подготовленной весьма значительной минерально-сырьевой базы благородных металлов (см. рисунки 1–3) в 1990-е и начале 2000-х годов считалось, что острой необходимости в её наращивании не было. По этой же причине резко уменьшилось государственное финансирование как разведочных, так и поисковых работ с соответствующим сокращением количества подготавливаемых балансовых запасов и прогнозных ресурсов.

С 1993 г. финансирование ГРР осуществлялось через Фонд воспроизводства минерально-сырьевой базы (ВМСБ), средства которого использовались в нескольких направлениях. Одно из них – завершение разведки месторождений полезных ископаемых по ранее утверждённым проектам. Часть средств консолидировалась в субъектах федерации, за счёт которых действующие добывающие предприятия имели возможность по региональным программам в той или иной степени готовить себе балансовые запасы, а региональные власти могли, хотя и в ограниченных объёмах, финансировать и работы ранних стадий – тематических и поисковых. Часть ВМСБ, остающаяся в федеральных ведомствах, использовалась в основном на региональные геолого-съёмочные, гидрогеологические, геофизические, специальные работы. Региональные геолого-съёмочные работы (ГСР) были сконцентрированы на подготовке карт масштаба 1:200 000. При этом полевые работы проводились в незначительных объёмах и были сосредоточены на решении собственно геологических вопросов; опробовательские работы почти не проводились. А ГСР масштаба 1:50 000, в результате проведения которых в СССР подготавливались площади для поисковых работ и проводилась оценка прогнозных ресурсов категории P_2 (так называемый «поисковый задел»), практически были прекращены.

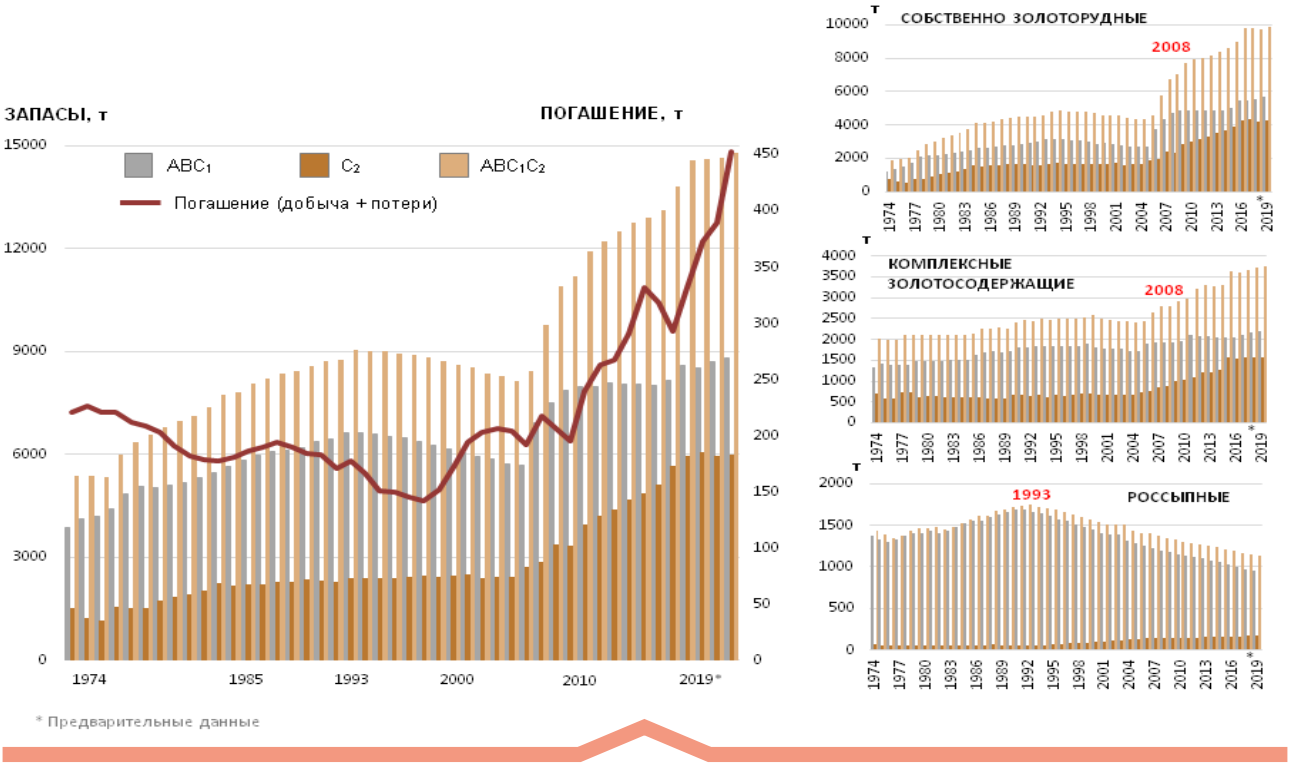


Рис. 1. Динамика запасов золота и их погашение в период 1974–2019 гг. по категориям и типам

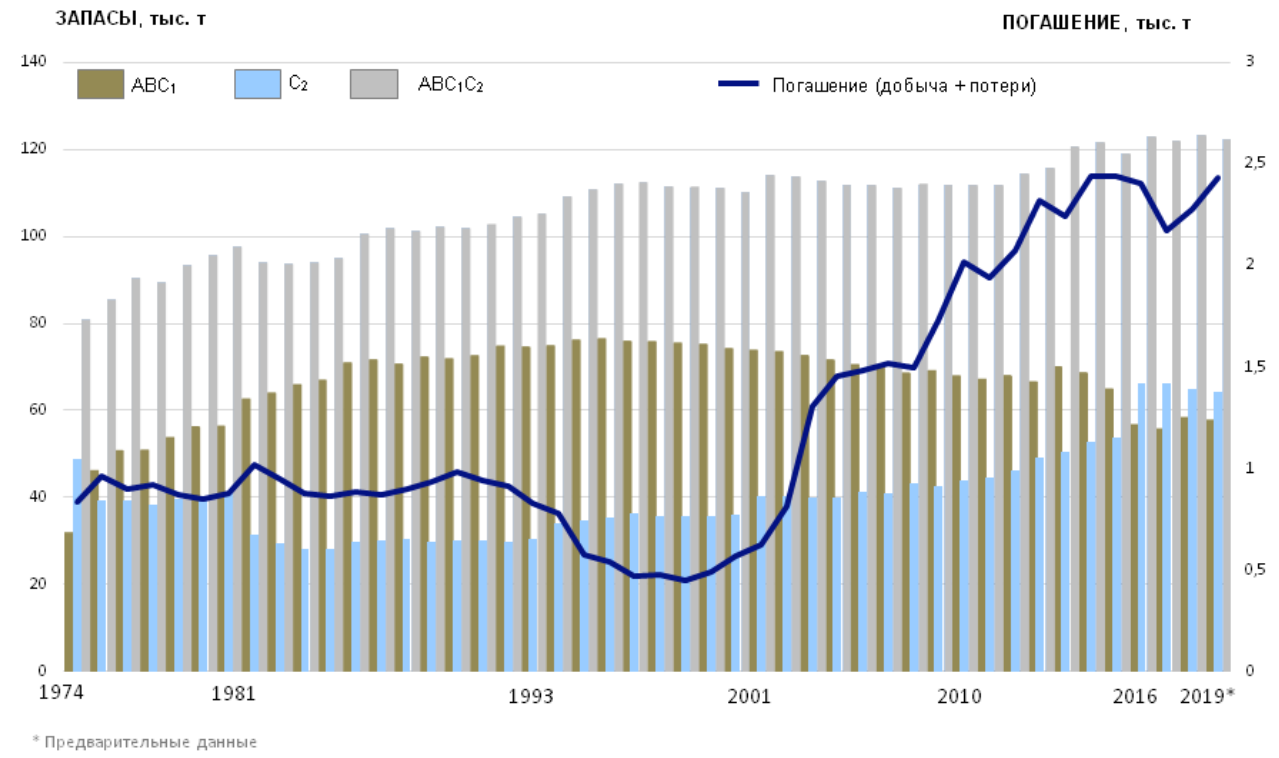


Рис. 2. Динамика запасов серебра и их погашение в период 1974–2019 гг.

В результате общего сокращения финансирования геологоразведочных работ в 1990-х годах к началу 2000-х годов (с 1 января 2001 г. фонд ВМСБ был упразднён) обозначились проблемы с минерально-сырьевой базой (МСБ) благородных металлов. Наиболее очевидные – с золотом: на фоне непрерывного увеличения МСБ золота в советский период (см. рис. 1) с 1993 г. началось сокращение запасов, прежде всего промышленных категорий ABC_1. То есть «проедались запасы» – добыча превышала их прирост. Причём до 1998 г. это происходило на фоне сокращения добычи. К этому времени большая часть известных месторождений была лицензирована, на части из них организовались золотодобывающие предприятия, что позволило Российской Федерации с 1999 г. наряду с усилением добычи на «старых» предприятиях изменить тренд в добыче золота со снижающегося на возрастающий (см. рис. 1). Однако это усилило «проедание запасов», и к 2002 г. назрела необходимость выявления новых месторождений, так как проведение недропользователями ГРР по восполнению выбывающих запасов эксплуатируемых месторождений на их флангах и глубоких горизонтах в полном объёме не могло обеспечить это в масштабах страны. Кроме того, постоянное снижение (до 2002 г.) цен на золото также не стимулировало недропользователей на усиление ГРР.

Близкая ситуация сложилась с серебром (см. рис. 2): с 1994 г. прекратился рост балансовых запасов, и в последующие годы при их общей «стагнации» происходило непрерывное уменьшение запасов промышленных категорий ABC_1, причём, как и с золотом (до 1998 г.), на фоне снижающейся добычи. С 1999 г. начался рост добычи, наиболее резкий – с 2002 г. (рост цен на серебро начался в 2003 г.).

Балансовые запасы металлов платиновой группы (МПГ), сосредоточенные в основном в месторождениях Норильской группы, с 1980 до 2009 гг. постепенно снижались (см. рис. 3). В связи с высокой обеспеченностью добычи запасами её падение в 1991–1994 гг. и последующее восстановление к 2005 г. слабо проявились в общем понижающем тренде величины балансовых запасов. В последнее десятилетие наблюдается стабилизация состояния общих балансовых запасов главным образом за счёт постановки на учёт новых и доразведки известных месторождений Норильского промышленного района, сопровождаемая переводом запасов балансовой категории C_2, а также забалансовых запасов в балансовые запасы категории C_1.

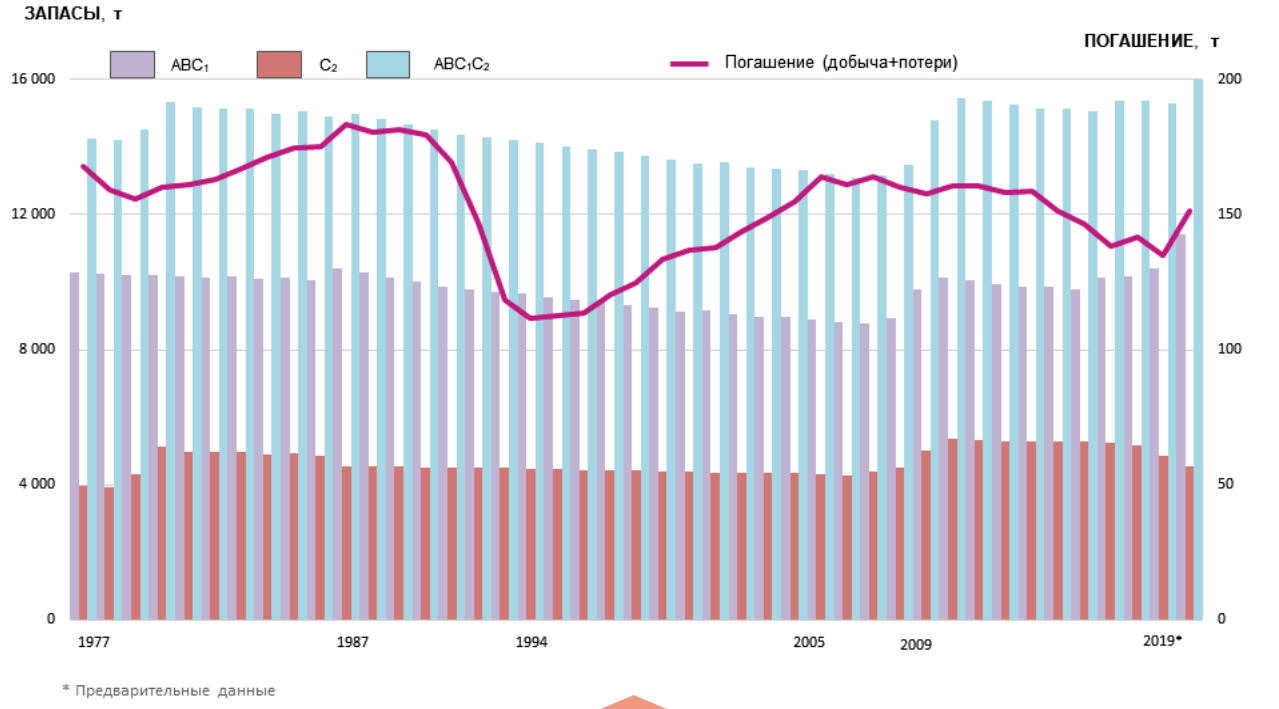


Рис. 3. Динамика запасов металлов платиновой группы и их погашение в период 1977–2019 гг.

Таким образом, наиболее сложная ситуация с балансовыми запасами к началу 2000-х годов сложилась по золоту. Поэтому после восстановления финансирования ГРР из федерального бюджета одной из важных статей расходов стало финансирование поисковых работ из группы благородных металлов именно на золото (рис. 4) с целью выделения перспективных на выявление промышленных месторождений участков с оценкой прогнозных ресурсов категорий P_2 и P_1. Ежегодные объёмы финансирования на золото (в том числе на объекты с попутным золотом), серебро (в том числе на объекты с попутным серебром) и металлы платиновой группы (МПГ) приведены на рис. 5. С 2003 по 2014 гг. наблюдался отчётливый тренд на увеличение объёмов финансирования ГРР на золото (со спадом в кризисные после 2008-го годы), после чего финансирование стало снижаться (см. рис. 5). С 2010 г. увеличилось финансирование геологоразведочных работ на комплексные золотосодержащие объекты. ГРР за средства федерального бюджета на серебро и МПГ по сравнению с ГРР на золото осуществлялись в значительно меньших объёмах с тенденцией на относительное увеличение в посткризисные годы.

Также стабильно росла доля благородных металлов в общем объёме финансирования ГРР на твёрдые полезные ископаемые (ТПИ) с определяющей ролью собственно золоторудных месторождений и постоянно возрастающей – комплексных золотосодержащих (рис. 6).

Геологоразведочные работы на благородные металлы за средства федерального бюджета осуществлялись не только в традиционных минерально-сырьевых центрах (МСЦ), но и на слабо освоенных территориях с целью создания новых МСЦ прежде всего в зонах влияния действующих и планируемых объектов инфраструктуры (см. рис. 4). При этом при отчётливой тенденции к сокращению количества объектов ГРР на золото (собственно золоторудные и золото-серебряные) по субъектам РФ в период 2007–2022 гг. постоянно происходило увеличение относительной доли Дальневосточного федерального округа (рис. 7). Одновременно происходило постепенное увеличение доли объектов ГРР с комплексным золотосодержащим оруденением относительно собственно золоторудных (рис. 8), комплексным серебросодержащим относительно собственно серебряного и золото-серебряного (рис. 9). Финансирование поисковых работ на МПГ в связи с высокой обеспеченностью добычи запасами осуществлялось в небольших объёмах (см. рис. 4), и упор был сделан на выявление объектов малосульфидного типа (рис. 10).

За средства федерального бюджета готовились объекты благородных металлов с целью последующего лицензирования: проводились в основном поисковые работы для подготовки перспективных участков

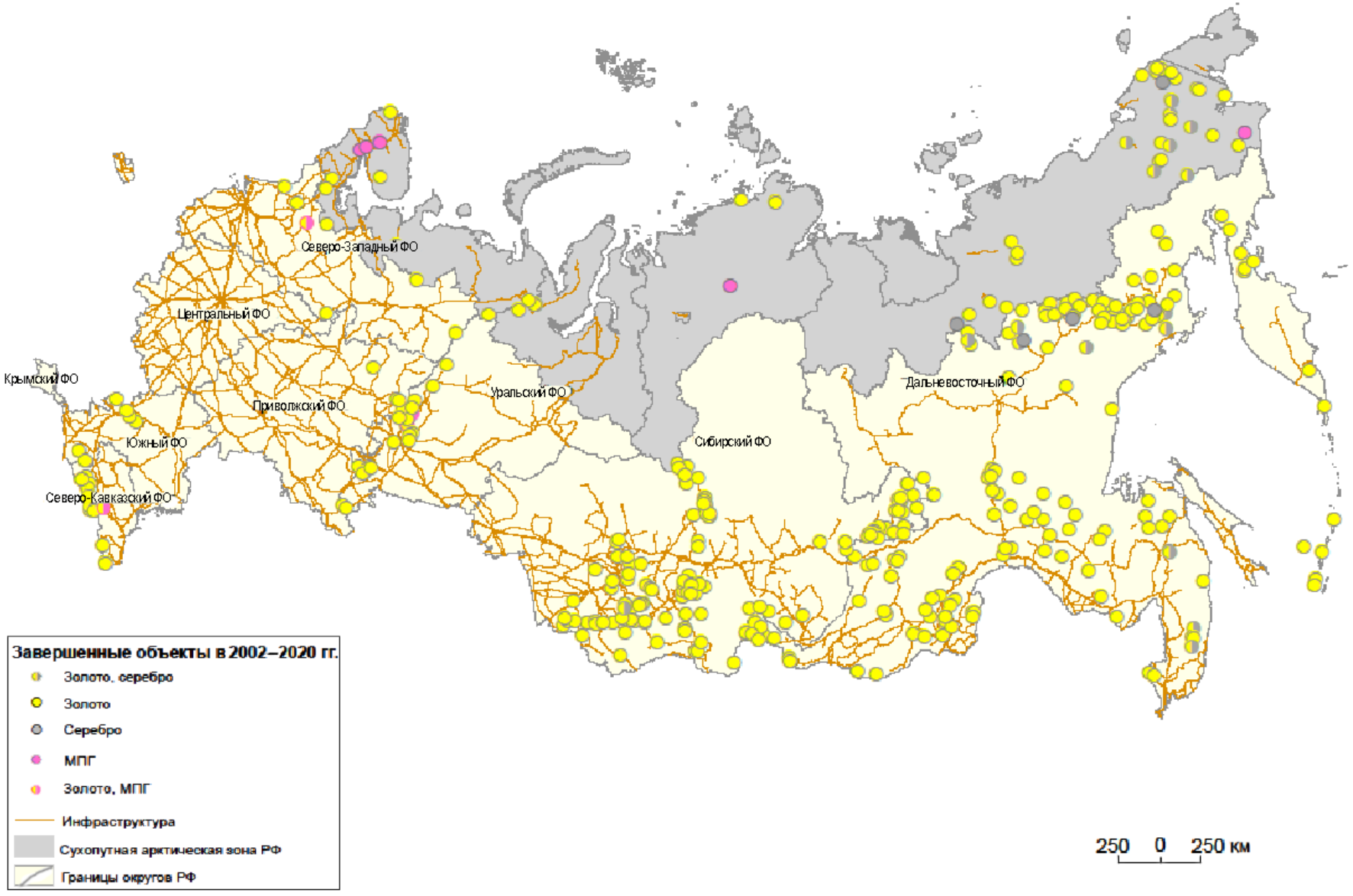
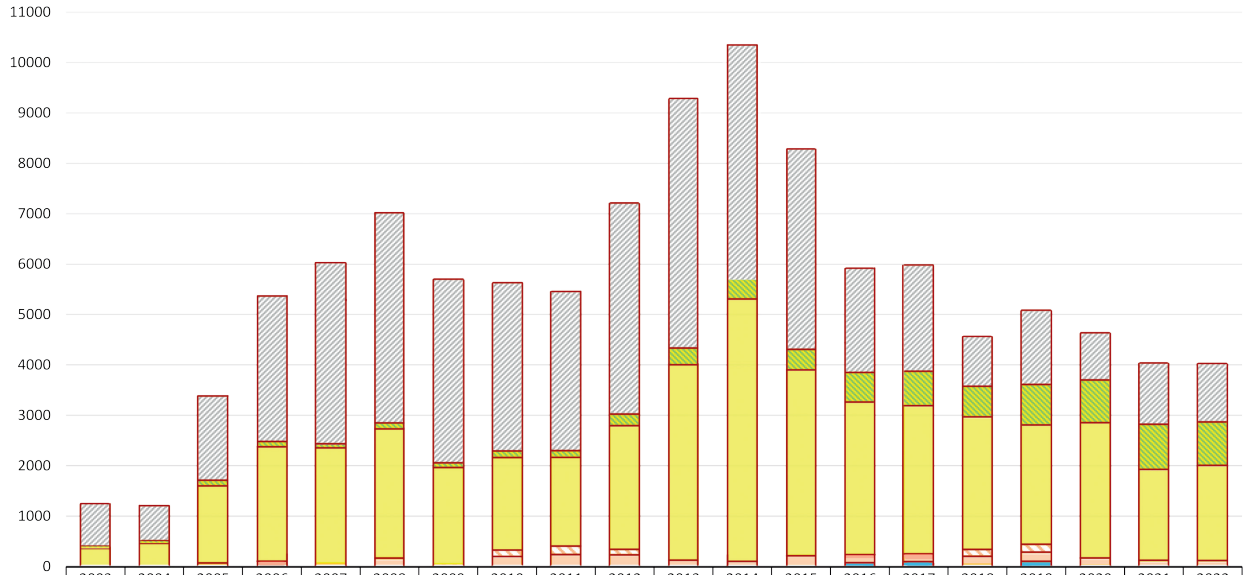


Рис. 4. Размещение объектов ГРР на благородные металлы, выполненных за счёт средств федерального бюджета, завершённых в период 2002–2022 гг.



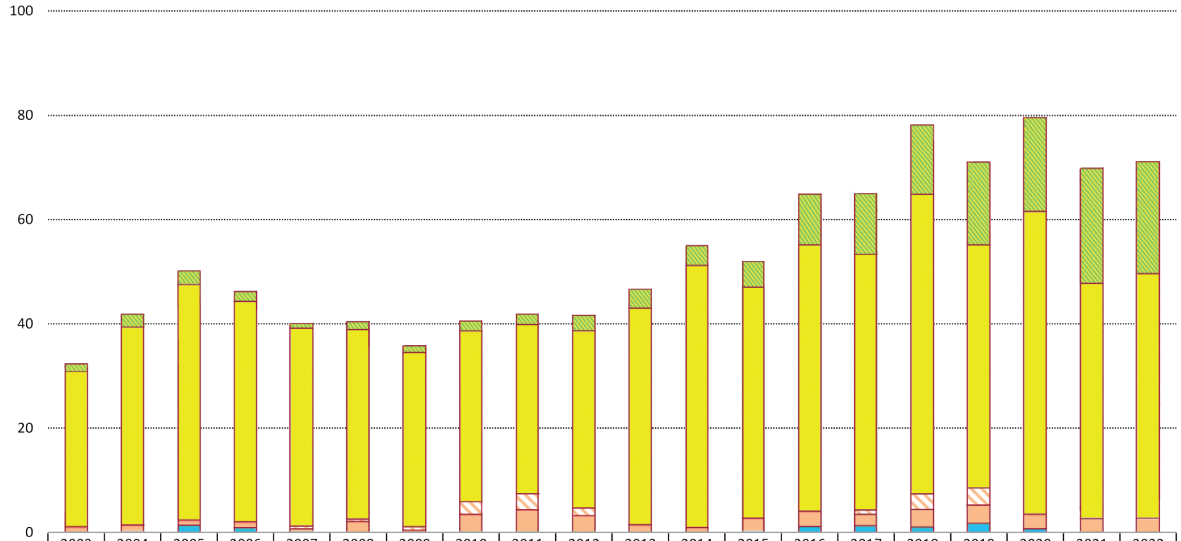
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Прочие	837,7	700,0	1686,9	2896,3	3607,0	4183,2	3659,0	3343,5	3171,9	4208,7	4957,3	4653,8	3979,1	2071,9	2083,0	996,9	1472,6	944,7	1215,0	1160,8
Au попутное	15,0	29,0	86,3	84,8	44,1	90,0	60,0	101,0	100,0	209,0	308,0	370,0	389,1	574,3	684,3	600,8	798,9	832,2	890,0	861,0
Au	371,8	459,5	1536,5	2279,5	2291,9	2567,6	1919,9	1856,0	1783,6	2467,6	3891,6	5222,0	3690,6	3033,7	2940,7	2638,0	2386,8	2705,4	1828,0	1900,0
Ag попутное				5,0	22,5	27,0	27,5	128,6	163,0	99,2	0,0	0,0	5,0	1,7	40,0	130,0	160,0			
Ag	13,0	15,3	32,3	53,8	43,9	153,1	29,7	196,6	237,1	236,1	130,0	100,0	200,0	175,0	138,5	160,0	186,3	133,8	110,0	110,7
Pt		1,8	47,4	48,4	8,1		1,0	5,0	5,0	2,4	2,5		20,0	65,0	78,5	47,8	89,1	30,3		

Рис. 5. Распределение бюджетного финансирования ГРР на золото, серебро и МПГ, в том числе в комплексных рудах, в период 2003–2022 гг. (в млн. руб.)

с оценёнными и апробированными прогнозными ресурсами категорий P_1 и P_2, на отдельных рудопроявлениях золота проводились оценочные работы с подготовкой запасов категорий C_1 и C_2. В единичных случаях с целью переоценки известных месторождений нераспределённого фонда недр (золоторудное месторождение Сухой Лог) в рамках полевых исследований для дополнительного изучения обогатимости руд с применением новых технологий целенаправленно проводился только отбор технологических проб с последующим использованием результатов их исследований для составления нового ТЭО кондиций, пересчёта запасов и апробации их в ГКЗ. Именно с пересчётом запасов уникальных месторождений – Наталкинское (ПАО Полюс), Сухой Лог (ЦНИГРИ) – связано резкое увеличение (около 2200 т) балансовых запасов золота в 2006–2007 гг. (см. рис. 1).

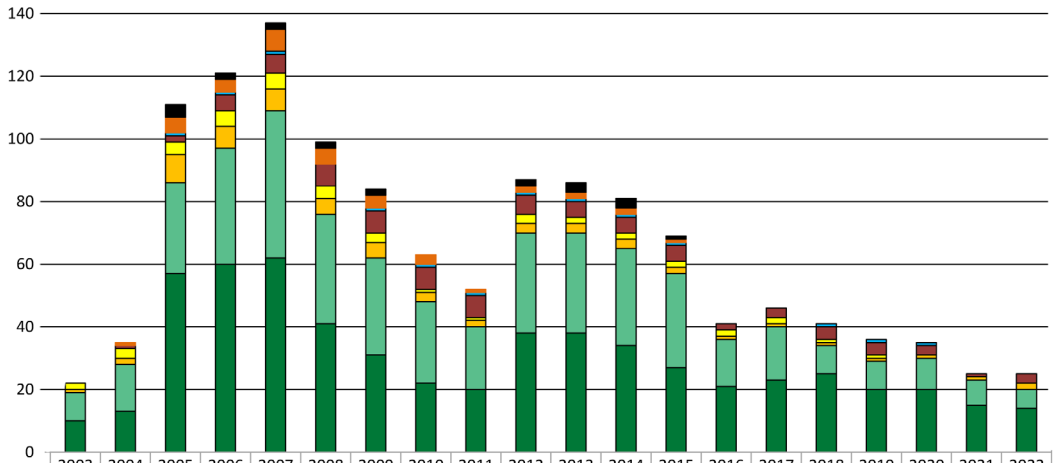
С 2005 г. началось (в том числе из-за роста цены золота) усиление ГРР недропользователями по восполнению выбывающих запасов эксплуатируемых месторождений на их флангах и глубоких горизонтах на новых (и старых) объектах с ресурсами P_1 и P_2, включая подготовленные за средства федерального бюджета. Значительный прирост балансовых запасов золота РФ в 2009–2016 гг. (ещё около 1900 т) был получен в результате доразведки крупных и уникальных месторождений – Олимпиадинского, Нежданинского, Вернинского, Бамского. Таким образом, в целом прирост балансовых запасов золота между 2005 и 2016 гг., составивший около 5400 т, на 76% (около 4100 т) был обеспечен переоценкой и доразведкой известных с советских времён только крупных и уникальных золоторудных месторождений [3]. Подавляющее число «новых» месторождений, запасы которых в 2000-е годы поставлены на государственный баланс, также как рудопроявления были выявлены до 1992 г.

В связи с тем, что доля золота в объёме финансирования поисковых работ на благородные металлы за средства ФБ все рассматриваемые годы составляла 90–95%, а финансирование ГРР на серебро и МПГ носило «несистемный» характер и их результаты сравнительно незначительно влияли на состояние МСБ, более подробно рассмотрим результаты работ на золото. Основным итогом этих работ являлись апробированные прогнозные ресурсы золота, ежегодные приросты которых для собственно золоторудных объектов показаны на рис. 11. На этом рисунке при сравнении с рис. 4 наглядно видны



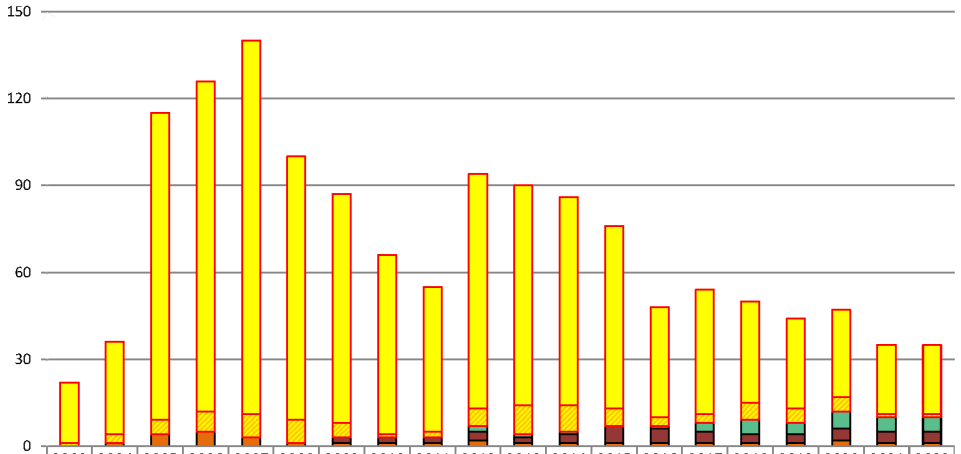
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Au попутное	1,2	2,4	2,5	1,6	0,7	1,3	1,1	1,8	1,8	2,9	3,3	3,6	4,7	9,7	11,5	13,1	15,7	17,9	22,0	21,4
Au	30,0	38,1	45,3	42,5	38,1	36,6	33,7	33,0	32,7	34,2	41,9	50,5	44,6	51,2	49,3	57,7	46,9	58,2	45,2	47,1
Ag попутное	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,4	0,5	2,3	3,0	1,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,7	2,8	3,1	0,0	0,0	0,0
Ag	1,1	1,3	1,0	1,0	0,7	2,2	0,5	3,5	4,3	3,3	1,4	1,0	2,4	3,0	2,3	3,5	3,7	2,9	2,7	2,7
Pt	0,0	0,1	1,4	0,9	0,1	0,0	0,02	0,1	0,1	0,03	0,03	0,0	0,2	1,1	1,3	1,0	1,7	0,7		

Рис. 6. Распределение бюджетного финансирования ГРР на золото, серебро и МПГ, в том числе в комплексных рудах, в период 2003–2022 гг. относительно общего финансирования ГРР ТПИ (в %)



	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Вне территориального деления	0	0	4	2	2	2	2	0	0	2	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0
СЗФО	0	1	5	4	7	5	4	3	1	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0
ЮФО	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0
СКФО	0	1	2	5	6	7	7	7	7	6	5	5	5	2	3	4	4	3	1	3
ПФО	2	3	4	5	5	4	3	1	1	3	2	2	2	2	2	1	1	0	0	0
УФО	1	2	9	7	7	5	5	3	2	3	3	3	2	1	1	1	1	1	1	2
СФО и ЦСО	9	15	29	37	47	35	31	26	20	32	32	31	30	15	17	9	9	10	8	6
ДФО	10	13	57	60	62	41	31	22	20	38	38	34	27	21	23	25	20	20	15	14

Рис. 7. Распределение количества объектов ГРР на золото по федеральным округам Российской Федерации в период 2003–2022 гг.



	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Золото-сульфидный,сульфидно-кварцевый и кварцевый, ЗКХВ, россыпи	21	32	106	114	129	91	79	62	50	81	76	72	63	38	43	35	31	30	24	24
Золото-серебряный	1	3	5	7	8	8	5	1	2	6	10	9	6	3	3	6	5	5	1	1
Порфировый (Mo, Cu-Mo) с попутным Au	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	1	3	5	4	6	5	5
Полиметаллический с попутным Au	0	0	0	0	0	0	2	2	2	3	2	3	6	5	4	3	3	4	4	4
Колчеданный (Cu, Cu-Zn) с попутным Au	0	1	4	5	3	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1

Рис. 8. Распределение количества объектов ГРР на золото различных ГПТ, финансируемых за счёт средств федерального бюджета в период 2003–2022 гг.

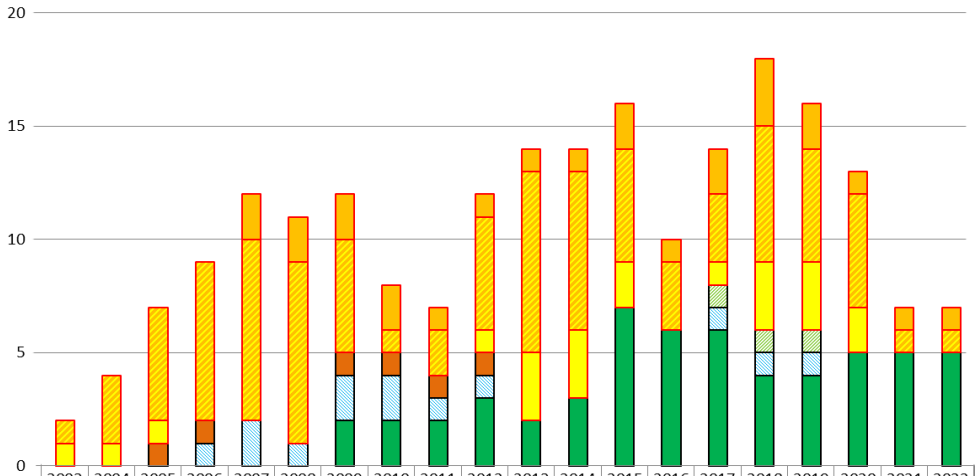
принципиальная зависимость количества подготовленных прогнозных ресурсов от общего финансирования и заметное сокращение их количества после 2012 г. (см. таблицу). Однако эта зависимость непрямая, что обусловлено увеличением стоимости подготовки одной тонны ресурсов категории P_1 (P_1+0,6 P_2): с 2005 г. она возросла (рис. 12) с 4,7 млн. руб. до более чем 40 млн. руб. за тонну в 2019–2020 гг. (расчёт относительно трёхлетних циклов финансирования).

Такое увеличение стоимости подготовки прогнозных ресурсов объясняется не только процессами инфляции [2], но и другими объективными причинами. Прежде всего тем, что с каждым годом уменьшается число проявлений и перспективных участков, подготовленных при СССР, поэтому каждый год для постановки работ отбираются относительно лучшие из них как по геологическим признакам, так и по расположению в относительно более благоприятных географо-экономических условиях. Соответственно, на следующий год из оставшихся вновь выбираются относительно лучшие и т. д. Таким образом, к настоящему времени образовался дефицит перспективных площадей («поисковый задел»), что привело к постоянному снижению качества объектов под поиски по ФБ и, соответственно, к снижению результативности ГРР.

В связи с постоянным возрастанием золотодобычи (почти в два раза – с 2010 г., до 440 т – в 2020 г.) в последние годы рост балансовых запасов практически остановился (см. рис. 1), а подготовленные прогнозные ресурсы не обеспечивают подготовки

Количество апробированных прогнозных ресурсов категорий P_1 и P_2 (в т), подготовленных в результате поисковых работ за средства федерального бюджета в 2005–2020 гг.

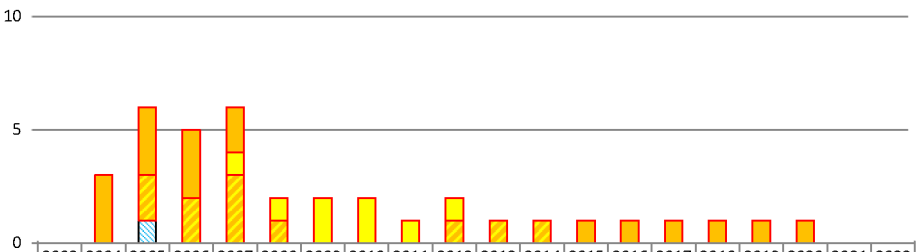
Категории ресурсов	Годы																
	2005	2006	2007	2008	2009	2010–2011	2012	Итого 2005–2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	на 01.11.2020	Итого 2005–2020
P_1+P_2	775	841	765	918	1200	1458	1409	7366	955	1081	954	1070	525	699	218	307	13175
P_1	100	175	230	591	282	376	424	2178	180	305	428	328	209	308	44	96	4076
P_2	675	666	535	327	918	1082	985	5188	775	776	526	742	316	391	174	211	9099
P_1+0,6P_2	505	575	551	787	833	1025	1015	5291	645	771	744	773	399	543	148	222	9535



	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Серебряный	0	0	0	0	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	3	2	1	1	1
Золото-серебряный	1	3	5	7	8	8	5	1	2	5	8	7	5	3	3	6	5	5	1	1
Au-сульфидный, сульфидно-кварцевый и кварцевый с попутным Ag	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	3	3	2	0	1	3	3	2	0	0
Порфировый (Mo, Cu-Mo) с попутным Ag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Колчеданный (Cu, Cu-Zn) с попутным Ag	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Свинцово-цинковый с попутным Ag	0	0	0	1	2	1	2	2	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Полиметаллический (Cu, Pb, Zn или Sn) с попутным Ag	0	0	0	0	0	0	2	2	2	3	2	3	7	6	6	4	4	5	5	5

Рис. 9. Распределение количества объектов ГРР на серебро различных ГПТ, финансируемых за счёт средств федерального бюджета в период 2003–2022 гг.

необходимого количества балансовых запасов для длительного поддержания даже достигнутого уровня добычи. Как было показано ранее [2], статистическая обработка результатов ГРР за средства федерального бюджета позволила рассчитать коэффициенты перевода ресурсов низших категорий в более высокие (0,6 при переводе P_2 в P_1), а затем и в запасы C_2 (0,7 при переводе P_1 в C_2), а также коэффициент «успешности» проектов (0,5). Несмотря на значительные цифры подготовленных прогнозных ресурсов за средства федерального бюджета за 2003–2020 гг. (см. таблицу), вероятное количество балансовых запасов категории C_2, которые могут быть подготовлены на объектах с прогнозными ресурсами P_1 и P_2 при проведении дальнейших ГРР, рассчитанное с использованием этих поправочных



	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Малосульфидный платинометалльный	0	3	3	3	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
Золотоносные россыпи платиносодержащие	0	0	0	0	1	1	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Медно-никелевый с попутными МПГ (печенгский тип)	0	0	2	2	3	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Медно-сульфидный с попутными золотом и МПГ (волковский тип)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 10. Распределение количества объектов ГРР на МПГ различных ГПТ, финансируемых за счёт средств федерального бюджета в период 2003–2022 гг.

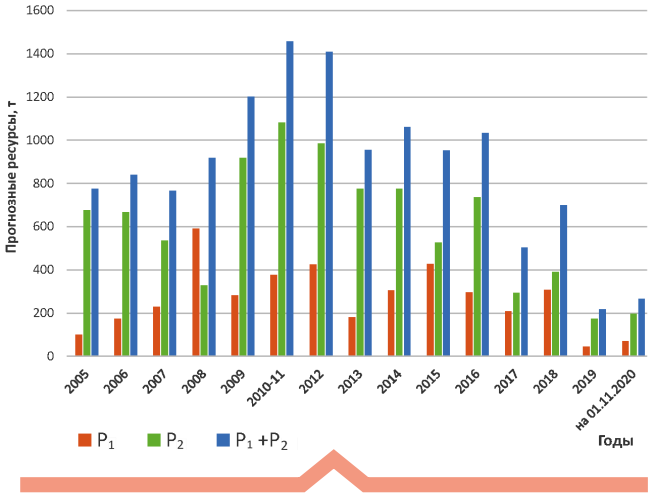


Рис. 11. Приросты прогнозных ресурсов золота в собственно золоторудных месторождениях в результате ГРР за средства федерального бюджета в 2005–2020 гг.

коэффициентов, составляет всего 2358 т. Соответственно, при ежегодной добыче в 440 т, даже считая, что все запасы C_2 перейдут в запасы промышленных категорий, они будут отработаны за 5,4 года.

Поэтому очевидно, что, с одной стороны, финансирования поисковых работ по ФБ недостаточно для подготовки необходимого количества прогнозных ресурсов для поддержания золотодобычи в Российской Федерации в ближайшие десятилетия. С другой стороны, увеличение финансирования по ФБ поисковых работ не обеспечено достаточным количеством подготовленных для их проведения площадей в связи с исчерпанием «поискового задела». Соответственно, в связи с отсутствием ГСР-50, обеспечивающих ранее подготовку площадей для поисковых работ, необходима постановка специализированных опережающих работ на относительно больших слабоизученных перспективных территориях (рудных узлах и полях). В случае принятия новой стадийности ГРР, в проекте которой в стадии региональных работ выделена подстадия «прогнозно-минерагенических» работ, в определённой мере этот вопрос может быть решён. Пока же, согласно «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 г.», постановка новых объектов поисковых работ на золото по ФБ будет осуществляться как минимум до 2024 г. При этом поисковые работы на МПГ не предусматриваются в связи с тем, что их запасами РФ обеспечена на длительную перспективу (входят в первую группу полезных ископаемых по «Стратегии…»). ГРР на золото и в меньшей степени на серебро, достигнутые уровни добычи которых недостаточно обеспечены запасами разрабатываемых месторождений на период до 2035 г. (входят во вторую группу по «Стратегии…»), будут продолжаться. В настоящее время проводится формирование Программы таких работ с началом в 2021–2024 гг. (рис. 13).

Также, согласно «Стратегии…», должна быть усилена роль недропользователей при проведении поисковых работ прежде всего по «заявительному» принципу лицензирования, который действует с 2014 г. На 01.11.2020 г. количество таких лицензий на россыпное золото составляет 2766, на коренное золото – 590, на серебро – 18 и МПГ – 17 (рис. 13). В настоящее время приросты балансовых запасов по результатам таких работ не велики и имеются только для золота. Однако на большинстве лицензионных площадей геологическое изучение продолжается, и первые выводы об их эффективности можно будет сделать в течение следующих двух–трёх лет. Хотя уже очевидны некоторые сложности в эффективной реализации «заявительного» принципа. Во-первых, это вопросы финансирования: большинство лицензий получено малыми и средними компаниями, у которых имеются сложности с организацией финансирования. Так, на диаграмме на рис. 14 представлены плановые объёмы финансирования этих ГРР на 2020 г., которые, по имеющейся информации, чётко не выполняются. Во-вторых, по опыту многих стран, только на небольшой части (обычно первые проценты) таких «зелёных» территорий выявляются промышленные месторождения, и, в-третьих, почти все слабоизученные перспективные на золотое оруденение территории располагаются в сложных ландшафтных условиях [1], что резко усложняет проведение поисковых работ и требует как особых методических подходов, так и более значительного по сравнению со стандартными условиями финансирования.

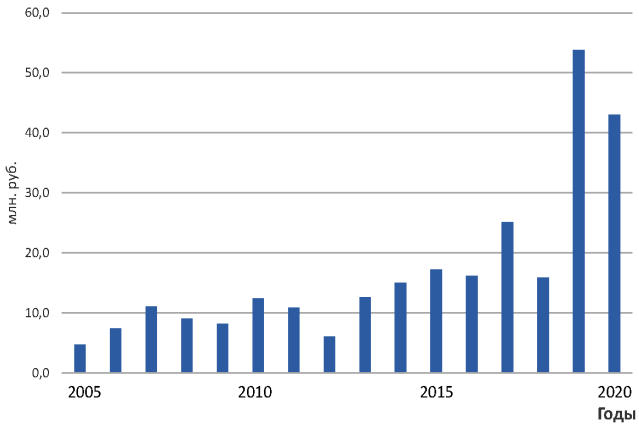


Рис. 12. Стоимость подготовки прогнозных ресурсов $P_1(P_1+0{,}6P_2)$ золота в собственно золоторудных объектах при ГРР за средства федерального бюджета в 2005–2020 гг.

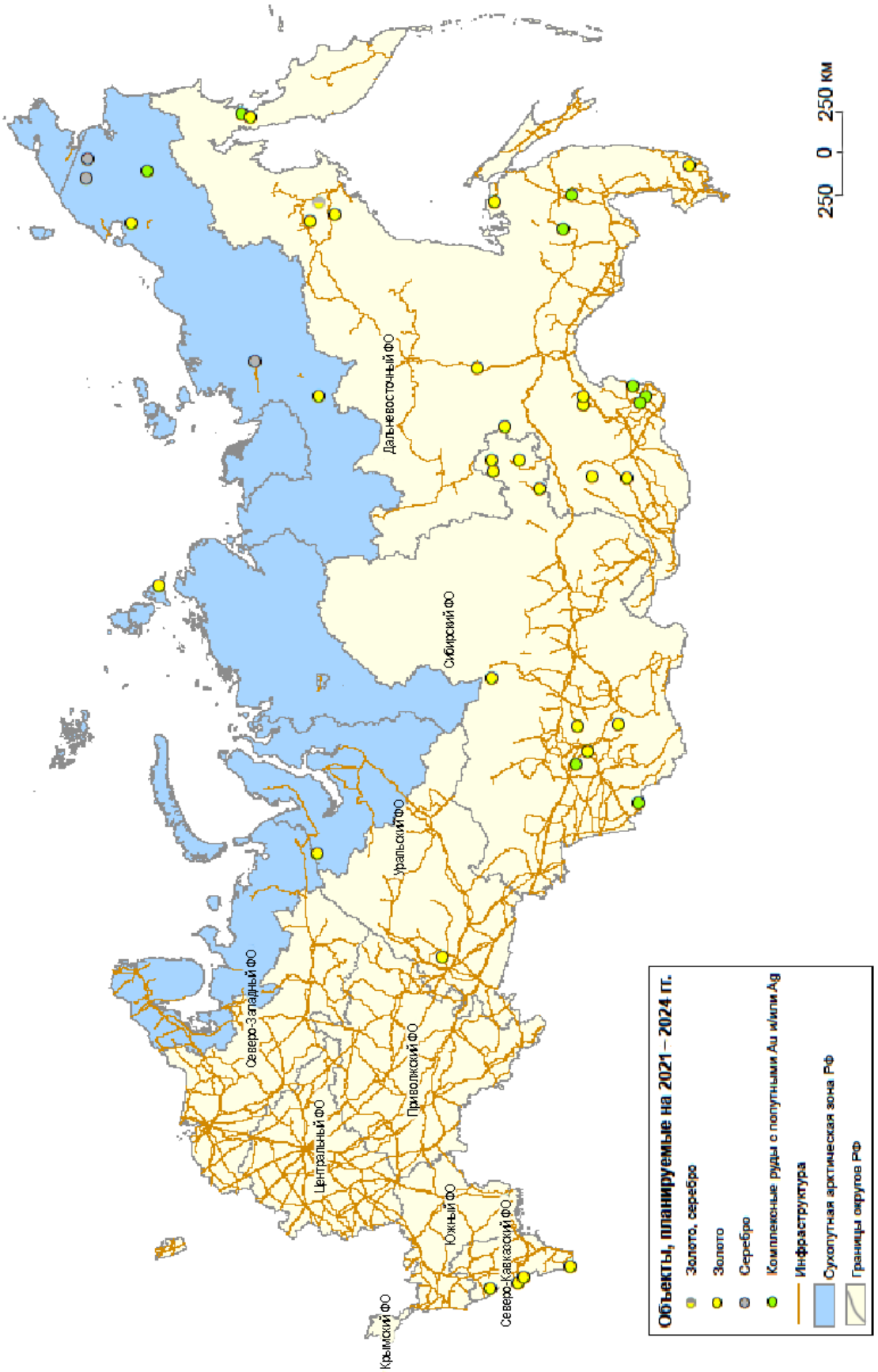


Рис. 13. Размещение планируемых на 2021–2024 гг. объектов ГРР на благородные металлы за счёт средств федерального бюджета

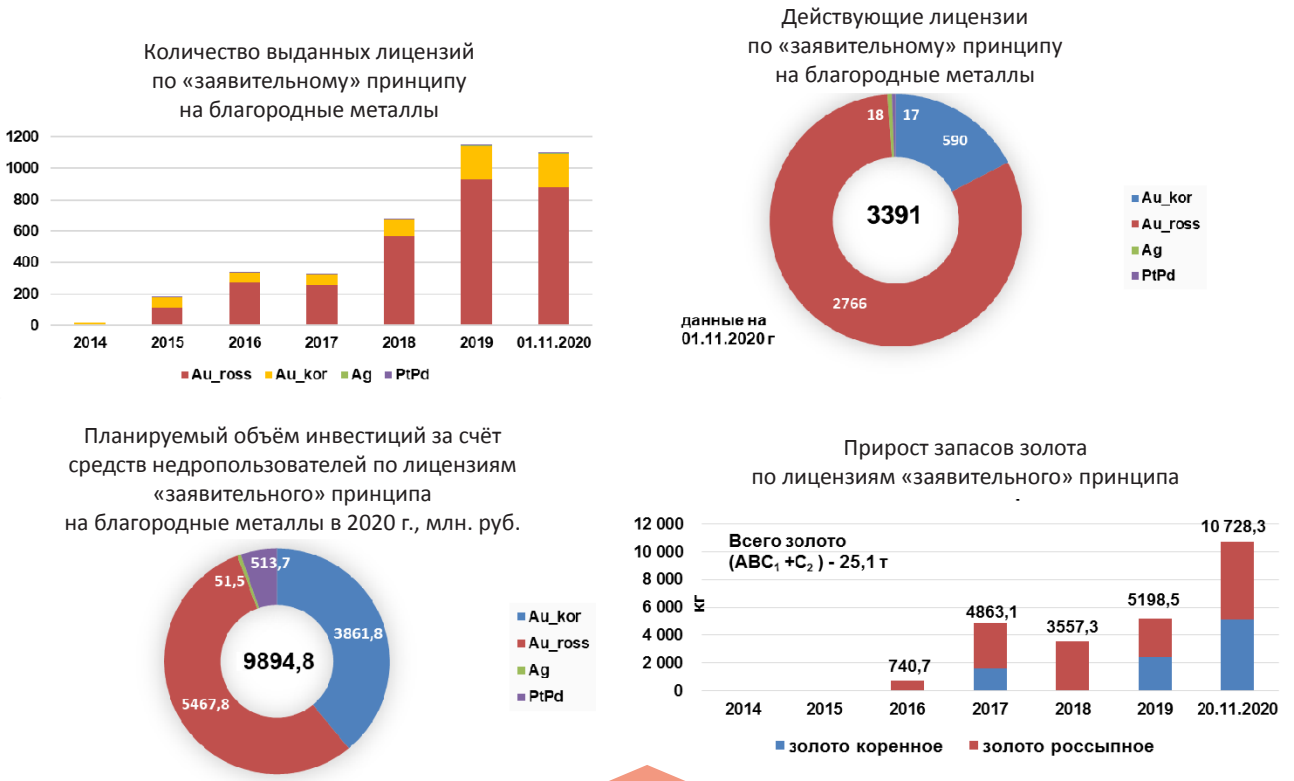


Рис. 14. Поисковые работы по «заявительному» принципу

Резюме. Очевидно, что для поддержания на современном уровне золотодобычи в ближайшие десятилетия необходимо усиление ГРР ранних стадий для подготовки значительного количества объектов с прогнозными ресурсами P_1 и P_2. За средства федерального бюджета должны проводиться не только поисковые работы, но и прогнозно-минерагенические с целью подготовки перспективных участков в том числе и для геологического изучения по «заявительному» принципу. А для развития и повышения результативности поисковых работ по «заявительному» принципу необходимы создание системы финансирования «юниоров» и повышение методического уровня этих работ, что в обозримой перспективе может дать дополнительный прирост прогнозных ресурсов, а затем и балансовых запасов благородных металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов А.И., Черных А.И.* Особенности проведения геологоразведочных работ на рудное золото по заявительному принципу в условиях сложных горно-таёжных ландшафтов // Отечественная геология. – 2019. – № 5. – С. 3–15
2. *Иванов А.И., Черных А.И., Вартанян С.С.* Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации // Смирновский сборник. – 2018. – С. 10–29.
3. *Иванов А.И., Черных А.И., Вартанян С.С.* и др. Состояние, перспективы развития и освоения минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации // Отечественная геология. – 2018. – № 1. – С. 18–28.

REFERENCES

1. *Ivanov A.I., Chernykh A.I.* Osobennosti provedeniya geologorazvedochnykh rabot na rudnoye zoloto zayavitel'nomu printsipu v usloviyakh slozhnykh gorno-tayezhnykh landshaftov [Features of geological exploration for ore gold according to the application principle in the conditions of complex mountain-taiga landscapes]. Otechestvennaya geologiya. 2019. No. 5. P. 3–15
2. *Ivanov A.I., Chernykh A.I., Vartanyan S.S.* Sostoyaniye i perspektivy razvitiya mineral'no-syr'yevoy bazy zolota v Rossiyskoy Federatsii [The state and prospects for the development of the mineral resource base of gold in the Russian Federation]. Problemy mineragenii, ekonomicheskoy geologii i mineral'nykh resursov: Smirnovskiy sbornik, 2018. Moscow. 2018. P. 10–29.
3. *Ivanov A.I., Chernykh A.I., Vartanyan S.S.* et al. Sostoyaniye, perspektivy razvitiya i osvoyeniya mineral'no-syr'yevoy bazy zolota v Rossiyskoy Federatsii [State, prospects for the development and development of the mineral resource base of gold in the Russian Federation]. Otechestvennaya geologiya. 2018. No. 1. P. 18–28.

DOI:10.47765/0869-7175-2020-10027

УДК 55:330.15
© Коллектив авторов, 2020

Возможности нового геологического информационного ресурса – «Интерактивная карта изученности»

Е.В.ПОПОВ, И.В.ЗАХАРКИН, Е.А.ТКАЧЕВА, С.М.МИХАЙЛОВА, О.А.ШПЕКТОРОВА, Г.А.МИХАЙЛОВА (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, предложена модель интерактивной карты изученности. Предлагаемая интерактивная карта выверенных материалов предоставляет огромные возможности для создания каталога работ и построения специализированных карт и картограмм для отражения геологической изученности любой заданной территории.
Ключевые слова: геологическая изученность недр, хранение геологических данных, ревизионные работы, восстановление материалов, ГИС-проекты, атрибутивная таблица, картограмма, интерактивная карта изученности.

Попов Евгений Владимирович epopov@rfgf.ru

Захаркин Иван Владимирович izaharkin@rfgf.ru

Ткачева Елена Александровна etkacheva@rfgf.ru

Михайлова Светлана Михайловна smihaylova@rfgf.ru

Шпекторова Ольга Андреевна oshpektorova@rfgf.ru

Михайлова Галина Александровна gmikhaylova@rfgf.ru

Interactive map of knowledge as an opportunity to unify all types of geological research

E.V.POPOV, I.V.ZAKHARKIN, E.A.TKACHEVA, S.M.MIKHAYLOVA, O.A.SHPEKTOROVA, G.A.MIKHAYLOVA (Russian Federal geological Fund)

The paper addresses the issues of qualitative improvement of information systems which support subsurface use, monitoring, and control of the Russian mineral base through the development of information technologies. Based on material processing, contained in the registration cards of geological studies, in which the main geological study data are summarized, a model of an interactive study map is proposed. The proposed interactive map of verified materials provides a great opportunity for creating a catalog of works, as well as compiling specialized maps and cartograms to reflect the geological study of any given territory.
Key words: geological study of subsurface, storage of geological data, revision works, restoration of materials, GIS projects, attribute table, cartogram, interactive map of knowledge.

Под термином «Изученность» понимается государственный учёт результатов работ по геологическому изучению недр, включающих в себя геологические, геофизические, геохимические, гидрогеологические, инженерно-геологические и эколого-геологические исследования (далее – геологическая изученность).

Степень и оценка состояния геологической изученности являются одним из факторов обоснования постановки и определения задач региональных геологических исследований.

Система учёта и введения изученности существует с 1937 г. и позволяет решать следующие задачи:

- обеспечение федеральных органов исполнительной власти информацией для принятия решений в сфере геологического изучения недр;
- отражение характера и степени изученности территории Российской Федерации;

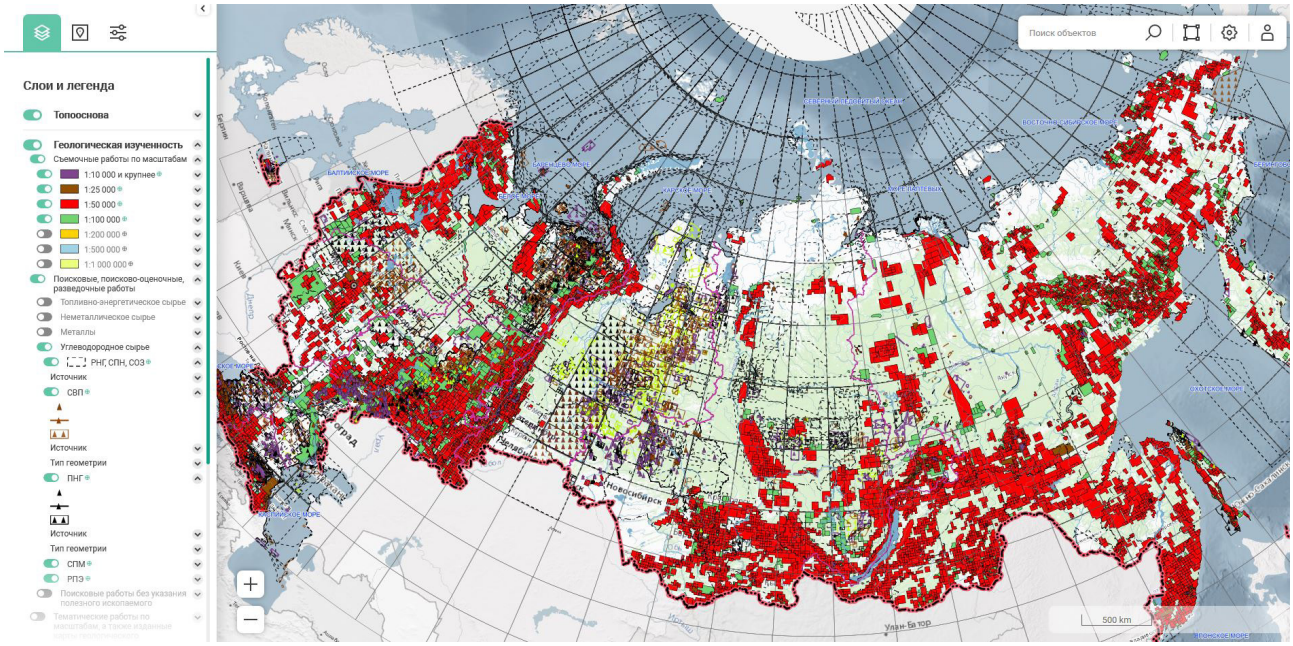


Рис. 1. «Интерактивная карта изученности»:

показаны некоторые масштабы геолого-съёмочных работ и поисковые работы на углеводородное сырьё

• выявление и предотвращение дублирования работ;

• обоснование выбора дальнейшего направления работ, выдачи лицензий на право пользования недрами, а также планирования и оперативного управления геологическим изучением недр на территории Российской Федерации;

• обеспечение поиска отчётных геологических документов, хранящихся в геологических фондах;

• картографическое отображение результатов работ по изучению заданной площади.

С середины 1990 г. начинается цифровизация бумажного массива учётных карточек геологической изученности, а в 2010 г. создаются первые современные информационные массивы данных ИС «Недра», которые базируются на платформе ArcGis. В настоящее время в федеральной базе изученности насчитывается более 266 000 карточек изученности.

Начиная с 2018 г. ФГБУ «Росгеолфонд» в рамках развития функциональных возможностей электронных карт ведёт работы по переносу отраслевых ГИС-проектов на новую платформу интерактивных карт (ПИК).

В рамках развития данного направления в 2020 г. на платформе ПИК создана «Интерактивная карта изученности». Карта размещена на сайте ФГБУ «Росгеолфонд» https://rfgf.ru/exploration-map/(рис. 1). Создание карты на платформе ПИК, основанной на современных открытых программных решениях (Linux, PostgreSQL, PostGIS, Mapserver, OpenLayers, NET Core), позволяет публиковать высоконагруженные интерактивные карты, не зависящие от программного обеспечения, формата и количества исходных данных, скорости доступа. В «Интерактивную карту изученности» включён весь имеющийся массив учётных карточек изученности в цифровом виде. Представленная карта ориентирована на максимально простое и быстрое получение краткой справочной информации по следующим информационным блокам:

• изученность территории съёмочными работами;

• изученность территории поисково-оценочными, разведочными работами, а также работами, не связанными с добычей полезных ископаемых;

• изученность территории тематическими и региональными работами, а также изданные карты геологического содержания;

• география и топография, включающие в себя информацию о номенклатурной разбивке топоосновы на листы масштаба 1:1 000 000 и 1:100 000, о границах РФ, Федеральных округов, субъектов РФ, о населённых пунктах и водных объектах.

На данный момент «Интерактивная карта изученности» представляет собой динамический свод данных изученности федерального и территориального уровней с ежедневным обновлением источников с делением по видам изученности, видам и масштабам работ.

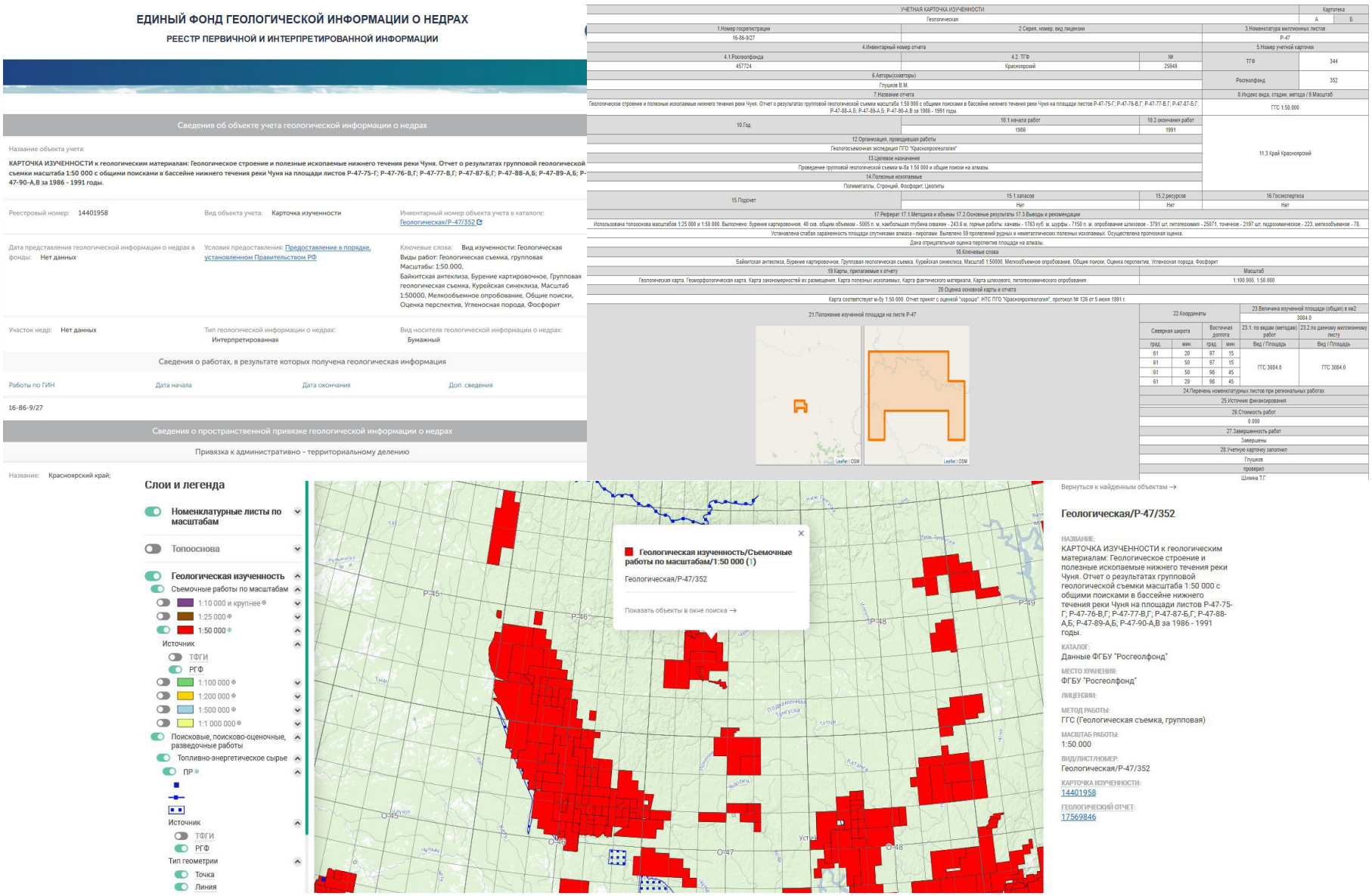


Рис. 2. «Интерактивная карта изученности»:

показаны геологические съёмки масштаба 1:50 000 и поисковые работы на топливо-энергетическое сырьё; выделен контур работы, показаны его аннотации и возможность перехода к учётной карточке в ЕФГИ и электронном каталоге учётных карточек

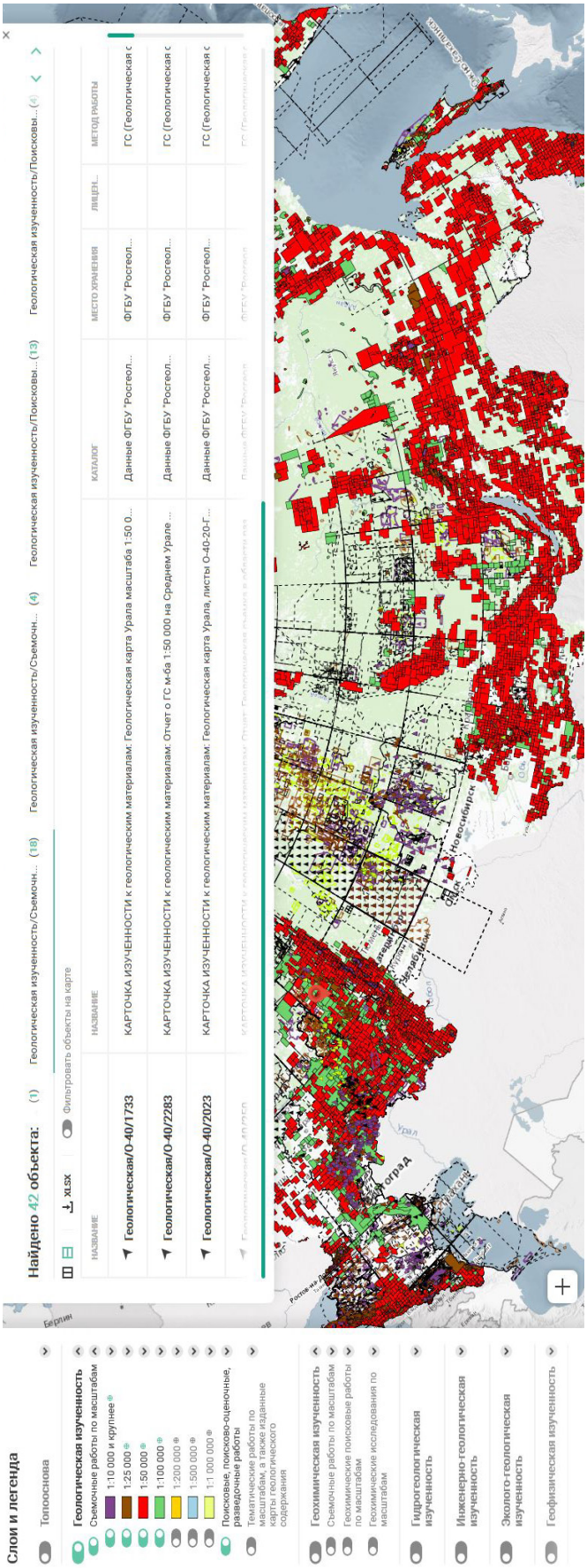


Рис. 3. Возможность получения списка учётных карточек в формате *.xlsx

Все графические объекты аннотированны сведениями о названии отчёта, каталоге и месте хранения данных, лицензии (при наличии), методе и масштабе работ, виде изученности, номенклатурном листе и номере учётной карточки изученности и имеют переходы в реестр ЕФГИ (Единый Фонд Геологической Информации), к каталогам учётных карточек изученности и геологическим отчётам (рис. 2). Меню поиска объектов предусматривает поиск по видам исследования, по названию конкретного объекта и по координатам территории, для которой нужна информация по изученности. Опции поиска настраиваются в зависимости от запроса пользователя и позволяют создать свою личную карту изученности с нужными характеристиками. Полученные данные можно экспортировать в виде таблицы Excel (рис. 3).

«Интерактивная карта изученности» позволяет формировать:

- обзоры и характеристики результатов всех проведённых работ по видам изученности;
- электронные карты всех видов изученности, где показаны контуры работ по определённым масштабам и видам работ в пределах заданных координат;
- выборки отдельных групп геологических исследований, которые необходимы пользователю;
- атрибутивные таблицы, содержащие название отчёта, имена авторов, годы проведения работ, номера лицензии и госрегистрации (при наличии), виды работ, масштаб, площадь исследований.

Основными достоинствами «Интерактивной карты изученности» являются:

- реализация и работа в полном объёме всех заявленных разработчиками возможностей;
- быстрая подгрузка слоёв карты и хорошее наглядное восприятие;
- понятный и удобный для работы интерфейс всех разделов меню карты;
- возможность получения табличной информации и границ отдельных полигонов в ГИС-совместимом формате, не покидая рабочей области сервиса.

В настоящее время «Интерактивная карта изученности» может быть востребована как различными геологическими организациями, так и отдельными недропользователями.

«Интерактивная карта» уже активно используется в фондовой работе при сравнении различных геологических исследований территориального и федерального уровня, так как с каждым годом требования к достоверности, полноте и оперативности обновляемой информационной базы для принятия управленческих решений различного уровня

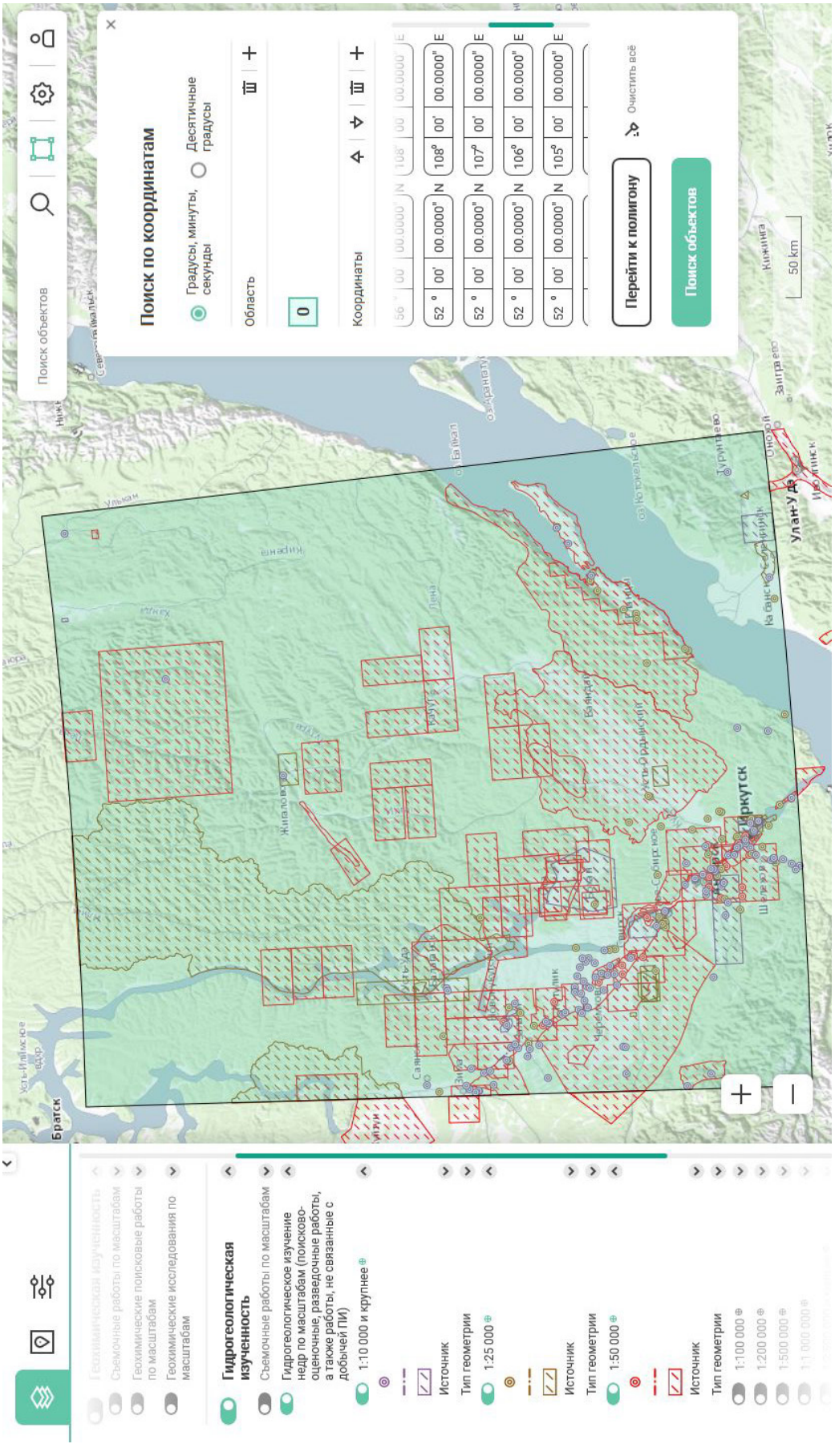


Рис. 4. Пример использования «Интерактивной карты изученности» для проведения ревизионных работ:

выделен контур миллионного номенклатурного листа N-48, выбраны работы по гидрогеологическому изучению недр масштабов 1:10 000, 1:25 000 и 1:50 000

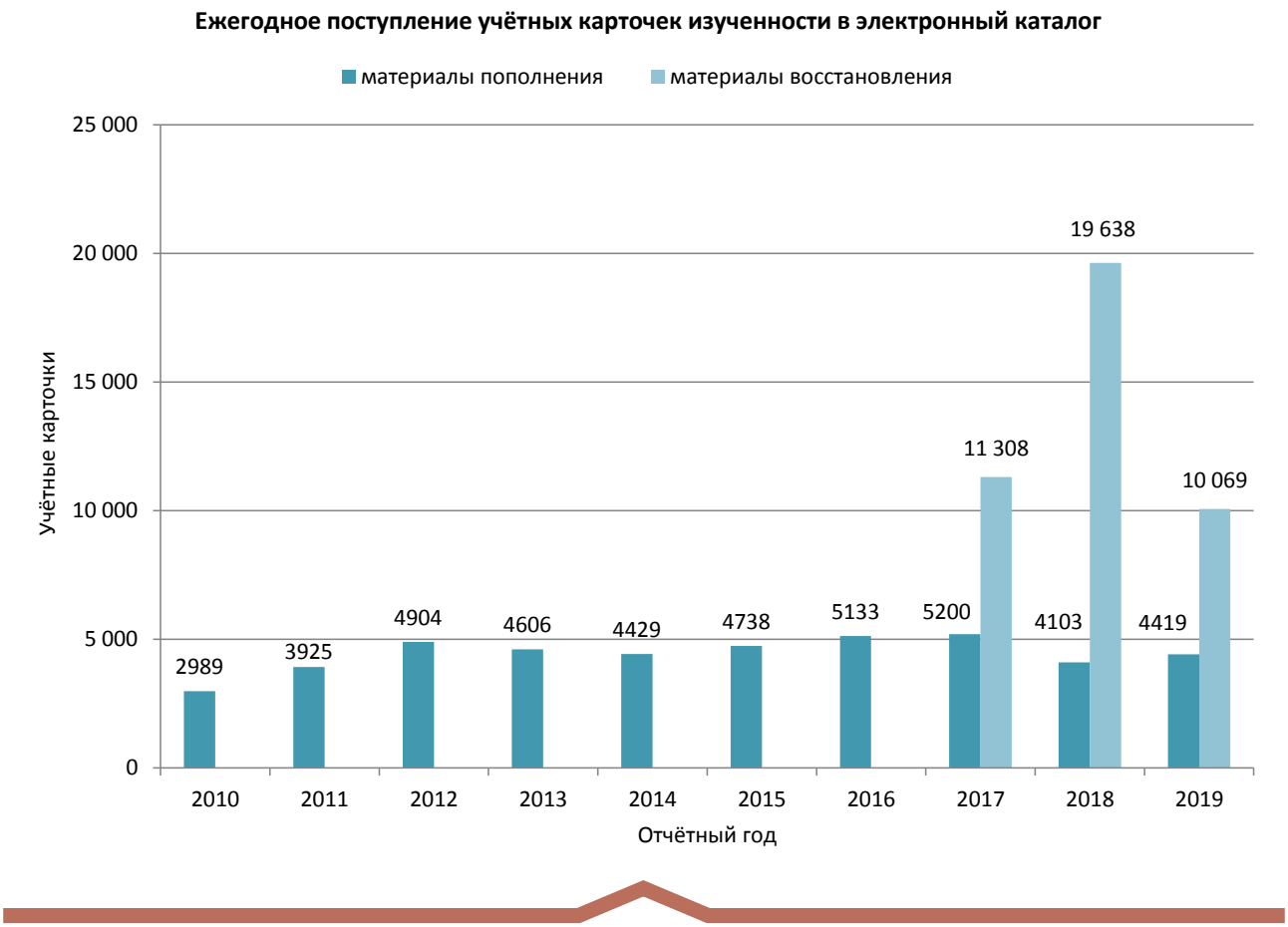


Рис. 5. Ежегодное поступление учётных карточек изученности в электронный каталог

увеличиваются. Поэтому большое значение уделяется актуализации и унификации материалов изученности. Проводятся работы по следующим направлениям:

1. Ревизионные работы с материалами изученности и геологическими отчётами по отдельным номенклатурным листам. Результатом этих работ являются ГИС-проекты и верифицированные и полноценные базы данных (рис. 4).

2. Восстановление учётных карточек по спискам геологических отчётов. В переходный для страны период (от СССР к РФ) произошла частичная потеря фондовой геологической информации. Работы по восстановлению были организованы в 2017 г., когда в результате проведения сверки материалов изученности был выявлен огромный массив геологических отчётов, на которые не составлялись учётные карточки изученности. С 2017 г. ежегодное поступление в электронный каталог учётных карточек изученности возросло в 3–4 раза благодаря восстановлению учётных карточек по результатам сверочных работ (рис. 5).

3. Верификация данных геолого-съёмочных работ и гидрогеологических съёмок масштаба 1:200 000 и 1:1 000 000 по всей территории Российской Федерации и её континентального шельфа с использованием открытых материалов отраслевых организаций (ФГБУ «ВСЕГЕИ», ФГБУ «ВНИИОкеангеология», ФГБУ «Гидроспецгеология»). Результатом работ по верификации данных являются сводные интерактивные картограммы геологической и гидрогеологической изученности территории Российской Федерации и её шельфа, представляющие собой комплекс тематических слоёв изученности, разбитых по масштабам, и предназначенные для отражения характера и степени изученности территории Российской Федерации, выявления и предотвращения дублирования работ, обоснования выбора дальнейшего направления геолого-съёмочных работ. Для составления ГИС-проектов интерактивных картограмм использовались материалы геологических и гидрогеологических съёмочных работ, к которым имелись протоколы

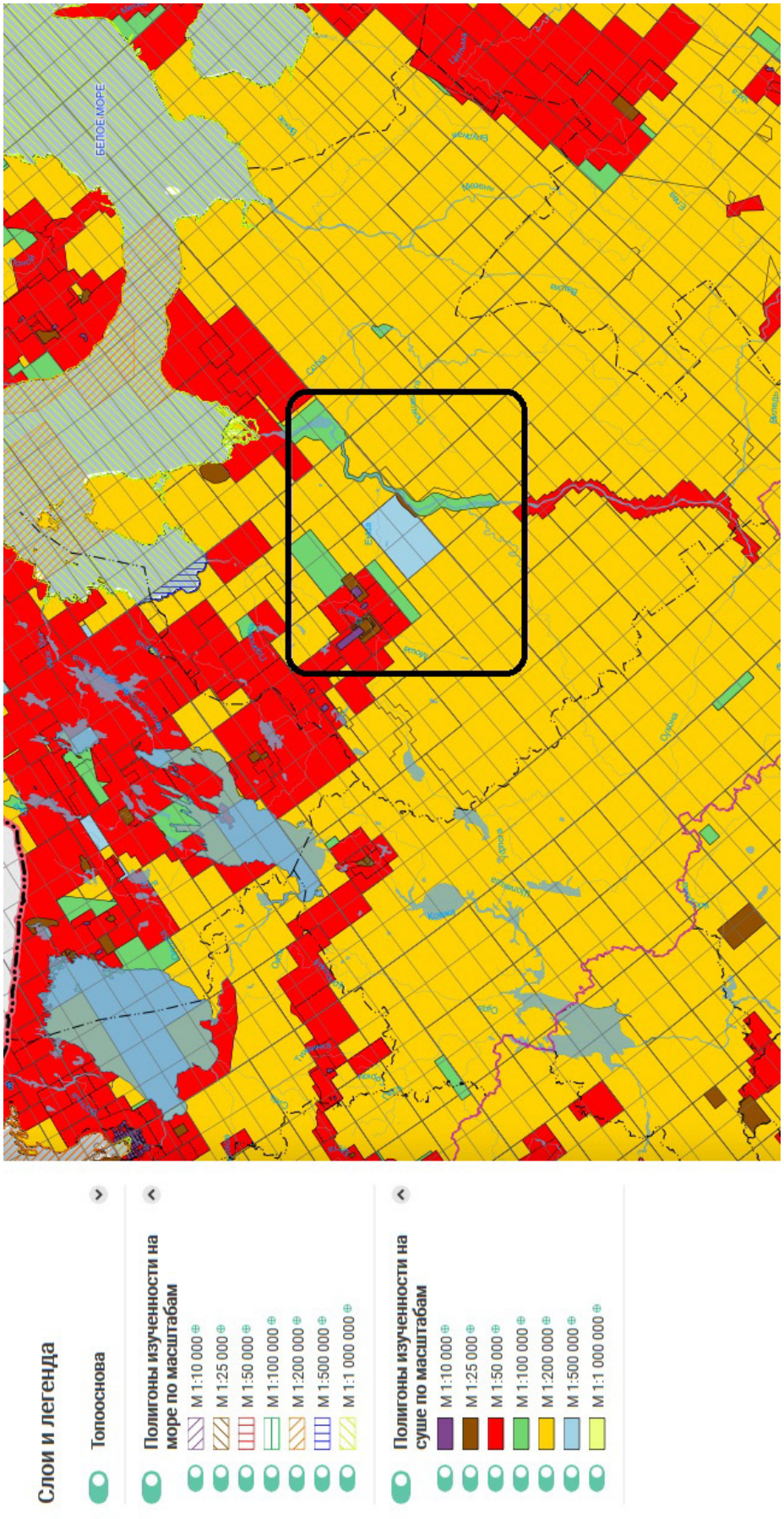


Рис. 6. Фрагмент картограммы изученности территории Российской Федерации и её континентального шельфа с выделенным участком, на котором отсутствует геологическая съёмка масштаба 1:200 000

оценки степени их обоснованности фактическим и кондиционным материалом.

Работа с «Интерактивной картой изученности» позволяет обеспечить возможность продуктивного участия широкого круга заинтересованных экспертов отрасли в решении таких задач, как:

- актуальность и полнота метаданных;
- поддержка взаимной согласованности смежных данных;
- контроль и обеспечение целостности и корректности данных.

Создание «Интерактивной карты изученности» способствует реализации стратегии развития геологоразведочной отрасли до 2035 г. и выполнению государственной программы «Воспроизводство и использование природных ресурсов»:

- создание эффективных программных средств и алгоритмов для анализа больших массивов геологической информации и её визуализации с высоким разрешением;
- формирование единого информационного пространства федерального уровня для нужд хозяйственной деятельности, прогноза развития минерально-сырьевой базы;
- предоставление геологической информации о недрах различным потребителям с использованием современных технологий;
- обеспечение прозрачного и удобного доступа и расширение открытой геологической информации;
- перевод геологической информации в цифровой и унифицированный вид на единой картографической платформе;
- возможность получать табличную информацию и границы отдельных полигонов в ГИС-совместимом формате, не покидая рабочей области сервиса.

Это позволит недропользователям и контролирующим их организациям увидеть полную картину результатов всех геологических исследований, осуществить комплексный анализ проведённых работ, а также планирование, статистику и мониторинг всех видов геологического изучения недр.

Перспективы развития «Интерактивной карты изученности» следующие:

- свод данных изученности федерального и территориального уровня;
- выявление всех отсутствующих в фондах геологических отчётов и заказ скан-образов этих геологических отчётов в организациях, в которых они находятся на хранении;
- возможная интеграция информационных баз данных изученности различных профильных организаций на одну интерактивную платформу.

Таким образом, «Интерактивная карта изученности» позволит обеспечить органы власти, недропользователей, научные организации, учащихся профильных ВУЗов, а также широкий круг лиц знаниями о результатах геологического изучения территории Российской Федерации с возможностью доступа к конкретной геологической информации. Вместе с вступившим в силу заявительным принципом предоставления в пользование открытой геологической информации и вводом в промышленную эксплуатацию ФГИС «ЕФГИ» «Интерактивная карта изученности» будет являться инструментом быстрого получения геологической информации, необходимой для принятия управленческих решений в сфере геологического изучения недр и недропользования, развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации, научных исследований и подготовки высококвалифицированных специалистов геологического профиля.

DOI:10.47765/0869-7175-2020-10028

УДК 551.24.01 (571.61/.64)
© Е.Г.Иволга, Ю.Ф.Манилов, В.Б.Каплун, 2020

Глубинное строение минерагенических зон Южного Приморья

Е.Г.ИВОЛГА, Ю.Ф.МАНИЛОВ, В.Б.КАПЛУН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт тектоники и геофизики им. Ю.А.Косыгина Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИТиГ ДВО РАН); 680000, г. Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65)

На основе комплексного анализа сейсмической, плотностной, магнитной и геоэлектрической информации вдоль геотраверса г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная установлены особенности глубинного строения минерагенических зон региона. Показано, что геофизические методы, имея разную физическую основу, отражают разные характеристики элементов литосферы. Полученные разносторонние геофизические данные позволяют через структурные особенности и физические характеристики минерагенических объектов выявить генезис эндогенных оруденений различного типа, выработать новые подходы к процессу прогнозирования.
Ключевые слова: геофизическая модель, литосфера, террейн, минерагеническая зона, оруденение, дизъюнктивная структура.

Иволга Екатерина Григорьевна
кандидат геолого-минералогических наук — k.ivolga2011@yandex.ru

Манилов Юрий Феликсович
кандидат геолого-минералогических наук — ymanilov@itig.as.khb.ru

Каплун Виталий Борисович
кандидат геолого-минералогических наук — kaplun@itig.as.khb.ru

The deep structure of mineragenetic zones in Southern Primorye

E.G.IVOLGA., Yu.F.MANILOV, V.B.KAPLUN (Institute of Tectonics and Geophysics FEB RAS)

The deep structure of mineragenetic zones under the Spassk-Dalniy–Zerkalnaya Bay geotraverse has been derived from the integrated interpretation of seismic, density, magnetic, and geoelectric data. The studies demonstrate that geophysical methods based on different physical principles reflect various characteristics of lithosphere elements. Large sets of the obtained geophysical data provide crucial information on structural features and physical characteristics of mineragenetic objects to understand the genesis of endogenous mineralization of various types and develop new approaches to forecasting.
Key words: geophysical model, lithosphere, terrane, mineragenetic zone, mineralization, disjunctive structure.

Южная часть Приморья (рис. 1) в геологическом и металлогеническом отношении является наиболее изученным регионом Дальнего Востока. Территория в значительной степени покрыта геологической съёмкой 1:50 000, по ней регулярно проводятся обобщающие работы по тектонике, магматизму и металлогении [3, 4, 6–9, 12, 14, 15, 17–21]. Несмотря на постоянную эволюцию парадигм и методики геологических исследований, большинство работ как в прошлом, так и в настоящее время основывается на изучении верхней части земной коры, то есть области локализации основных рудно-магматических систем (РМС). Гораздо хуже обстоит дело с изучением глубинного строения литосферы областей генерации и транзита РМС.

Цель настоящей работы – на основе комплексной обработки и интерпретации данных разных геофизических методов выявить особенности строения литосферы минерагенических зон вдоль геотраверса г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная.

Тектоника. С запада на восток профиль пересекает Ханкайский супертеррейн (ХС) и Сихотэ-Алинский орогенный пояс (САОП) с наложенным на него в восточной части Восточно-Сихотэ-Алинским вулкано-плутоническим поясом (ВСАВПП) [3, 4, 6] (см. рис. 1).

Ханкайский супертеррейн, он же Ханкайский массив [3, 19], – наиболее древнее гетерогенное сооружение (PR_1–O), состоящее из четырёх террейнов, имеющих разную геодинамическую природу:

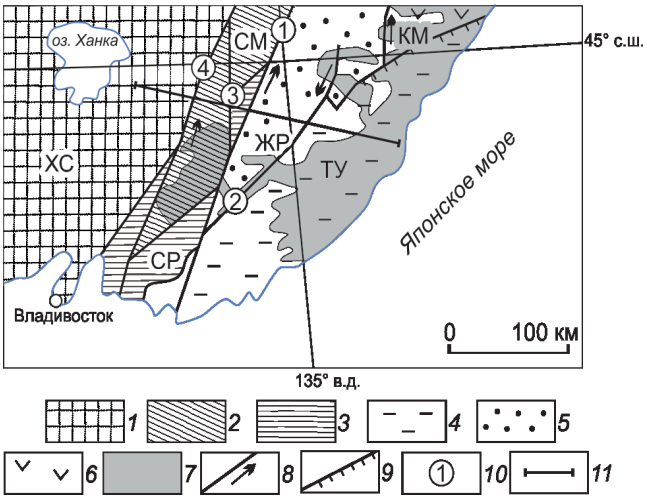


Рис. 1. Тектоническая схема южного Приморья с расположением профиля исследований г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная. *По [4]*:

1 – Ханкайский (ХС) докембрийский супертеррейн; *2–3* – юрские террейны: *2* – фрагменты аккреционных призм (СМ – Самаркинский), *3* – фрагменты докембрийского-раннепалеозойского континента, включённые в структуры юрской аккреционной призмы и испытавшие вместе с ними цикл син- и постаккреционных преобразований (СР – Сергеевский комплекс Самаркинского террейна); *4–6* – раннемеловые террейны – фрагменты: *4* – неокомской аккреционной призмы (ТУ – Таухинский), *5* – приконтинентального синсдвигового турбидитового бассейна (ЖР – Журавлевско-Амурский), *6* – баррем-альбской островодужной системы (КМ – Кемский); *7* – наложенные вулканогенные пояса; *8* – левые сдвиги; *9* – надвиги; *10* – основные разломы: 1 – Центральный Сихотэ-Алинский, 2 – Фурмановский, 3 – Меридиональный, 4 – Арсеньевский; *11* – геофизический профиль г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная

Матвеевско-Нахимовского, Спасского, Вознесенского и Сергеевского. Амальгамация этих террейнов произошла в позднесилурийское время и сопровождалась внедрением коллизионных гранитов шмаковского и гродековского комплексов. Он сложен преимущественно метаморфическими породами разной степени метаморфизма. Изучаемый профиль пересекает Спасский террейн ($Є_1$). Террейн является фрагментом раннепалеозойской аккреционной призмы, сложен хаотическими образованиями турбидитов, известняков, переслаивающихся с кремнями, конгломератами, песчаниками и алевролитами, включающий ультраосновные и основные образования.

Сихотэ-Алинский орогенный пояс представлен с запада на восток Самаркинским, Журавлевско-Амурским и Таухинским террейнами.

Самаркинский террейн сложен комплексами аккреционной призмы (T–J) с глыбами, олистоплаками палеозойских и мезозойских пород различного состава с фрагментами океанических пород рифтовых зон (тахалинский перидотит-габбровый комплекс, P_2).

Журавлевско-Амурский террейн представляет собой синсдвиговый турбидитовый (возможно задуговой) бассейн, выполненный флишевыми и флишоидными терригенными толщами (K_1), формировавшимися в обстановке трансформной окраины. Разрез отложений террейна отчётливо разделяется на берриас-валанжинскую и готерив-альбскую части. В первой преобладают алевролиты и алевроаргиллиты с горизонтами олистростром, во второй части значительна роль флиша и песчаниковой составляющей.

Таухинский террейн – самый восточный, по своей геодинамической характеристике близок к Самаркинскому, является фрагментом неокомской аккреционной призмы. Его отличие в более молодом (K_1) возрасте матрикса. В пределах Таухинского террейна выделяются три породных комплекса, залегающих друг на друге: снизу силинский, выше горбушинский и устиновский. Силинский комплекс состоит из разреза верхнеюрских базальтов и кремнистых пород, перекрывающихся берриас-валанжинскими турбидитами. Горбушинский комплекс пород представлен триасовыми кремнями, юрскими кремнисто-глинистыми породами и берриас-валанжинскими турбидитами. Устиновский комплекс выделяется по олистоплакам, нижняя часть которых состоит из конгломератов, а верхняя – из турбидитов. Характерная особенность террейна – в наличии крупных пластин карбонатных пород, разделяющих вышеуказанные комплексы.

Восточно-Сихотэ-Алинский вулкано-плутонический пояс – наложенная на породы Таухинского, частично Журавлевско-Амурского и Самаркинского террейнов структура, являющаяся частью активной континентальной окраины над зоной субдукции [2, 4]. В пределах профиля вулкано-плутонический пояс расположен в крайней восточной части. Вулканогенная составляющая представлена несколькими вулкано-плутоническими ассоциациями позднего мела и палеогена. *Позднемеловые ассоциации* – производные известково-щелочного магматизма магнетитовой серии, доминирующие во фронтальной части пояса. В тыловой части возрастает щёлочность магматических образований, которые относятся к магнетит-ильменитовой или ильменитовой серии [12]. *Позднемеловые–палеогеновые и палеогеновые* вулкано-плутонические породы выполняют структуры преимущественно субширотного и северо-западного простирания, образование которых связано со сдви-

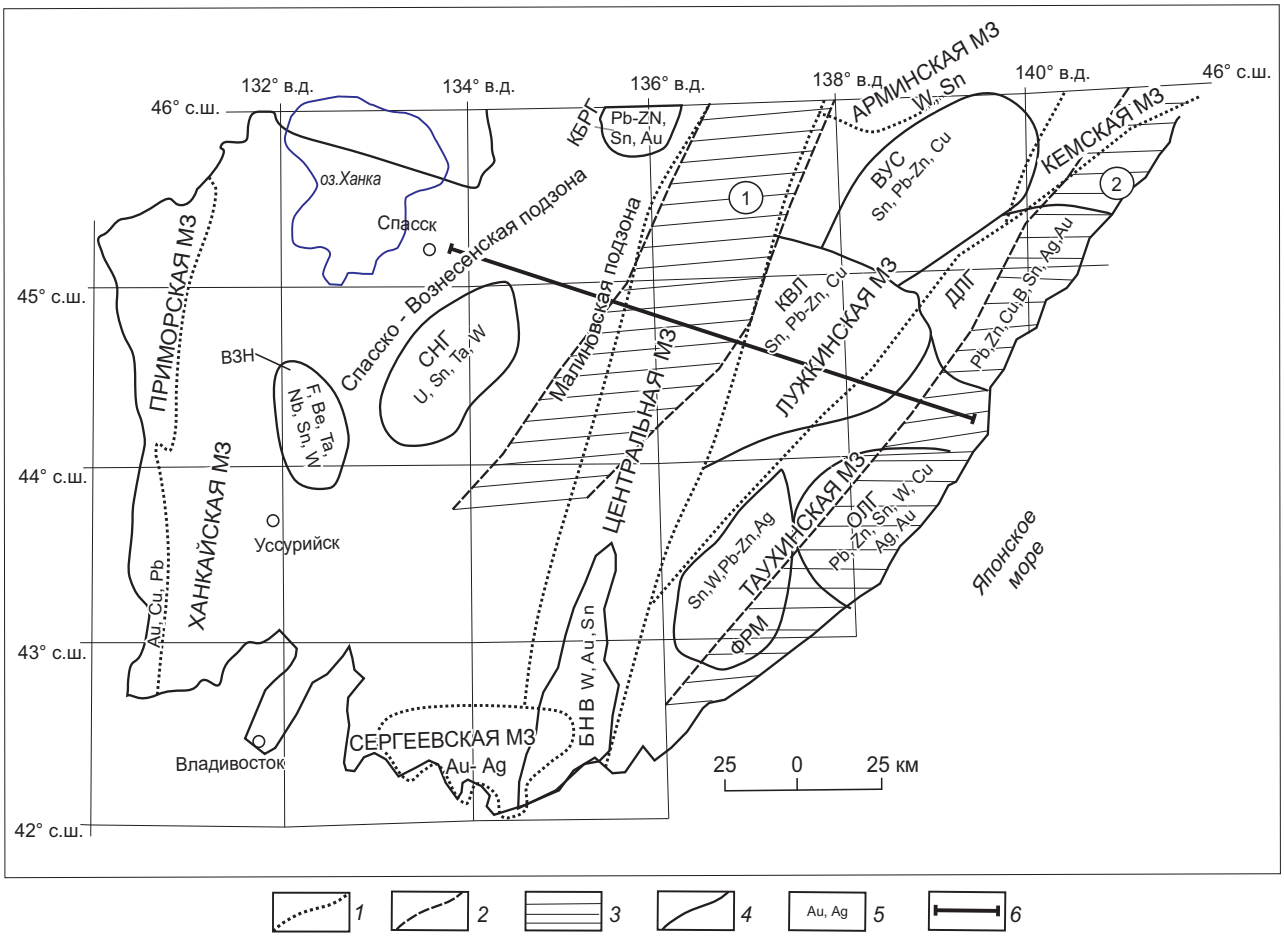


Рис. 2. Металлогенические зоны южного Приморья:

границы: *1* – металлогенических зон (МЗ), *2* – наложенных МЗ; *3* – область распространения наложенных МЗ (1 – Ариадненской, 2 – Прибрежной); *4* – границы рудных районов; *5* – рудная специализация рудных районов и зон; рудные районы: СНГ – Синегорский, ВЗН – Вознесенский, КБРГ – Кабаргинский, КВЛ – Кавалеровский, ВУС – Верхне-Уссурский, ДЛГ – Дальнегорский, ОЛГ – Ольгинский, ФРМ – Фурмановский, БНВ – Беневской; *6* – геофизический профиль г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная

говыми зонами растяжения в обстановке трансформной окраины. Эти магматиты обладают чертами, свойственными внутриплитным образованиям.

Минерагения. Существует много схем минерагенического районирования Приморья, созданных по разным принципам: по генезису преобладающего оруденения, по возрасту магматизма и преобладающего оруденения [4, 15, 17, 20], по геодинамическим условиям образования (доаккреционные, синаккреционные, постаккреционные) [4, 17, 20, 21], по особенностям вмещающих структур и др. [3, 4, 14, 19]. Несмотря на разные подходы к районированию, положение металлогенических зон (МЗ) и ареалов рудоносности вдоль профиля существенно не меняется. МЗ имеют субмеридиональное простирание в рамках выделенных террейнов или по-старому блоков Ханкайского массива и САОП.

Для данной работы использовано минерагеническое районирование М.Д.Рязанцевой [17], которое основано на разделении рудогенерирующего магматизма по геодинамическим условиям образования, и охарактеризованы следующие типы МЗ (рис. 2):

1. Область проявления коллизионного магматизма – Ханкайская МЗ (ХС), Центральная МЗ (Самаркинский террейн).

2. Области проявления субдукционного магматизма – Лужкинская (Журавлевско-Амурский террейн), Таухинская МЗ (Таухинский террейн).

3. Области проявления внутриплитного магматизма – Ханкайская МЗ (Ханкайский супертеррейн), Ариадненская наложенная (Самаркинский террейн), Прибрежная наложенная (Таухинский террейн).

Металлогенические зоны областей проявления коллизионного магматизма. Коллизионный магматизм в пределах *Ханкайской МЗ* начался в раннем палеозое и завершился в силуре. На восточной окраине ХС образовались крупные батолитоподобные массивы биотитовых и роговообманково-биотитовых микроклиновых и лейкократовых гранитов шмаковского комплекса, с которыми на профиле связаны единичные мелкие, не имеющие практического значения рудопроявления вольфрама, полиметаллов, железа (Спасско-Вознесенская подзона). Это скарны, локализующиеся в неглубоких и незначительных по площади провесах кровли, имеющих в своём составе карбонатные породы.

Центральная МЗ пространственно совпадает с Самаркинским террейном САОП, лежит не только в области столкновения, но и перемещения блоков на северо-восток вдоль окраинно-континентальных левосторонних сдвигов. Здесь происходил метаморфизм субстрата и выплавление из него больших объёмов анатектоидных гранитов. Раннемеловые гранитоиды объединяют две плутонические ассоциации – хунгарийский комплекс с особым типом высокоглинозёмистых гранитов (K_1g) и татибинский с повышенной глинозёмистостью и биотитовым типом гранитов (K_1al). С хунгарийскими гранитами в крайней северо-западной части Приморья связаны уникальные месторождения вольфрама. С гранитами татибинского комплекса ассоциируют мелкие месторождения и рудопроявления вольфрама (с оловом) и золота.

С севера на юг (за пределами профиля) в Центральной МЗ выделяются вольфрамоносные рудные районы (РР): Лермонтовский, Средне-Уссурский, Малиновский, Беневской. Рудные тела приурочены к горизонтам известняков в составе крупных олистолитов. Одни из основных особенностей руд – обилие сульфидов, присутствие золота. В то же время и золоторудные проявления обогащены вольфрамом. В олистоплаках кремнистых пород известны проявления марганцевых руд.

В восточной части профиля раннемеловой коллизионный магматизм проявился в *Прибрежной МЗ.* С ним связаны проявления вольфрама, олова, полиметаллов.

Металлогенические зоны проявления субдукционного магматизма. Проявления данного типа магматизма вдоль изучаемого профиля в основном связаны с фрагментом ВСАВПП, который наложен на террейны Сихотэ-Алинского орогена. Формирование пояса произошло над зоной субдукции. В зоне влияния ВСАВПП выявлено две третьих месторождений Приморья.

В составе ВСАВПП участвует несколько разновозрастных вулкано-плутонических ассоциаций: сеноман-туронская, турон-кампанская и маастрихтская. В прибрежной фронтальной части ВСАВПП в составе комплексов доминируют породы известково-щелочных серий с магнетитом, магнитная восприимчивость их 1000×10^5 ед. СИ и более.

Для тыловой части в породах сеноман-кампанского времени фиксируются увеличение основности и щелочности вулкано-плутонических комплексов и появление монцонитоидов среди интрузий магнетит-ильменитовой или ильменитовой серии.

Таухинская МЗ расположена в прибрежной фронтальной части ВСАВПП. В качестве фундамента здесь выступает акреционная призма (K_1) с многочисленными аллохтонными глыбами и олистоплаками триасовых известняков. На севере к профилю примыкает Дальнегорский рудный район, а на юге Ольгинский, который, по сути, является южным продолжением Дальнегорского. В Дальнегорском РР в туроне–сантоне сформировалось уникальное по геологии и размерам скарновое боросиликатное месторождение, а также зоны прожилково-вкрапленного олово-полиметаллического оруденения в окварцованных и турмалинизированных вулканитах (месторождение Заявочное). Собственно Pb-Zn-скарновые месторождения формировались в маастрихтское время, размещаются в олистоплаках триасовых известняков.

Лужкинская МЗ находится преимущественно в тыловой (монцонитоидной) зоне ВСАВПП и охватывает южную часть Журавлевско-Амурского террейна, фрагментарно выходит за его пределы. МЗ объединяет значительную часть промышленно интересных оловорудных объектов Приморского края. Геофизический профиль пересекает наиболее изученный Кавалеровский РР, где западная его часть находится в пределах Журавлевско-Амурского террейна, а восточная – в пределах Таухинского. Ареал распространения оловянных месторождений связан с многокилометровыми толщами турбидитов.

Пространственно большинство месторождений и рудопроявлений Лужкинской МЗ тяготеют к субширотным и северо-западным вулкано-тектоническим депрессиям (ВТД), которые выполнены субщелочными вулканитами палеогенового богопольского комплекса.

В пределах ВСАВПП выделяют наложенную *Прибрежную МЗ*, охватывающую Прибрежный и Кемский блоки (за пределами площади), в которой Au-Ag минерализация связана с палеогеновыми вулка-

нитами и интрузиями (якутинский комплекс). Они резко отличаются от позднемеловых вулкано-плутонических комплексов. Их формирование связано со сдвиговыми зонами растяжения в тыловой части Японской островодужной системы [4, 20], образовавшейся в постсубдукционный период в трансформной континентальной окраине.

Металлогенические зоны областей проявления внутриплитного магматизма. Формирование МЗ этого типа не связанно с взаимодействием литосферных плит. Среди них различают комплексы «смешанных» и «несмешанных» магматических серий [17]. Первые – это вулканические и плутонические породы, образовавшиеся в связи с внедрением в литосферу мантийного плюма без существенного изменения состава исходной магмы; представлены они базальтовыми и базит-гипербазитовыми комплексами. Вторые – со значительным изменением состава исходной магмы в результате взаимодействия с веществом верхней мантии и земной коры.

Магматизм «несмешанных» серий проявился исключительно в Самаркинском террейне, представлен позднеюрскими интрузиями кокшаровского ультраосновного–щелочного и ареадненского перидотит-габброидного комплексов. Здесь выделена наложенная *Ариадненская МЗ*, где с массивами габбро-перидотитов ариадненского комплекса связано титановое оруденение, представленное исключительно скоплениями ильменита (Ариадненское месторождение). Коренные месторождения сопровождаются промышленными россыпями ильменита, титано-ильменита, сфена, ильмениторутила. В этой же зоне выявлены меймечиты, слагающие экструзивные тела и брекчии меймечит-пикрит-кимберлитового состава, с которыми могут быть связаны платина и алмазы. Со щелочными породами сиенитового ряда кокшаровского комплекса, в том числе сиенитоподобными породами, претерпевшими интенсивный щелочной метасоматоз, тесно связана минерализация Nb, Zr, TR. В нескольких ультраосновных массивах также проявлена никелевая вкрапленная минерализация. Магматизм «смешанных» серий выявлен в двух минерагенических зонах – Ханкайской и Прибрежной.

К этим магматическим ассоциациям относятся: ордовикские вознесенские граниты, локально развитые в пределах Спасско-Вознесенского блока, раннекаменноугольные куйбышевские граниты – комагматы вулканитов, широко распространённых в Синегорской вулканической впадине. В южной части МЗ расположен *Вознесенский РР*, который характеризуется многообразием генетических и минеральных типов минерализации. Основная специализация оруденения района – фтор, олово, редкие металлы. В пределах Синегорской наложенной вулканической впадины, выполненной девонскими и каменноугольными вулкано-плутоническими комплексами «смешанных» серий, расположен Синегорский РР, обладающий резко выраженной специализацией на U, Mo, F. В куйбышевских гранитах известны мелкие проявления Sn касситерит-кварцевой формации, Ta, Nb, Au.

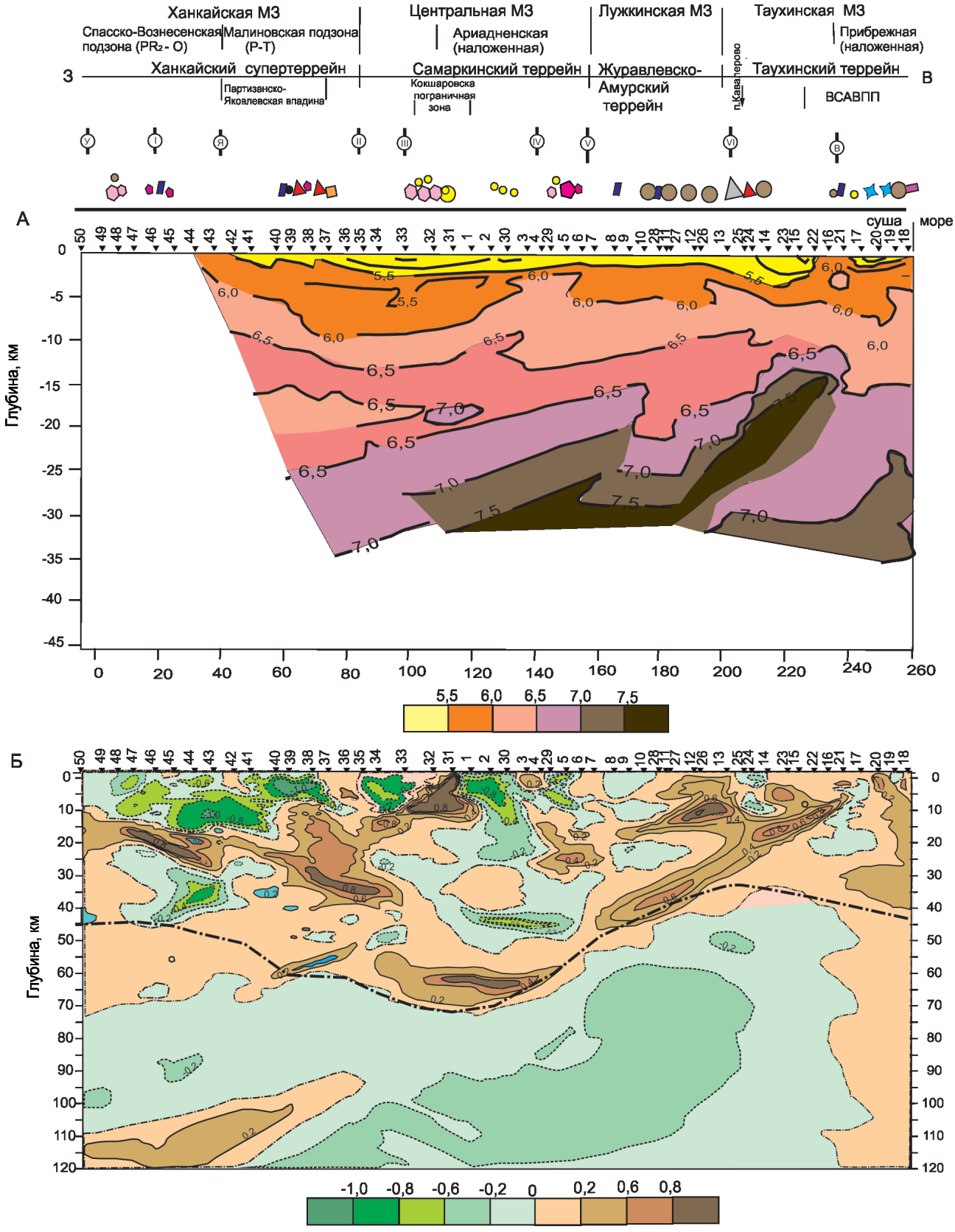
Исходные данные и методика. Выбор геотраверса для изучения обусловлен наличием информации по комплексу геофизических методов. В разные годы вдоль профиля проведены: сейсморазведка (ГСЗ) [1, 5], электроразведка (МТЗ) [10], гравиразведка и магниторазведка в рамках выполнения соответствующих съёмок и создания государственных карт магнитного и гравитационного полей масштабов 1:200 000–1:1 000 000.

Глубинные сейсмические зондирования (ГСЗ) на протяжении достаточно долгого времени использовались специалистами в том виде, в каком представили свои результаты непосредственные исполнители работ [5]. В последнее время первичные данные подверглись переинтерпретации – откорректировалась скоростная картина профиля и её геологическая интерпретация [16]. В настоящей работе приводится авторское понимание этих материалов применительно к металлогеническому районированию.

Обработка гравиметрических и магнитометрических материалов проводилась по апробированной методике [8, 9, 11]. Основным инструментом обработки информации геопотенциальных полей являлась компьютерная технология «КОСКАД 3D», предназначенная для анализа трёхмерной цифровой геоинформации методами вероятностно-статистического подхода [12]. По результатам решения обратных задач были созданы плотностная и магнитная 3D модели Южного Приморья, на основании которых далее построены интерпретационные разрезы по геотраверсу г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная (рис. 3, Б, В) вдоль линии ГСЗ и двух параллельных ему профилей, заданных в 50 км к югу и к северу от основного.

Глубина расчётной модели для данной работы выбрана исходя из глубины залегания главных гравитирующих поверхностей, которые рассчитывались по параметрам аномалий поля силы тяжести, составляет 122 км. Плотностной разрез является вертикальным срезом полученной модели.

Положение глубинных разломов взято по данным [3, 19] и материалам изданных и подготовленных к изданию листов Государственной геологической карты РФ масштаба 1:1 000 000 (3-е изд.) [6]. Глубинные нарушения – границы раздела сред с различными характеристиками физических параметров.


Ханкайская МЗ
Спасско-Вознесенская подзона (PR₂ - O)
Малиновская подзона (P-T)
Центральная МЗ
Ариадненская (наложенная)
Лужкинская МЗ
Таухинская МЗ
Прибрежная (наложенная)
З
Ханкайский супертеррейн
Партизанско-Яковлевская впадина
Самаркинский террейн
Кокшаровска пограничная зона
Журавлевско-Амурский террейн
п.Кавалерово
Таухинский террейн
ВСАВПП
В
А
суша
море
Глубина, км
5,5 6,0 6,5 7,0 7,5
Б
Глубина, км
-1,0 -0,8 -0,6 -0,2 0 0,2 0,6 0,8

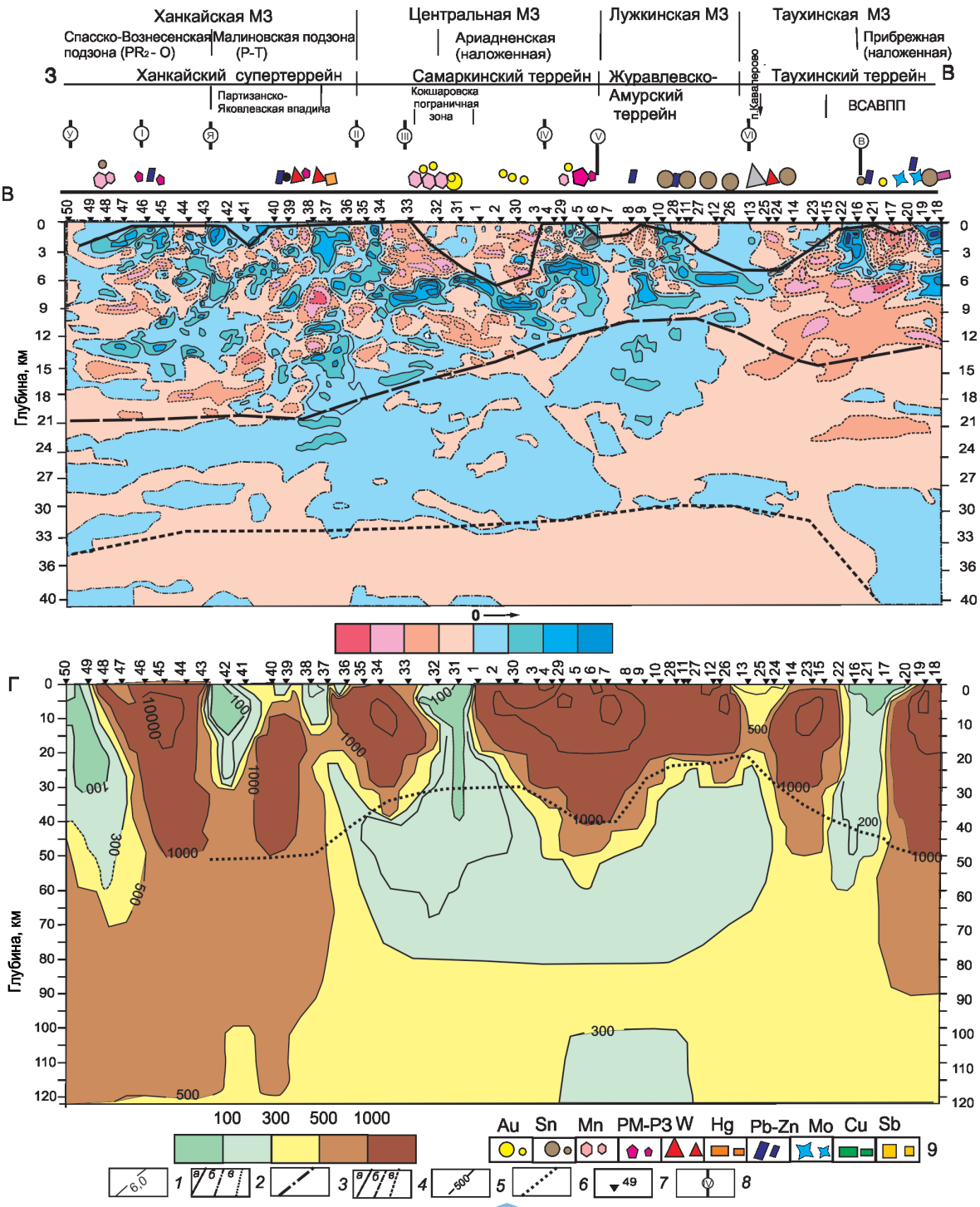


Рис. 3. Проявленность металлогенических зон в физических полях по профилю г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная:

А – в скоростном разрезе; Б – в разрезе гравитационного поля; В – в разрезе магнитного поля; Г – в разрезе кажущегося электрического сопротивления; *1–2* – изолинии: *1* – скорости продольных волн (для разреза А), *2* – физических полей: *а* – положительные, *б* – нулевые, *в* – отрицательные (для разрезов Б и В); *3* – нижняя граница дифференцированного гравитационного поля; *4* – глубинные границы типов магнитного поля: *а* – первая приповерхностная слабоинтенсивного поля, *б* – вторая сильно дифференцированного интенсивного поля, *в* – третья слабоположительного поля, ниже которой область слабоотрицательного поля (для разреза В); *5* – изолинии кажущегося удельного сопротивления (для разреза Г); *6* – нижняя граница высокоомной части разреза; *7* – пункты МТЗ; *8* – общепризнанные разломы, выделенные по геологическим и геофизическим данным: I – Среднеханкайский, II – Арсеньевский, III – Самаркинский, IV – Меридиональный, V – Центрально-Сихотэ-Алинский, VI – Фурмановский; второстепенные разломы: У – Уссурийский; Я – Яковлевский; В – Восточный; *9* – месторождения и проявления полезных ископаемых

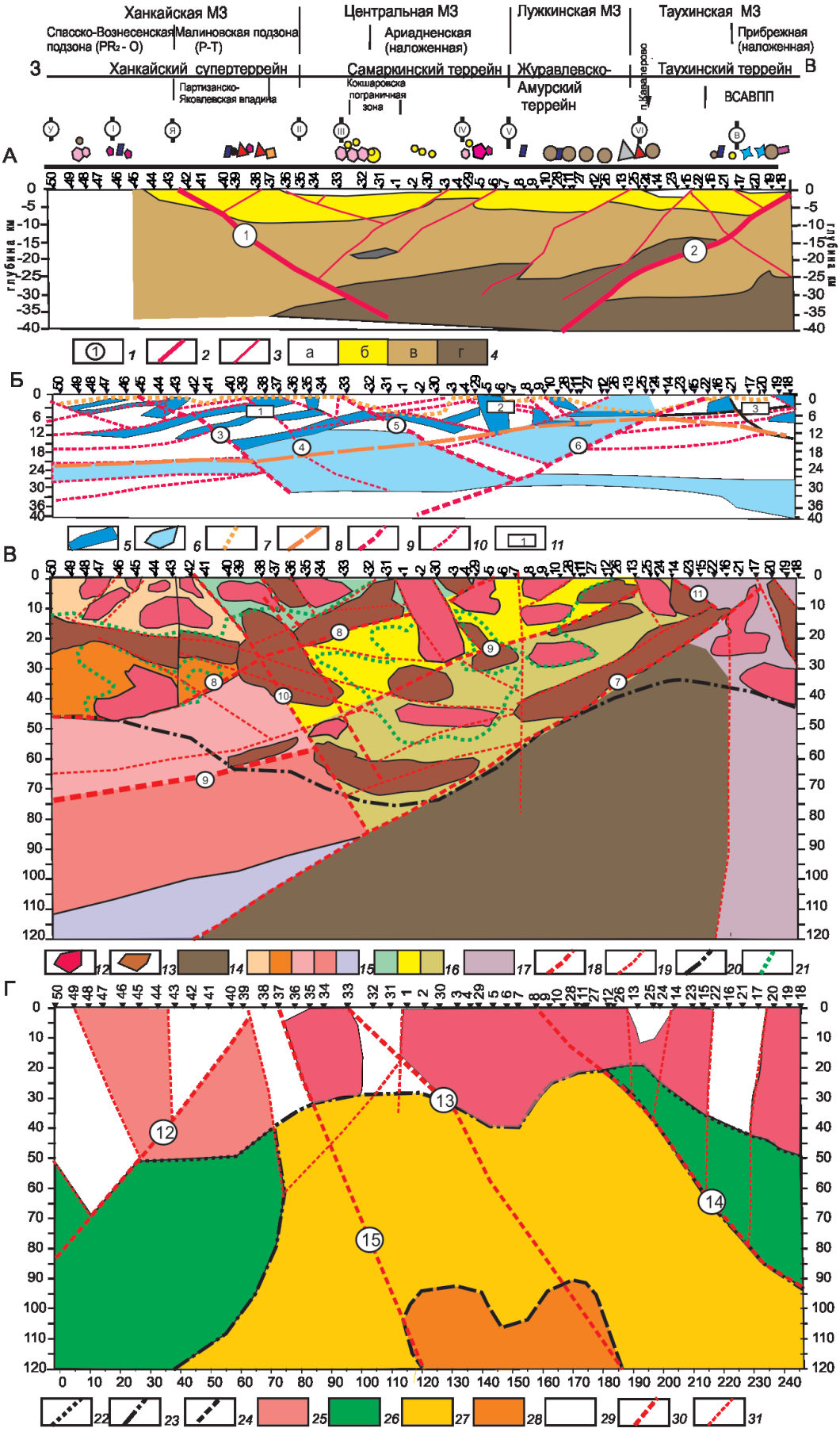

Ханкайская МЗ
Центральная МЗ
Лужкинская МЗ
Таухинская МЗ
Спасско-Вознесенская подзона (PR₂ - O)
Малиновская подзона (P-T)
Ариадненская (наложенная)
Прибрежная (наложенная)
З
Ханкайский супертеррейн
Самаркинский террейн
Журавлевско-Амурский террейн
Таухинский террейн
В
Партизанско-Яковлевская впадина
Кокшаровска пограничная зона
п.Кавалерово
ВСАВПП
А
Б
В
Г
глубина км

Рис. 4. Проявленность металлогенических зон в геофизических моделях по профилю г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная:

А – интерпретационный сейсмический разрез: разломы: *1* – общепризнанные (название см. рис. 3), *2* – мантийные, выделенные на основе разреза скоростей, *3* – прочие; *4* – предполагаемые слои на основе разреза скоростей: *а* – осадочный нелитифицированный (до 5,5 км/сек), *б* – осадочный литифицированный (5,5–6,0 км/сек), *в* – гранитно-метаморфический (6,0–7,0 км/сек), *г* – базитовый (>7 км/сек); Б – интерпретационный разрез эффективной намагниченности: *5* – локальные аномалии высокой намагниченности; *6* – области повышенной намагниченности; *7* – граница приповерхностной зоны пониженной намагниченности; *8* – нижняя граница магнитоактивного слоя; разломы, выделенные на основе магнитной модели: *9* – главные и *10* – прочие; *11* – структуры купольного типа, выделяемые на основе магнитной модели, предположительно интрузивной природы; В – плотностной интерпретационный разрез: локальные аномалии эффективной плотности: *12* – положительной, *13* – отрицательной, *14* – области пониженной плотности; *15–17* – строение литосферы глубинных областей: *15* – Ханкайской, *16* – Сихотэ-Алинской, *17* – Япономорской; *18–19* – разломы, выделенные на основе разреза эффективной плотности: *18* – главные, *19* – прочие; *20* – граница литосферы корового типа; *21* – области внутрикорового разуплотнения; Г – геоэлектрический интерпретационный разрез: *22* – нижняя граница разреза с сопротивлением более 1000 Ом·м; *23* – нижняя граница разреза с сопротивлением более 500 Ом·м; *24* – верхняя граница разреза с сопротивлением менее 300 Ом·м; *25* – область слоя с сопротивлением более 1000 Ом·м, предположительно соответствующая мощности земной коры; *26* – область слоя с сопротивлением 500–1000 Ом·м, предположительно соответствующая «твёрдой» мантии; *27* – область слоя 500–300 Ом·м, предположительно соответствующая флюидонасыщенной мантии; *28* – область слоя с сопротивлением менее 300 Ом·м, соответствующая предположительно области разогретой мантии; *29* – флюидопроводящие каналы и области в коре с сопротивлением менее 300 Ом·м; *30* – главные разломные системы и их нумерация по геоэлектрическим данным; *31* – прочие разломы

Обзор полученных результатов. На первом этапе исследований построены геофизические модели (см. рис. 3) по отдельным геофизическим методам, особенности которых изложены ниже.

Сейсмическая модель представлена на рисунках 3 и 4. Скоростная картина поля по профилю г. Спасск-Дальний–возвышенность Витязя (см. рис. 3, А) приведена без изменений по работе А.Г.Родникова и соавторов [16, континентальная часть]. На рис. 4, А отражена генерализация сейсмического разреза по полю скоростей. Скоростное поле модели ограничивается глубиной 45 км.

По аналогии с [1, 2] было выделено четыре формальных слоя: нелитифицированный «осадочный» (<5,5 км/сек), «осадочно-вулканогенный» (5,5–6 км/сек), «гранитно-метаморфический» (6–7 км/сек) и «базальтовый» (7–8 км/сек). Часть границ, проведённых по линиям градиентов скоростей, идентифицирована как глубинные нарушения. В основном они имеют падение в сторону Ханкайского массива и только на крайнем западе профиля появляются нарушения с падением в сторону Сихотэ-Алинского орогена.

На рис. 4, А контрастно проявились 3 части: западная, центральная и восточная. Центральная, расположенная между глубинными нарушениями 1 и 2, наиболее контрастная, с резким изменением формы, мощности и глубины залегания основных слоёв. Основным тектонообразующим глубинным фактором на разрезе явился подъём континентального базальтового слоя. В западной и восточных частях границы слоёв близгоризонтальные. В западной части наиболее мощный из всех гранитно-метаморфический слой. Базальтовый слой в этой части на скоростном разрезе фиксируется не везде и наиболее погружён в сравнении с центральной и восточной частями.

Магнитная модель. По вертикали разрез охватывает всю мощность земной коры, где по характеру магнитного поля выделяется 4 слоя (см. рисунки 3, В и 4, Б). *Первый* слой – приповерхностная область слабомагнитных образований. Максимальная её мощность (до 6 км) наблюдается в пределах Кокшаровской пограничной зоны и Центральной МЗ, на границе Лужкинской и Таухинской МЗ, в пределах Партизанско-Яковлевской впадины. *Второй* слой – наиболее дифференцированный и структурированный по магнитным свойствам. В пределах Ханкайского массива глубина его нижней границы достигает 21 км, постепенно уменьшаясь в восточном направлении до 10 км с локальным подъёмом в районе Фурмановского разлома (граница Лужкинской и Таухинской МЗ). *Третий* глубинный слой по магнитным свойствам слабо дифференцирован, его максимальная глубина достигает 40 км. По латерали делится на две части: западная от ХС до Фурмановского разлома, где характерно слабоположительное магнитное поле, и восточная после Фурмановского разлома, для которой характерно слабоотрицательное магнитное поле. *Четвёртый* слой по магнитным свойствам наименее дифференцирован. В целом для него характерна отрицательная намагниченность. Только на глубине 26–30 км под Таухинской МЗ выделяются локальные области повышенной намагниченности.

Плотностная 3D модель. Согласно плотностному разрезу (см. рисунки 3, Б и 4, В), по характеру распределения плотностных неоднородностей

выделяются две части: относительно расчленённая верхняя (0–70 км) и слаборасчленённая нижняя (50–120 км). Границу между ними авторы интерпретируют как нижнюю границу литосферных образований корового типа. Коровые образования Ханкайского супертеррейна (ХС) и Сихотэ-Алинского орогенного пояса (САОП) образуют синклиналь с более пологим западным бортом в ХС и более крутым восточным в САОП. В центральной части, в области взаимодействия литосферных объектов ХС и САОП на глубинах 50–70 км выделяются аномалии высокой плотности. В восточной части разреза наблюдается ещё более крупная линейная аномалия высокой плотности, погружающаяся от 10 до 50 км с востока на запад.

Нижняя часть плотностного разреза с глубины 40–50 км до его основания характеризуется преимущественно однородным полупространством пониженной плотности, окружённым сверху и с востока областями повышенной плотности. Область пониженной плотности нижней части разреза имеет тенденцию воздымания с запада на восток от основания разреза к поверхности.

Геоэлектрическая модель (см. рисунки 3, Г и 4, Г) отражает распределение электропроводности на глубину 120 км. По вертикали разрез делится на 2 части: высокоомную верхнюю и низкоомную нижнюю. Литосфера с сопротивлением свыше 1000 Ом и сильной дифференциацией наблюдается до глубины не более 50 км. Вероятно, этой глубиной ограничивается область распространения коровых образований.

Нижняя часть разреза демонстрирует распределение сопротивлений в верхней мантии. Области повышенного сопротивления (500–1000 Ом·м) наблюдаются в пределах Ханкайского массива и прибрежной части ВСАВПП. В центральной части профиля на глубине 50–115 км наблюдается подъём относительно низкоомного горизонта с сопротивлением 500 Ом и менее.

Интерпретация. Понимание геолого-структурных особенностей металлогенических зон выполнено на основе комплексного анализа указанных моделей. В структуре литосферы рассматриваемых разрезов (см. рис. 3) заметно выделяются 2 основных глубинных горизонта: условно 0–70 и 50–120 км.

Верхний горизонт представлен на всех геофизических разрезах, нижний – только на плотностном и геоэлектрическом.

Анализируя полученные интерпретационные разрезы (см. рис. 4), можно отметить, что системы глубинных нарушений № 10 и № 7+№ 11 (см. рис. 4, В) делят литосферу вдоль геотрансекта г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная на 3 части (глубинные области): западную – Ханкайскую (ХГО), центральную – Сихотэ-Алинскую (САГО) и восточную – Япономорскую (ЯМГО).

Ханкайская глубинная область имеет сложнопостроенную верхнюю часть разреза до глубины 20–25 км, где наблюдается большое количество наклонных границ как восточного, так и западного падения, простирание которых контролируют субвертикальные и наклонные глубинные нарушения. Нижняя часть разреза более однородна и имеет преимущественно субгоризонтальное залегание элементов глубинного строения.

Структурно ХГО (см. рис. 4, В) состоит из 5 основных глубинных этажей, которые разбиты на блоки нарушениями различного падения, наиболее контрастные из них два коровых. Верхний этаж менее плотный, осложнён вертикальными локальными аномалиями разуплотнения (возможные плитные интрузии гранитоидов). Второй сверху этаж – менее дифференцирован, преимущественно сложен крупными линейными объектами высокой плотности. Нижние 3 этажа (преимущественно мантийные) значительно менее дифференцированы и отличаются между собой по плотностным характеристикам. Общей особенностью глубинной области является унаследованная слоистая структура как в земной коре, так и в литосферной мантии.

Сихотэ-Алинская глубинная область. Её наиболее контрастным элементом является чашеобразная структура, выделяемая в разных моделях и оконтуренная глубинными нарушениями: № 1 и № 2 в скоростном разрезе (см. рис. 4, А), № 3 и № 6 – в магнитном (см. рис. 4, Б), № 10 и № 7 – в плотностном (см. рис. 4, В).

Выделяемая в пределах САГО чашеобразная структура представляет собой моноклиналь, которая по вертикали делится на три наклонных яруса, разделённых прослоями образований высокой плотности, наклонённых в сторону Ханкайского массива.

Мантийная составляющая литосферы САГО (см. рис. 4, В) более однородная, с некоторым уменьшением плотности к востоку от Восточного разлома и подъёмом к окраине континента. На геоэлектрическом разрезе под САОП между Арсеньевским и Фурмановским разломами сопротивление верхней мантии относительно краевых частей понижено. В подкоровой части разреза сопротивление постепенно повышается, достигая максимальных значений в коре. Структура подъёма однородной мантии, выделенная на плотностной модели, в целом согласуется с распределением электрического сопротивления, которое соответствует характеристикам флюидонасыщенной мантии.

Япономорская глубинная область по физическим параметрам и структуре литосферы резко отличается

от остального разреза во всех четырёх моделях. Здесь в приповерхностной зоне морские образования воздымаются с Японского моря и наползают по линии нарушения № 11 (см. рис. 4, В) на нижний этаж Сихотэ-Алинской моноклинали в пределах Таухинской МЗ.

Мантийная составляющая литосферы ЯМГО на плотностном разрезе и в геоэлектрической модели однородная по всей глубине, возможно, это связано и с тем, что в пределах профиля мы наблюдаем только её малый фрагмент.

Магматизм. Основные структурные элементы литосферы вдоль геотрансекта, связанные с магматическими процессами, проявились через магнитную и геоэлектрическую модели (см. рис. 4, Б, Г). Магнитная модель отражает приповерхностные объекты, связанные с магматизмом и метасоматозом, проявленные через перераспределение магнитных минералов. В частности, на слое с наиболее высокой интенсивностью эффективной намагниченности контрастно выделяются 3 куполообразных объекта: в пределах Ханкайской МЗ, Центральной и Лужкинской МЗ, наложенной Прибрежной МЗ.

Возможные каналы поступления магматического вещества в земную кору картируются через высокопроводящие флюидонасыщенные зоны пониженного сопротивления, отражённые в геоэлектрической информации (см. рис. 4, Г). Высокоомная коровая часть разбита на блоки аномалиями пониженного сопротивления – Спасская (пк50), Яковлевская (пк41), Малиновская (пк38), Кокшаровская (пк32), Кавалеровская (пк25), Восточная (пк21). Большая часть высокопроводящих зон расположена над областью высокой проводимости в нижней части разреза, что указывает на их прямую связь с флюидонасыщенной мантией через флюидонасыщенные «живые» системы глубинных нарушений. В пределах Ханкайской МЗ такие зоны не выходят за пределы коры, в то время как в остальных МЗ они напрямую связаны с мантией. Ко всем указанным зонам пониженного сопротивления тяготеют ареалы промышленной минерализации: к сквозным – халькофильной и золотой, к приповерхностным – литофильной: оловянной, вольфрамовой, редкометалльной.

Глубинные особенности минерагенических объектов. Рудный спектр профиля делится на две части: западную и восточную. Западная (до Центрального Сихотэ-Алинского разлома) включает Ханкайскую и Центральную МЗ. Для неё характерны наиболее мощные осадочно-вулканогенный и гранитно-метаморфический слои; наблюдаются проявления разных типов магматизма (коллизионного, субдукционного и наложенного плитного), которые обуславливают наличие многообразия типов оруденений, большей частью халькофильного, разных генетических типов (скарнового, метосоматического, гидротермального). Это является предпосылкой для развития формирования РМС плитного типа с достаточно глубинной зоной генерации, с длинными путями транзита рудного вещества, с формированием промежуточных очагов магматизма, а следовательно, и с разнообразными генетическими и рудноформационными типами оруденения.

Восточная часть от Центрального Сихотэ-Алинского разлома до побережья включает Таухинскую и Лужкинскую МЗ. Здесь наблюдаются сокращение мощности осадочно-вулканогенного и гранитно-метаморфического слоёв, подъём базальтового слоя. В этой части профиля проявлен субдукционный магматизм, продуцирующий литофильный гидротермальный тип оруденения. На крайнем востоке Таухинского террейна, в районе ВСАВПП на субдукционный магматизм накладывается плитный, а на литофильное оруденение – халькофильное. Такие структурные условия позволяют предполагать формирование РМС средней и малой глубин генерации с более свободными путями транзита рудного вещества из мантии.

Выделяемые по магнитной модели (см. рис. 4, Б) сводово-купольные структуры имеют отражение на поверхности в виде магматических образований. К структурам № 1 и № 3 тяготеют рудные ареалы – Малиновская подзона (Малиновская вулканогенная зона) и часть Таухинской МЗ, которая контролируется ВСАВПП. В центральной части сводовой структуры № 2, в зоне влияния Центрального Сихотэ-Алинского разлома рудные ареалы не выявлены. Они размещаются на флангах и тяготеют к периферийным нарушениям: на западе в пределах Центральной МЗ, на востоке – в пределах Лужкинской МЗ.

Глубинные особенности основных минерагенических элементов отражены в таблице.

Обсуждение результатов. Результаты комплексного анализа показывают, что важнейшее значение для минерагении имеет дизъюнктивная тектоника. В пределах геотрансекта выделяются две мощнейшие системы глубинных нарушений. Первая контролирует Малиновскую минерагеническую подзону. Эта система проявлена на всех четырёх моделях – нарушение № 1 (см. рис. 4, А), нарушение № 3 (см. рис. 4, Б), нарушение № 10 (см. рис. 4, В), нарушение № 15 (см. рис. 4, Г) с зоной низкого сопротивления (пикеты 39–37).

Вторая контролирует ВСАВПП (от побережья до Восточного разлома) – нарушение № 2 (рис. 4, А), нарушение № 6 (см. рис. 4, Б), нарушение № 7 (см. рис. 4, В) и зона низкого сопротивления (пикеты

Металлогеническая зона	Породно-вещественные комплексы и руды	Геодинамические типы магматизма, минерагеническая специализация	Проявленность металлогенических зон в геофизических моделях			
			Сейсмическая	Плотностная	Магнитная	Геоэлектрическая
Ханкайская (PR–Є) Подзоны: А) Спасско-Вознесенская, Б) Малиновская	Кристаллические сланцы, гнейсы, амфиболиты, мраморы, мигматиты; терригенно-карбонатные породы; пегматит с мусковитом, графит, флюорит-магнетитовые, сульфидные (Zn) стратиформные руды	Коллизионный (Pb, Zn, Fe, U); внутриплитный (F, Be, Li, Cs, Rb, Ta, Nb, Sn, W)	Слои: осадочный (<2 км); осадочно-вулканогенный (0–12 км); гранитно-метаморфический (>40 км)	Мощность слоистого верхнего яруса: 45–70 км; наличие слоёв высокой плотности: 1) на глубине 10–25 км с падением к САОП; 2) на глубине 100–120 км с падением к ХС	Мощность магнито-активного разреза (1 и 2 слои) – 21 км; серия параллельных магнитных слоёв с падением в сторону ХС (западная половина Малиновского магнитоактивного купола № 1)	Высокоомный разрез с сопротивлением 500–1000 Ом·м; в пределах Уссурийского, Яковлевского, Арсеньевского разломов – проводящие области до глубины 60 км 100–500 Ом·м; на глубине 115–60 км в пределах Малиновской подзоны проводящая область флюидонасыщенной мантии 300–500 Ом·м
Центральная (J_2–K_1)	Турбидиты и олистостромы с включениями офиолитов, известняков, ленточных кремней, базальтов; Mn в олистоплаках	Колизионный (W, Au, Sn)	Слои: осадочный (<3 км); осадочно-вулканогенный (1–11 км); гранитно-метаморфический (5–35 км); базитовый (26–40 км)	Мощность расчленённого верхнего яруса: 50–80 км; по подошве – образования высокой плотности 0–30 км – стык разнонаправленных плотностных неоднородностей (КПЗ); ниже 80 км – мантийный слой пониженной плотности	Мощность магнитоактивного разреза 21–12 км; серия параллельных магнитных слоёв с падением в сторону ХС, пересекаемых нарушениями восточного падения (западная половина магнитоактивного купола № 2)	33–40 км – высокоомный разрез 500–1000 Ом·м: в его пределах проводящая Кокшаровская пограничная зона менее 100 Ом·м (КПЗ); ниже 50 км низкоомный разрез 500–300 Ом·м флюидонасыщенной мантии (ФМ); глубже 100 км в восточной части проводящая область разогретой мантии (РМ) (<300 Ом·м)
Ариадненская	Наложена на Центральную	Внутриплитный (Nb, Zr, TR, Ti, Cu-Ni)				Западная граница МЗ–КПЗ

Окончание табл.

Металлогеническая зона	Породно-вещественные комплексы и руды	Геодинамические типы магматизма, минерагеническая специализация	Проявленность металлогенических зон в геофизических моделях			
			Сейсмическая	Плотностная	Магнитная	Геоэлектрическая
Лужкинская (К1)	Аркозовые, частью флишевые терригенные образования	Субдукционный (Sn, Pb, Zn)	Слои: осадочный (<1 км); осадочно-вулканогенный (0–10 км); гранитно-метаморфический (7–27 км); базитовый (25–40 км)	Мощность расчленённого верхнего яруса: 35–45 км; в основании яруса аномалия высокой плотности с падением на запад (315°); по латерали деление яруса на плотную восточную и разуплотнённую западную части; резкий подъём верхней границы мантии до 35 км	Мощность магнитоактивного разреза 9–12 км; система разноориентированных магнитных слоёв и нарушений, падающих на восток (восточная часть купола № 2)	Высокоомная часть до глубины 40–28 км; в приповерхностной верхнекоровой части Кавалеровская прово-дящая зона (КПЗ – 300–500 Ом·м); ниже 40 км – низкоомная часть 500–300 Ом·м (ФМ); от 100 км проводящая область РМ (<300 Ом·м)
Таухинская ($К_1$)	Турбидиты и олистостромы с фрагментами палеогайотов, ленточных кремней базальтов, песчаников, конгломератов известняков; Mn в олистоплаках	Субдукционный (Pb, Zn, Sn,Cu,Fe)	Слои: осадочный (0–3 км); осадочно-вулканогенный (0–7 км); гранитно-метаморфический (6–12 км); базитовый (12–17 км); гранитно-метаморфический (17–25 км); базитовый (25–40 км)	Мощность расчленённого верхнего яруса до 40 км; его подошва – высокоплотное образование с падением (315°); ярус подпирается мантийным выступом на 35 км	Мощность магнитоактивного разреза до 12 км; магнитные тела СЗ простирания, нарушения западного падения (магнитный купол № 3)	Высокоомная часть – 40–90 км
Прибрежная (К1)	Наложенная на Таухинскую МЗ	Внутриплитный (Ag, Au)	Слои: осадочный (0–1 км); осадочно-вулканогенный (1–7 км); гранитно-метаморфический (8–25 км); базитовый (25–40 км)	Мощность расчленённого верхнего яруса: 40–45 км, подпирающегося мантийным выступом; восточный разлом – коровая зона «стыка» неоднородностей западного и восточного падений	Мощность магнитоактивного разреза 12–13 км; наличие субвертикальных магнитных тел в куполе № 3	Высокоомная часть – до 90 км; проводящий канал вдоль Восточного разлома; ниже 90 км низкоомная часть с сопротивлением менее 500 Ом·м (ФМ)

22–20) на рис. 4, Г. Обе главные системы характеризуются близким спектром оруденения: Pb-Zn, W, Au, Cu, Sn и Mo.

Анализ положения рудных ареалов вдоль профиля показывает, что в подавляющем большинстве случаев они контролируются известными разломами, проявленность которых в построенных моделях разная.

Современное минерагеническое районирование, отражает разнообразие областей локализации РМС. Области транзита и генерации РМС размещаются в трёх разных глубинных областях: Ханкайской, Сихотэ-Алинской и Япономорской.

ХГО – самая западная, её восточным ограничением является глубинная Малиновско-Муравьевская система нарушений (пикеты 42–38) (см. рисунки рис. 3 и 4). Область отличается повышенной мощностью унаследованной литосферы (до 120 км), субгоризонтальными сейсмическими и гравитационными границами раздела. Поэтому для ХМЗ достаточно проблематична связь с мантией, рудная минерализация ХМЗ связана большей частью с коровыми очагами, которые контролируются зонами разуплотнения, вдоль разломов. В пределах ХМЗ это особенно характерно для Спасско-Вознесенской подзоны.

САГО представляет собой моноклиналь, разделённую по трём глубинным уровням с падением в сторону Малиновско-Муравьевской системы нарушений.

Центральная МЗ занимает приповерхностный глубинный уровень, средний глубинный уровень представлен Лужкинской МЗ, нижний – Таухинской МЗ. В направлении с запада на восток мощность структурированного литосферного слоя металлогенических зон сокращается: для Центральной МЗ это 80 км (и в её пределах развиты все три глубинных яруса), для Лужкинской МЗ – 50 км и два глубинных яруса, для Таухинской – 40 км и один глубинный ярус. САГО подпирается однородной мантийной структурой высокой проводимости, воздымающейся на восток.

Это свидетельствует о том, что в данном направлении при формировании РМС могут улучшаться связь с мантией, сокращаться пути транзита рудного вещества, а следовательно, меняться спектр рудных элементов. Для ЦМЗ и ЛМЗ, также как для ХМЗ, важным рудоконтролирующим элементом является коровая региональная область разуплотнения, которая может контролировать редкометалльную и оловянную минерализацию. В то же время в пределах этих металлогенических зон выделяются проводящие каналы в литосфере, которые могли служить либо поставщиками золотого и полиметаллического оруденения в более поздние периоды, либо являться энергетическими источниками формирования оруденения в коровых образованиях.

ЯМГО контрастно отличается от остального разреза структурой неоднородностей. В районе Восточного разлома, в нижне-средней части коры Таухинской МЗ, выделяется зона разуплотнения (магматический очаг), которая в момент образования наверняка имела и имеет сейчас (проводящая зона) связь с мантией. Здесь же выделяется и магматическая постройка в магнитной модели (ВСАВПП), которая соответствует наложенной Прибрежной МЗ. Восточная часть Таухинской МЗ существенно отличается по своему строению от остальных МЗ. Её минерагеническая специализация определялась влиянием следующих факторов: сочетанием морских и континентальных структур в приповерхностной области, короткими путями транзита РМС, влиянием мантийного вещества (флюидонасыщенная мантия находится близко от поверхности).

Приведённый анализ проявленности минерагенических зон в геофизических моделях позволяет предположить возможный генезис РМС. Для *Спасско-Вознесенской минерагенической подзоны Ханкайской МЗ*, где мощности литосферных образований большие, связь с мантией затруднена, вероятнее всего преобладание рудно-магматических очагов корового типа. Для *Малиновской подзоны*, которая находится в области влияния мантийного разлома, вдоль которого шло активное поступление мантийного вещества и флюидов, были благоприятные условия для формирования РМС мантийного заложения или РМС смешанного типа. Для *Центральной МЗ* при общем преобладающем количестве коровых РМС (зоны разуплотнения в коре) значимым является проявленность и рудно-магматических систем мантийного заложения как в связи с общим подъёмом мантийного выступа, так и с подъёмом под Сихотэ-Алинем флюидонащенной области (см. рис. 4, Г) и формированием Кокшаровской флюидопроводящей зоны. Для *Лужкинской МЗ* и *западной части Таухинской МЗ* возможность формирования коровых и мантийных очагов фактически одинакова, однако здесь слабо проявлены флюидоподводящие каналы, и поэтому влияние мантийного вещества более слабое и коровые РМС меньше подверглись мантийной трансформации. В пределах *восточной части Таухинской МЗ* близость мантийного выступа и наличие флюидоподводящих каналов способствовали формированию РМС мантийного заложения.

Выводы:

1. Минерагенические зоны Приморья отличаются не только верхнекоровым строением блоков, определяющим условия локализации оруденения РМС в их пределах, но и глубинным строением литосферы, определяющим условия генерации и транзита рудного вещества РМС.

2. В пределах практически всех МЗ выделяются региональные или локальные области разуплотнений

и области базификации разной глубинности. Каждая МЗ характеризуется своим соотношением указанных областей.

3. Области региональных разуплотнений размещаются в основном в пределах верхней и средней частей земной коры. Они указывают на возможность формирования коровых рудно-магматических очагов, которые, вероятнее всего, являлись источником рудного вещества, ассимилируемого из коровых образований. Локализация рудного вещества контролировалась коровыми нарушениями. Наибольшая вероятность формирования таких очагов в пределах Ханкайской и Лужкинской МЗ.

4. Основные рудные ареалы приурочены к межблоковым нарушениям и глубинным проводящим (транзитным) зонам, за исключением Лужкинской МЗ, где месторождения олова не имеют ярко выраженного тяготения к разломам.

5. По степени уменьшения влияния мантии на формирование РМС минерагенические зоны формируют следующий ряд: Таухинская МЗ, Малиновская подзона Ханкайской МЗ, Лужкинская МЗ, Центральная МЗ, Спасско-Вознесенская подзона Ханкайской МЗ.

Результаты комплексного геофизического изучения могут быть использованы для понимания механизма формирования РМС и разработки критериев прогноза районов промышленной минерализации.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИТИГ ДВО РАН и при поддержке гранта РНФ № 16–17–00015.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Атлас* «Опорные геолого-геофизические профили России». Глубинные сейсмические разрезы по профилям ГСЗ, отработанным в период с 1972 по 1995 год. Электронное издание. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2013. – 94 с. URL: http://www.vsegei.ru/ru/info/seismic
2. *Белоусов В.В., Павленкова Н.И.* Типы земной коры Европы и Северной Атлантики // Геотектоника. – 1989. – № 3. – С. 3–14.
3. *Вольский А.С., Шатков Г.А., Красный Л.И.* и др. Тектоника, глубинное строение и минерагения Приамурья и сопредельных территорий. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004.
4. *Геодинамика*, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / Под ред. А.М.Ханчука. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – Кн. 1. – 572 с.
5. *Глубинное* строение Приморья (по данным ГСЗ). – М.: Изд-во Наука, 1976. – 92 с.
6. *Государственная* геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 (третье поколение) L-(52),53; (K-52,53) (оз.Ханка). – СПб.: ВСЕГЕИ, 2011.
7. *Иволга Е.Г.* Особенности строения литосферы золоторудных районов юга Дальнего Востока России и Северо-Восточного Китая // Руды и металлы. – 2013. – № 1. – С. 13–24.
8. *Иволга Е.Г., Манилов Ю.Ф.* Структура литосферы области перехода континент–океан южной части Дальнего Востока России по результатам плотностного моделирования // Тихоокеанская геология. – 2019. – Т. 38. – № 6. – С. 3–20.
9. *Иволга Е.Г., Романовский Н.П., Гурович В.Г., Манилов Ю.Ф.* К вопросу о глубинном строении области сочленения Северо-Сихотэ-Алинской и Северо-Сахалинской складчатых структур // Тихоокеанская геология. – 2013. – Т. 32. – № 5. – С. 78–88.
10. *Каплун В.Б., Бронников А.К.* Строение земной коры и верхней мантии Южного Сихотэ-Алиня по профилю г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная по данным магнитотеллурических зондирований // Тихоокеанская геология. – 2018. – Т. 37. – № 5. – С. 31–47.
11. *Манилов Ю.Ф.* Особенности глубинного строения юго-восточной части Аргуно-Мамынского массива (по геофизическим данным) // Тихоокеанская геология. – 2010. – Т. 29. – № 6. – С. 39–48.
12. *Мишин Л.Ф., Чжао Ч., Солдатов А.И.* Мезозойско-кайнозойские вулкано-плутонические пояса и системы в континентальной части Востока Азии и их зональность // Тихоокеанская геология. – 2003. – Т. 22. – № 3. – С. 28–48.
13. *Никитин А.А., Петров А.В.* Теоретические основы обработки геофизической информации: учебное пособие, 2-е издание. – М.: ООО «Центр информационных технологий в природопользовании», 2010. – 114 с.
14. *Радкевич Е.А.* Глубинное строение и особенности металлогении юга Дальнего Востока. – М.: Недра, 1984. – 328 с.
15. *Родионов С.М.* Металлогения олова Востока России; ДВО РАН, Институт тектоники и геофизики им. Ю.А.Косыгина. – М., 2005. – 268 с.
16. *Родников А.Г., Забаринская Л.П., Пийп В.Б.* и др. Глубинное строение континентальных окраин региона Японского моря // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. – 2010. – № 1. – Вып. № 15. – С. 231–241.
17. *Рязанцева М.Д.* Рудная минерализация и минерагеническое районирование Приморского края // Вопросы геологии, металлогении, поисков и оценки месторождений Дальнего Востока: сборник научных статей. – Хабаровск: Изд-во ДВИМС, 2002. – С. 64–75.
18. *Сухов В.И., Бакулин Ю.И., Лошак Н.П.* и др. Металлогения Дальнего Востока России. – Хабаровск: ДВИМС, 2000. – 217 с.
19. *Тектоника*, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов: объяснительная записка к тектонической карте масштаба 1:1 500 000. – Владивосток, Хабаровск: ДВО РАН, 2005. – 264 с.
20. *Ханчук А.И., Иванов В.В.* Мезо-кайнозойские геодинамические обстановки и золотое оруденение Дальнего Востока России // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40. – № 11. – С. 1635–1645.
21. *Ханчук А.И., Раткин В.В., Рязанцева М.Д.* и др. Геология и полезные ископаемые Приморского края: очерк. – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 68 с.

REFERENCES

1. *Atlas* "Opornyye geologo-geofizicheskiye profili Rossii". Glubinnyye seysmicheskiye razrezy po profilyam GSZ, otrabotannym v period s 1972 po 1995 god [Atlas "Reference Geological and Geophysical Profiles of Russia". Deep seismic sections along DSS profiles worked out in the period from 1972 to 1995]. Elektronnoye izdaniye. St. Petersburg, VSEGEI publ. 2013. 94 p. URL: http://www.vsegei.ru/ru/info/seismic
2. *Belousov V.V., Pavlenkova N.I.* Tipy zemnoy kopy Yevpopy i Sevepnoy Atlantiki [Types of the Earth's crust in Europe and the North Atlantic]. Geotektonika.1989. No. 3. P. 3–14.
3. *Vol'skiy A.S., Shatkov G.A., Krasnyy L.I.* et al. Tektonika, glubinnoye stroyeniye i minerageniya Priamur'ya i sopredel'nykh territoriy [Tectonics, deep structure and minerageny of the Amur region and adjacent territories]. St. Petersburg, VSEGEI publ. 2004.
4. *Geodinamika*, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii: v 2 kn. [Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia: in 2 vols.]. Pod red. A.M.Khanchuka. Vladivostok, Dal'nauka publ. 2006. Kn. 1. 572 p.
5. *Glubinnoye* stroyeniye Primor'ya (po dannym GSZ) [Deep structure of Primorye (according to the DSS)]. Moscow, Nauka publ. 1976. 92 p.
6. *Gosudarstvennaya* geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:1 000 000 (tret'ye pokoleniye) L-(52),53; (K-52,53) (oz. Khanka) [State geological map of the Russian Federation, scale 1: 1,000,000 (third generation) L- (52), 53; (K-52.53) (Lake Khanka)]. St. Petersburg, VSEGEI publ. 2011.
7. *Ivolga Ye.G.* Osobennosti stroyeniya litosfery zolotorudnykh rayonov yuga Dal'nego Vostoka Rossii i Severo-Vostochnogo Kitaya [Structural features of the lithosphere of gold-ore regions in the south of the Far East of Russia and Northeastern China]. Rudy i metally. 2013. No. 1. P. 13–24.
8. *Ivolga Ye.G., Manilov Yu.F.* Struktura litosfery oblasti perekhoda kontinent-okean yuzhnoy chasti Dal' nego Vostoka Rossii po rezul'tatam plotnostnogo modelirovaniya [The structure of the lithosphere of the continent-ocean transition region of the southern part of the Russian Far East according to the results of density modeling]. Tikhookeanskaya geologiya. 2019. V. 38. No. 6. P. 3–20.
9. *Ivolga Ye.G., Romanovskiy N.P., Gurovich V.G., Manilov Yu.F.* K voprosu o glubinnom stroyenii oblasti sochleneniya Severo-Sikhote-Alinskoy i Severo-Sakhalinskoy skladchatykh struktur [To the question of the deep structure of the junction area of the North-Sikhote-Alin and North-Sakhalin fold structures]. Tikhookeanskaya geologiya. 2013. V. 32. No. 5. P. 78–88.
10. *Kaplun V.B., Bronnikov A.K.* Stroyeniye zemnoy kory i verkhney mantii Yuzhnogo Sikhote-Alinya po profilyu g. Spassk-Dal'niy–bukhta Zerkal'naya po dannym magnitotellutricheskikh zondirovaniy [The structure of the earth's crust and upper mantle in the South Sikhote-Alin along the profile of Spassk-Dalniy – Zerkalnaya Bay according to magnetotelluric sounding data]. Tikhookeanskaya geologiya. 2018. V. 37. No. 5. P. 31–47.
11. *Manilov Yu.F.* Osobennosti glubinnogo stroyeniya yugo-vostochnoy chasti Arguno-Mamynskogo massiva (po geofizicheskim dannym) [Features of the deep structure of the southeastern part of the Argun-Mamynsky massif (according to geophysical data)]. Tikhookeanskaya geologiya. 2010. V. 29. No. 6. P. 39–48.
12. *Mishin L.F., Chzhao Ch., Soldatov A.I.* Mezozoysko-kaynozoyskiye vulkano-plutonicheskiye poyasa i sistemy v kontinental'noy chasti Vostoka Azii i ikh zonal'nost' [Mesozoic-Cenozoic volcano-plutonic belts and systems in the continental part of East Asia and their zoning]. Tikhookeanskaya geologiya. 2003. V. 22. No. 3. P. 28–48.
13. *Nikitin A.A., Petrov A.V.* Teoreticheskiye osnovy obrabotki geofizicheskoy informatsii: uchebnoye posobiye, 2-ye izdaniye [Theoretical foundations of geophysical information processing: textbook, 2nd edition]. Moscow, Tsentr informatsionnykh tekhnologiy v prirodopol'zovanii publ. 2010. 114 p.
14. *Radkevich Ye.A.* Glubinnoye stroyeniye i osobennosti metallogenii yuga Dal'nego Vostoka [Deep structure and features of metallogeny in the south of the Far East]. Moscow, Nedra publ. 1984. 328 p.
15. *Rodionov S.M.* Metallogeniya olova Vostoka Rossii [Tin metallogeny of the East of Russia]. DVO RAN, Institut tektoniki i geofiziki im. YU.A.Kosygina publ. Moscow. 2005. 268 p.
16. *Rodnikov A.G., Zabarinskaya L.P., Piyp V.B.* et al. Glubinnoye stroyeniye kontinental'nykh okrain regiona Yaponskogo moray [Deep structure of the continental margins of the region of the Sea of Japan]. Vestnik KRAUNTS. Nauki o zemle. 2010. No. 1. Is. 15. P. 231–241.
17. *Ryazantseva M.D.* Rudnaya mineralizatsiya i minerageniceskoye rayonirovaniye Primorskogo kraya [Ore mineralization and mineragenic zoning of Primorsky Krai]. Voprosy geologii, metallogenii, poiskov i otsenki mestorozhdeniy Dal'nego Vostoka: sbornik nauchnykh statey. Khabarovsk, DVIMS publ. 2002. P. 64–75.
18. *Sukhov V.I., Bakulin Yu.I., Loshak N.P.* et al. Metallogeniya Dal'nego Vostoka Rossii [Metallogeny of the Russian Far East]. Khabarovsk, DVIMS publ. 2000. 217 p.
19. *Tektonika*, glubinnoye stroyeniye, metallogeniya oblasti sochleneniya Tsentral'no-Aziatskogo i Tikhookeanskogo poyasov: ob"yasnitel'naya zapiska k tektonicheskoy karte masshtaba 1:1 500 000 [Tectonics, deep structure, metallogeny of the junction area of the Central Asian and Pacific belts: explanatory note to the tectonic map of 1: 1,500,000 scale]. Vladivostok, Khabarovsk, DVO RAN publ. 2005. 264 p.
20. *Khanchuk A.I., Ivanov V.V.* Mezo-kaynozoyskiye geodinamicheskiye obstanovki i zolotoye orudeneniye Dal'nego Vostoka Rossii [Meso-Cenozoic geodynamic settings and gold mineralization of the Russian Far East]. Geologiya i geofizika. 1999. V. 40. No. 11. P. 1635–1645.
21. *Khanchuk A.I., Ratkin V.V., Ryazantseva M.D.* et al. Geologiya i poleznyye iskopayemyye Primorskogo kraya: ocherk [Geology and useful minerals of Primorsky Krai: an outline]. Vladivostok, Dal'nauka publ. 1995. 68 p.

DOI:10.47765/0869-7175-2020-10029

УДК 553.062.4
© М.Р.Нестеренко, 2020

Строение и состав пикритовых габбро-долеритов центральной части Октябрьского месторождения

М.Р.НЕСТЕРЕНКО (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»; 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, д. 1)

Вопросы генезиса и условий формирования месторождений Норильского района до сих пор остаются дискуссионными. Наиболее распространённой на данный момент является модель образования руд в открытой магматической системе. В данной работе изучались строение и состав сульфидных минералов центральной части Октябрьского месторождения по двум скважинам РТ-30 и РТ-107 бис, вскрывающим рудные тела С-3 и С-4, соответственно. Особое внимание в работе было уделено закономерностям строения вкрапленных руд в горизонте пикритовых габбро-долеритов. Установлено, что сульфидная вкрапленность практически отсутствует в верхней части горизонта и её размер и количество постепенно возрастают с глубиной, а в нижней части горизонта вкрапленность переходит в сульфидные прожилки. Это указывает на гравитационное осаждение сульфидов в закрытой магматической системе.
Ключевые слова: платино-медно-никелевые месторождения, Норильский район, магматизм, сульфиды.

Нестеренко Мария Руслановна nesterenko-masha@mail.ru

Structure and composition of picritic gabbro-dolerites of the Octyabrskoye deposit central part

M.R.NESTERENKO (Lomonosov Moscow State University)

Issues relating to the genesis and deposit formation conditions in the Norilsk region are still debatable. At present, ore formation model in an open magmatic system is most popular. To study the actual process, the structure and composition of sulfide minerals in the Oktyabrskoye deposit central part were examined in two boreholes, RT-30 and RT-107, that reveal orebodies C-3 and C-4, respectively. Particular attention was paid to the structural patterns of disseminated ores in picritic gabbro-dolerites horizon. It has been established that sulfide inclusions are missing in the upper part of the horizon and their size and quantity gradually increase in depth, so that these inclusions grade into sulfide streaks in the lower part of the horizon. This indicates gravitational sulfide deposition in a closed magmatic system.
Key words: PGE-Cu-Ni deposits, Norilsk area, magmatism, sulfides.

Норильские месторождения, расположенные на северо-западе Сибирской платформы (рис. 1), являются уникальными в мире по запасам никеля и металлов платиновой группы. На их основе в нашей стране создана крупнейшая минерально-сырьевая база цветных и благородных металлов, освоением которой занимается ОАО «ГМК «Норильский никель», поставляющее на мировой рынок эти металлы. Тем не менее проблема поиска новых месторождений стоит достаточно остро. Важную роль при этом играют теоретические представления об условиях формирования месторождений.

Вопросы генезиса сульфидных медно-никелевых руд норильских месторождений остаются дискуссионными, несмотря на длительную историю изучения. Это связано с необычным строением данных месторождений по сравнению с другими объектами, а именно приуроченностью крупных рудных тел сульфидов к сравнительно маломощным интрузивам габбро-долеритов. За время изучения норильских месторождений были предложены многочисленные гипотезы их образования, главной из которых была магматическая [2, 6]. Наиболее популярными моделями в рамках этой гипотезы являются модели

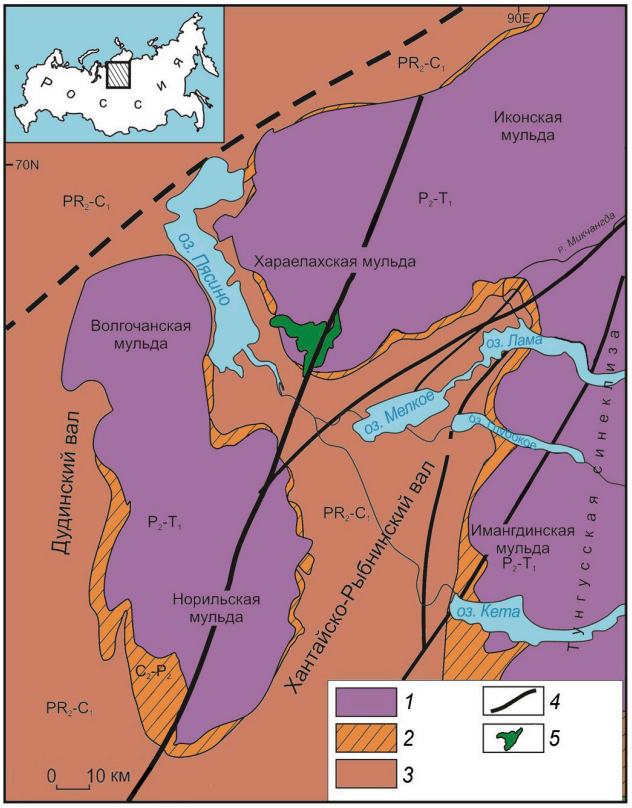


Рис. 1. Геологическая карта Норильского района. *По [5], с изменениями*:

1 – вулканогенные породы трапповой формации; *2* – осадочные отложения; *3* – карбонатно-терригенные породы; *4* – глубинные разломы; *5* – проекция сульфидоносного Талнахского интрузива

формирования руд в закрытой [3–6] и открытой [7, 8, 12] магматической системах. Важную роль в них играют пикритовые габбро-долериты, в которых сосредоточена основная часть вкрапленных руд. Для аргументированного суждения об этом процессе автор данной статьи изучила строение пикритовых горизонтов и поведение сульфидов внутри них в Хараелахском интрузиве, вмещающем крупнейшее в районе Октябрьское месторождение.

Объекты и методы исследования. Для исследования были выбраны скважины РТ-30 и РТ-107 бис, пробуренные ООО «Норильскгеология» в центральной части Октябрьского месторождения в 2015–2016 гг. (рис. 2), из которых было отобрано 87 образцов. В ходе работы проводились фотодокументация керна, петрографическое описание пород, изучение состава породообразующих и сульфидных минералов. Определение составов породообразующих минералов осуществлялось с помощью электронного микрозондового анализатора Cameca SX 100 в ГЕОХИ РАН (аналитик Н.Н.Кононкова). Условия съёмки: ускоряющее напряжение 15 кВ, ток 40 нА. В качестве эталонов использовали минералы и оксиды, схожие по физико-химическим свойствам с исследуемыми минералами.

Главные компоненты в породах определялись с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра последовательного действия с дисперсией по длине волны, модель PW 2400 (Philips Analytical) в ИГЕМ РАН (аналитик А.И.Якушев). Относительные погрешности составляют (в отн.%): SiO_2 – 0,8, Al_2O3 – 3,5, Fe_2O_3 – 2,1, Na_2O – 8,0, MgO – 4,6, P_2O_5 – 9,3, K_2O – 16,0, CaO – 5,0, TiO_2 – 7,0, MnO – 21,0. Для определения содержаний редких элементов в породах применялся метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) в ИПТМ РАН (аналитик В.К.Карандашев).

Краткие сведения о геологическом строении Норильского района и Октябрьского месторождения. Платино-медно-никелевые месторождения Норильского района приурочены к северной части Сибирской платформы, где они ассоциируют с раннетриасовыми трапповыми интрузивами [4]. В строении платформы выделяются кристаллический фундамент и платформенный чехол, сложенный терригенно-карбонатными породами рифея–поздней перми.

Интрузивные образования в основном локализованы в осадочных породах девона и тунгусской серии (C_2–P_1). Они подразделяются на ергалахский, оганерский и норильский, моронговский, далдыканский, авамский комплексы. К норильскому комплексу отнесены полнодифференцированные интрузивы, в разрезе которых наблюдается закономерная смена габбро-долеритов (снизу вверх): контактовые; такситовые; пикритовые; оливиновые, оливин-биотитовые, оливинсодержащие, безоливиновые габбро-долериты; выше залегают габбро-диориты; такситовые габбро-долериты и лейкократовые габбро (верхние); а также контактовые габбро-долериты (верхние).

В Норильском районе широко известны три месторождения сульфидных медно-никелевых руд – Октябрьское, Талнахское и Норильск 1. Самое крупное из них – Октябрьское.

Позиция Октябрьского месторождения в геологической структуре Норильского района определяется его приуроченностью к Хараелахскому полнодифференцированному интрузиву в южной части Хараелахской вулкано-тектонической мульды в пределах Талнахского рудного узла (см. рис. 2).

Форма массива сложная, но в целом близкая к хонолитовой (линзообразной). В центральной части он представляет собой единое интрузивное тело, а на западном фланге интрузив постепенно расще-

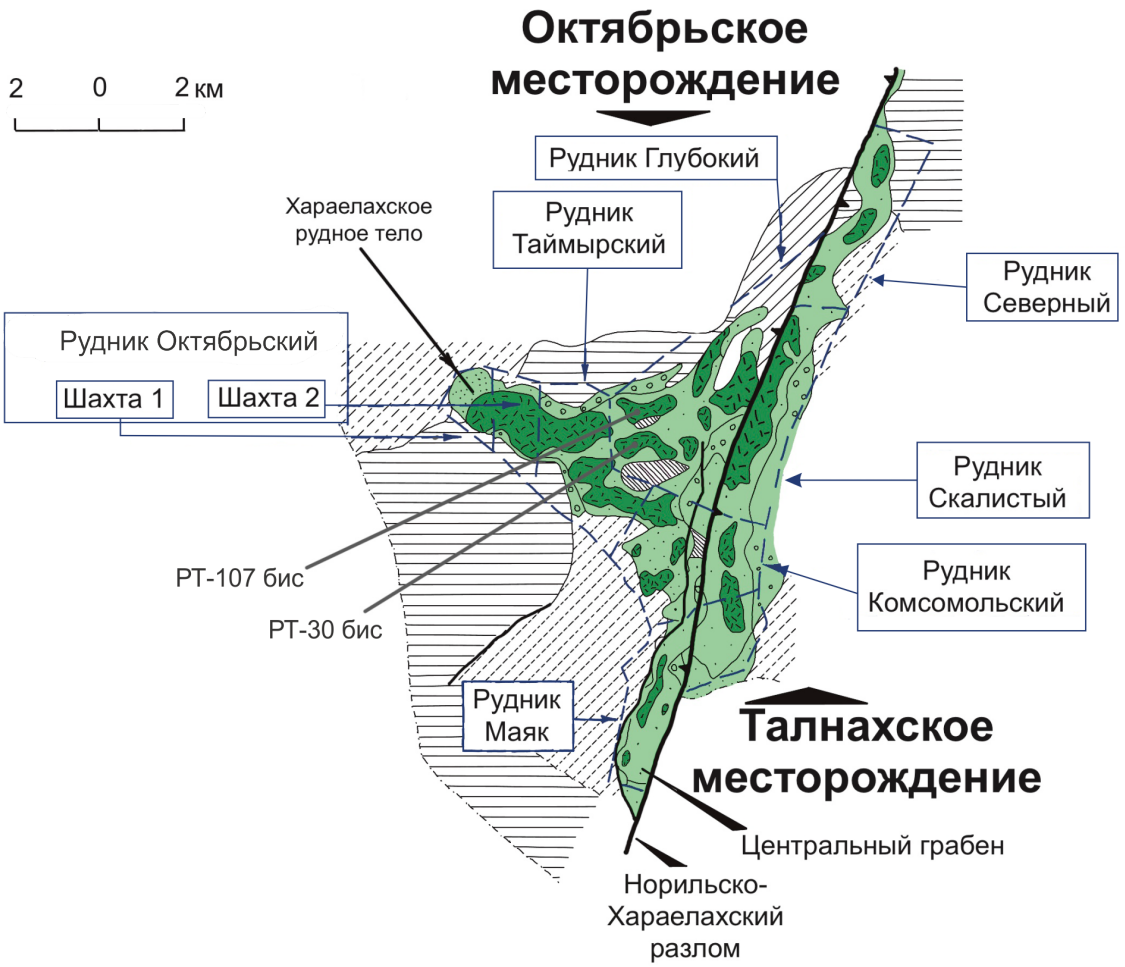


Рис. 2. Схема расположения залежей массивных руд и скважин. *По [7], с изменениями*:

1 – основные тела рудоносных интрузивов: *а* – с участием пикритовых и(или) такситовых габбро-долеритов и вкрапленных руд, *б* – краевые зоны без пикритовых и такситовых габбро-долеритов и вкрапленных руд; *2* – окна в основных телах без пикритовых и такситовых габбро-долеритов и вкрапленных руд; *3* – периферические силлы рудоносных интрузивов: *а* – нижнего стратиграфического уровня (для Хараелахского интрузива – в нижней–срежней частях разведочнинской свиты, для Талнахского интрузива – в зубовской и курейской свитах), *б* – верхнего стратиграфического уровня (для Хараелахского интрузива – в верхах разведочнинской свиты и в мантуровской свите, для Талнахского интрузива – вблизи контакта отложений девона и тунгусской серии); *4* – массивные сульфиды, залегающие вблизи подошвы интрузивов; *5* – эрозионные границы интрузивов и периферических силлов; *6* – разрывные нарушения: *а* – Норильско-Хараелахский разлом, *б* – некоторые другие важные разломы (большинство разломов на плане не изображено); *7* – границы полей рудников; *8* – буровые скважины

пляется на ряд послойно расположенных тел и множество мелких апофиз.

В пределах Октябрьского месторождения в результате разведки было выявлено более 15 залежей массивных руд разного размера и состава. Наиболее крупной из них является основная Хараелахская залежь Х-1 (О) (см. рис. 2), описанная во многих публикациях.

Вкрапленные руды приурочены главным образом к двум горизонтам интрузивного тела – пикритовых и такситовых габбро-долеритов, а также локализованы во вмещающих породах.

В центральной части месторождения расположены две линзы – С-3 и С-4, приуроченные к области нижнего контакта интрузива с вмещающими породами. Они и явились предметом исследований вместе

с локализованными выше вкрапленными рудами в пикритовых габбро-долеритах. Строение центральной части Хараелахского массива характеризуется типичной дифференцированной структурой, характерной для всех массивов норильского района. Основным отличием центральной части от остальных флангов месторождения является наличие полного интрузивного разреза и мощного горизонта пикритовых габбро-долеритов.

Результаты исследований. При изучении внутреннего строения интрузивных тел главное внимание было обращено на сульфиды (особенно локализованные в пикритовых габбро-долеритах) – их распределение, изменение размера и состава по разрезу.
Общая характеристика. Залежи центральной части месторождения отличаются по своему составу. Руды залежи С-3, вскрытые скважиной РТ-30, принадлежат в основном к пирротиновому минеральному типу. Массивные руды залежи С-4 подразделяются на кубанитовые и халькопиритовые (скв. РТ-107 бис).

Две залежи близки по мощности (в РТ-30 – 102 м, в РТ-107 бис – 90 м), но расположены на разной глубине (для РТ-30 – 1456–1575, а для РТ-107 бис – 1614–1704 м). Они обе имеют типичное строение для полно дифференцированного массива. В целом разрезы похожи, но в верхней части в скважине РТ-30 обнаружен горизонт лейкогаббро, а в РТ-107 бис горизонт верхних такситовых габбро-долеритов. Мощности пикритового горизонта и сплошных руд в скважине РТ-30 больше, чем в РТ-107 бис (40 м пикритовых габбро-долеритов и 17 м сплошных руд в РТ-30, в РТ-107 бис – 30 м и 3 м, соответственно) (рис. 3).

Строение интрузивного тела по скважинам. В результате детального изучения скважин РТ-30 и РТ-107 бис были выделены следующие горизонты в строении интрузивного тела в данной части месторождения (снизу вверх):

• Нижние контактовые габбро-долериты залегают в основании интрузивного тела и представляют собой изменённые мелкозернистые массивные или пойкилоофитовые габбро-долериты, схожие с оливинсодержащими или оливиновыми габбро-долеритами.

• Такситовые габбро-долериты, так же как и породы пикритового горизонта, являются наиболее характерными образованиями полнодифференцированных интрузивов. Макроскопически они представляют собой пёстро-серую породу с атакситовой текстурой. Крупнозернистые участки плагиоклаз-пироксенового состава с пойкилоофитовой структурой сочетаются с мелкозернистыми выделениями плагиоклаз-оливинового состава.

• Пикритовые габбро-долериты – мелко-среднезернистые массивные, реже пятнистые породы тёмно-серого цвета. Содержание оливина в них может достигать 50%. Они имеют пойкилоофитовую структуру. В этом горизонте наблюдается следующая особенность: неравномерное распределение шлировидных изометричных и неправильной формы скоплений плагиоклаза и пироксена, размером достигающих десятки сантиметров. Это так называемые лейкократовые обособления.

• Оливиновые, оливинсодержащие и безоливиновые габбро-долериты – массивные мелко-среднезернистые породы серого цвета. Характерна пойкилоофитовая структура, особенно в нижней части горизонта. Контакт между породами очень постепенный, количество оливина растёт с глубиной нелинейно. Контакт с пикритовым горизонтом нерезкий, но ясный из-за изменения цвета породы и структуры.

• Крупнозернистые лейкогаббро светло-серого цвета с массивной, реже такситовой текстурой. Иногда в них отмечаются повышенные содержания платиноидов. Над ними залегают верхние такситовые габбро-долериты, которым свойственны повышенные содержания платиноидов. Макроскопически породы пёстро-серые, с атакситовой текстурой и различными структурами. Верхние такситовые габбро-долериты и лейкогаббро встречаются не во всех скважинах. Например, РТ-107 бис отсутствует горизонт лейкогаббро, а в РТ-30 нет верхнего такситового горизонта.

Завершают разрез интрузивного тела верхние контактовые габбро-долериты, похожие по составу и строению на нижние контактовые габбро-долериты (см. рис. 3).

Петрография и породообразующие минералы. Основными породообразующими минералами Хараелахского интрузива, к которому приурочено Октябрьское месторождение, являются оливин, плагиоклаз, клинопироксен, реже встречается ортопироксен.

Оливин ($Fo_{73–61}$) присутствует во всех дифференциатах интрузива, исключая породы верхней части разреза – кварцсодержащие и безоливиновые габбро-долериты. Отмечается свойственное для дифференцированных интрузивов увеличение количества минерала от зон контакта интрузивного тела к горизонту пикритовых габбро-долеритов. Но эта закономерность усложняется переслаиванием пород с различным содержанием оливина в пикритовом горизонте и чередованием оливинсодержащих и безоливиновых пород, а также неравномерностью распределения оливина в такситовых габбро-долеритах.

Одним из наиболее распространённых минералов дифференцированного интрузива является клинопироксен. Он присутствует во всех дифференциатах, включая эндоконтактовые фации, и сохраняется

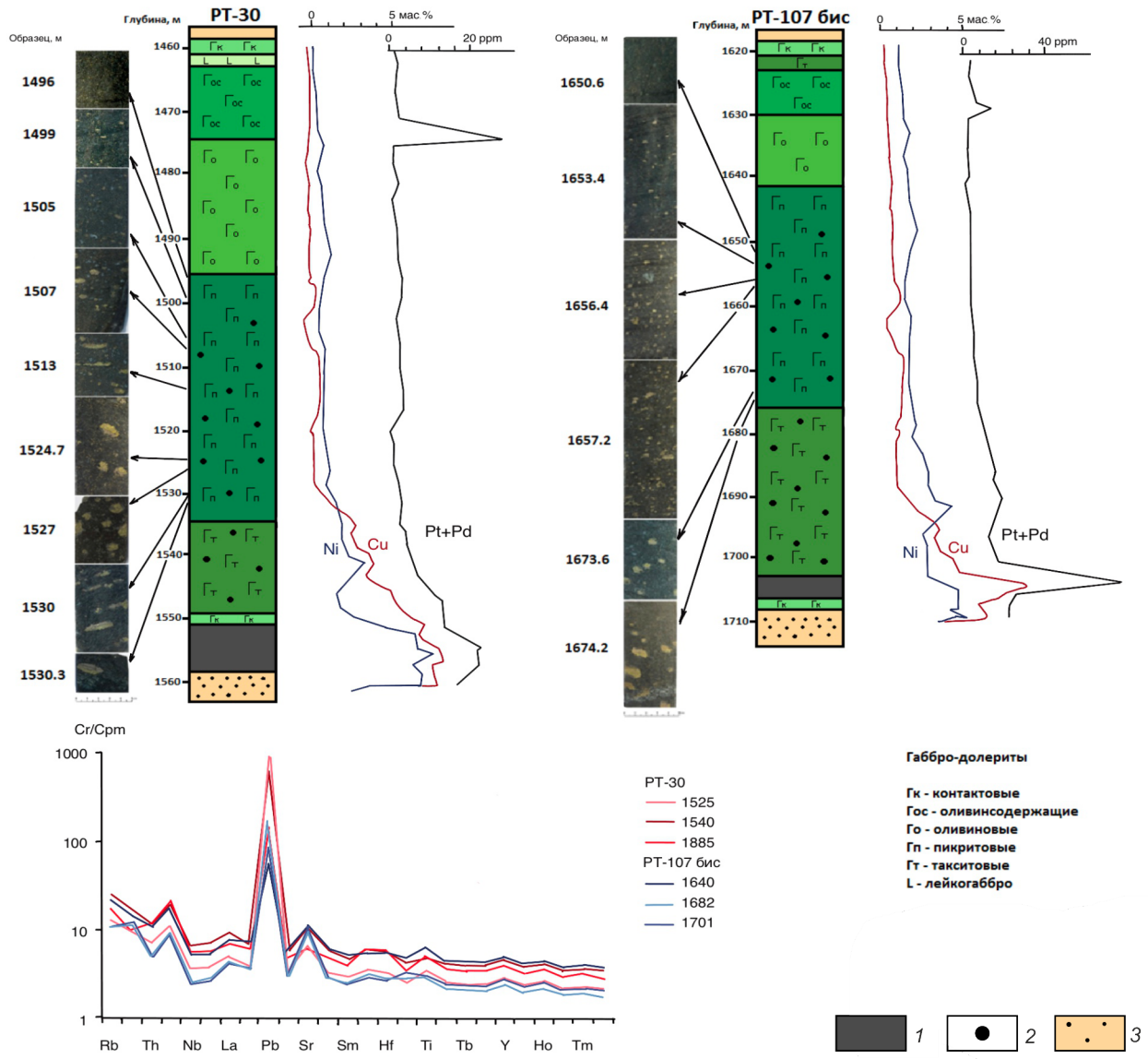


Рис. 3. Строение интрузивного тела в скважинах РТ-30 и РТ-107 бис:

руды: *1* – массивные, *2* – вкрапленные; *3* – осадочные породы

как наиболее стойкий минерал в почти полностью изменённых породах. Представлен авгитом (#Mg=79–65) (см. таблицу).

В породах интрузивного тела широко распространены плагиоклазы ($An_{78–47}$). Они присутствуют во всех дифференциатах интрузии, часто доминируя по содержанию над другими породообразующими минералами.

Распространённость ортопироксена в разрезе интрузива весьма ограниченна. Его содержание обычно не превышает 5%. Он приурочен к наиболее основным и ультраосновным горизонтам. В малых количествах ортопироксен присутствует в такситовых, оливиновых и контактовых габбро-долеритах.

Характеристика вкрапленных руд в пикритовых габбро-долеритах. Горизонт пикритовых габбро-долеритов является одной из важнейших составляющих дифференцированных интрузивов. Его состав наиболее близок к ультрабазитам за счёт увеличения содержания оливина. Состав пикритового

1. Состав породообразующих минералов Хараелахского интрузива (в масс.%)

Образцы	Na_2O	MgO	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	CaO	TiO_2	FeO	MnO	Cr_2O_3	Total
	Оливин										
1495	0,02	38,02	39,32	0,04	0	0,1	0,06	22,49	0,42	0,06	100,55
1497	0,07	41,64	38,63	0,07	0,04	0,14	0,03	17,44	0,27	0,02	98,35
1505	0	37,27	39,89	0,07	0,01	0,1	0,02	20,14	0,31	0,11	97,92
1662*	0,02	38,49	38,34	0,05	0	0,13	0,03	23,01	0,31	0,06	100,45
1665.4*	0,04	37,92	38,67	0,05	0,01	0,23	0,02	22,6	0,36	0,05	99,95
1677.9*	0,01	39,4	38,06	0,07	0,02	0,14	0,05	21,02	0,27	0	99,02
	Клинопироксен										
1497	0,44	17,5	51,23	2,48	0,04	19,94	1,16	6,5	0,17	0,79	100,25
1505	0,28	16,52	52,68	2,65	0	20,77	0,49	5,61	0,15	0,88	100,04
1514	0,38	17,3	53,51	1,75	0	20,14	1,05	6,78	0,18	0,11	101,22
1652*	0,46	16,62	52,31	1,95	0	20,52	1,06	6,75	0,29	0,46	100,42
1662*	0,38	16,78	51,08	2,37	0	19,07	1,3	7,22	0,29	0,58	99,06
1677.9*	0,3	16,1	51,41	2,87	0,01	20,34	0,54	7,6	0,2	0,66	100,03
	Плагиоклаз										
1495	3,55	0,05	51,54	29,84	0,17	14,35	0,07	0,31	0,03	0,05	99,95
1505	3,07	0,04	50,23	31,06	0,13	14,47	0,05	0,46	0,02	0	99,53
1514	3,23	0,13	49,55	34,07	0,1	15,53	0,03	0,72	0,04	0,03	103,43
1652*	3	0,05	49,64	31,54	0,14	15,11	0,03	0,55	0,02	0,01	100,06
1662*	4,76	0,04	52,68	31,3	0,28	12,01	0,09	0,41	0,01	0,04	101,61
1677.9*	2,38	0,1	48,14	34,46	0,09	16,05	0,06	0,99	0,08	0,03	102,38
	Ортопироксен										
1495	0,02	26,76	55,12	1,15	0,01	0,9	0,19	13,98	0,35	0,36	98,84
1497	0,04	29,53	55,09	1,1	0,01	1,06	0,32	12,95	0,36	0,07	100,53
1506	0,08	27,05	56,33	0,89	0	1,95	0,61	12,22	0,3	0,14	99,58
1652*	0,02	23,32	53,13	0,98	0	1,99	0,41	20,26	0,64	0,03	100,79
1662*	0,08	27,93	53,73	0,91	0,03	1,87	0,49	13,04	0,29	0,08	98,45
1665.4*	0,06	28,81	55,63	0,55	0	1,15	0,4	14,37	0,46	0,05	101,48

Примечание. Образцы: 1505 – глубина по скв. РТ-30 (м), 1655* – глубина по скв. РТ-107 бис (м).

габбро-долерита (в об.%): Ol – 40–60, cPx – 20–30, Pl – 30–40, oPx – 5, Sp – 0–10, Sulfides – 1–15. В полнодифференцированных массивах эти породы имеют ряд особенностей, которые отличают интрузии этого типа от других стратифицированных массивов медно-никелевых месторождений мира. К числу таких особенностей следует отнести наличие хромитовой минерализации, магнезиального оливина и развитие наряду с собственно пикритовыми габбро-долеритами пород, близких по составу к троктолитам и плагиоклазовым перидотитам. А главное, что только в пикритовых габбро-долеритах полнодифференцированных интрузивных тел широко распространена наиболее богатая сульфидная минерализация.

Пикритовые габбро-долериты тёмно-серого цвета, мелкокристаллические, массивные, вскрыты скв. РТ-30, в верхней части горизонта однородные. Начиная с 1496 м в них появляются включения плагиоклаза до 1,5 см и сульфидная интерстиционная вкрапленность (10%) размером 2–3 мм (см. рис. 3, образцы

1496, 1499). С 1502 м, помимо интерстиционной вкрапленности, появляются расслоенные вкрапленники пирротин-халькопиритового состава (10%) размером до 5 мм (см. рис. 3, обр. 1505). С 1506 м количество сульфидных вкрапленников увеличивается до 15%, а их размер – до 1 см. При этом размер вкрапленников плагиоклаза уменьшается до 5 мм (см. рис. 3, обр. 1507). С 1510 м продолжается постепенное увеличение в размере сульфидных вкрапленников (до 2,5 см), а также меняется их морфология: они становятся сильно уплощёнными и вытянутыми в горизонтальном направлении. Скопления плагиоклаза увеличиваются до 5 см (см. рис. 3, обр. 1513). С 1514 по 1518 м включения плагиоклаза уменьшаются до 0,5–1 см, а размер сульфидных вкрапленников – до 1 см. С 1518 м вкрапленники сульфидных минералов и плагиоклаза переходят от уплощённых к изометричным (до 1,5 см), а начиная с 1528 м количество сульфидных вкрапленников сильно возрастает (от 5% до 12–15%) (см. рис. 3, образцы 1524,7, 1527). В нижней части горизонта выделения сульфидных минералов снова становятся уплощёнными и увеличиваются в размере (до 2,5 см), но содержание их в породе снижается до 10% (см. рис. 3, образцы 1530, 1530,3). Также встречаются прожилки сульфидов мощностью до 1 см.

Пикритовые габбро-долериты, вскрытые скважиной РТ-107 бис, обладают следующим строением. С 1649 м начинается переходная зона от оливиновых к пикритовым габбро-долеритам. Порода мелко- и среднекристаллическая, пятнистая, зеленовато-серая с гнездообразной вкрапленностью сульфидов (3%, <1 мм). С 1650 м начинаются пикритовые габбро-долериты – однородные, тёмно-серые, массивные, мелкокристаллические. Пирротин-халькопиритовая гнездообразная вкрапленность располагается в интерстициях (4%, <1 мм) (см. рис. 3, обр. 1650,6). С 1651 м, помимо гнёзд, появляются вкрапленники размером до 3 мм, общее содержание сульфидов в породе составляет 5%. С 1652 м размер вкрапленников достигает 4–5 мм, общее содержание сульфидов в породе – 7% (см. рис. 3, обр. 1653,4). С 1654 м содержание пирротин-халькопиритовых расслоенных вкрапленников составляет 10%, появляются вкрапленники и прожилки плагиоклаза (вкрапленники размером до 2 см, прожилки 5–7 мм). С 1655 м крупные выделения сульфидов в размере достигают 2 см, а средний размер расслоенных пирротин-халькопиритовых вкрапленников составляет около 1 см. Помимо них, в породе присутствуют скопления плагиоклаза размером до 3 см, а также прожилки (1–2 мм). С 1656 м размер вкрапленности уменьшается до 3–5 мм (15%), скопления плагиоклаза тоже уменьшаются до 1,5 см (см. рис. 3, обр. 1656,4). С 1657 м появляется талнахит, содержание которого к 1660 м постепенно возрастает (см. рис. 3, обр. 1657,2). С 1659 м, помимо вкрапленников, снова возникает гнездообразная вкрапленность в интерстициях, но каплевидная расслоенная вкрапленность преобладает (3–4 мм, 15%). В интервале 1665,4–1665,7 м размер вкрапленников уменьшается до 2 мм (10%). С 1666 м выделения пирротин-халькопирит-талнахитового состава вновь увеличиваются до 5 мм, помимо них, присутствует гнездообразная вкрапленность (7–10%). Плагиоклазовые вкрапленники также сохраняются и достигают 1–2 мм в диаметре. С 1669 м количество вкрапленников и гнёзд уменьшается до 1%, местами наблюдаются скопления плагиоклаза размером 1–2 мм. С 1672 м вкрапленники пирротин-халькопиритового состава (пирротин преобладает) становятся крупнее и достигают 4 см при среднем показателе 1 см. Гнездообразная вкрапленность тоже возрастает. Общее содержание сульфидов составляет 10%. Плагиоклазовые включения тоже увеличиваются в размере и достигают 7 мм при среднем показателе 1–2 мм (см. рис. 3, образцы 1673,6, 1674,2). С 1675 м происходит постепенный переход к такситовым габбро-долеритам. Из-за увеличения количества вкрапленников плагиоклаза порода становится пятнистой, вкрапленники пиротин-халькопиритового состава почти исчезают, гнездообразной вкрапленности становится 5%.

Как видно из описания строения горизонтов пикритовых габбро-долеритов, в обеих скважинах (РТ-30 и РТ-107 бис) наблюдается общность в их строении. В обоих разрезах количество и размер сульфидных капель возрастает с глубиной. Основными различиями при этом являются разный состав вкрапленности и наличие гнездообразной вкрапленности на протяжении практически всего горизонта в скв. РТ-107 бис. Характерной особенностью крупных выделений сульфидов является их расслоенное строение, выражающееся в разделении на пирротиновую часть внизу и халькопиритовую вверху вкрапленника. Причём граница расслоения и уплощённость вкрапленников параллельна контакту слоя с другими дифференциатами и границам интрузива в целом. Некоторые мелкие интерстиционные выделения имеют мономинеральный состав. В большинстве случаев преобладающими минералами являются пирротин, халькопирит и пентландит. В скв. РТ-30 преобладает пирротин-халькопирит-пентландитовая вкрапленность, а в скв. РТ-107 бис – кубанит-халькопиритовая с талнахитом.

Помимо вкрапленных руд, в пикритовых габбро-долеритах Октябрьского месторождения были выявлены вкрапленные руды в такситовых габбро-

долеритах и массивная руда, расположенная в осадочных породах (в скв. РТ-30, мощностью 20 м) и между горизонтами такситовых и контактовых габбро-долеритов (в скв. РТ-107 бис, мощностью 4 м). Что касается химического состава рудных тел, то они различаются. Рудное тело С-3 (скв. РТ-30) характеризуется близким к 1 соотношением меди к никелю (Cu/Ni=1,2) и средней концентрацией PGE (12–20 ppm), а в залежи С-4 (РТ-107 бис) массивные руды являются существенно медными (Cu/Ni=5) и наблюдается высокое содержание платиновых металлов (до 80 ppm) (см. рис. 3). Различный химический состав сульфидных руд отражается на их минеральном составе. Рудное тело С-3 и связанная с ним вкрапленная руда содержат тетрагональный халькопирит и пирротин в равных пропорциях, в то время как рудное тело С-4 состоит в основном из минералов группы халькопирита – талнахита, путоранита и других минеральных ассоциаций меди с дефицитом серы в структуре.

Обсуждение. Норильские месторождения изучаются на протяжении ста лет. Несмотря на существование различных гипотез о происхождении руд, большинство геологов поддерживают их магматическую природу. Составы первичных магм и условия их кристаллизации, которые определяют как внутреннюю структуру интрузивных тел, так и связанных с ними руд, являются основными пунктами разногласий среди исследователей.

Результат осаждения сульфидов можно наблюдать в центральной части Октябрьского месторождения, где мощный горизонт пикритовых габбро-долеритов содержит вкрапленники сульфидов, неравномерно распределённые в поперечном сечении. В верхней части горизонта отсутствуют какие-либо сульфидные капли и содержится только интерстиционная вкрапленность. Ниже по разрезу появляются мелкие капли, которые постепенно с глубиной становятся крупными и переходят в мелкие рудные прослои в нижней части горизонта пикритовых габбро-долеритов. Эти данные свидетельствуют о влиянии гравитации при формировании вкрапленных руд в норильских интрузивах, что было подвергнуто сомнению в работах С.Барнса [10, 11], который предполагает, что ассоциация сульфидов с пузырьками повышает вероятность перемещения сульфидного материала в верхние части камеры и дальнейший их вынос магмой на поверхность. Несмотря на наличие небольших «пузырьков» (соответствующих поздним гидротермальным минералам, образовавшимся в пузырьках газа), ясно, что они слишком малы для флотации тяжёлых сульфидов. Кроме того, большинство сульфидов не имеет «пузырьков» (см. рис. 3).

С.Барнс предположил, что механизм паровой фазы работает как для подъёма сульфидных капель вверх, так и, в гораздо большем масштабе, для гидротермальной, экзоскарновой Cu-Pt-Pd-минерализации в зонах кровли Хараелахского интрузива. В связи с этим важно подчеркнуть, что каплевидные вкрапленники сульфидов расположены только в горизонте пикритовых габбро-долеритов и никогда наблюдаются в вышележащих и подстилающих породах, включая такситовые габбро-долериты. Таким образом, нет никаких признаков сульфидной флотации внутри всего интрузивного тела.

Заключение. В рамках данной работы было проведено сравнительное изучение пикритовых габбро-долеритов в двух скважинах – РТ-30 и РТ-107 бис. Скв. РТ-107 бис вскрывает рудную залежь С-4, а РТ-30 – С-3. Минеральный состав залежей существенно различается: в первом случае доминируют минералы группы халькопирита, а во втором – пирротина. То же характерно и для вкрапленных руд, которые содержатся в пикритовых габбро-долеритах. Присутствующие в обоих рудных телах минералы группы халькопирита отличаются между собой по составу. Так, в залежи С-4 доминирует талнахит, а в залежи С-3 присутствует только халькопирит.

Судя по строению горизонта пикритовых габбро-долеритов, вкрапленные руды подвергались гравитационному накоплению, а не перемещались с помощью пузырьков газа.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18–05–70094).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Генкин А.Д., Гладышев Г.Д., Гроховская Т.Л.* и др. Сульфидные медно-никелевые руды норильских месторождений. – М.: Изд-во «Наука», 1981. – 235 с.
2. *Годлевский М.Н.* Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. – М.: Госгеолтехиздат, 1959. – 68 с.
3. *Дистлер В.В., Гроховская Т.Л., Евстигнеева Т.Л.* и др. Петрология магматического сульфидного рудообразования. – М.: Изд-во «Наука», 1988. – 327 с.
4. *Дюжиков О.А., Дистлер В.В., Струнин Б.М.* и др. Геология и рудоносность Норильского рудного района. – М.: Изд-во «Наука», 1988. – 261 с.
5. *Криволуцкая Н.А.* Эволюция траппового магматизма и Pt-Cu-Ni рудообразование в Норильском районе. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. – 306 с.
6. *Лихачев А.П.* Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. – М.: Эслан, 2006. – 496 с.

7. *Налдретт А.Дж.* Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометальных руд. – СПб.: СпбГУ, 2003. – 487 с.
8. *Радько В.А.* Модель динамической дифференциации интрузивных траппов северо-запада Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 1991. – № 11. – С. 19–27.
9. *Туровцев Д.М.* Контактовый метаморфизм норильских интрузий. – М.: Научный мир, 2002. – 319 с.
10. *Barnes S.J., Le Vaillant M., Mungall J.E., Krivolutskaya N.A.* Droplets and bubbles – globular sulfide ores, vapour sulfide interactions and Noril'sk-Talnakh ore genesis // Mineral resources in a sustainable world: 13th SGA Biennial Meeting. – Nancy, France, 2015.– P. 881–884.
11. *Barnes S.J., Mungall J.E., Le Vaillant M.* et al. Sulfide-silicate textures in magmatic Ni-Cu-PGE sulfide ore deposits: Disseminated and net-textured ores // American Mineralogist. – 2017. – No. 102. – P. 473–506. https:// doi.org/10.2138/am-2017-5754
12. *Li C., Ripley E.M., Naldrett A.J.* A new genetic model for the giant Ni-Cu-PGE sulfide deposits associated with the Siberian flood basalts // Economic Geology. – 2009. – No. 104. – P. 291–301. http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.104.2.291
13. *Naldrett A.J.* A model for the Ni-Cu-PGE ores of the Noril'sk region and its application to other areas of flood basalts // Economic Geology. – 1992. – Vol. 87. – P. 1945–1962.

REFERENCES

1. *Genkin A.D., Gladyshev G.D., Grokhovskaya T.L.* et al. Sul'fidnyye medno-nikelevyye rudy noril'skikh mestorozhdeniy [Sulphide copper-nickel ores of the Norilsk deposits]. Moscow, Nauka publ. 1981. 235 p.
2. *Godlevskiy M.N.* Trappy i rudonosnyye intruzii Noril'skogo rayona [Traps and ore-bearing intrusions of the Norilsk region]. Moscow, Gosgeoltekhizdat publ. 1959. 68 p.
3. *Distler V.V., Grokhovskaya T.L., Yevstigneyeva T.L.* et al. Petrologiya magmaticheskogo sul'fidnogo rudoobrazovaniya [Petrology of magmatic sulfide ore formation]. Moscow, Nauka publ. 1988. 327 p.
4. *Dyuzhikov O.A., Distler V.V., Strunin B.M.* et al. Geologiya i rudonosnost' Noril'skogo rudnogo rayona [Geology and ore content of the Norilsk ore region]. Moscow, Nauka publ. 1988. 261 p.
5. *Krivolutskaya N.A.* Evolyutsiya trappovogo magmatizma i Pt-Cu-Ni rudoobrazovaniye v Noril'skom rayone [Evolution of trap magmatism and Pt-Cu-Ni ore formation in the Norilsk region]. Moscow, Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK publ. 2013. 306 p.
6. *Likhachev A.P.* Platino-medno-nikelevyye i platinovyye mestorozhdeniya [Platinum-copper-nickel and platinum deposits]. Moscow, Eslan publ. 2006. 496 p.
7. *Naldrett A.Dzh.* Magmaticheskiye sul'fidnyye mestorozhdeniya medno-nikelevykh i platinometal'nykh rud [Magmatic sulfide deposits of copper-nickel and platinum-metal ores]. St. Petersburg, SpbGU publ. 2003. 487 p.
8. *Rad'ko V.A.* Model' dinamicheskoy differentsiatsii intruzivnykh trappov severo-zapada Sibirskoy platformy [Model of dynamic differentiation of intrusive traps of the north-west of the Siberian platform]. Geologiya i geofizika. 1991. No. 11. P. 19–27.
9. *Turovtsev D.M.* Kontaktovyy metamorfizm noril'skikh intruziy [Contact metamorphism of the Norilsk intrusions]. Moscow, Nauchnyy mir publ. 2002. 319 p.
10. *Barnes S.J., Le Vaillant M., Mungall J.E., Krivolutskaya N.A.* Droplets and bubbles – globular sulfide ores, vapour sulfide interactions and Noril'sk-Talnakh ore genesis. Mineral resources in a sustainable world: 13th SGA Biennial Meeting. Nancy, France, 2015. P. 881–884.
11. *Barnes S.J., Mungall J.E., Le Vaillant M.* et al. Sulfide-silicate textures in magmatic Ni-Cu-PGE sulfide ore deposits: Disseminated and net-textured ores. American Mineralogist. 2017. No. 102. P. 473–506. https:// doi.org/10.2138/am-2017-5754
12. *Li C., Ripley E.M., Naldrett A.J.* A new genetic model for the giant Ni-Cu-PGE sulfide deposits associated with the Siberian flood basalts. Economic Geology. 2009. No. 104. P. 291–301. http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.104.2.291
13. *Naldrett A.J.* A model for the Ni-Cu-PGE ores of the Noril'sk region and its application to other areas of flood basalts. Economic Geology. 1992. Vol. 87. P. 1945–1962.

DOI:10.47765/0869-7175-2020-10030

УДК 549.211:550.812.1:552.12:552.323.6:553.81
© Коллектив авторов, 2020

Геологическое строение и вещественный состав кимберлитовой трубки Заря (Западная Якутия)

Р.Ф.САЛИХОВ, К.В.ГАРАНИН, А.В.ТОЛСТОВ, О.Е.КОВАЛЬЧУК, В.К.ГАРАНИН, В.В.ПОЛЯНИЧКО, А.Ю.НИКИФОРОВА (АК «АЛРОСА» (ПАО); 678175, Республика Саха (Якутия), г. Мирный, ул. Ленина, 6)

Приводятся сведения о геологической и тектонической позициях нового коренного месторождения алмазов с беднотоварными рудами – трубки Заря в Алакит-Мархинском кимберлитовом поле Якутской алмазоносной провинции (Западная Якутия), данные о геологическом строении диатремы, вещественном составе и алмазоносности слагающих её кимберлитов. Рассмотрены факторы, определяющие вертикальную и латеральную неоднородность вещественно-индикационных характеристик кимберлитов, индикаторных минералов, алмазов. Сделан вывод об улучшении качества алмазов и их содержаний с глубиной.
Ключевые слова: кимберлит, вещественный состав, индикаторные минералы кимберлита, алмаз.

Салихов Равиль Фанисович — salikhovrf@alrosa.ru

Гаранин Константин Викторович
кандидат геолого-минералогических наук — garaninkv@alrosa.ru

Толстов Александр Васильевич
доктор геолого-минералогических наук — tolstovav@alrosa.ru

Ковальчук Олег Евгеньевич
кандидат геолого-минералогических наук — kovalchukoe@alrosa.ru

Гаранин Виктор Константинович
доктор геолого-минералогических наук — garaninvk@alrosa.ru

Поляничко Виталий Викторович — anjef@mail.ru

Никифорова Анна Юрьевна — nikiforovaay@alrosa.ru

Geology and mineral composition of Zarya kimberlite pipe, western Yakutia

R.F.SALIKHOV, K.V.GARANIN, A.V.TOLSTOV, O.E.KOVALCHUK, V.K.GARANIN, V.V.POLYANICHKO, A.Yu.NIKIFOROVA (PJSC ALROSA)

The geological and tectonic settings of new primary low-grade diamond deposit, the Zarya pipe (Alakit-Markhinsky kimberlite field, Yakutian diamond province, Western Yakutia, Russia), are discussed. Data on the geological structure of the diatreme, mineral composition and kimberlite diamond content is presented. The factors determining the vertical and lateral heterogeneity of the mineral-indicative characteristics of kimberlites, diamond assemblage minerals, and diamonds are considered. It is concluded that diamond quality and grades increase with depth.
Key words: kimberlite, mineral composition, kimberlitic indicator minerals, diamond.

Кимберлитовая трубка Заря расположена в Западной Якутии, в 2 км от пос. Айхал. Кимберлитовое тело имеет сложное строение и различную степень алмазоносности слагающих его интрузивных фаз. При выявлении в 1974 г. оно имело статус алмазопроявления, однако в ходе доразведки и подготовки ТЭО временных кондиций был переоценён его потенциал, доказана рентабельность отработки в современных условиях, и с 2019 г. начато его промышленное освоение. По геолого-экономическим показателям, особенностям состава, строения и уровню алмазоносности рудное тело относится к беднотоварным, существенно отличаясь от известных промышленных месторождений – трубок Айхал,

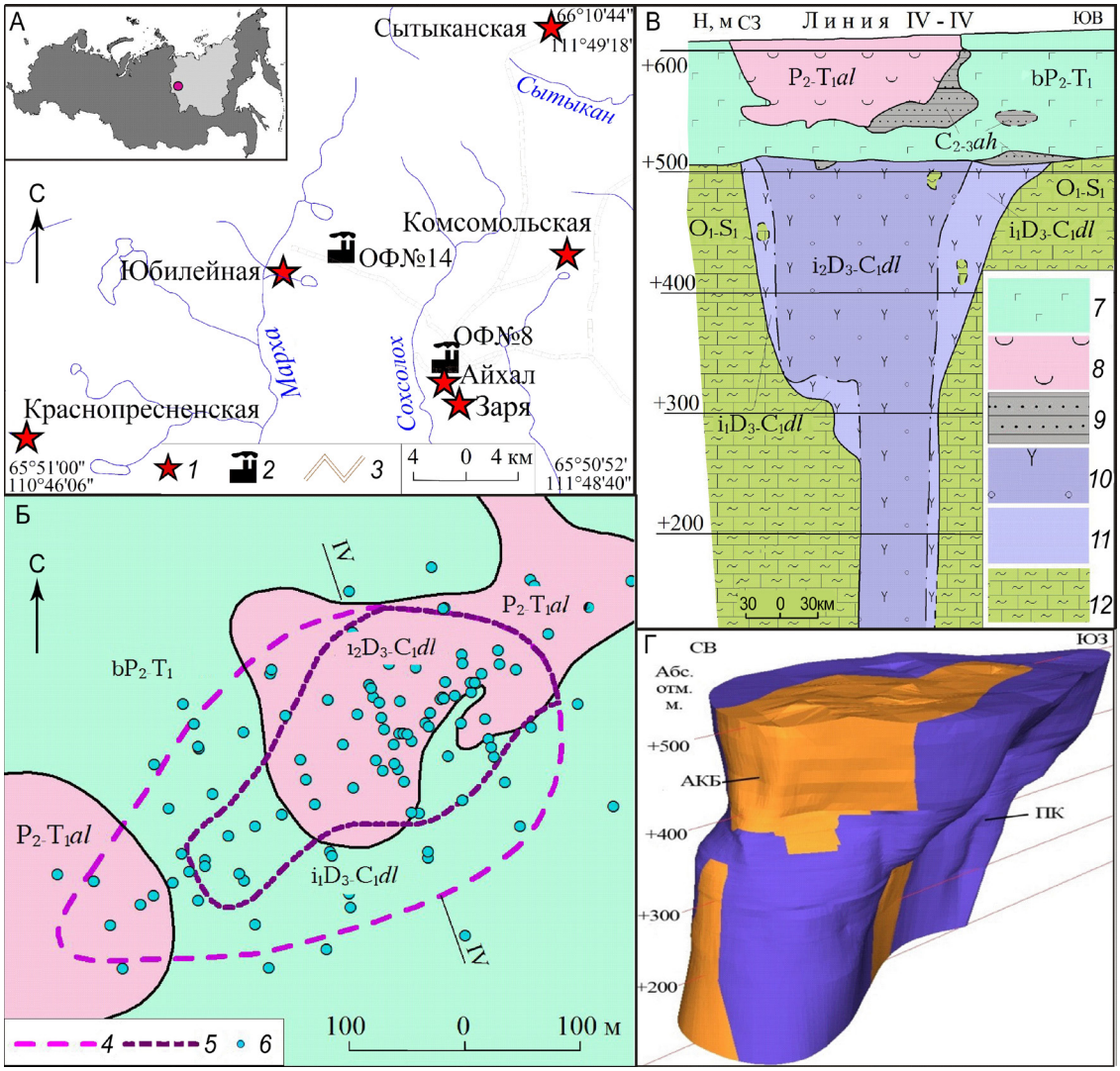


Рис. 1. Обзорная схема (А), геологический план (Б), поперечный разрез через центральную часть (В) и 3D-модель (Г) кимберлитовой трубки Заря:

А – *1* – коренные месторождения алмазов, *2* – обогатительные фабрики, *3* – дороги; Б – *4* – проекция выхода трубки под перекрывающими образованиями, *5* – проекция выхода центрального рудного столба под перекрывающими образованиями, *6* – скважины; В – *7* – поздняя пермь–ранний триас, bP_2–T_1, катангский комплекс долеритов; *8* – верхняя пермь–нижний триас, алакитская свита, P_2–T_1al, туфы основного состава; *9* – средний–верхний карбон, айхальская свита, $C_{2-3}ah$, песчаники, алевролиты; *10, 11* – поздний девон–ранний карбон, далдыно-алакитский кимберлитовый комплекс, автолитовые (туффизитовые) кимберлиты II фазы (АК, 4), i_2D_3–C_1dl и порфировые кимберлиты I фазы (ПК, 5), i_1D_3–C_1dl; *12* – нижний ордовик–нижний силур, O_1–S_1, известняки, доломиты, мергели

Юбилейная, Сытыканская, а по качеству сырья сравнимо с трубкой Комсомольская. Актуальные задачи – обобщение материалов по геологии и особенностям вещественного состава месторождения, определение связи минералого-геохимических характеристик кимберлитов с количественными и качественными показателями алмазоносности: содержанием и стоимостью полезного компонента. Решение этих вопросов позволяет сформулировать вещественно-индикационные критерии алмазоносности кимберлитового тела, которые следует использовать при проведении геологоразведочных работ (ГРР) на алмазы на других объектах. Рассмотрены материалы ГРР и научно-аналитических работ, условия локализации и геологического строения трубки Заря, петрология и минералогия месторождения. Изучение

объекта проводилось АК «АЛРОСА» (ПАО), аналитические работы выполнены в Научно-исследовательском предприятии (НИГП) АК «АЛРОСА» (ПАО). На основании анализа результатов работ сформулированы вещественно-индикационные критерии алмазоносности месторождения.

Условия локализации. Месторождение алмазов трубка Заря расположено на юго-восточном фланге Алакит-Мархинского кимберлитового поля (АМКП), являющегося частью Далдыно-Алакитского алмазоносного района (ДААР) Якутской алмазоносной провинции (ЯАП). Находится в зоне деятельности Айхальского горно-обогатительного комбината (АГОК) АК «АЛРОСА» (ПАО), в 3 км от обогатительной фабрики (ОФ) № 8 (рис. 1), на которой до 2020 г. обрабатывалась руда кимберлитовых трубок Айхал и Комсомольская. Согласно ТЭО, расположение месторождения вблизи АГОКа опредяет рентабельность отработки месторождения открытым способом до глубины 300 м. В дальнейшем возможна переработка руды и на ОФ № 14, в 14 км к северо-западу (вблизи от месторождения трубка Юбилейная).

В региональном плане территория района расположена в зоне сочленения северо-восточного борта Тунгусской синеклизы с юго-западным склоном Анабарской антиклизы. В её строении выделяются два структурных этажа: кристаллический фундамент и перекрывающий платформенный чехол, резко различающиеся по строению и времени формирования. В геологическом строении района участвуют нижне- и верхнепалеозойские отложения, туфогенные образования пермо-триаса и полигенные четвертичные образования.

В пределах ДААР установлены две эпохи магматизма: среднепалеозойская и позднепалеозойская–раннемезозойская. Формирование кимберлитовых тел района связано со среднепалеозойской позднедевонской–раннекаменноугольной (D_3–C_1) эпохой. Основной формой кимберлитовых тел являются трубки взрыва (диатремы), жилы, дайки и отторженцы – блоки кимберлитов, перемещённые от основных тел по латерали (до 1 км) и вертикали (до 100 м). В АМКП установлено 98 кимберлитовых тел общей площадью около 258 га, представленных следующими формами: 63 тела трубочной формы, 20 сопряжённых с ними жил, 7 обособ- ленных жил, 2 дайки и 6 отторженцев от основных тел. Размеры кимберлитовых трубок по площади варьируют от 0,1 до 55,9 га, средний размер составляет 3,6 га.

Кимберлиты представлены кимберлитовыми брекчиями с массивной текстурой (КБ), автолитовыми (туффизитовыми) кимберлитами (АК) и порфировыми кимберлитами (ПК). КБ, ПК и АК встречаются чаще всего в трубках, туфы и туфобрекчии – в минимально эродированных трубах, ПК – в телах жильной формы. Большинство кимберлитовых тел, как правило, имеет сложную структуру и состоит, по меньшей мере, из двух–трёх разновидностей.

В позднепалеозойскую–раннемезозойскую эпоху (P_2–T_1) внедрялись субвулканические интрузивные образования долеритов – пластовые интрузии (силлы), реже субвертикальные дайки, являющиеся подводящими каналами силлов. Взаимоотношение долеритовых силлов с кимберлитами разнообразное – от налегания до секущего. В районе месторождения картируется Айхальский силл долеритов мощностью 14–112 м [14], налегающий на кимберлиты почти на всей площади трубки (см. рис. 1). Уникальной особенностью силла является наличие самородного железа в виде желвакообразных сегрегаций весом до 400 кг. По петрохимическим показателям долериты силла относятся к катангскому комплексу долеритов [12].

Кимберлитовые тела прорывают терригенно-карбонатные нижнепалеозойские (венд-силурийские) отложения, а перекрываются, в зависимости от эрозионного среза, терригенными пермско-каменноугольными отложениями, четвертичными образованиями различного генезиса и силлами долеритов. Расположение кимберлитов в пределах АМКП контролируется разломами различного порядка и ориентировки, активизировавшимися в эпоху кимберлитового магматизма. На территории поля установлено около 10 достоверных и прогнозируемых рудовмещающих разрывных нарушений северо-восточной ориентировки. Тектонические зоны рудовмещающих нарушений подтверждаются в разрезе нижнепалеозойских осадочных пород зонами интенсивной трещиноватости, дробления и широко развитыми проявлениями карста. Эрозионный срез кимберлитовых тел АМКП, по разным оценкам, варьирует от 200 до 650 м, а, по уточнённым данным, он составляет ~475 м [9]. Тем не менее, величину эрозионного среза следует считать относительной, учитывая, что в трубках Краснопресненская, Юбилейная и Айхал в разной степени сохранились вулканические (кратерные) фации, представленные слоистыми осадочными образованиями раннекаменноугольного возраста, кимберлитовыми туфами, туфобрекчиями и такситовыми кимберлитами [16].

История геологического изучения. Поиски алмазов в ДААР начались в 1952 г. В ходе поисков территория была покрыта кондиционными геологическими съёмками масштабов 1:200 000, 1:50 000 и 1:25 000. В 1955 г. в исследуемом районе были открыты кимберлитовые трубки Сытыканская и Маршрутная, а в 1960 г. – трубка Айхал. Вся территория покрыта аэромагнитными съёмками (АМС) различного

масштаба, в том числе современной высокоточной АМС масштаба 1:10 000, выполнены гравиразведочные работы и электроразведочные работы с применением метода переходных процессов (МПП) масштаба 1:20 000. Большая часть территории отнесена к «закрытой», поэтому с начала 1960-х годов и по настоящее время выполняются площадные поиски масштаба 1:10 000 с применением колонкового бурения. За 60 лет, кроме трубок Айхал и Сытыканская, были открыты ещё два коренных месторождения алмазов: трубки Комсомольская (1974) и Юбилейная (1975). Важным открытием стало выявление трубки Краснопресненская (1984), характеризующейся повышенными концентрациями алмазов низкого качества, вследствие чего трубка отнесена к бедноторварным месторождениям.

Трубка Заря выявлена в 1973 г. при проведении поисковых работ по сети 500×500 м и изучена на глубину до 100 м. По данным кернового опробования (общий вес проб 4,5 т) установлена низкая алмазоносность трубки (0,09 кар/т) с вариациями по пробам от 0 до 0,9 кар/т. В ряде проб отмечены повышенные содержания и кристаллы алмаза высокого качества, что позволило предположить наличие в трубке богатого рудного столба с высоким качеством алмазов и промышленной алмазоносностью.

В 2009–2015 гг. на трубке был выполнен комплекс разведочных работ с бурением вертикальных и наклонно-направленных скважин по сети 80×40 и 40×40 м с углубкой в кимберлиты на 400 м. Выполненные работы подтвердили наличие двух фаз кимберлитов, слагающих центральный рудный столб (ЦРС, II фаза внедрения) со средним содержанием алмазов 0,28 кар/т и фланги месторождения (кимберлиты I фазы) с содержанием 0,10 кар/т. По результатам проведённых работ выполнен подсчёт алмазов с использованием временных разведочных кондиций для блоков кимберлитов ЦРС по категории C_1 до горизонта +300 м, по категории C_2 – для блоков ЦРС горизонта +300–+100 м и для блоков кимберлитов I фазы на флангах месторождения от поверхности трубки до горизонта +100 м.

Особенности строения месторождения. Трубка Заря имеет в плане форму эллипса северо-восточного простирания (азимут 56°), полностью перекрыта толщей отложений трапповой формации (долеритами и туфами) с крупными блоками терригенных пород (см. рис. 1). Мощность перекрывающих отложений колеблется от 97 до 113 м (в среднем 105 м). Поверхность трубки неровная, пологоволнистая, северо-западный фланг трубки приподнят относительно юго-востока на 7–16 м. Абсолютные отметки дневной поверхности над трубкой от +597 м до +615 м, в среднем +607 м.

Под перекрывающими породами размеры трубки составляют 480×260 м, с глубиной они уменьшаются, а форма трубки становится гантелевидной с расширением в северо-восточной части. В трубке выделяется центральный рудный столб (ЦРС) с параметрами 350×(180–60) м. На глубине 400 м (горизонт +100 м) площадь ЦРС сокращается наполовину по сравнению с погребённой поверхностью, коэффициент изометричности (соотношение длинной и короткой оси) возрастает от 2,2 до 3,3. Промышленный интерес представляет только ЦРС.

Контакты трубки с вмещающими породами чёткие, углы падения их направлены к центру и составляют: 55°–76° в северо-западной части, 40°–55° в юго-восточной, 80°–90° в юго-западном борту и в целом ниже +300 м. Исключение – северо-восточный борт, где контакт рудного тела до горизонта +360 м падает к центру трубки под углом 86°, ниже этой отметки падение от центра с углами от 67° до горизонта +300 м до 75° глубже.

В приконтактовых зонах кимберлитов отмечаются ксенолиты вмещающих карбонатных пород размером от первых метров до блоков 10×30 м, что наиболее характерно для юго-западного фланга. В центральном рудном столбе, кроме редких ксенолитов вмещающих пород, наблюдаются блоки порфировых кимберлитов размером от первых метров до 35 м.

В зоне контакта трубки с вмещающими породами отмечаются зоны дробления карбонатных пород мощностью до первых десятков метров, вмещающие инъекции кимберлитов, вскрытая мощность которых достигает 8,8 м. Вмещающие породы в зоне контакта с кимберлитовым телом характеризуются повышенной трещиноватостью, наличием зеркал скольжения, ожелезнением, кальцитизацией и сульфидизацией карбонатных пород.

Петрология кимберлитов. Трубка Заря сложена двумя типами кимберлитов, сформировавшихся в разные фазы внедрения и отличающихся вещественным составом, уровнем алмазоносности, содержанием и составом минералов тяжёлой фракции. В первую фазу сформировались слабоалмазоносные ПК, слагающие северо-западный, юго-восточный и юго-западный фланги, а во вторую фазу образовались промышленно-алмазоносные АК ЦРС. Кимберлиты трубки характеризуются размытостью текстурно-структурных признаков, отсутствием чётких контактов между фазами, что особенно проявлено в приповерхностной зоне. С глубиной рисунок породы становится чётче (рис. 2).

С глубиной отмечается смена окраски кимберлитов от красноватой, рыжевато-коричневой в приповерхностных частях трубки до серого и зеленовато-серого – на глубоких горизонтах. Смена цвета

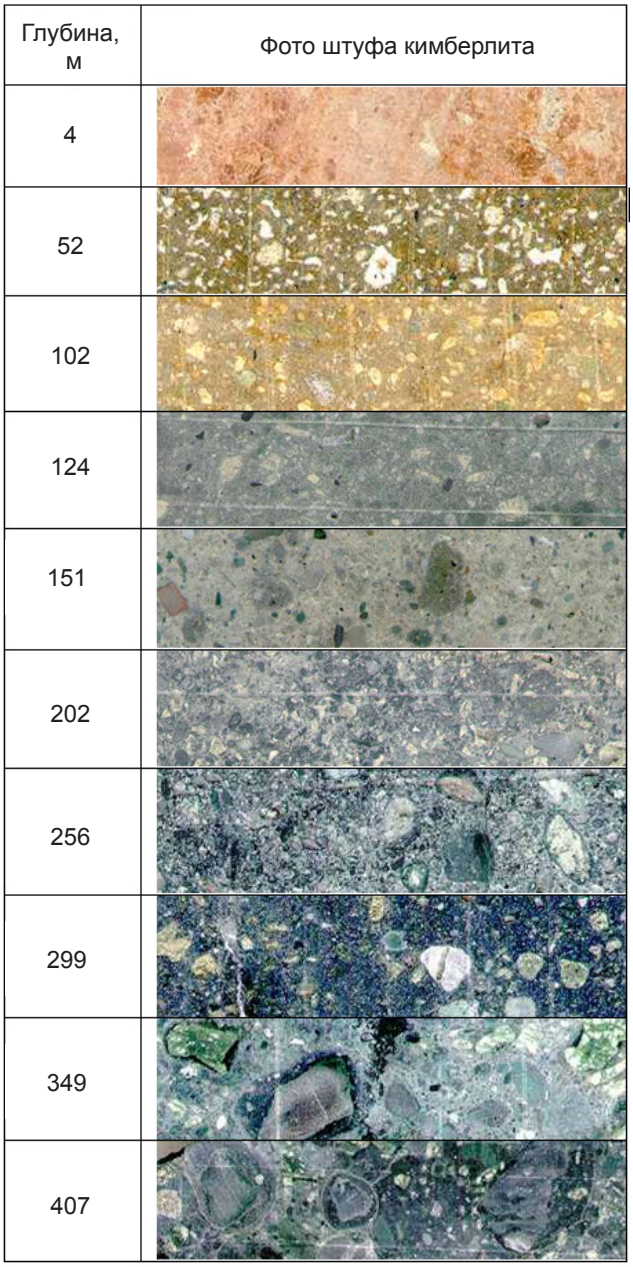


Рис. 2. Петрографическая колонка

корреспондируется с долей нормативного пирита (CIPV): от поверности трубки до глубины 100–120 м содержания нормативного пирита весьма низкие (в среднем 0,05% при максимальном содержании 0,11%), а с глубины 120 м его доля возрастает до 0,45 масс.% (достигая максимума 1,61 масс.%). Это свидетельствует об окислении пирита в верхних горизонтах, что нашло отражение в окраске кимберлита (см рис. 2). Псевдоморфозы по оливину II генерации (размер до 1 мм) по составу аналогичны псевдоморфозам по оливину первой генерации овальной формы, выполнены тем же серпентином, что характерно для кимберлитов [22, 23]. Для ПК характерно низкое содержание ксеногенного материала – обломков осадочных (в среднем 4%) и мантийных (0,6%) пород. Содержание ксенолитов метаморфических пород в ПК составляет менее 1%. Такие ксенолиты обнаруживаются в виде мелких единичных обломков, диаметр которых не превышает 1 см.

Порфировые кимберлиты (ПК) – породы светло-серого цвета с бледно-голубоватым или рыжеватым оттенком. Структура мелко- и среднепорфировая, текстура массивная, реже флюидальная. Крупнопорфировые кимберлиты с преобладающим количеством псевдоморфоз по оливину I генерации (размер обычно более 1, реже более 4 мм) представлены единичными образцами. Выделения оливина присутствуют в количестве 13–38% (в среднем 22,9%), имеют овальную, угловато-сглаженную, изредка угловатую форму, полностью серпентинизированы. Распределение вкрапленников в породе относительно равномерное. Псевдоморфозы резко выделяются на фоне основной массы, выполнены светло-, тёмно-зелёным и буроватым серпентином. Вместо вкрапленников иногда отмечаются каверны выщелачивания серпентина, который сохранился в виде корочек по стенкам пустот.

Автолитовые кимберлиты (АК) имеют серый цвет, содержат около 11% ксенолитов осадочных пород. Размер обломков от 0,5 до 3 см, формы их овальные либо угловато-сглаженные, окраска тёмно- и светло-серого цвета (реже тёмно-зелёного). Представлены обломки глинисто-карбонатными породами, распределёнными в породе равномерно. Текстура АК брекчиевидная, основной массы – мелко-среднепорфировая, участками отмечена шаровая текстура. Сферотакситовая оболочка располагается по периферии псевдоморфоз и ксенолитов осадочных пород в виде мелких шарообразных обособлений микрозернистого строения и переменной мощности более тёмного, чем основная масса, цвета и включает в себя псевдоморфозы по оливину II генерации. Псевдоморфозы по оливину-I выполнены зеленовато-серым и буроватым серпентином при подчинённой доле кальцита. Их содержание заметно ниже по сравнению с порфировыми кимберлитами и составляет около 20%.

Различие выделенных типов пород проявляется в содержании псевдоморфоз по оливину и ксенолитов осадочных пород, а также оливина разных генераций. В АК зёрен оливина II генерации класса (<1 мм) больше, чем в ПК (в среднем около 56%) от общего содержания макрокристов оливина I генерации (размером >1 мм), а содержание мегакристов оливина (класс +4–8 мм) в АК, напротив, ниже, чем в ПК. Постоянство соотношений оливина разной размерности

1. Параметры распределения основных компонентов (вес.%) в кимберлитах трубки Заря

Компоненты	Автолитовые кимберлиты					Порфировые кимберлиты
	Горизонт, м					
	Поверхность–+490	+490–+400	+400–+300	+300–+200	+200–+100 м	+490–+100 м
SiO_2	26,02	25,23	25,09	27,63	27,52	26,96
TiO_2	1,29	1,41	1,54	1,58	1,46	1,83
Al_2O_3	1,77	1,97	2,04	1,9	1,76	2,22
$FeO_{общ}$	6,54	6,16	7,33	8,16	10,87	8,21
CaO	21,55	19,7	17,85	13,37	10,69	13,74
MgO	18,61	21,45	22,84	26,62	28,25	25,88
MnO	0,09	0,08	0,12	0,12	0,12	0,11
K_2O	0,17	0,31	0,41	0,28	0,26	0,38
Na_2O	0,07	0,08	0,1	0,14	0,18	0,19
P_2O_5	0,37	0,35	0,43	0,37	0,34	0,57
S	0,02	0,11	0,24	0,15	0,16	0,24
ППП	20,16	21,31	20,29	18,59	18,08	21,59
Сумма	96,66	98,16	98,28	98,91	99,69	101,9
N	12	24	25	23	16	21
D	0,20	0,29	0,29	0,24	0,18	0,13

Примечание. N – число изученных образцов, D – содержания алмазов, кар/т; метод анализа: ICP-MS, IRIS Intrepid Duo и iCAP 6300Duo, выполнено в НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО).

в пределах одного типа, по-видимому, обусловлено его генетической индивидуальностью, отражающей термодинамические условия кристаллизации. Разница, вероятно, свидетельствует о разных режимах этапов кимберлитообразования и дефиците оливиновой составляющей на завершающих фазах становления интрузий. Явных признаков изменения кимберлитов под воздействием термального прогрева силла долеритов (минимальная температура расплава оценивается по наличию самородного железа в 1538° С), как и замещения пикроильменита жёлто-коричневым анатазом, отмечавшегося в кимберлитах скарновой зоны трубки Краснопресненская, на трубке Заря не установлено, но воздействие силла на её верхнюю часть, очевидно, имело масштабные проявления. При этом отсутствует типичный скарновый минерал – гранат гроссуляр-андрадитового состава, характерным является наличие перовскитовых оболочек вокруг пикроильменита.

Ксенолиты мантийных пород присутствуют весьма ограниченно; как правило, это мелкие включения в основной массе, и вследствие их редкой встречаемости по ним не было выполнено специализированных исследований.

Особенности химического состава кимберлитов трубки Заря изучены в тех же 121 образцах, по которым осуществлялся макропетрографический анализ. Для кимберлитов характерны широкие вариации состава (табл. 1). При схожести содержаний основных по родообразующих оксидов Ca, Mg и Fe по всем этим элементам фиксируется разброс содержаний в различных образцах на 2–3 и более весовых процентов. Содержание CaO варьирует от 5,28 до 26,78 масс.%, что связано с различной степенью карбонатизации. Во всех образцах зафиксировано высокое содержание TiO_2 (от 0,73 до 2,41 масс.%), коррелирующееся с высоким содержанием ильменита и титаномагнетита в составе основного матрикса. Повышенное содержание P_2O_5, превышающее 0,3 масс.%, достигает в отдельных образцах 0,78 масс.%.

Кимберлиты относятся к Fe-Ti (среднетитанистому) низкокалиевому петрохимическому типу ($FeO_{общ}$ 6–9, K_2O <1 и TiO_2 1–2,5%), к которому относятся коренные месторождения алмазов Якутии – высоко-, средне- и умеренноалмазоносные трубки Мир, Удачная, Зарница, Юбилейная, Сытыканская, Комсомольская, трубки Верхне-Мунского поля. Прямая положительная корреляция изменения с глубиной

2. Сравнение средних содержаний (в ‰) и индикаторных отношений характерных элементов кимберлитов трубки Заря и различных геохимических типов кимберлитов

Компоненты	Кимберлиты N типа			Кимберлиты D типа	
	Заря, АКБ +490–+100 м (88)	Заря, ПК (21)	Традиционные алмазоносные районы Якутии (91)[2]	Средне-Мархинский район Якутии (42)[2]	Золотицкое поле, Архангельская область (17)[2]
Nb	113	150	123	25	39
Zr	110	149	129	75	100
Ce	119	154	145	33	55
Y	10	11	11	10	14
U[1]	1,8	5,0	2,3	0,6	0,6
Th[1]	9,0	922	10,5	1,5	4,1
Sr	538	10971	915	627	415
Ba	541	1,0	703	427	708
Ti	8992	13,7	5627	3036	5555
Zr/Nb	1,0	1,0	1,0	3,0	2,5
Ce/Y	12,4	13,7	13,6	3,4	3,9
Th/U	5,1	3,0	4,5	2,3	7,1

Примечание. [1]Содержания по данным применения геофизического исследования скважин; [2]данные по [10]; в скобках – число проб.

устанавливается для содержаний алмазов и Al_2O_3, K_2O, (Na_2O+K_2O), П.П.П., в меньшей степени с Rb, когерентного с K, но с сохранением тенденции – S, P_2O_5; отрицательная корреляция устанавливается у TiO_2 и SiO_2.

Полученные данные корреспондируются с установленными корреляционными зависимостями между алмазоносностью кимберлитов в коренных месторождениях алмазов ЯАП и содержаниями TiO_2, Al_2O_3 и K_2O [3, 5]. Как индикатор может рассматриваться отрицательная связь алмазоносности с TiO_2 и положительная с K_2O. С глубиной выявлен устойчивый рост средних содержаний $FeO_{общ}$, MgO, Na_2O и Pb, независимый от содержания алмазов. Прямо противоположная тенденция характерна для CaO. По содержаниям редких и радиоактивных элементов (Nb, Ta, Zr, Ce, Th, U) и Ti кимберлиты трубки Заря относятся к кимберлитам N типа (табл. 2) [10].

Петрофизические характеристики кимберлитов. Физические свойства кимберлитов трубки Заря, перекрывающих и вмещающих пород в их естественном залегании изучены по результатам геофизических исследований скважин (ГИС) в десятках поисковых и разведочных выработок. Кроме того, исследования физических свойств были проведены на 723 образцах горных пород трубки в лабораториях Амакинской ГРЭ (аналитик А.А.Киргуев) и института «Якутнипроалмаз» АК АЛРОСА (ПАО). На фоне вмещающих и перекрывающих пород кимберлиты выделяются по физическим свойствам: с перекрывающими долеритами контакты определяются по радиоактивности, от вмещающих пород – по более высоким магнитным свойствам и Th/K отношению (табл. 3).

При широких вариациях значений физических свойств АК отличаются от ПК повышенной плотностью, магнитной восприимчивостью и более низкой радиоактивностью. Для АК отмечены максимальные значения естественной остаточной намагниченности (ЕОН) (среднее 573,4 мАм при диапазоне 14,8–9087,0 мАм) и отношения Кёнигсбергера (фактор Q) 0,85 при колебаниях от 0,1 до 19 ед., которые свидетельствуют о высокой концентрации магнитных минералов. Отмечена слабая положительная корреляционная связь между алмазоносностью и магнитной восприимчивостью. В этом плане уместно сравнение параметров в кимберлитах различных фаз трубок Заря и Комсомольская. Средние содержания алмазов в трубке Заря составляют (в кар/т): в ПК – 0,05, в АК – 0,26, в трубке Комсомольская – 0,05 и 0,31, соответственно, при средней магнитной восприимчивости ПК трубки Комсомольская

3. Физические свойства кимберлитов трубки Заря, перекрывающих и вмещающих пород в их естественном залегании (по результатам ГИС) и в образцах

Порода	δ, г/см³ (образцы)	æ, ×10⁻⁵ ед. СИ		γ, мкР/ч (ГИС)	Содержание элементов (ГИС)		
		образцы	ГИС		Th	U(Ra)	K, %
Кимберлиты							
АК	2,17–2,57 2,39	76–5534 1846	500–7500	4,5–8,0	4,5–12,0	1,0–6,0	0,01–0,5
ПК	2,16–2,48 2,36	15–5510 1315	900–8000	8,0–15,0	8,0–20,0	2,5–7,5	0,1–1,0
Вмещающие							
Известняк	2,29–2,31 2,30	15–56,5 36,0	3,0–12,0 6,8	1,4–4,0 2,6	0,1–5,0 1,0	0,1–4,0 0,8	0,1–3,3 0,8
Доломит	2,52–2,70 2,61	7,3–7,8 7,5	2,5–12,0 5,8	3,0–8,0 5,1	0,2–5,0 2,2	0,1–4,2 1,6	0,1–3,0 1,1
Глинистые разности	2,3–2,63 2,48	–	1,5–30 14,7	3–14 8,6	0,1–12 5,7	0,1–7,5 1,8	0,1–5,0 1,9
Перекрывающие							
Долерит	2,80–2,94 2,87	–	350–2600 1525	1,0–2,2 1,8	–	–	–
Туф	2,27–2,43 2,36	–	97–315 206	1,8–6,7 3,2	–	–	–

Примечание. δ – объёмная плотность, æ – магнитная восприимчивость, γ – общая радиоактивность, содержания Th и U(Ra) – в 10^{-4}%.

339×10⁻⁵ ед. СИ, АК – 2666×10⁻⁵ ед. СИ [2]. При близких значениях отношений алмазоносности АК:ПК – 4,8 и 6,2 в трубках Заря и Комсомольская, по магнитной восприимчивости кимберлиты трубки Комсомольская различаются более контрастно: отношение АК:ПК равно 7,9 против 1,4 для кимберлитов Зари.

Минеральный состав. ***Породообразующие минералы.*** Различия в химизме кимберлитов подтверждаются широкими вариациями минерального состава основной массы и главных минералов: серпентина, кальцита и хлорита. Значительная роль контаминации в изменении вещественного состава прикровлевой части кимберлитов подтверждается результатами рентгено- и термографического анализа (табл. 4). Снижение количества кальцита с глубиной сопровождается ростом содержаний «ювенильных» минералов – серпентина, флогопита, слюд; в поверхностной части трубки наблюдается повышение вторичных минералов (тальк, смектит, сапонит, кварц и др.), максимальные содержания которых в центральной части ЦРС достигают: смектита – 17–50 и талька 9–20%. Неравномерное распределение «ювенильных» и новообразованных вторичных минералов подтверждается высокими вариациями их значений и стандартных отклонений, что свидетельствует об изменчивости количества исходных кимберлитов трубки по вертикали и латерали.

Максимальная изменчивость характерна для поверхностного горизонта, перекрытого силлом долеритов, где вторичные преобразования носят очаговый характер. Неравномерность распределения по латерали и вертикали вторичных минералов, влияющих на технологические свойства и извлекаемость алмазов, может существенно исказить параметры средних содержаний и гранулометрию извлекаемых алмазов, что необходимо учитывать при отработке месторождения. Корреляция алмазоносности в кимберлитах с явными признаками вторичных изменений отмечается в кимберлитовых телах, в частности в трубках Накынского кимберлитового поля [4, 5].

Акцессорные и ультраакцессорные минералы. Средний вес тяжёлой фракции, по данным проведённых исследований, составляет (в кг/т): для ПК – 52,17 (от 16,58 до 101,80), для АК – 59,02 (от 3,80 до 307,40). Столь значительные вариации содержаний тяжёлой фракции обусловлены неравномерным содержанием вторичного магнетита, содержание которого по пробам достигает 83%. В АК содержание минералов тяжёлой фракции выше на 13%, ПК характеризуются

4. Результаты рентгено- и термографического анализа образцов кимберлитовых пород трубки Заря

Параметры	Горизонт, м	N	Условные содержания, %												
			Серпентин	Флогопит, слюда	Хлорит	Тальк	Смектит (сапонит), монтмориллонит	Кальцит	Доломит	Кварц	Полевые шпаты	Пироксен, амфибол	Магнетит	Гематит, пирит, перовскит	Апатит, хантит, галит
Автолитовый кимберлит															
С	Поверхность–+490	15	17	1	2	2	5	65	0	3	1	1	1	0	1
	+490–+400	22	17	0	3	0	0	77	0	1	0	0	0	0	0
	+400–+300	25	20	4	3	0	0	67	2	0	0	1	1	0	1
	+300–+100	15	27	4	8	0	0	55	0	1	0	0	4	0	0
S	Поверхность–+490	15	15	2	2	5	13	23	1	9	2	3	2	1	1
	+490–+400	22	10	1	3	0	0	11	0	2	0	0	1	0	1
	+400–+300	25	9	9	3	0	1	14	9	1	0	4	1	1	1
	+300–+100	15	11	2	8	0	0	16	0	2	0	0	9	1	1
Max	Поверхность–+490	15	56	6	5	20	50	88	3	36	6	10	6	2	3
	+490–+400	22	37	2	11	0	0	95	1	7	0	1	4	2	2
	+400–+300	25	40	43	10	0	5	88	47	2	1	21	5	2	2
	+300–+100	15	46	8	25	0	0	92	0	9	0	1	34	3	2
Порфировый кимберлит															
С	Поверхность–+490	6	21	1	1	0	8	64	0	0	1	0	1	1	1
	+490–+300	17	16	2	3	0	1	71	6	0	0	0	0	0	0
	+300–+100	16	21	2	3	0	0	66	6	0	0	0	0	0	0
S	Поверхность–+490	6	8	2	1	0	18	17	0	0	1	0	1	1	1
	+490–+300	17	10	3	3	0	2	20	23	0	0	0	1	0	1
	+300–+100	16	8	3	4	0	0	19	19	0	0	0	1	1	0
Max	Поверхность–+490	6	31	4	3	0	45	89	0	1	3	0	3	2	2
	+490–+300	17	41	12	9	0	9	91	93	1	0	0	2	1	3
	+300–+100	16	38	10	15	0	0	85	75	0	0	1	3	2	1

Примечание. Аналитики Л.В.Лисковая, Е.Ю.Артёмова, дифрактометр ARLX`TRA CuKa-излучение, V=40 кв, J=40 ма, термоанализатор DTA-60AH *T*=1200°C; статистические параметры: N – число анализов, C – среднее и S – стандартное отклонение, Max – максимальное значение.

пониженным содержанием пиропа и пироксенов при более высоком содержании альмандина по сравнению с АК. Особенность пород в резком преобладании пикроильменита над пиропом отсутствие неизменённого оливина и редкие находки хромшпинелидов (табл. 5).

Состав индикаторных минералов кимберлитов (ИМК). Основные ИМК – гранат, пикроильменит и хромшпинелиды – изучались на электроннозондовом микроанализаторе JEOL-8600 Super Probe (аналитик А.С.Иванов, ЦАЛ НИГП ПАО «АЛРОСА»). Их составы расклассифицированы на соответствующие парагенезисы и химико-генетические группы по известным классификациям Н.В.Соболева [13, 22] и В.К.Гаранина и др. [7] с построением диаграмм для каждого минерала и выделением групп алмазного парагенезиса.

Гранаты. Изучены химические составы 65 зёрен граната из АКБ верхних горизонтов трубки (выше отм. 490 м абс.), 178 зёрен из АК нижних горизонтов (ниже отм. 490 м абс.) и 80 зёрен из ПК ниже отм. 490 м. Среди гранатов из АК верхнего горизонта

5. Среднее содержание минералов тяжёлой фракции в кимберлитах, по данным изучения протолочных проб (в кг/т)

Минералы	Порфировые кимберлиты (18)	Автолитовые кимберлиты (57)
Пироп	2,61	4,26
Пикроильменит	27,25	30,24
Оливин	ед.зн.	ед.зн.
Хромшпинелид	0,05	0,05
Хромдиопсид	0,02	ед.зн.
Пироксены	ед.зн.	0,77
Альмандин	1,18	0,76
Магнетит	19,18	16,67
Гидроксиды железа	0,40	5,30
Апатит	р.зн.	р.зн.
Группа сульфидов	1,45	0,71
Сфалерит	ед.зн.	ед.зн.
Ставролит	р.зн.	р.зн.
Миллерит	ед.зн.	ед.зн.
Перовскит	ед.зн.	р.зн.
Сфен	ед.зн.	ед.зн.
Циркон	зн.	зн.
Рутил	0,01	ед.зн.
Барит	0,02	0,26

Примечание. В скобках – число проб; ед.зн. – единичные (1–4) зёрна, р.зн. – редкие (5–14) зёрна, зн.– 15–50 зёрен (в случае, если суммарный вес зёрен составляет менее 0,01 кг/т).

(+490 м), по классификации Н.В.Соболева [13, 22], преобладают разновидности из лерцолитового парагенезиса (68%), дунит-гарцбургитовому соответствуют 28%, а эклогитовому 5%. Гранаты алмазной ассоциации составляют 19% и относятся к дунит-гарцбургитовому (14%) и эклогитовому (5%) парагенезисам. Среди гранатов из АК трубки ниже отметки 490 м, по классификации Н.В.Соболева, превалируют лерцолитовые гранаты (65%), дунит-гарцбургитового парагенезиса насчитывают 21, верлитового – 10, а эклогитового – 5%. Гранаты алмазной ассоциации составляют 17% от количества изученных и соответствуют дунит-гарцбургитовому, эклогитовому и лерцолитовому парагенезисам. В ПК доля гранатов лерцолитового парагенезиса составляет 60, дунит-гарцбургитового – 28, верлитового – 11, а эклогитового – 1%, в том числе гранатов алмазной ассоциации – 24%.

Статистически значимые различия в содержании пиропов алмазной ассоциации устанавливаются между ПК и АК глубже 490 м: в ПК – 24%, в АК их на треть меньше – 17%. Распределение гранатов из АК верхних горизонтов характеризуется меньшим разнообразием химического состава гранатов и незначительно повышенной частотой встречаемости гранатов алмазной ассоциации (рис. 3, на 2%). В ПК установлена максимальная частота встречаемости гранатов алмазной ассоциации, что позволяет говорить об отрицательной корреляции между алмазоносностью и содержанием в них гранатов алмазной ассоциации. Менее алмазоносные АК приповерхностной части трубки содержат больше гранатов алмазной ассоциации по сравнению с более глубокими горизонтами. Для АК верхних горизонтов трубки также характерен наиболее бедный видовой состав гранатов (см. рис. 3). Причиной обратной корреляции алмазоносности и пиропов алмазной ассоциации, как и обеднения видового состава гранатов, является повышение хромистости пиропов из-за снижения содержаний слабоустойчивых к гипергенным и метасоматическим процессам низкохромистых гранатов [1, 15]. Это подтверждается разным количеством разноокрашенных гранатов в трубке до 50 м и ниже: для ПК <50 м (число образцов образцов, *n*=77), ПК >50 м (*n*=223), АК <50 м (*n*=148), АК >50 м (*n*=223) они составляют, соответсвенно (в %): малиновые – 27, 34, 37 и 28, лиловые – 13, 7, 12 и 11, оранжевые – 52, 57, 50 и 59, розовые – 8, 2, 1 и 2.

Пикроильмениты. Химические составы пикроильменитов изучены по 41 зерну из АК верхних горизонтов трубки (выше отм. +490 м), 117 зёрнам из АК и 64 зёрнам из ПК из нижних горизонтов (ниже отм. +490 м). Пикроильмениты из АК и ПК трубки характеризуются высокими содержаниями Mg и Cr.

По классификации В.К.Гаранина [8], в данной выборке преобладает пикроильменит 5 группы (ПК – 94%; АК выше отм. +490 м – 90%, ниже отм. +490 м – 95,7%), ильменит 4 группы составляет, соответственно, 6%, 10% и 3%. В АК ниже отм. +490 м установлены единичные зёрна групп 1 и 2 по 1% (рис. 4). По соотношению TiO_2/MgO пикроильмениты уверенно относятся к кимберлитам, а в координатах MgO–Cr_2O_3 фигуративные точки составов ложатся в область «сохранности алмазов» (см. рис. 4). Отличия выявляются по концентрациям Cr_2O_3 и распределению в областях минимальной, средней и максимальной сохранности алмазов на диаграмме Р.Рамзи [21] (см. рис. 4, Б).

Средние содержания Cr_2O_3 в пикроильменитах из АК верхней части трубки самые низкие (1,12 мас.%), они на 24,2% меньше содержаний в АК ниже отм. +490 м и на 37,7%, чем в ПК. Фигуративные точки составов пикроильменита из ПК, АК ниже отм.

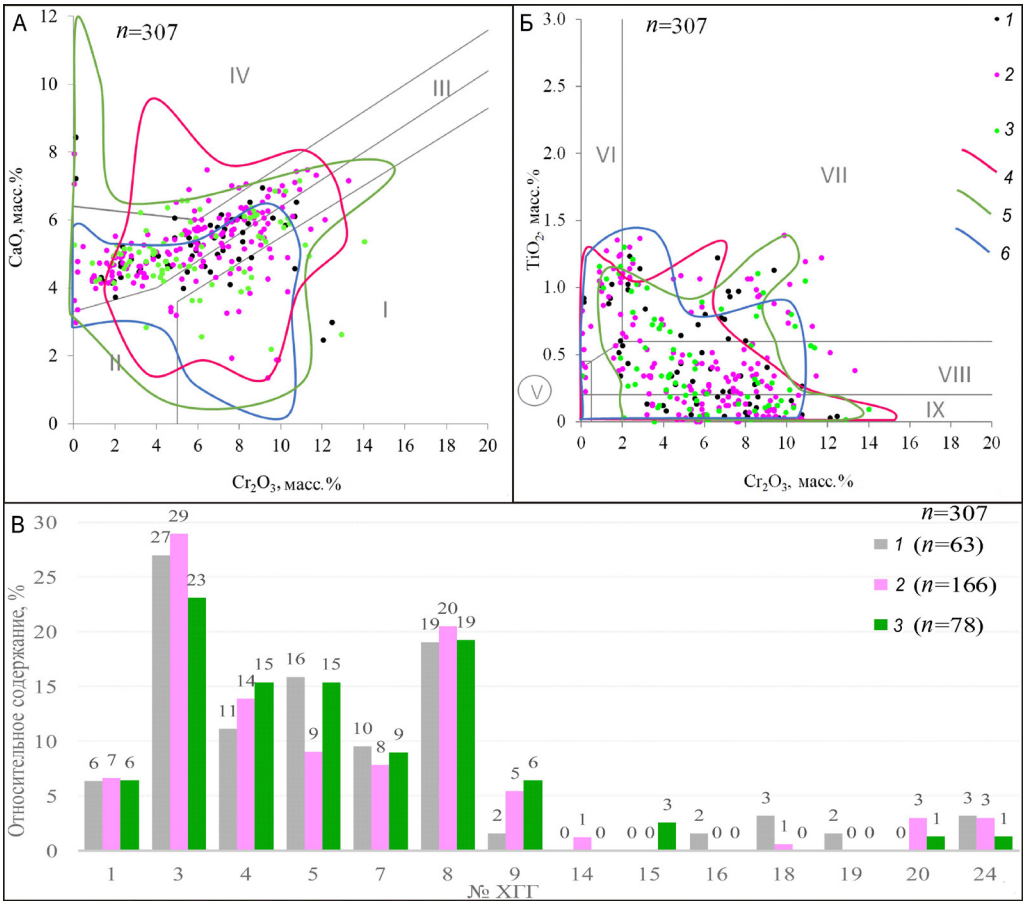
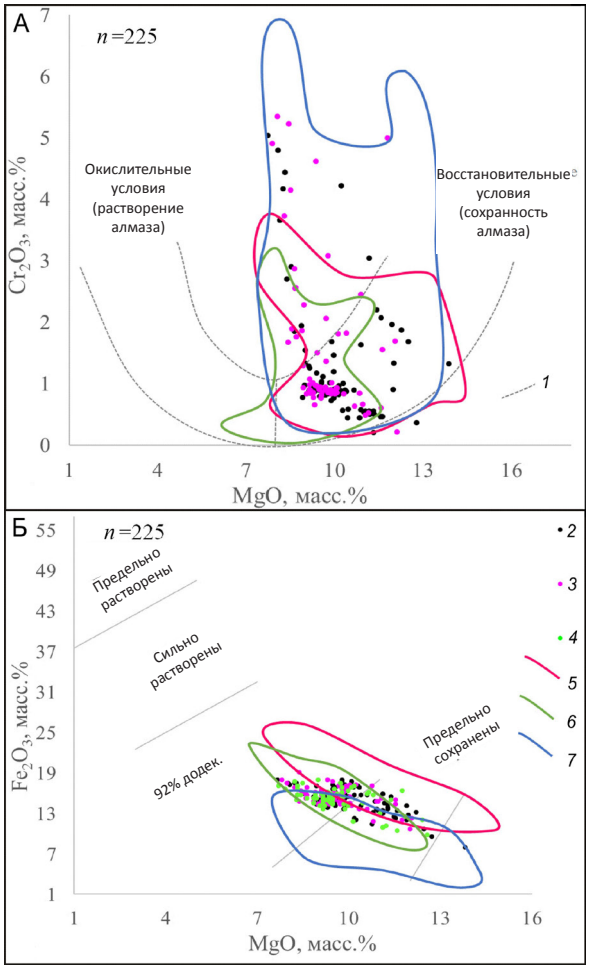


Рис. 3. Особенности химического состава гранатов из кимберлитов трубки Заря в координатах Cr_2O_3–CaO (А), Cr_2O_3–TiO_2 (Б) и распределение состава гранатов по химико-генетической классификации (В):

автолитовый кимберлит: *1* – выше 490 м абс. (*n*=63) и *2* – ниже 490 м абс. (*n*=166), *3* – порфировый кимберлит (*n*=78); оконтуренные области составов гранатов из кимберлитов трубок Комсомольская (*4*), Айхал (*5*), Юбилейная (*6*); поля составов парагенетических ассоциаций граната (А) – по [13, 22], (Б) – по [21]: I – включения в алмазе, алмазоносные дуниты и гарцбургиты, II – дуниты и гарцбургиты, III – лерцолиты, IV – верлиты, V – эклогиты, VI – мегакристы, VII–VIII – лерцолиты: катаклазированный (VII), метасоматизированный зернистый (VIII), деплетированный (IX); химико-генетические группы (В), по [7]: 1 – высокоалмазоносные дуниты и гарцбургиты (включения в алмазе), 3 – алмазоносные равномернозернистые лерцолиты с высокохромистым гранатом, 4 – алмазоносные равномернозернистые лерцолиты со среднехромистым гранатом, 5 – алмазоносные равномернозернистые лерцолиты с низко-среднехромистым гранатом, 7 – слабоалмазоносные равномернозернистые (иногда катаклазированные) лерцолиты с высокохромистым высокотитанистым высококальциевым гранатом, 8 – слабоалмазоносные равномернозернистые (часто катаклазированные) ильменитовые лерцолиты с низкохромистым титанистым гранатом, 9 – лерцолиты и вебстериты с низкохромистым гранатом, 14 – зональные гранаты с включениями хромшпинелидов, 15 – зональные гранаты с включениями ильменита, 16 – гранат-ильменитовые (±клинопироксен) сростки, 17 – глубинный парагенезис гранатов из включений в алмазе, 18 – высокотитанистые алмазоносные магнезиально-железистые эклогиты, 19 – алмазоносные ильменит-рутиловые магнезиально-железистые эклогиты, 20 – алмазоносные магнезиально-железистые эклогиты, 24 – алмазоносные магнезиальные ильменит-рутиловые эклогиты; *n* – число анализов

+490 м и АК верхней части трубки распределяются следующим образом (в%): в области минимальной сохранности 77, 73, 56, в области средней сохранности 23, 26 и 44, максимальной сохранности 0, 2 и 0, соответственно. Таким образом, различия между верхними и нижними горизонтами заключаются в повышенном содержании Cr_2O_3 и большем разнообразии химических составов пикроильменита в АК глубже отм. +490 м.

Хромшпинелиды. Химический состав хромшпинелидов изучен по 26 зёрнам из АК верхних горизонтов и 105 зёрнам из глубоких горизонтов, а также 53 зёрнам из ПК трубки Заря. В целом все три выборки сходны между собой, во всех преобладают



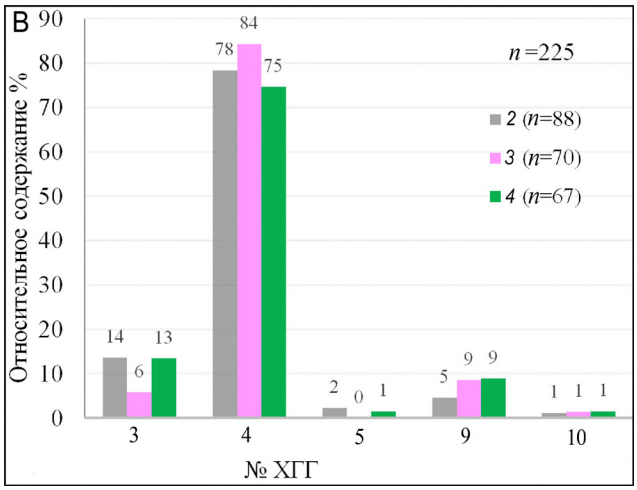


Рис. 4. Особенности химического состава пикроильменитов из кимберлитов трубки Заря в координатах MgO–Cr_2O_3 (А), MgO–Fe_2O_3 (Б) и распределение состава пикроильменитов по химико-генетической классификации (В):

1 – парабола, по данным С.Хагерти [19], *2* – автолитовый кимберлит выше 490 м абс. (*n*=88), *3* – автолитовый кимберлит ниже 490 м абс. (*n*=70), *4* – порфировый кимберлит (*n*=67); оконтуренные области составов пикроильменитов из кимберлитов трубок Комсомольская (*5*), Айхал (*6*), Юбилейная (*7*); области сохранности алмазов нанесены по [18] (Б); химико-генетические группы (В), по [7]: 3 – высокохромистый высокомагнезиальный гемоильменит из неалмазоносных перидотитов и ильменит-ортопироксеновых пород (энстатититов), 4 – хромсодержащий высокомагнезиальный ильменит из включений в алмазе, неалмазоносных перидотитов, в том числе метасоматизированных, а также катаклазированных лерцолитов, 5 – низкохромистый высокомагнезиальный гемоильменит из неалмазоносных лерцолитов, в том числе катаклазированных, ильменит-клинопироксеновых пород (клинопироксенитов), в том числе диопсидов с графической структурой (ильменит-клинопироксеновые сростки), 9 – гемоильменит из эклогитоподобных пород, 10 – высокохромистый магнезиальный гемоильменит (ферримагнитный) преимущественно из сростков с гранатом и включений в нём, а также из неалмазоносных перидотитов; *n* – число анализов

хромпикотиты (69, 65 и 66%, соответственно), близка частота встречаемости хромшпинелидов алмазной ассоциации 4, 2 и 2%. На диаграмме Р.Митчелла (1986) фигуративные точки составов хромшпинелидов располагаются в областях, соответствующих хромшпинелидам из гарцбургитов, дунитов, коматиитов и вебстеритов (рис. 5).

Микрооксиды из связующей массы кимберлитов. Помимо изучения индикаторных минералов кимберлитов – граната, хромшпинелидов и пикроильменита, исследовалась также рудная минерализация из связующей массы автолитовых и порфировых кимберлитов трубки Заря.

Автолитовые кимберлиты. В АК наличие рудной минерализации в породе невысоко (1–2%). Из них изучены хромиты, хромтитаношпинелиды, титаномагнетиты, магнетиты, пикроильмениты, ильмениты и рутилы. Характерно отсутствие перовскита, объясняющее высокую титанистость кимберлитов, являющееся типичным для разных по алмазоносности кимберлитовых тел Якутской алмазоносной провинции [6]. Это объясняется тем, что избыточный кальций формирует кальцит, распространённый в породе, а избыточный титан после кристаллизации хромсодержащих минералов входит в состав минералов Ti – ильменита и рутила. Эта ситуация типична для большинства слабоалмазоносных кимберлитовых тел Кепинского поля Архангельской алмазоносной субпровинции [6].

Среди рудных минералов наиболее распространены пикроильменит и ильменит. По электронно-зондовым анализам, пикроильменит находится в оторочке ильменита. При этом пикроильменит существенно магнезиальный (MgO 10–12 масс.%) с небольшой примесью MnO (0,2–0,5 масс.%) и Cr_2O_3 (<0,2 масс.%). Наиболее вероятно, это пикроильменит

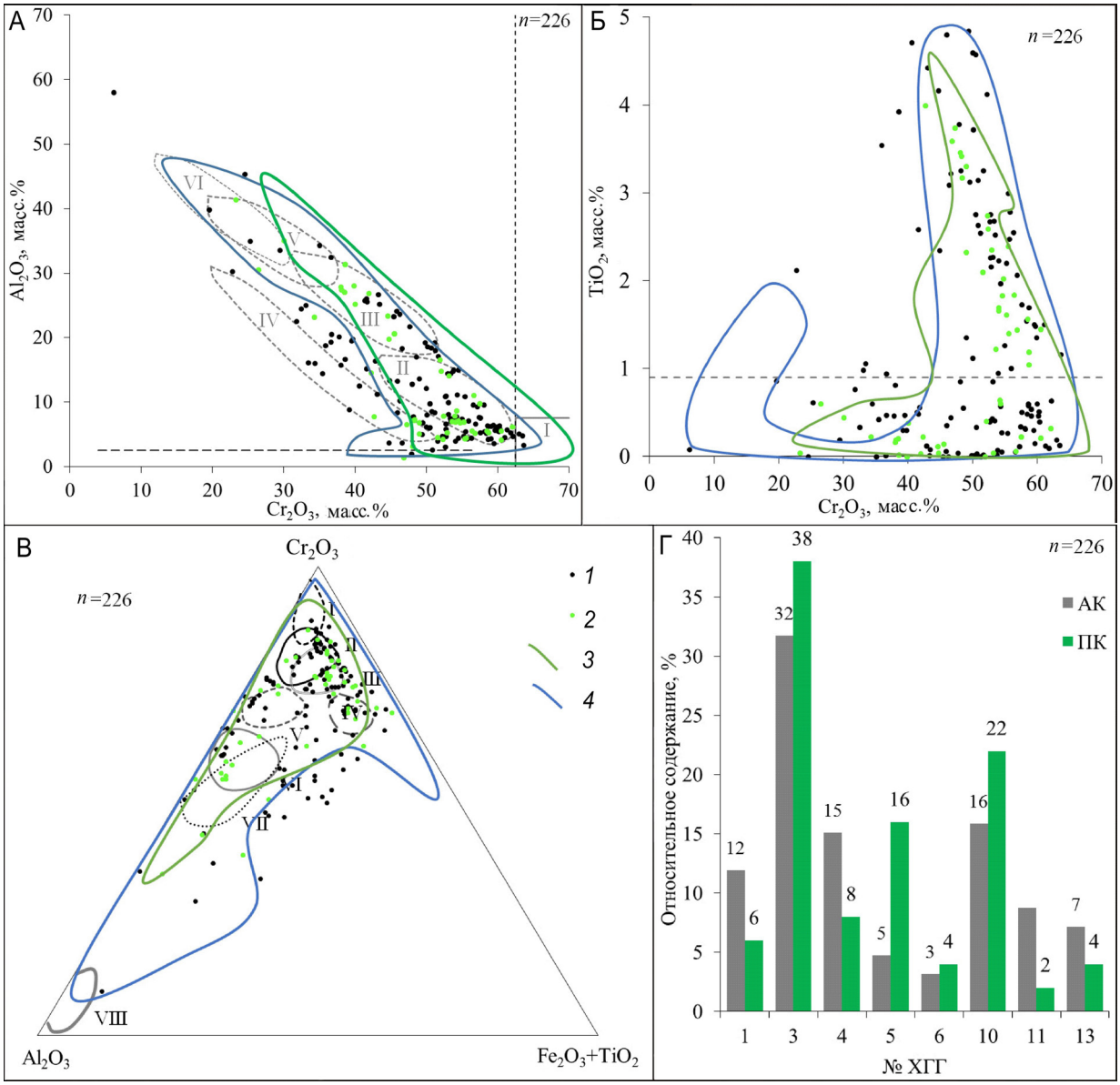


Рис. 5. Особенности химического состава хромшпинелидов из кимберлитов трубки Заря в координатах Cr_2O_3–Al_2O_3 (А), Cr_2O_3–TiO_2 (Б), Al_2O_3–(Fe_2O_3+TiO_2)–Cr_2O_3 (В) и распределение состава хромшпинелидов по химико-генетической классификации (Г):

1 – автолитовый кимберлит (*n*=126), *2* – порфировый кимберлит (*n*=100); оконтуренные области составов хромшпинелидов (А, Б) из кимберлитов трубки Айхал (*3*), Юбилейная (*4*); фации и субфации выделены (А) по [16]: I – алмаз-хромпироповая, II – коэситовая, III – гроспидитовая, IV – катаклазированных дунитов, V – шпинель-пироповая, VI – шпинель-пироксеновая; В – поля составов, по [17]: I – из включений в алмазе и алмазоносных перидотитов, II – из потенциально алмазоносных дунитов, III – из верлитов, IV – из катаклазированных лерцолитов, V – из гарцбургитов, VI – из потенциально алмазоносных гарцбургитов, VII – из равномерно-зернистых лерцолитов, VIII – из алькремитов; химико-генетические группы (В), по [7]: 1 – высокоалмазоносные дуниты и гарцбургиты (включения в алмазе), 3 – лерцолиты с высокохромистым шпинелидом, гранат-клинопироксен-шпинелевые сростки, 4 – лерцолиты со среднехромистым шпинелидом, 5 – лерцолиты с низкохромистым шпинелидом, 6 – гранатовые вебстериты и гарцбургиты с низкохромистым шпинелидом, 10 – гранат-клинопироксен-шпинелевые сростки, катаклазированные лерцолиты, 11 – катаклазированные лерцолиты, 13 – зональные гранаты; *n* – общее число анализов

Рис. 6. Алмаз весом 15,91 ct, SPEC SH 2c. стоимостью 259 486 долл. США:

на поверхности отмечены треугольные фигуры травления, фото ЕСО АК «АЛРОСА» (ПАО)

основной массы, для которого характерна примесь MgO (<0,5 масс.%) и MnO (до 3 масс.%) при полном отсутствии примеси Cr_2O_3. Это типичный ильменит, кристаллизация которого происходит из кимберлитового расплава, слабо обогащённого MnO. Шпинелиды явно разделяются на хромиты, сложные хромтитаномагнетиты и титаномагнетиты. Наиболее распространены хромтитаномагнетиты, далее по распространённости идут титаномагнетиты, наименее распространены хромиты.

Хромиты (в масс.%): TiO_2 – 5–7, Al_2O_3 – 4–5, MgO – 10–14, Cr_2O_3 – 42–50) отмечены в отдельных зёрнах серпентинизированного оливина или в оторочке ильменита. По соотношению главных элементов они соответствуют хромитам наименее богатых промышленно алмазоносных кимберлитовых трубок ЯАП, таких как Сытыканская, Зарница и др. [6]. Более распространены сложные по составу хромтитаномагнетиты с переменным содержанием Cr_2O_3 30–20 и TiO_2 10–20%, титаномагнетиты и магнетиты с содержанием TiO_2 менее 10 масс.%. Следует отметить, что протяжённые тренды кристаллизации хромшпинелидов свидетельствуют о пониженной алмазоносности кимберлитов трубки.

Порфировые кимберлиты. В ПК распространены (до 4%) сложные стяжения рудных минералов: пикроильменит, титаномагнетит и рутил, составляющий существенную часть этих стяжений. Результаты изучения микрооксидов кимберлитов подтверждают низкую алмазоносность порфировых кимберлитов трубки Заря [6].

Алмазоносность. ***Содержание и качество алмазов.*** Запасы алмазов месторождения «Заря», утверждённые ГКЗ по временным разведочным кондициям (2016) для открытой отработки, составляют 7097,4 тыс. карат по категориям C_1+C_2, в соответствии с кодексом JORC – 3469 тыс. карат при среднем содержании 0,28 кар/т. Различия в содержаниях, встречаемости алмазов и среднем весе 1 кристалла в ПК и АК определяют зональность их распределения в трубке, обусловленную различной продуктивностью кимберлитов. Более алмазоносными являются АК ЦРС. Содержание алмазов по пробам варьирует: в ПК от 0,00 до 1,10 кар/т, в АК от 0,00 до 20,43 кар/т. Встречаемость алмазов также различна: в АК они отмечаются в 90% проб, в ПК – в 1,5 раза реже. Среднее содержание алмазов в ПК – 0,05 кар/т при среднем весе кристалла 1,8 мг, тогда как в АК эти показатели составляют 0,24 кар/т и 4,3 мг, соответственно.

6. Параметры алмазоносности АКБ трубки Заря, по данным кернового опробования

Горизонт опробования, м	Вес проб, тонн	Доля от общего среднего содержания в пробе по классам крупности (мм), %						Средний вес 1 кристалла, мг	Содержания, кар/т
		–16+2	–16+8	–8+4	–4+2	–2+1	–1+0,5		
+517–+490	25,1	33,0	0,0	0,0	33,0	48,4	18,6	3,3	0,19
+490–+460	39,8	49,2	0,0	17,3	31,9	37,9	12,9	4,5	0,31
+460–+430	37,3	38,0	0,0	0,0	38,0	41,0	21,0	3,3	0,19
+430–+400	32,1	56,1	0,0	31,4	24,7	30,3	13,6	4,5	0,31
+400–+370	26,2	66,9	63,3	0,0	3,6	22,0	11,1	6,0	0,29
+370–+340	26,7	48,7	0,0	18,8	29,9	39,4	11,9	4,9	0,27
+340–+300	26,3	42,5	0,0	0,0	42,5	46,0	11,5	4,7	0,26
+300–+200	27,6	46,5	0,0	0,0	46,5	40,0	13,5	4,4	0,19

7. Основные морфологические характеристики алмазов трубки Заря

Класс крупности, мм	Количество кристаллов, шт.	I разновидность (%)					IV разновидность (%)	VIII разновидность (%)
		Всего I разновидности	Октаэдры	Переходные формы	Ромбододекаэдры	Осколки		
–1+0,5	1343	97,5	16,7	17,5	35,9	23,4	0,2	2,2
–2+1	971	95,8	14,6	18,9	43,6	13,7	0,1	4,0
–4+2	95	95	17	21	46	8	–	5
–8+4	4	100	75	–	25	–	–	–
–16+8	1	100	–	–	100	–	–	–
Всего	2497	96,7	15,9	18,2	39,4	18,8	0,2	3,1

Примечание. IV и VIII разновидности, по [11].

Обнаружен один кристалл в классе –16+8 мм весом 975,1 мг (4,88 карата) и четыре кристалла из класса –8+4 мм весом от 188,1 мг (0,94 карата) до 429,7 мг (2,15 карата), что свидетельствует о наличии в месторождении крупных камней (рис. 6).

Стоимостная оценка сырья по партии алмазов из керновых проб массой 74,42 карат по прейскуранту цен 2015 г. для класса +0,2 у.с.к. составила 215,8 дол. США за карат. Минимальные содержания и средний вес 1 кристалла алмаза установлены в верхней 25-метровой части ЦРС трубки, залегающей под силлом долеритов. С глубиной основные параметры алмазоности улучшаются: при этом растут содержания и средний вес 1 кристалла, гранулометрия смещается в сторону более крупных классов (табл. 6).

Морфология. Алмазы трубки Заря изучены по коллекции из 2497 штук, среди которых преобладают кристаллы класса –1+0,5 мм (56%), класса –2+1 мм (40%) и 4% выпадает на класс –4+2 мм. Единичные алмазы встречены в классе крупности –16+8 мм, при этом по весу они составляют до 20% от всего объёма продукции. Преобладают кристаллы I разновидности, по Ю.Л.Орлову [11]. Встречаются поликристаллические агрегаты VIII разновидности (2–5%) и кристаллы с оболочкой IV разновидности (<0,2%). Около 74% из них – монокристаллы. Двойники, незакономерные сростки и поликристаллические VIII разновидности составляют 25%. Среди габитусных форм доминируют ромбододекаэдры (41%), октаэдры (16%) и переходные формы (19%), округлые алмазы составляют 18% (табл. 7). Половина изученных октаэдров и ромбододекаэдров (55%) представлена ламинарными кристаллами.

Большинство кристаллов (71%) бесцветно, среди окрашенных наибольшее количество (17%) приходится на дымчато-коричневые кристаллы, при заметном (7%) содержании серых алмазов. Встречены единичные алмазы с окраской «морской волны». Отмечено повышенное количество (12–15%) алмазов категории «чистой воды» и «весьма прозрачные». Доля кристаллов без включений составляет 45%. Преобладают серые и чёрные графит-сульфидные и единичные графитовые включения. Доля ожелезнённых алмазов 4,5%. Установлено близкое содержание алмазов с сине-голубой и розово-сиреневой (31,8 и 38,2%, соответственно) фотолюминесценцией; кристаллов с жёлто-зелёным, жёлтым, оранжевым свечением меньше (суммарно 21,5%). На 1 кристалле отмечено зелёное пятно пигментации.

Сохранность кристаллов невысокая: целых и незначительно повреждённых алмазов 32%, осколков 38%. В крупном классе доля алмазов хорошей

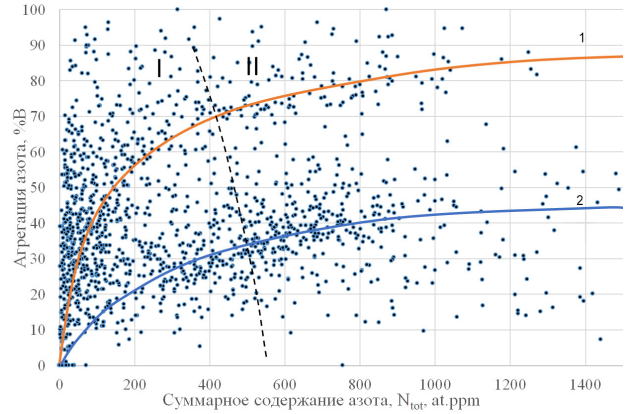


Рис. 7. Содержание азота и его агрегация в алмазах трубки Заря, показаны 2 ветви:

алмазы: 1 – более древние, 2 – более молодые, I – из перидотитовых и II – из эклогитовых пород

8. Усреднённые содержания дефектов в алмазах трубки Заря

Разновидность, по [11]	Габитус, по [11]	Количество изученных кристаллов	N_{tot}, at. ppm	A, at. ppm	B, at. ppm	%B, %	B2, см$^{-1}$	U_{B2}, см$^{-1}$	H, см$^{-1}$
I+IV+VIII, *в сумме, в т.ч.*	*Все кристаллы, в сумме, в т.ч.*	696	386	202	184	43	6,9	1364,6	1,4
I	*в сумме*	682	388	203	185	43	7,1	1364,7	1,4
	в т.ч. октаэдр	122	288	159	129	41	5,1	1364,1	1,4
	в т.ч. ПФ	101	364	180	184	42	7,3	1364,8	1,5
	в т.ч. Рд	291	423	232	192	41	7,1	1365,1	1,4
	в т.ч. осколки	129	401	177	224	48	8,8	1364,1	1,3
IV		1	1228	1064	164	14	0,8	1363,1	6,4
VIII		13	213	112	102	48	2,9	1365	2,3

Примечание. ПФ – переходные формы, Рд – ромбододекаэдр, по [11].

сохранности выше. На повреждённых камнях наблюдаются поверхности с механическим (28%), протомагматическим (13%) и комбинационными механическим+протомагматическим (17%) сколами. Кристаллы со «свежими» сколами составляют до 10,0%.

Максимальные отличия алмазов из АК и ПК отмечаются по фотолюминесцентным свойствам и форме кристаллов: для ПК характерно повышенное (на 9%) содержание ламинарных ромбододекаэдров и кристаллов с розово-сиреневой люминесценцией (на 12%). Кроме того, алмазы из ПК отличаются по характеру сколов: в них повышено количество протомагматических и комбинационных (механических/техногенных+протомагматических; в сумме 12%) сколов. Среди алмазов в АК чаще встречаются поликристаллические сростки VIII разновидности. При этом содержание и характер кристаллов со скульптурами травления, двойниками и сростками, включениями, окраской по разновидностям кимберлитов практически не меняются. Совокупность минералогических признаков позволяет прогнозировать весьма выское качество крупных кристаллов трубки Заря, что подтверждено наличием алмазов высокого качества в коллекции 2019 года (см. рис. 6).

Оптико-спектроскопическая характеристика алмазов. Методом ИК-Фурье спектроскопии изучено 1500 алмазов трубки Заря. 94% проанализированных спектров алмазов обнаруживают поглощение в однофотонной области, что указывает на принадлежность их к типу I. В выборке преобладают (58%) малооазотные алмазы с содержанием примеси азота менее 400 ат.‰, около 34% выборки имеют концентрацию примеси азота в интервале 400–1000 ат.‰. Содержание «безазотных» (с концентрацией менее 25 ат.‰.) алмазов – около 6%. Распределение алмазов по суммарному структурному азоту имеет два максимума на 100 ат.‰ и на 600 ат.‰ (рис. 7). В спектрах фиксируется повышенное содержание водорода, что является негативным фактором для параметров алмазоносности. Содержание азота в кристаллах N_{tot} варьирует от 0 до 1500 ат.‰, максимальные концентрации фиксируются в округлых и переходных кристаллах – до 2500 ат.‰. Около 42% примесного азота находятся в форме B-центра со средней концентрацией 171 ат.‰.

Повышенная агрегация азота характерна для мало- и среднеазотистых кристаллов. Коэффициенты поглощения B2-центров в диапазоне 1358–1380 см$^{-1}$ в основном до 20 см$^{-1}$, а в среднем 6,9 см$^{-1}$. Зафиксированы и более высокие значения этого параметра – до 51 см$^{-1}$. Коэффициенты поглощения узких линий на 3107 см$^{-1}$ в спектрах большинства кристаллов до 30,5 см$^{-1}$, усреднённое значение для данной выборки – 1,6 см$^{-1}$ (табл. 8), что указывает на повышенные концентрации примеси водорода.

Октаэдры по сравнению с переходными формами к ромбододекаэдру имеют пониженное содержание азота, при этом агрегация азота сравнима для всех кристаллов I разновидности. Встречен кристалл IV разновидности с повышенным содержанием примесного азота при низкой агрегации, его малые концентрации отмечены в индивидах VIII разновидности (в среднем 213 ат.‰) при повышенной агрегации, что типично для этой разновидности кристаллов. Таким образом, для трубки Заря характерны малоазотистые кристаллы, индивиды с повышенной степенью агрегированности основной примеси и большими размерами пластинчатых B2-дефектов.

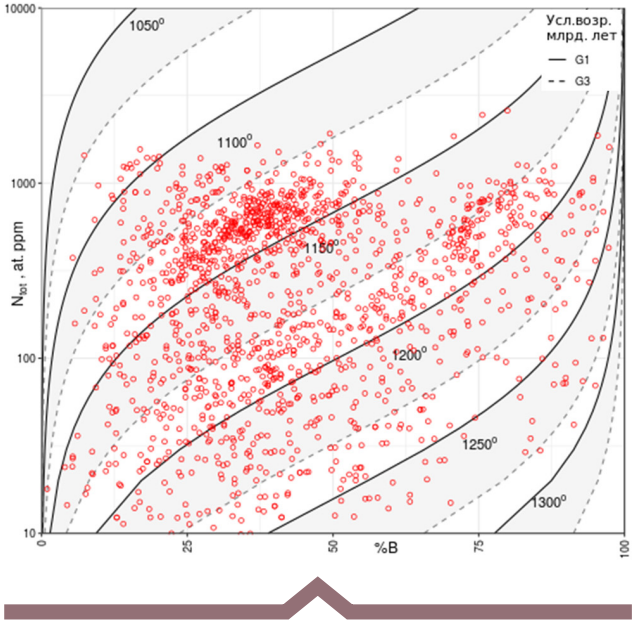


Рис. 8. Соотношение содержания суммарного азота (N_{tot}) и степени его агрегации (%B) в алмазах трубки Заря в зависимости от температуры и «условного возраста» алмаза 1 (G1) и 3 (G3) млрд. лет. *По [24]*

Детальный анализ распределений концентраций азота и его агрегации показывает наличие двух ветвей (см. рис. 7), что соответствует двум основным генетическим типам алмазов.

Первая ветвь (см. рис. 7, А) с высокой агрегацией (до 80%) азота в В-форме, характерна для перидотитовых пород. Кинетический параметр агрегации азота при содержании N_{tot} менее 100‰ и вытянутость этой ветви до 1000‰ показывают, что возраст этих алмазов может составлять свыше 1,2 млрд. лет. Около 40% этих алмазов кратковременно прогревались в условиях верхней мантии: это видно по выраженному локальному максимуму В-дефекта на ~40–60% и ~60‰ N_{tot} (у части низкоазотных алмазов агрегация остановилась на уровне температурной энергии активации перехода 2 А→В). Алмазы этой ветви будут с признаками растворения, среди них будут преобладать алмазы крупных классов. Вероятность наличия в этой группе особо крупных алмазов свыше 50 карат очень высокая.

Вторая ветвь алмазов на графике (см. рис. 7, Б) представлена алмазами с содержанием азота свыше 400–600‰, что указывает на их эклогитовый генезис. Относительная компактность группы на диаграмме Тейлора (рис. 8) свидетельствует об «одноактности» их формирования [24]. Средняя и низкая агрегация азота указывает, что возраст алмазов менее 800 млн. лет. Процесс алмазообразования характеризовался большим количеством зародышей, что при дефиците углерода приводит к замельчённости алмазов этой ветви. Алмазы эклогитовой группы составляют около 33% от всего количества.

Заключение. Кимберлитовая трубка Заря расположена на западе Якутской алмазоносной провинции. Положение её в кимберлитовом поле контролируется разломами среднепалеозойской (D_3–C_1) эпохи. Размеры её на погребённой поверхности составляют 480×260 м, а эрозионный срез не превышает 475 м. Сложена она АК и ПК: в первую стадию внедрились порфировые кимберлиты с алмазоносностью 0,10 кар/т, слагающие фланги месторождения, во вторую сформированы АК центрального рудного столба (0,28 кар/т).

Кимберлиты трубки относятся к Fe-Ti (среднетитанистому 1–2,5% TiO_2) низкокалиевому петрохимическому типу кимберлитов с серпентин-кальцитовым составом основной массы.

Петрофизические характеристики кимберлитов обнаруживают широкие вариации. АК отличаются от ПК большей средней объёмной плотностью и магнитной восприимчивостью и более низкой общей радиоактивностью и содержаниями радиоактивных элементов. Для АК отмечены максимальные значения естественной остаточной намагниченности (среднее 573,4 мАм) и отношения Кёнигсбергера (фактор Q=0,85). Отмечается слабая положительная корреляционная связь между алмазоносностью и магнитной восприимчивостью.

Средний вес тяжёлой фракции для ПК составляет 52,17 кг/т, для АК – 59,02 кг/т. Для кимберлитов характерна пикроильменит-пироп-хромитовая ассоциация минералов-индикаторов. Изучение микроксидов подтвердило низкую алмазоносность кимберлитов, что может быть использовано в качестве вещественно-индикационных критериев алмазоносности при поисках новых кимберлитовых объектов. Высокое содержание пиропов алмазной ассоциации в АК Заря позволяет предположить возможность повышения содержания алмазов с глубиной, но пониженное содержание подобных пиропов в ПК не позволяет надеяться, что это повышение алмазоносности будет значительным [25].

Алмазы трубки Заря представлены I разновидностью, по Ю.Л.Орлову, и невысокой долей поликристаллических сростков VIII разновидности. Частота встречаемости алмазов IV и VIII разновидностей в трубке Заря близка к таковой в месторождениях Айхал и Зарница и в два раза ниже, чем в трубках Удачная, Юбилейная, Комсомольская и Сытыканская. Сохранность алмазов невысокая: осколки и обломки составляют 38,4%, и 73% из них представлены монокристаллами. Треть алмазов окрашена, среди

них преобладают коричневые (17%) и серые (7%) окраски, единичные кристаллы цвета «морской волны». Кристаллы без включений составляют 44,8%. Из включений преобладают графит-сульфидные, единичные представлены графитом.

По совокупности морфологических характеристик наиболее близкое соотношение морфологических групп в Далдыно-Алакитском алмазоносном районе встречено в месторождениях трубок Айхал (отличия до 5%), Зарница и Сытыканская (отличия от 5 до 10%). Месторождения трубок Юбилейная и Комсомольская отличаются по основным морфологическим параметрам до 10–15%, а алмазы месторождения трубки Удачная по отдельным параметрам отличаются от алмазов трубки Заря более, чем на 15%.

По данным ИК-спектроскопии, алмазы трубки Заря наиболее сходны с алмазами трубки Комсомольская, которые также образуют две ветви, при этом у трубки Комсомольская отсутствует локальный прогрев перидотитовых алмазов, а для эклогитовых алмазов выделяются две генерации без перерыва, что даёт возможность, исходя из графика, предположить для них равномерное распределение алмазов от мелких к крупным. Для перидотитовой ветви алмазов трубки Комсомольская характерно наличие крупных кристаллов. Исходя из этого, алмазоносность трубки Заря должна быть несколько ниже, чем трубки Комсомольская, но качество крупных кристаллов будет сопоставимым.

Количество алмазов с сине-голубой и розово-сиреневой фотолюминесценцией близко (31,8 и 38,2%), кристаллов с жёлто-зелёным, жёлтым, оранжевым свечением меньше (суммарно 21,5%). ИК-спектры 94% алмазов указывают на принадлежность кристаллов к спектральному типу I, характеризующемуся значимым содержанием азотных дефектов, содержание «безазотных» (с концентрацией менее 25 ат.‰) алмазов – около 6%.

Сравнительная характеристика алмазов из верхней части трубки Заря с глубокими горизонтами свидетельствует о существенном улучшении качества алмазов с глубиной и, как следствие, о потенциально более высокой их стоимости, чем она была оценена по опытной партии (меньше 100 дол. США за карат), наработанной из карьера в 2019 г. Запасы алмазов составляют 3514,9 тыс. карат по категории C_1 и 3582,5 карат по категории C_2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П.* Поисковая минералогия алмаза. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. – 650 с.
2. *Бурмистров А.А., Богуславский М.А.* Петрофизические свойства кимберлитов трубки Комсомольской и их связь с особенностями её вещественного состава, условиями образования и алмазоносностью // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. – 2009. – № 6. – С. 26–33.
3. *Василенко В.Б., Кузнецова Л.Г., Минин В.А., Толстов А.В.* Поведение породообразующих и редкоземельных элементов при постмагматическом изменении кимберлитов // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53. – № 1. – С. 82–100.
4. *Василенко В.Б., Кузнецова Л.Г., Толстов А.В.* и др. Основные процессы, определяющие вторичные изменения кимберлитов // Геохимия. – 2016. – № 4. – С. 396–406.
5. *Василенко В.Б., Толстов А.В., Кузнецова Л.Г.* и др. Петрохимические критерии оценки алмазоносности кимберлитовых месторождений Якутии // Геохимия. – 2010. – № 4. – С. 366–376.
6. *Гаранин В.К., Бовкун А.В., Гаранин К.В.* и др. Микрокристаллические оксиды из кимберлитов России. – Москва: ГЕОС, 2009. – 498 с.
7. *Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Марфунин А.С., Михайличенко О.А.* Включения в алмазе и алмазоносные породы. – М.: МГУ, 1991. – 240 с.
8. *Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Сошкина Л.Г.* Ильменит из кимберлитов. – М.: Изд-во МГУ, 1984. – 240 с.
9. *Горев Н.И., Шахурдина Н.К., Салихов Р.Ф., Проценко Е.В.* К вопросу об эрозионном срезе кимберлитов Алакит-Мархинского рудного поля // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2020. – Т. 25. – № 1. – С. 20–31.
10. *Лапин А.В., Толстов А.В., Василенко В.Б.* Петрогеохимические особенности кимберлитов Средне-Мархинского района в связи с проблемой геохимической неоднородности кимберлитов // Геохимия. – 2007. – № 12. – С. 1292–1304.
11. *Орлов Ю.Л.* Минералогия алмаза. 2-е издание. – М.: Наука, 1984. – 264 с.
12. *Салихов Р.Ф., Иванюшина Е.Н.* Базитовый магматизм и прогнозирование кимберлитов на закрытых территориях // Петрология магматических и метаморфических комплексов: материалы IX всеросс. конф. с международным участием. – 2017. – С. 376–381.
13. *Соболев Н.В.* О минералогических критериях алмазоносности // Геология и геофизика. – 1971. – № 3. – С. 70–80.
14. *Томшин М.Д., Салихов Р.Ф., Матушкин А.И.* и др. Самородное железо в долеритах Айхальского силла (первая находка в Якутии) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2019. – Т. 24. – №3. – С. 50–63.
15. *Харькив А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И.* Коренные месторождения алмазов мира. – М.: Изд-во «Недра», 1998. – 555 с.
16. *Харькив А.Д, Квасница В.Н., Сафронов А.Ф.* и др. Типоморфизм алмаза и его минералов спутников из кимберлитов. – Киев: «Наукова думка», 1989. – 184 с.
17. *Хмельков А.М.* Основные минералы кимберлитов и их эволюция в процессе ореолообразования (на примере Якутской алмазоносной провинции). – Новосибирск: Изд-во «АРТА», 2008. – 252 с.

18. *Gurney, J.J., Zweistra P.* The interpretation of the major element compositions of mantle minerals in diamond exploration // Journal of Geochemical Exploration. – 1995. – V. 53. – P. 293–309.
19. *Haggerty S.E.* The chemistry and genesis of opaque minerals in kimberlite // Physics and chemistry of the Earth. – New York, 1975. – V. 9. – P. 227–243.
20. *Lapin A.V., Tolstov A.V., Antonov A.V.* Sr and Nd isotopic compositions of kimberlites and associated rocks of the Siberian craton // Doklady Earth Sciences. – 2007. – V. 414. – №1. – P. 557–560.
21. *Ramsay R.R.* (1992). Geochemistry of diamond indicator minerals // PhD Thesis, Univ Western Australia, Perth.
22. *Sobolev N.V., Laurentev Yu.G., Pokhilenko N.P.* et al. Chrome-rich garnets from the kimberlites of Yakutia and their parageneses // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1973. – V. 40. – P. 39–50.
23. *Sobolev N.V., Sobolev A.V., Tomilenko A.A.* et al. Unique compositional peculiarities of olivine phenocrysts from the post flood basalt diamondiferous Malokuonapskaya kimberlite pipe, Yakutia // Doklady Earth Sciences. – 2015. – V. 463. – № 2. – P. 828–832.
24. *Taylor W.R., Milledge H.J.* Nitrogen aggregation character, thermal history and stable isotope composition of some xenoliths-derived diamonds from Roberts Victor and Finch // Sixth Internat. Kimberlite Conf. Extended Abstr. – Novosibirsk. – 1995. – P. 620–622.
25. *Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Minin V.A.* et al. Evaluating the diamondiferous potential of unaltered kimberlites by the population models of their composition // Geochemistry International. – 2012. – V. 50. – № 12. – P. 988–1006.

REFERENCES

1. *Afanas'yev V.P., Zinchuk N.N., Pokhilenko N.P.* Poiskovaya mineralogiya almaza [Prospecting mineralogy of diamond]. Novosibirsk, Akademicheskoye izd-vo "Geo" publ. 2010. 650 p.
2. *Burmistrov A.A., Boguslavskiy M.A.* Petrofizicheskiye svoystva kimberlitov trubki Komsomol'skoy i ikh svyaz' s osobennostyami yeyo veshchestvennogo sostava, usloviyami obrazovaniya i almazonosnost'yu [Petrophysical kimberlite pipes of the Komsomolskaya and their connection with the peculiarities of its material composition, formation conditions and diamond content]. Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 4. Geologiya. 2009. No. 6. P. 26–33.
3. *Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Minin V.A., Tolstov A.V.* Povedeniye porodoobrazuyushchikh i redkozemel'nykh elementov pri postmagmaticheskom izmenenii kimberlitov [Behavior of rock-forming and rare-earth elements during postmagmatic alteration of kimberlites]. Geologiya i geofizika. 2012. V. 53. No. 1. P. 82–100.
4. *Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Tolstov A.V.* et al. Osnovnyye protsessy, opredelyayushchiye vtorichnyye izmeneniya kimberlitov [Main processes determining secondary changes in kimberlites]. Geokhimiya. 2016. No. 4. P. 396–406.
5. *Vasilenko V.B., Tolstov A.V., Kuznetsova L.G.* et al. Petrokhimicheskiye kriterii otsenki almazonosnosti kimberlitovykh mestorozhdeniy Yakutii [Petrochemical criteria for assessing the diamond content of kimberlite deposits in Yakutia]. Geokhimiya. 2010. No. 4. P. 366–376.
6. *Garanin V.K., Bovkun A.V., Garanin K.V., Rotman A.Ya., Serov I.V.* Mikrokristallicheskiye oksidy iz kimberlitov Rossii [Microcrystalline oxides from kimberlites of Russia]. Moscow, GEOS publ. 2009. 498 p.
7. *Garanin V.K., Kudryavtseva G.P., Marfunin A.S., Mikhaylichenko O.A.* Vklyucheniya v almaze i almazonosnyye porody [Inclusions in diamond and diamondiferous rocks]. Moscow, MGU publ. 1991. 240 p.
8. *Garanin V.K., Kudryavtseva G.P., Soshkina L.G.* Il'menit iz kimberlitov [Ilmenite from kimberlites Moscow, MGU publ. 1984. 240 p.
9. *Gorev N.I., Shakhurdina N.K., Salikhov R.F., Protsenko Ye.V.* K voprosu ob erozionnom sreze kimberlitov Alakit-Markhinskogo rudnogo polya [On the question of the erosional cut of kimberlites of the Alakit-Markhinsky ore field]. Prirodnyye resursy Arktiki i Subarktiki. 2020. V. 25. No. 1. P. 20–31.
10. *Lapin A.V., Tolstov A.V., Vasilenko V.B.* Petrogeokhimicheskiye osobennosti kimberlitov Sredne-Markhinskogo rayona v svyazi s problemoy geokhimicheskoy neodnorodnosti kimberlitov [Petrogeochemical features of kimberlites in the Sredne-Markhinsky region in connection with the problem of geochemical heterogeneity of kimberlites]. Geokhimiya. 2007. No. 12. P. 1292–1304.
11. *Orlov Yu.L.* Mineralogiya almaza [Mineralogy of diamond]. 2-ye izdaniye. Moscow, Nauka publ. 1984. 264 p.
12. *Salikhov R.F., Ivanyushina Ye.N.* Bazitovyy magmatizm i prognozirovaniye kimberlitov na zakrytykh territoriyakh [Basic magmatism and prediction of kimberlites in closed areas]. V sb.: Petrologiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov mat-ly IX Vseross. Konf. s mezhd. uchastiyem. 2017. P. 376–381.
13. *Sobolev N.V.* O mineralogicheskikh kriteriyakh almazonosnosti [On mineralogical criteria of diamond content]. Geologiya i geofizika. 1971. No. 3. P. 70–80.
14. *Tomshin M.D., Salikhov R.F., Matushkin A.I.* et al. Samorodnoye zhelezo v doleritakh Aykhal'skogo silla (pervaya nakhodka v Yakutii) [Native iron in dolerites of the Aikhal sill (first find in Yakutia)]. Prirodnyye resursy Arktiki i Subarktiki. 2019. V. 24. No. 3. P. 50–63.
15. *Khar'kiv A.D, Kvasnitsa V.N., Safronov A.F.* et al. Tipomorfizm almaza i yego mineralov sputnikov iz kimberlitov [Typomorphism of diamond and its minerals satellites from kimberlites]. Kiyev, Naukova dumka publ. 1989. 184 p.
16. *Khar'kiv A.D., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I.* Korennyye mestorozhdeniya almazov mira [Primary diamond deposits of the world]. Moscow, Nedra publ. 1998. 555 p.
17. *Khmel'kov A.M.* Osnovnyye mineraly kimberlitov i ikh evolyutsiya v protsesse oreoloobrazovaniya (na primere

Yakutskoy almazonosnoy provintsii) [The main minerals of kimberlites and their evolution in the process of halo formation (on the example of the Yakutsk diamond province)]. Novosibirsk, ARTA publ. 2008. 252 p.
18. *Gurney, J.J., Zweistra P.* (1995). The interpretation of the major element compositions of antle minerals in diamond exploration. Journal of Geochemical Exploration. 53, P. 293–309.
19. *Haggerty S.E.* The chemistry and genesis of opaque minerals in kimberlite. Physics and chemistry of the Earth. New York. 1975. V. 9. P. 227–243.
20. *Lapin A.V., Tolstov A.V., Antonov A.V.* Sr and Nd isotopic compositions of kimberlites and associated Rocks of the Siberian craton. Doklady Earth Sciences. 2007. V. 414. No. 1. P. 557–560.
21. *Ramsay R.R.* (1992). Geochemistry of diamond indicator minerals. PhD Thesis, Univ Western Australia, Perth.
22. *Sobolev N.V., Laurentev Yu.G., Pokhilenko N.P.* et al. Chrome-rich garnets from the kimberlites of Yakutia and their parageneses. Contrib. Min. Pet., 1973, V. 40, P. 39–50.
23. *Sobolev N.V., Sobolev A.V., Tomilenko A.A.* et al. Unique compositional peculiarities of olivine phenocrysts from the post flood basalt diamondiferous Malokuonapskaya kimberlite pipe, Yakutia. Doklady Earth Sciences. 2015. V. 463. No. 2. P. 828–832.
24. *Taylor W.R., Milledge H.J.* Nitrogen aggregation character, thermal history and stable isotope composition of some xenoliths-derived diamonds from Roberts Victor and Finch. Sixth Internat. Kimberlite Conf. Extended Abstr. Novosibirsk. 1995. P. 620–622.on the source regions of pipe and alluvial diamonds. Am Mineral 75(11–12):1290–1310.
25. *Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Minin V.A.* et al. Evaluating the diamondiferous potential of unaltered kimberlites by the population models of their composition. Geochemistry International. 2012. V. 50. No. 12. P. 988–1006

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

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

DOI:10.47765/0869-7175-2020-10031

УДК 552.11:553.3/.4:550.4:551.2
© А.И.Гусев, Н.И.Гусев, 2020

Новые данные по абсолютному возрасту, петрологии и потенциальной рудоносности Мурзинского интрузивного массива (северо-западный Алтай)

А.И.ГУСЕВ (Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет имени В.М.Шукшина; 659333, Алтайский край, г. Бийск, ул. Короленко, 53),
Н.И.ГУСЕВ (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А.П.Капинского» (ФГБУ «ВСЕГЕИ»); 199106, г. Санкт-Петербург, Средний пр., 74)

Приведены геологические, петро-геохимические данные, определения абсолютного возраста и сведения об эндогенной рудоносности Мурзинского интрузивного массива Алтая. Сопоставлением составов пород и меланократовых включений установлено, что золотоносность глубинного очага связана с гибридными расплавами, формировавшимися в процессе смешения различных по кислотности магм. В рудном поле, кроме скарнового, предполагается обнаружение и медно-золото-порфирового оруденения. Золото поступало из кислых выплавок в результате плавления амфиболитов и граувакк нижней коры.
Ключевые слова: кварцевые диориты, монцодиориты, гранодиориты, меланограниты, меланократовые включения, мантийно-коровое взаимодействие, золото.

Гусев Анатолий Иванович
доктор геолого-минералогических наук anzerg@mail.ru

Гусев Николай Иванович
кандидат геолого-минералогических наук nikolay_gusev@vsegei.ru

New data on absolute age, petrology and potential of ore mineralization within Murzinsky intrusive massif (northwestern Altai)

A.I.GUSEV (Shukshin Altai State University for Humanities & Pedagogy, Biisk),
N.I.GUSEV (A.P.Karpinsky Russian Geological Research Institute, Department of composite geological mapping, St Petersburg)

The geological, petrogeochemical data, absolute age dating and information about endogenetic ore mineralization of Murzinsky intrusive massif of Altai are presented. Comparison of rock compositions and melanocratic inclusions suggests that gold potential of deep spot melting is related to hybrid melts forming as basalt and crust acidic magma mixed. Along with skarn, the ore field could host copper-gold-porphyry mineralization. Gold was supplied from acidic melting as a result of amphibolites and lower crust greywacke melting.
K*ey words*: quartz diorites, monzodiorites, granodiorites, melanogranites, melanocratic inclusions, mantle-crust interaction, gold.

Металлогеническую специфику Горного Алтая определяют интрузивно связанные скарновые месторождения различного профиля: Cu, Au, W, Mo, Fe. В настоящее время наиболее востребованы золото-скарновые объекты, к числу которых относятся известные Синюхинское и Ульменское золото-медно-скарновые, Чойское золото-теллуридно-скарновое месторождения, в которых помимо скарнов присутствуют руды и других геолого-промышленных типов оруденения [2, 4]. Следует отметить, что некоторые золото-скарновые месторождения относятся к крупным по масштабам объектам, в которых запасы золота могут превышать 200 т: Фотитьюд в штате Невада [8], Рэд Доум в Северном Квинсленде Австралии. В настоящее время уделяется пристальное внимание изучению комплексных объектов,

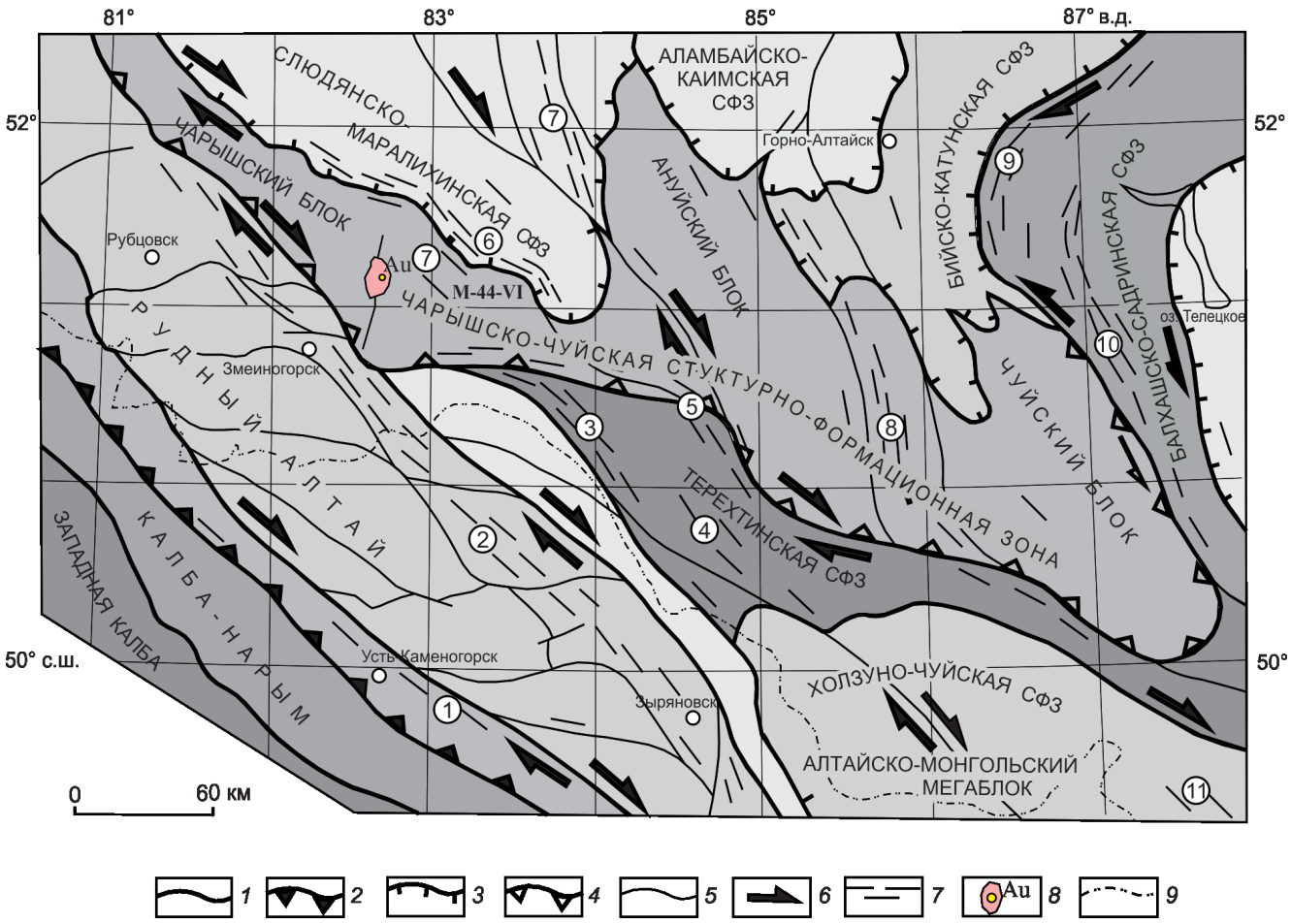


Рис. 1. Структурно-тектоническая схема западной части Алтае-Саянской складчатой области. *Составлена Ю.А.Туркиным, с добавлениями авторов*:

1 – разломы – границы структурно-формационных зон (СФЗ) и тектонических мегаблоков; *2* – границы девонской активной окраины континента; контуры: *3* – аллохтонов, *4* – параавтохтонов; *5* – прочие разломы; *6* – направления относительного перемещения тектонических блоков; *7* – дайковые пояса базальтоидов и долеритов (цифры в кружках): 1 – Вавилонский, 2 – Белорецко-Маркакольский, 3 – Коргонский, 4 – Карагайский, 5 – Верхнечарышский, 6 – Чарышско-Засурьинский, 7 – Слюдянско-Вятчихинский, 8 – Урсульский, 9 – Малоишинский, 10 – Сумультинский, 11 – Рахмановский; *8* – контур Мурзинского рудного поля; *9* – государственная граница Российской Федерации

включающих в себя различные геолого-промышленные типы оруденения, так как такое совмещение разных типов оруденения иногда приводит к формированию крупных месторождений. Так, в золоторудном месторождении Пэйтинг провинции Гуижоу (Китай) присутствуют руды типа Карлин и орогенного жильного золото-сульфидно-кварцевого [16]. На золото-урановом месторождении Ромпас (Северная Финляндия) совмещены уранинит-пробитумное и самородное золото с галенитом, алтаитом, хунчитом, никелином, кобальтином, мальдонитом, пиритом, пирротином, халькопиритом, молибденитом [9].

В северной части Горного Алтая давно известен один из интереснейших золото-медно-скарновых объектов – Мурзинское рудное поле, в пределах которого разрабатываются и эндогенные, и гипергенные руды золота. Для эндогенного этапа характерно совмещение разных типов оруденения: золото-медно-скарнового, золото-ртутного и золото-марганцевого [3]. Актуальность изучения интрузивного магматизма Мурзинского штока, в контактах которого развиты

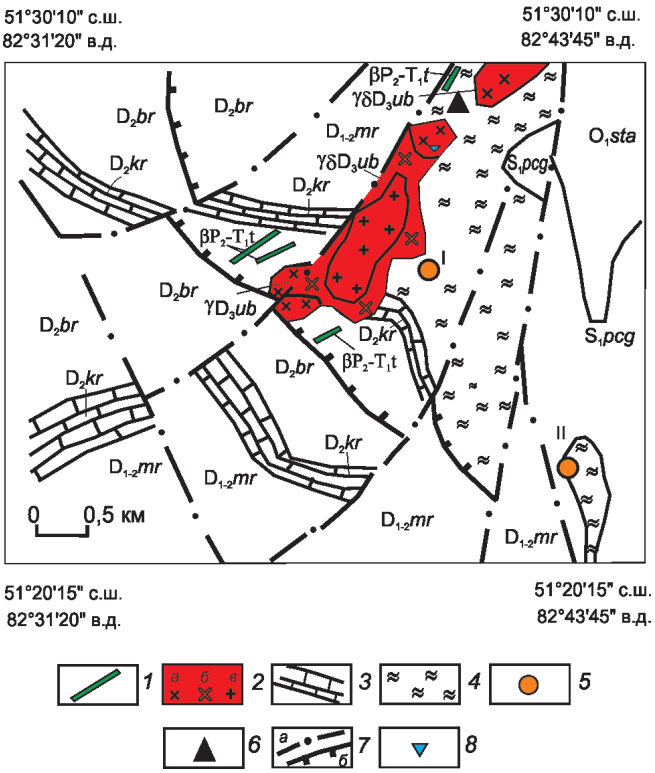


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Мурзинского рудного поля. *Составлена авторами с учётом данных Б.В.Сорокина*:

1 – дайки долеритов и пикродолеритов терехтинского комплекса, βP_2–T_1t; *2* – типы пород Мурзинского массива: *а* – монцодиориты, кварцевые диориты, *б* – гранодиориты, *в* – меланограниты; *3* – известняки курьинской свиты; *4* – скарны гранатовые, гранат-пироксеновые; *5* – Мурзинские месторождения (Мурзинское I, Мурзинское II); *6* – Надеждинское проявление железа; *7* – разрывные нарушения: *а* – сбросы, сбросо-сдвиги, *б* – надвиги; *8* – место отбора пробы на определение абсолютного возраста; свиты: D_2*br* – барагашская (желтовато-серые песчаники, алевролиты, аргиллиты), D_2*kr* – курьинская (известняки, желтовато-серые алевролиты, песчаники), $D_{1–2}$*mr* – мурзинская (конгломераты, известняки, песчаники, алевролиты, аргиллиты), S_1*pcg* – подчагырская (известково-глинистые сланцы, песчаники, алевролиты, конгломераты), O_1*sta* – суеткинская (зеленовато-серые, серые, лиловые песчаники, конгломераты, глинистые сланцы)

скарновые образования месторождения, не вызывает сомнений.

Цель исследования – осветить новые данные по определению абсолютного возраста пород Мурзинского штока, его петрологии и потенциальной рудоносности.

Геологическое строение Мурзинского рудного поля. *Мурзинское рудное поле* площадью около 50 км^2 находится в северо-западной части Горного Алтая. Оно располагается в пределах Чарышского тектонического блока в той части, где его пересекает одноимённый рой базитовых даек (рис. 1).

Мурзинское рудное поле включает известные золоторудные месторождения Мурзинское I, Мурзинское II, Мурзинское III, мелкие делювиально-элювиальные россыпи золота, а также оруденение золота в коре выветривания, которое в настоящее время разрабатывается старательской артелью ООО «Поиск». Мурзинское рудное поле структурно приурочено к восточной области замыкания Курьинско-Акимовской синклинали, срезанной и осложнённой Акимовским взбросо-надвигом субмеридионального простирания. В строении рудного поля принимают участие терригенно-карбонатные отложения нижнедевонской барагашской свиты, залегающие с базальными конгломератами на пестроцветных терригенных образованиях позднего силура (черноануйская свита). Северо-восточный тектонический блок сложен терригенными, нередко грубообломочными породами нижнеануйской серии раннего–среднего ордовика. Магматические образования в рудном поле представлены Мурзинской интрузией кварцевых диоритов-гранодиоритов усть-беловского комплекса, а также более поздними образованиями – дайками долеритов и пикродолеритов, трассирующих разломы субширотной и северо-восточной ориентировок (рис. 2).

Мурзинский массив площадью 0,9 км^2 – типичная трещинная интрузия с неровными заливообразными контактами, имеет северо-восточную ориентировку и, предположительно, юго-восточное падение. Северо-западный его контакт подсорван по разлому. В составе массива выделены 3 фазы внедрения: 1) кварцевые диориты, монцодиориты, 2) гранодиориты и 3) меланограниты. Ранние фазы внедрения локализуются по периферии, а меланограниты тяготеют к центральной части интрузива. Такой характер зональности интрузива свидетельствует о том, что дифференциация глубинного очага происходила сравнительно быстро и ранние фазы не успевали закристаллизоваться и легко прорывались последующими с формированием прямой зональности [14].

Петрографический состав пород массива и меланократовых включений. Петрографическое описание пород приведено в таблицах 1 и 2. Характерная особенность пород массива – наличие обильных округлых (эллипсоидальных) меланократовых включений размерами от 2 до 15 см в поперечнике. Количество их варьирует от 20 до 35% по объёму. Наличие зонального плагиоклаза в меланократовых включениях интерпретируется переходом от кристаллизации в базальтовом расплаве, а затем в более

1. Петрографическое описание породных типов

Интрузивные фазы	Названия пород	Петрографическое описание
1	Кварцевые диориты и монцодиориты	Чаще всего представляют собой светло-серые и серые среднезернистые породы массивной и шлирово-такситовой текстуры. Под микроскопом обнаруживают призматически-зернистую структуру с элементами и вариациями до пойкилоофитовой и монцонитовой в связи с развитием крупных ситовидных пойкилобластов калиевого полевого шпата, изредка кварца. Для петрографического состава пород характерно развитие: плагиоклаза (от 30 до 40%), калиевого полевого шпата (10–20%), зелёной обыкновенной роговой обманки (до 20%) и в меньших и переменных количествах биотита (до 10%), кварца (5–7%). Иногда в реликтовых зёрнах присутствуют клинопироксен и ортопироксен (гиперстен). Плагиоклаз обычно наиболее идиоморфен и представлен нередко слабозональным андезином, в порфировидных и порфировых разностях образует фенокристаллы размером до 1 см. Такие интрателлурические вкрапленники корродируются кварцем, калиевым полевым шпатом и имеют прямую зональность: в ядре они представлены андезином № 45-47, а по периферии андезином № 32-34. Слабоупорядоченный калиевый полевой шпат ксеноморфен. Акцессорные минералы: апатит, сфен, циркон, сульфиды. В кварцевых диоритах обильны меланократовые включения габброидов, диоритов.
2	Гранодиориты	Гранодиориты являются наиболее распространённой разновидностью пород второй фазы (>55%), имеют подобные кварцевым диоритам состав и основные структурно-текстурные особенности, но уже с количественным преобладанием биотита над актинолитизированной роговой обманкой, в целом несколько меньшим количеством темноцветных минералов (15–20%) и большим количеством кварца (до 20%) при практически подобном, слабо варьирующем содержании калиевого полевого шпата. Среди акцессорных минералов гранодиоритов доминирует магнетит (в отдельных пробах до 1209 г/т), менее развит ильменит (до 40 г/т). Иногда в значительных количествах присутствует циркон (до 8 г/т) и сфен, характерны рутил, апатит, монацит, гранат, ортит, пирит. Из меланократовых включений обильны диориты и гранодиориты.
3	Меланограниты	Меланограниты (около 15% от объёма массива) чаще всего представляют собой самостоятельную фазу внедрения и имеют секущее положение относительно гранодиоритов. Структура основной ткани гипидиоморфнозернистая. От гранодиоритов отличаются более высоким (до 28%) содержанием кварца и резким количественным преобладанием биотита (до 15%) над роговой обманкой, всегда присутствующей хотя бы в отдельных единичных зёрнах. Акцессорные минералы: магнетит, апатит, титанит, циркон. Биотит по составу отвечает ряду аннит-сидерофиллита (f+50,2; l=28,4).

кислом. Иными словами, породные типы массива с меланократовыми включениями относятся к гибридным магмам, которые являются следствием смешения горячей мантийной базальтовой магмы и более холодной кислой коровой, возникшей в результате плавления корового материала под воздействием базальтового расплава.

Определение абсолютного возраста. Цирконы из монцодиоритов светло-жёлтого цвета, прозрачные, представлены идиоморфными коротко призматическими кристаллами и их обломками. Длина зёрен циркона составляет от 150 до 300 мкм. Коэффициент удлинения – от 1,5 до 3,5. В катодолюминесценции кристаллы имеют двухфазное строение: светлая центральная часть с нарушенной осциляционной зональностью и секториальностью и тёмная краевая с нарушенной ритмичной зональностью. Анализы выполнены по центральным частям зёрен.

2. Петрографическое описание меланократовых включений

Разновидности включений	Наименования пород	Описание пород
1	Габбро-диориты	Тёмно-серой до чёрной окраски, мелкокристаллические породы, офитовой и призматически-зернистой структуры с размерами зёрен минералов от 0,5 до 2 мм. Они содержат (в %): ортопироксен (5–10), амфибол (35–40), зональный плагиоклаз (лабрадор № 45-51 в ядрах и № 15-34 по периферии) (30–37), кварц (1–2). Акцессорные минералы: магнетит (1–2), единичные зёрна титанита, апатита. Ортопироксен наблюдается среди амфибола и свидетельствует о замещении пироксена роговой обманкой.
2	Диориты	Серой, тёмно-серой окраски мелкокристаллические, местами до среднекристаллических. Микроструктура призматически-зернистая. Состав (в %): ортопироксен (2–5), амфибол (30–35), зональный плагиоклаз (андезин № 35-39 в ядрах и олигоклаз № 12-15 по периферии) (50–53), биотит (3–7), кварц (1–4), ортоклаз (1–2). Акцессорные минералы: магнетит, титанит, апатит, циркон, пирит. Первичные мафические минералы (пироксены), вероятно, замещены амфиболом.
3	Кварцевые диориты	Серой, светло-серой окраски. Микроструктура призматически-зернистая. Состав (в %): ортопироксен (1–3), амфибол (40–32), биотит (5–11), плагиоклаз (андезин) (50–51), ортоклаз (5–12), кварц (5–12). Акцессорные минералы: пирит, пирротин, магнетит, титанит, магнетит, апатит, циркон. Местами отмечаются крупные кристаллы плагиоклаза (олигоклаз-андезина), вероятно, представляющие собой ксенокристаллы вмещающих гранодиоритов Мурзинского интрузива.

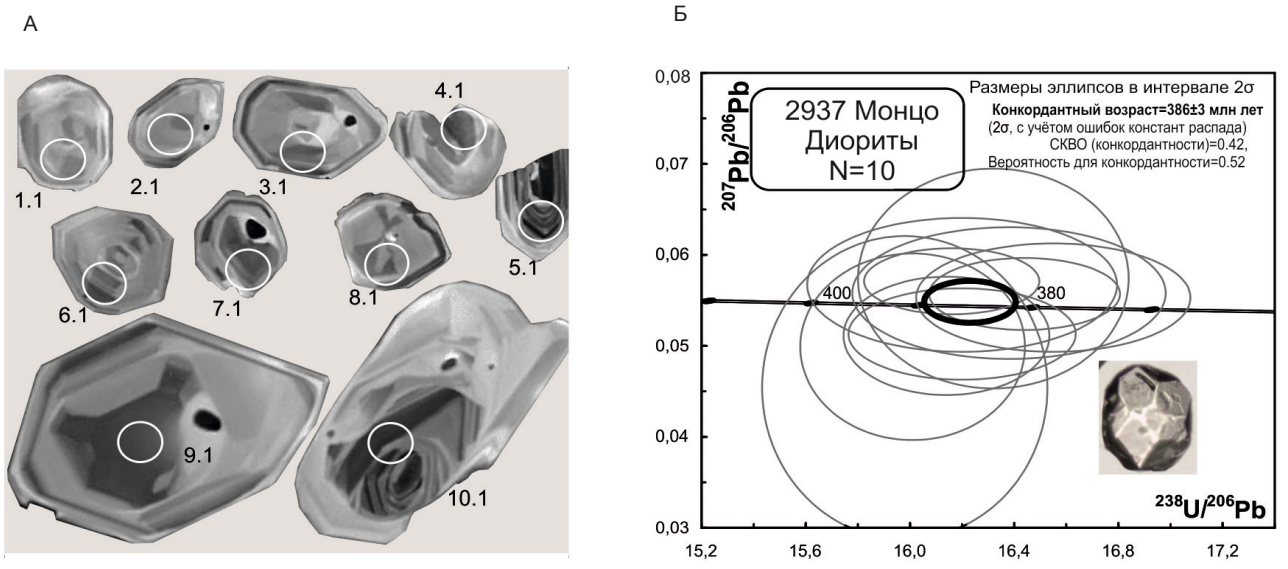


Рис. 3. Определение абсолютного возраста монцодиоритов:

А – морфология кристаллов циркона, по которым определён абсолютный возраст (увеличение >1000) и точки замеров; Б – диаграмма U-Pb отношений с конкордией для циркона (проба 2937)

Содержание U=107–416, Th=52–210 ppm, отношение Th/U=0,42–0,76 соответствует магматическому типу циркона. Конкордантный возраст 386±3 млн. лет, что отвечает среднему девону и принимается как время кристаллизации пород (рис. 3). Результаты U-Pb (SHRIMP II) анализов цирконов приведены в табл. 3.

Петро-геохимия пород массива и меланократовых включений. Представительные анализы пород Мурзинского массива и меланократовых включений приведены в таблицах 4 и 5.

Химический состав пород массива указывает на их принадлежность к известково-щелочной и высококалиевой известково-щелочной сериям, что наглядно подтверждается на рис. 4. Породные типы характеризуются повышенными концентрациями Cr, Ni, Co, варьирующими содержаниями золота (от 26 до 209 мг/т), значительными колебаниями нормированных отношений $(La/Yb)_N$ (от 1,9 до 8,8), свидетельствующими о различной степени фракционирования редкоземельных элементов. Отношения Eu/Eu* повсеместно ниже хондритовых. В гранодиоритах и меланогранитах проявлен тетрадный эффект фракционирования (ТЭФ) редкоземельных элементов М-типа (пограничное значение 1,1). Проявление последнего указывает на значительную роль в магматогенных флюидах поздних фаз таких летучих компонентов, как F, Cl, H_2O, CO_2, игравших ведущую роль в экстракции из расплава золота и других рудных компонентов, и их перенос в места рудолокализации.

На диаграмме $Au–TE_{1,3}$ наблюдается тренд увеличения содержаний золота с повышением значений ТЭФ РЗЭ М-типа (рис. 5).

В отличие от гранитоидов массива, меланократовые включения характеризуются более широким спектром пород и эволюцией состава от известково-щелочных до шошонитовых (см. рис. 4). В породных типах включений менее дифференцированный тип распределения РЗЭ (отношение $(La/Yb)_N$ варьирует от 1,39 до 3,95) и более низкие концентрации золота. Отношения Eu/Eu* ниже и выше хондритовых значений. ТЭФ РЗЭ в них отвечает незначимым величинам.

Интерпретация полученных результатов. Ранее установлено, что породные типы интрузива в Мурзинском рудном поле образовались путём частичного плавления амфиболитов и граувакк нижней коры [1]. В Легенде по Алтаю дериваты усть-беловского комплекса принимались позднедевонскими [5]. Новые данные, полученные при изучении Мурзинского массива, показывают, что возраст Мурзинского массива среднедевонский, а на ранних стадиях его становления помимо диоритов отмечаются монцодиориты, имеющие близость к шошонитовым породам.

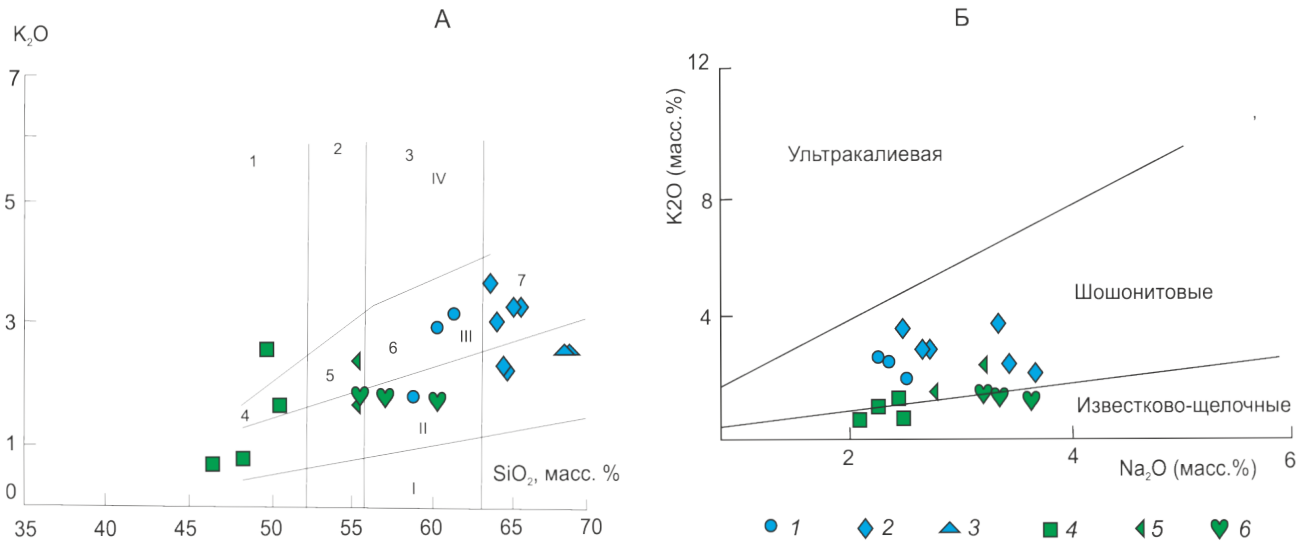


Рис. 4. Диаграммы для пород Мурзинского массива и мафитовых включений:

А – $K_2O–SiO_2$, поля пород: 1 – абсарокит, 2 – шошонит, 3 – банакит, 4 – высококалиевый базальт, 5 – высококалиевый андезибазальт, 6 – высококалиевый андезит, 7 – высококалиевый, по [11]; серии пород: I – толеитовая, II – известково-щелочная, III – высококалиевая известково-щелочная, IV – шошонитовая; Б – $K_2O–Na_2O$, породы Мурзинского массива: *1* – кварцевые монцодиориты, *2* – гранодиориты, *3* – меланограниты, меланократовые включения, *4* – габбро-диориты, *5* – диориты, *6* – кварцевые диориты

3. Результаты U-Pb измерений в цирконах из монцодиоритов (проба 2937)

Номера точек	$^{206}Pb_c$, %	U, ppm	Th, ppm	$^{232}Th/^{238}U$	$^{206}Pb^*$, ppm	(1) Возраст $^{206}Pb/^{238}U$, млн. лет		(1) $^{207}Pb^*/^{235}U$	±%	(1) $^{206}Pb^*/^{238}U$	±%	Корреляция ошибок
1.1	0,00	107	62	0,60	5,6	382	±5,6	0,47	5,5	0,06105	1,5	0,272
2.1	0,00	107	52	0,50	5,7	386,1	±5,6	0,483	5,5	0,06172	1,5	0,269
3.1	0,83	181	121	0,69	9,62	383,4	±4,9	0,485	8,7	0,06127	1,3	0,151
4.1	0,40	263	191	0,75	14,1	387,5	±3,9	0,437	5,3	0,06196	1	0,196
5.1	0,00	359	194	0,56	18,7	380,7	±3,3	0,467	3,1	0,06083	0,91	0,295
6.1	1,36	200	124	0,64	10,9	391,1	±5,3	0,392	15	0,06255	1,4	0,092
7.1	0,00	212	80	0,39	11,3	386,1	±4,2	0,436	4,1	0,06173	1,1	0,272
8.1	0,00	165	66	0,42	8,56	378,2	±4,6	0,461	4,6	0,06042	1,3	0,275
9.1	0,58	275	202	0,76	14,8	390,6	±4,2	0,429	8,5	0,06246	1,1	0,131
10.1	0,00	416	210	0,52	22,1	387,1	±3,2	0,487	2,8	0,06188	0,85	0,306

Примечание. Ошибки приведены для интервала 1s; Pb_c и Pb^* указывают на обыкновенную и радиогенную составляющие, соответственно; ошибка калибровки стандарта 0,5%; (1) поправка на обыкновенный свинец проведена по измеренному ^{204}Pb; корреляция ошибок отношений $^{207}Pb^*/^{235}U$–$^{206}Pb^*/^{238}U$.

По данным Р.Силлитоу [11], около 20% крупных золоторудных месторождений ассоциированы с шошонитовыми и щелочными породами, которые превышают 3% объёма Циркум-Тихоокеанских

Рис. 5. Диаграмма Au–$TE_{1,3}$ для интрузивных пород Синюхинского рудного поля:

жёлтое поле показывает концентрации золота в магматических породах, по [1]; содержания золота в хондритах, по [16]; см. услов. обозн. к рис. 4.

изверженных пород, среди которых важнейшую роль играют порфировые системы. Следовательно, можно предположить, учитывая наличие кварцевых монцодиоритов в составе Мурзинского массива, имеющих шошонитовую близость, что для Мурзинского рудного поля возможно выявление, кроме скарнового, и порфирового оруденения по аналогии с Синюхинским рудным полем [13]. Это предположение подкрепляется тем, что с массивами усть-беловского комплекса в Горном Алтае связано медно-золото-порфировое оруденение в других районах его распространения (проявления Чикетаманское, Полосухинское, Барковское, Плотбищенское и другие).

Заключение. Мурзинский массив в Горном Алтае среднедевонского возраста. В его составе выявлены монцодиориты, имеющие близость с шошонитовыми образованиями, а также многочисленные меланократовые включения. Массив образовался путём смешения различных по кислотности расплавов. Главные породные типы массива образовались путём частичного плавления амфиболитов и граувакк нижней коры. Предполагается, кроме скарнового, обнаружение в рудном поле и порфирового оруденения. Такое совмещение в рудном поле различных геолого-промышленных типов оруденения позволяет предположительно соотносить его с комплексным медно-золото-скарново-порфировым семейством руд.

4. Химический состав интрузивных пород Мурзинского массива

Компоненты	Монцодиориты			Гранодиориты						Меланограниты	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO_2	58,2	62,9	61,2	63,21	63,2	64,8	64,7	65,2	64,64	69,1	69,4
TiO_2	0,76	0,61	0,65	0,65	0,8	0,5	0,52	0,61	0,63	0,55	0,53
Al_2O_3	16,8	15,1	15,6	15,51	15,3	16,2	16,2	15,2	14,83	14,7	14,6
FeO*	7,34	6,2	6,95	6,62	7,1	5,15	5,2	5,4	5,89	4,5	4,4
MnO	0,15	0,11	0,13	0,12	0,14	0,11	0,12	0,10	0,11	0,1	0,09
MgO	3,71	3,01	2,94	2,65	1,8	1,97	1,95	2,08	2,3	1,5	1,44
CaO	6,76	5,1	5,54	3,58	4,2	4,6	4,53	4,77	4,38	3,4	3,36
Na_2O	2,3	2,2	2,24	2,25	3,3	3,7	3,8	2,61	2,45	3,2	3,11
K_2O	2,78	2,8	2,75	3,4	2,7	2,04	2,1	3,05	3,15	2,6	2,56
P_2O_5	0,18	0,11	0,13	0,17	0,21	0,15	0,16	0,12	0,15	0,14	0,13
Be	<1	1,6	1,42	1,92	1,77	1,09	1,2	1,02	1,51	1,5	1,44
Sc	26,3	21,4	21,3	19,8	28,2	23,9	24,2	13,7	18,23	12,1	11,4
V	200	136	140	145	105	99,7	100	100	112,7	76,2	75,4
Cr	60,9	83,8	86,6	54,6	36,5	41,8	42,6	44,8	66,56	25,2	22,5
Co	24,1	18,9	19	21,7	12,1	12,7	13,1	12,9	14,67	12,3	10,7
Ni	21,7	22,7	31,4	13,5	14,2	16,9	17,3	17,1	24,07	15,1	14,7
Ga	18,8	16,1	16,2	15,6	19,2	15,1	15,6	15,8	15,54	16,1	16,2
Rb	62,6	83,8	76,7	95,8	104	79,7	81,3	104	95,33	93,1	92,8
Sr	338	218	240	371	202	253	262	234	227	160	159
Y	24	25,8	25,2	25,1	74,2	17,5	16,1	25,5	30,16	29,2	15,5
Zr	143	155	144	173	243	194	195	171	185	181	178
Nb	9,16	9,8	9,4	9,8	14,4	9,8	9,9	9,9	10,24	10,1	8,9
Cs	–	1,99	3,2	3,4	4,4	2,6	2,9	6,5	3,76	4,5	4,2
Ba	380	384	378	581	461	361	365	413	449	335	332
La	23,2	23,8	20,4	16,8	21,2	29,8	30,1	31,8	21,91	20,1	42,1
Ce	47,8	47,1	42,4	48,1	51,4	21,0	21,2	61,1	48,44	42,2	39,2
Pr	5,56	5,3	4,97	5,1	7,1	3,2	3,3	7,02	5,80	4,6	4,6
Nd	21	21,2	19,8	22,2	33,2	10,1	10,3	24,2	22,51	20,2	19,0
Sm	4,63	4,4	4,1	4,6	9,6	2,4	2,5	4,4	4,78	4,3	3,7
Eu	1,04	0,91	0,95	1,2	1,6	0,49	0,5	0,93	1,05	1,02	0,86
Gd	4,35	4,5	4,2	5,2	10,8	0,33	0,4	3,6	4,86	4,5	0,93
Tb	0,65	0,71	0,72	0,81	2,13	2,6	2,7	0,69	0,86	0,7	2,45
Dy	3,99	4,42	4,34	4,5	12,6	2,47	2,5	3,9	5,07	4,7	2,4
Ho	0,84	0,91	0,9	0,88	2,7	0,9	0,93	0,78	1,07	0,99	0,87
Er	2,31	2,5	2,64	2,7	8,1	2,2	2,3	2,4	3,16	3,1	2,3
Tm	0,35	0,41	0,42	0,4	1,2	0,3	0,35	0,36	0,48	0,5	0,32
Yb	2,13	2,7	2,69	2,7	7,5	1,5	1,6	2,4	3,10	3,2	1,4
Lu	0,36	0,4	0,4	0,41	1,5	0,25	0,26	0,38	5,20	0,48	0,24

Окончание табл. 4

Компоненты	Монцодиориты			Гранодиориты						Меланограниты	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Hf	3,62	4,5	4,13	4,83	6,6	5,1	5,3	4,6	5,11	5,5	5,3
Ta	0,61	0,65	0,65	0,66	1,14	0,72	0,8	0,72	0,78	0,98	0,96
W	1,85	1,59	0,95	0,36	0,36	0,81	0,9	3,1	1,2	0,22	0,2
Th	5,23	9,2	7,6	7,3	6,5	10,6	11,2	10,8	9,36	11,2	10,1
U	1,55	1,44	1,55	1,26	1,51	3,1	3,2	3,2	2,01	3,1	2,8
Cu	132	10,7	12,7	15,9	14,9	98,8	101	16,2	15,7	8,9	87,1
Pb	11,7	34,5	43,5	32,9	21,8	54,8	55,1	34,1	23,5	25,9	43,7
Zn	90,2	15,8	16,8	17,1	14,1	20,1	20,6	16,8	18,3	17,4	19,2
Ag	0,024	3,3	4,6	3,7	2,1	8,7	9,1	3.4	2,7	4,1	7,7
Au	–	26	31	41	37	209	150	33	28	29	190
Bi	0,2	0,26	0,28	0,31	0,30	0,32	0,33	0,32	0,36	0,4	0,38
∑REE	142,2	145	134	141	245	95	95	207	158	140	136
$(La/Yb)_N$	7,2	5,8	5,0	3,9	1,9	5,7	12,4	8,8	4,7	4,1	4,2
Eu/Eu*	0,7	0,63	0,7	0,75	0,49	0,66	0,95	0,7	0,66	0,71	0,75
U/Th	0,3	0,16	0,2	0,17	0,23	0,29	0,28	0,3	0,21	0,27	0,28
Nb/Ta	15	15,1	14,5	14,8	12,6	13,6	12,4	13,7	13,1	10,3	9,3
$TE_{1,3}$	0,98	0,98	1,0	1,06	1,03	1,8	1,6	1,03	0,96	0,98	1,7

Примечание. FeO* – суммарное железо; $Eu^*=(Sm_N*Gd_N)/2$; элементы нормированы по хондриту [5]; $TE_{1,3}$ – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ, как среднее между первой и третьей тетрадами, по [9]; анализы 2–11, по [3]; оксиды – в %, элементы – в г/т, золото – мг/т.

5. Представительные анализы меланократовых включений

Компоненты	Меланократовые включения								
	Габбро-диориты				Диориты		Кварцевые диориты		
SiO_2	48,2	49,9	46,12	50,41	55,9	55,52	56,24	54,9	60,6
TiO_2	0,83	0,79	0,95	0,99	1,08	0,66	0,76	0,77	0,99
Al_2O_3	17,6	17,75	17,52	16,93	17,25	14,65	16,6	16,55	16,41
Fe_2O_3	11,23	11,1	11,68	9,5	9,09	8,7	8,9	9,33	7,2
MnO	0,25	0,26	0,23	0,2	0,27	0,22	0,3	0,35	0,24
MgO	5,03	4,92	4,7	4,7	3,35	5,65	3,29	3,86	2,35
CaO	7,3	8,11	8,5	6,2	5,2	7,13	6,2	6,6	5,6
Na_2O	2,34	2,31	2,15	2,28	3,13	2,5	3,2	3,24	3,8
K_2O	0,94	1,53	0,92	1,51	2,98	1,94	1,76	1,83	1,49
P_2O_5	0,3	0,25	0,24	0,24	0,25	0,13	0,18	0,19	0,22
П.П.П.	4,6	2,33	6,5	5,7	1,08	2,39	1,45	1,28	0,91
Сумма	98,62	99,25	99,51	98,3	99,58	99,49	98,88	98,9	99,81
Li	21,4	12,7	23,1	23,2	61,1	20,1	31,0	33,4	28,9
Be	3,1	4,39	2,02	2,44	3,75	1,17	5,38	3,47	1,77
Sc	35,7	20,2	23,6	34,2	22,1	26,6	35,0	34,4	20,4
V	210	170	208	150	179	177	151	208	108

Окончание табл. 5

Компоненты	Меланократовые включения								
	Габбро-диориты				Диориты		Кварцевые диориты		
Cr	134	111	125	113,2	24,3	210	40,8	35,3	38,9
Co	36,7	34,7	32,2	33,3	22,2	30,3	19,8	21,3	13,9
Ni	56,3	52,1	50,1	53,0	16,7	67,3	14,2	14,1	8,6
Cu	34,7	491	12,2	138	50,7	133	19,5	23,3	26,4
Zn	232	242	202	207	194	170	201	199	166
Ga	21,6	19,0	20,5	18,3	19,6	15,5	20,0	19,7	18,2
Rb	32,5	42,3	33,1	95,4	150	74,0	89,9	96,3	74,5
Sr	219	245	221	209	186	210	228	199	210
Y	33,6	27,2	35,8	43,9	43,6	43,7	65,8	69,6	37,7
Zr	33,6	52,0	47,8	48,9	93	71,0	92	104	101,6
Nb	10,9	10,4	11,8	10,6	21,7	15,0	24,1	22,1	16,1
Cs	0,65	0,61	0,76	1,4	7,1	1,7	2,4	3,7	3,8
Ba	186	290	174	378	524	250	310	284	240
La	18,0	17,8	18,1	19,8	18,9	25,8	16,0	17,0	20,8
Ce	42,1	40,0	41,9	46,3	41,2	57,7	44,2	48,6	43,0
Pr	5,1	4,91	5,05	5,73	5,24	6,96	5,71	6,91	5,06
Nd	20,4	17,9	20,6	23,2	21,5	26,4	26,1	30,4	19,9
Sm	4,4	3,41	4,43	5,13	5,17	5,51	7,20	8,22	4,45
Eu	1,1	1,18	1,12	1,04	0,918	1,27	1,0	1,22	1,09
Gd	4,75	3,36	4,71	5,46	5,16	5,3	7,35	7,74	4,59
Tb	0,8	0,531	0,771	0,91	0,879	0,915	1,35	1,39	0,827
Dy	5,1	3,33	4,94	5,86	5,78	5,82	8,84	9,25	5,01
Ho	1,11	0,742	1,03	1,23	1,24	1,24	1,94	2,01	1,1
Er	2,9	2,15	2,92	3,52	3,61	3,7	5,46	5,77	3.14
Tm	0,45	0,379	0,445	0,537	0,55	0,568	0,847	0,922	0,451
Yb	3,1	2,62	3,0	3,63	3,74	3,94	5,82	6,23	3,24
Lu	0,49	0,425	0,482	0,567	0,595	0,649	0,902	0,973	0,508
Hf	1,4	1,67	1,39	1,86	2,69	2,17	2,96	2,63	2,15
Ta	0,77	0,768	0,756	0,954	1,22	0,572	1,55	1,21	0,804
W	5,1	5,6	4,6	4,1	9,84	8,4	13,2	12,8	20,4
Au	26	28	31	37	28	29	30	39	33
Pb	8,5	11,4	8,45	8,1	8,84	14,7	7,36	9,54	7,46
Bi	0,65	0,93	0,7	0,24	0,049	0,101	0,045	0,065	0,04
Th	2,8	2,17	2,93	6,08	8,0	4,45	7,32	8,0	6,12
U	0,5	0,448	0,499	0,672	1,58	0,561	1,31	2,18	1,24
∑REE	143,4	125,04	145,3	161,8	158,08	187,9	197,5	216,2	150,9
$(La/Yb)_N$	3,95	3,47	3,09	2,79	2,6	3,34	1,4	1,39	3,3
Eu/Eu*	0,74	1,06	0,75	0,6	0,54	0,72	0,42	0,47	0,74
U/Th	0,18	0,21	0,17	0,11	0,2	0,13	0,18	0,27	0,2
Nb/Ta	14,2	13,5	15,6	14,3	17,8	19,2	15,5	18,3	19,2
$TE_{1,3}$	1,06	1,01	1,02	1,02	1,0	1,04	1,05	1,07	1,01

Примечание. Оксиды даны в %, элементы – в г/т, золото – в мг/т.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Виноградов А.П.* Среднее содержание химических элементов в горных породах // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.
2. *Гусев А.И.* Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. – Томск: Изд-во STT, 2003. – 308 с.
3. *Гусев А.И., Гусев Н.И., Табакаева Е.М.* К геохимии минералов Мурзинского медно-золоторудного месторождения // Природные ресурсы Горного Алтая: геология, геофизика, экология, минеральные, водные и лесные ресурсы Алтая. – 2018. – № 1–2. – С. 18–29.
4. *Гусев А.И., Табакаева Е.М.* Магматизм и оруденение Мурзинского золоторудного поля (Горный Алтай) // Известия Томского политехнического университета. – 2017. – Т. 328. – № 11. –С. 16–30.
5. *Шокальский С.П., Бабин Г.А., Владимиров А.Г.* и др. Корреляция магматических и метаморфических комплексов западной части Алтае-Саянской складчатой области. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2000. – 187 с.
6. *Anders E., Greevesse N.* Abundences of the elements: meteoric and Solar // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1989. – V. 53. – P. 197–214.
7. *Irber W.* The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // Geochim Cosmochim Acta. – 1999. – Vol. 63. – № 3/4. – P. 489–508.
8. *Meinert L.D.* Gold in skarn deposits – a preliminary overview // Proceedings of the Seventh Quadrennial IAGOD Symposium. – Stuttgart, 1998. – P. 363–374.
9. *Molnár F., Oduro H., Cook N.D.J.* et al. Association of gold with uraninite and pyrobitumen in the metavolcanic rock hosted hydrothermal Au-U mineralisation at Rompas, Peräpohja Schist Belt, northern Finland // Miner Deposita. – 2016. – Vol. 51. – P. 681–702.
10. *Peccerillo A., Taylor S.* Rare earth elements in East Carpathian volcanic rocks // Earth and Planetary Science Letters. – 1976. – Vol. 32. – P. 121–126.
11. *Sillitoe R.H.* Some metallogenic features of gold and copper deposits related to alkaline rocks and consequences for exploration // Miner Deposita. – 2002. – Vol. 37. – P. 4–13.
12. *Soloviev S.G., Kryazhev S.G., Dvurechenskaya S.S., Uyutov V.I.* Geology, mineralization, fluid inclusion, and stable isotope characteristics of the Sinyukhinskoe Cu-Au skarn deposit, Russian Altai, SW Siberia // Ore Geology Reviews. – 2019. – Vol. 112. – P. 103039.
13. *Torrey C.E., Karjalainen H., Joyce P.J.* et al. Geology and Mineralization of the Red Dome (Mungana) gold skarn deposit, North Queensland, Australia // Proceedings of Gold ‘86 Symposium. – Toronto, 1986. – P. 504–517.
14. *Vigneresse J.L.* The role of discontinuous magma inputs in felsic magma and ore generation // Ore geology Reviews. – 2007. – Vol. 30. – P. 181–216.
15. *Wasson J.T., Kallemeyn G.W.* et al. Compositions of chondrites // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical & Engineering Sciences. – 1988. – Vol. 325. – № 1587. – P. 535–544.
16. *Xie Z.-J., Xia Y., Cline J.S.* et al. Comparison of the native antimony-bearing Paiting gold deposit, Guizhou Province, China, with Carlin-type gold deposits, Nevada, USA // Miner Deposita. – 2017. – Vol. 52. – P. 69–84.

REFERENCES

1. *Vinogradov A.P.* Sredneye soderzhaniye khimicheskikh elementov v gornykh porodakh [Average content of chemical elements in rocks]. Geokhimiya. 1962. No. 7. P. 555–571.
2. *Gusev A.I.* Metallogeniya zolota Gornogo Altaya i yuzhnoy chasti Gornoy Shorii [Metallogeny of gold in Gorny Altai and the southern part of Gornaya Shoria]. Tomsk, STT publ. 2003. 308 p.
3. *Gusev A.I., Gusev N.I., Tabakayeva Ye.M.* K geokhimii mineralov Murzinskogo medno-zolotorudnogo mestorozhdeniya [K geokhimii mineralov Murzinskogo medno-zolotorudnogo mestorozhdeniya]. Prirodnyye resursy Gornogo Altaya: geologiya, geofizika, ekologiya, mineral’nyye, vodnyye i lesnyye resursy Altaya. 2018. No. 1–2. P. 18–29.
4. *Gusev A.I., Tabakayeva Ye.M.* Magmatizm i orudeneniye Murzinskogo zolotorudnogo polya (Gornyy Altay) [Magmatism and mineralization of the Murzinsky gold field (Gorny Altai)]. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2017. Vol. 328. No. 11. P. 16–30.
5. *Shokal’skiy S.P., Babin G.A., Vladimirov A.G.* et al. Korrelyatsiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov zapadnoy chasti Altaye-Sayanskoy skladchatoy oblasti [Correlation of magmatic and metamorphic complexes in the western part of the Altai-Sayan folded area]. Novosibirsk, SO RAN publ., filial «Geo». 2000. 187 p.
6. *Anders E., Greevesse N.* Abundences of the elements: meteoric and Solar. Geochim. Cosmochim. Acta. 1989. V. 53. P. 197–214.
7. *Irber W.* The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites. Geochim Cosmochim Acta. 1999. Vol. 63. No. 3/4. P. 489–508.
8. *Meinert L.D.* Gold in skarn deposits – a preliminary overview. Proceedings of the Seventh Quadrennial IAGOD Symposium. Stuttgart, 1998. P. 363–374.
9. *Molnár F., Oduro H., Cook N.D.J.* et al. Association of gold with uraninite and pyrobitumen in the metavolcanic rock hosted hydrothermal Au-U mineralisation at Rompas, Peräpohja Schist Belt, northern Finland. Miner Deposita. 2016. Vol. 51. P. 681–702.

10. *Peccerillo A., Taylor S.* Rare earth elements in East Carpathian volcanic rocks. Earth and Planetary Science Letters. 1976. Vol. 32. P. 121–126.
11. *Sillitoe R.H.* Some metallogenic features of gold and copper deposits related to alkaline rocks and consequences for exploration. Miner Deposita. 2002. Vol. 37. P. 4–13.
12. *Soloviev S.G., Kryazhev S.G., Dvurechenskaya S.S., Uyutov V.I.* Geology, mineralization, fluid inclusion, and stable isotope characteristics of the Sinyukhinskoe Cu-Au skarn deposit, Russian Altai, SW Siberia. Ore Geology Reviews. 2019. Vol. 112. P. 103039.
13. *Torrey C.E., Karjalainen H., Joyce P.J.* et al. Geology and Mineralization of the Red Dome (Mungana) gold skarn deposit, North Queensland, Australia. Proceedings of Gold '86 Symposium. Toronto, 1986. P. 504–517.
14. *Vigneresse J.L.* The role of discontinuous magma inputs in felsic magma and ore generation. Ore geology Reviews. 2007. Vol. 30. P. 181–216.
15. *Wasson J.T., Kallemeyn G.W.* et al. Compositions of chondrites. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical & Engineering Sciences. 1988. Vol. 325. No. 1587. P. 535–544.
16. *Xie Z.-J., Xia Y., Cline J.S.* et al. Comparison of the native antimony-bearing Paiting gold deposit, Guizhou Province, China, with Carlin-type gold deposits, Nevada, USA. Miner Deposita. 2017. Vol. 52. P. 69–84.

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

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

DOI:10.47765/0869-7175-2020-10032

УДК 551.4+528.855
© Коллектив авторов, 2020

Геолого-геоморфологические особенности строения и история формирования Ямалахского горста (Южная Якутия)

В.П.АФАНАСЬЕВ[1], Е.И.НИКОЛЕНКО[1], К.В.ЛОБОВ[1], И.Д.ЗОЛЬНИКОВ[1, 2], А.А.КАРТОЗИЯ[1,2,3], Н.В.ГЛУШКОВА[1, 2]
[1] Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИГМ СО РАН); 630090, г. Новосибирск, проспект академика Коптюга, д. 3,
[2] Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Новосибирский государственный университет (НГУ), 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1,
[3] Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИНГГ СО РАН); 630090, г. Новосибирск, проспект академика Коптюга, д. 3

Даётся детальная характеристика геолого-геоморфологической позиции Ямалахского горста (Центрально-Алданский район Якутии), в южной части которого расположено Чомполинское поле неалмазоносных лампрофиров, а в северной – месторождения золота. Породы образовались в период мезозойского этапа щелочного магматизма Алданского щита. В послениженюрское время произошли массовые внедрения щелочных пород, с которыми связывается образование горста.
Ключевые слова: лампрофир, геолого-геоморфологическое строение, горст, интрузия, тектонические нарушения, цифровые модели рельефа, ГИС.

Афанасьев Валентин Петрович
доктор геолого-минералогических наук — avp-diamond@mail.ru

Николенко Евгений Игоревич
кандидат геолого-минералогических наук — nevgeny@gmail.com

Лобов Константин Владиславович — kost_1j@mail.ru

Зольников Иван Дмитриевич
доктор геолого-минералогических наук — zol@igm.nsc.ru

Картозия Андрей Акакиевич — andrei.kartoziia@igm.nsc.ru

Глушкова Надежда Владимировна
кандидат технических наук — hope@igm.nsc.ru

The Yamalakh Horst (Southern Yakutia): features of geology, geomorphology and history

V.P.AFANASIEV[1], E.I.NIKOLENKO[1], K.V.LOBOV[1], I.D.ZOLNIKOV[1,2], A.A.KARTOZIYA[1,2,3], N.V.GLUSHKOVA[1,2]
[1] Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation,
[2] Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation,
[3] The Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS)

The paper presents geological and geomorphological details for the Yamalakh horst (Central Aldan region, Yakutia), which hosts the Chompolo field of barren lamprophyre in its southern part and a gold deposit in the north. The rocks resulted from Mesozoic alkaline magmatism in the Aldan shield. The horst origin relates to large-scale alkaline intrusions in post-Early Jurassic time.
Key words: lamprophyre, geomorphology, horst, intrusion, faults, digital elevation model, well logs.

Исследования Ямалахского горста проводились авторами данной статьи в рамках общей оценки алмазоносности Центрально-Алданского района Якутии. Оценка алмазоносности Центрального Алдана предпринималась ещё в начале 1950-х гг. в связи с сообщениями старателей о находках алмазов, главным образом в бассейне р. Джеконда. В результате проведения поисковых работ в устье руч. Трудовой (приток р. Джеконда) в аллювии были найдены два алмаза, что послужило поводом для расширения поисковых работ. В конце 1950-х гг. было открыто Чомполинское поле трубок взрыва, отнесённых к кимберлитам, но неалмазоносным. В 1980-е гг. в результате нового опробования трубок взрыва были найдены алмазы, однако характер и качество обогащения пород не исключали возможность заражения алмазами. Поэтому в рамках работ с ГУГГП РС (Я) «Якутскгеология» на протяжении 2012–2014 гг. авторы провели ещё один этап детального исследования пород трубок взрыва и оценили их потенциальную алмазоносность. Учитывая довольно необычную геоморфологическую позицию района, были выполнены и детальные геолого-геоморфологические исследования Ямалахского горста, результаты которых приведены ниже.

Геологическая характеристика района. Территория Ямалахского горста составляет около 1500 км^2, охватывает водораздельное пространство верхнего течения р. Амга и верховьев р. Чомполо. В орографическом отношении представляет собой хребет с абсолютными отметками до 1318 м в центральной части участка (рис. 1, А), вытянутого в меридиональном направлении. К востоку и западу абсолютные отметки понижаются до полукилометра и менее. Расчленённость рельефа высокая. Гидросеть представлена главным образом маловодными периодически пересыхающими водотоками; пересыхание русел связано, по-видимому, с сильной закарстованностью, из-за которой осуществляется подрусловой сток.

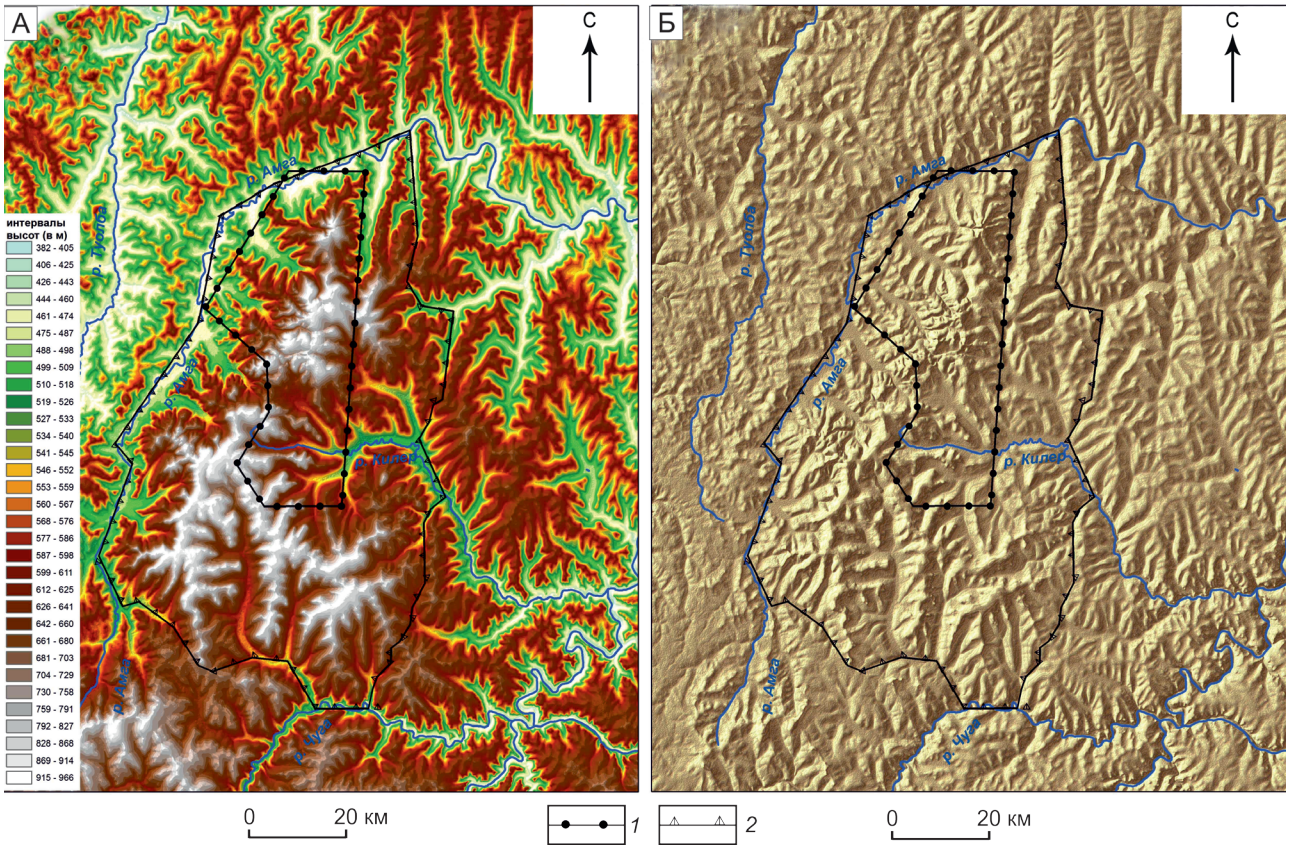


Рис. 1. Контур Ямалахского горста:

А – на цифровой модели рельефа; Б – на теневой модели; границы: *1* – участка исследований, *2* – Амгинского горста

В южной части горста расположено Чомполинское поле трубок и даек пород, ранее относившихся к кимберлитам, так как они содержат мантийные минералы – пиропы, хромиты, хромдиопсиды. По результатам комплексного петрохимического, минералогического и геохимического изучения, проведённого авторами статьи, данные породы не являются лампроитами и отнесены к категории лампрофиров низкотитанистого ряда [2]. Алмазы в них не установлены, и, по минералогическим критериям алмазоносности Н.В.Соболева [6], эти породы не соответствуют алмазоносным. Чомполинское поле занимает территорию около 350 км^2. Дайки размером до (360–800)×40 м, трубки овальной формы, диаметром до 110 м, имеют вертикальные или субвертикальные контакты с вмещающими породами (82°–90°). Трубки взрыва прорывают позднепротерозойские–нижнекембрийские доломиты и известняки с прослоями конгломератов и песчаников с карбонатным цементом – юдомская, пестроцветная, тумулдурская свиты. На них фрагментарно сохранились нижнеюрские аркозовые песчаники с линзами конгломератов в низах и прослоями алевролитов. Эти отложения приурочены к водоразделам, для них характерен существенно кварцевый тип цемента, благодаря чему они устойчивы к эрозии. Юрские отложения являются коллектором мантийных минералов, из чего следует доюрский возраст их коренных источников – трубок и даек лампрофиров. На возможность триасового возраста этих пород указано в работе [1]. Это принципиальный факт: во-первых, на Алдане это единственное поле триасового возраста, лампроиты Тобукского, Хатыстырского и других полей имеют позднеюрский–меловой возраст и неалмазоносны, во-вторых, триасовая эпоха кимберлитового магматизма на Сибирской платформе была алмазоносной, хотя и не в той мере, как среднепалеозойская, и не все триасовые кимберлиты содержат алмазы. Поэтому важно было выяснить, являются ли породы Чомполинского поля алмазоносными. Детальные исследования вещественного состава, а также прямое опробование на алмазы показали, что породы неалмазоносны.

В формировании современного структурного плана как Чомполинского поля, так и в целом Ямалахского горста большую роль играли движения по зонам разломов. Для территории характерны четыре системы разрывных нарушений: субмеридиональная, широтная, северо-восточная и северо-западная. Нарушения фиксируются зонами окварцевания доломитов, катаклаза и милонитизации сиенит-порфиров и нижнекембрийских пород. Они часто сопровождаются дайками, малыми интрузиями и иногда гидротермальными изменениями пород.

Особый интерес представляют разломы субмеридионального направления. К этим разломам приурочены дайки диабазов и щелочных образований, тела изученных лампрофиров и крупные интрузии щелочноземельных пород. В морфологическом отношении они представляют собой разрывные нарушения с амплитудами смещения 40–60 м. Падение поверхности сместителей вертикальное или близкое к нему, что подтверждается замерами элементов залегания даек и трубообразных тел (до 75°–85° на запад или восток). Протяжённость разломов достигает 45 км. Проявления интрузивных пород различного возраста, связываемых с этими разломами, позволяют говорить о длительной истории их формирования.

Кристаллический фундамент представлял собой гранулито-гнейсовую область и характеризовался кратонными условиями развития начиная с AR_1, а с AR_2 Центрально-Алданский блок – это стабильная область [1]. Кристаллические породы архейского возраста (федоровская и верхнеалданская свиты иенгрской серии нижнего архея) встречаются за пределами поля на абсолютной высоте до 360 м.

Чомполинская площадь характеризуется практически повсеместным распространением шлиховых ореолов индикаторных минералов лампрофиров (пиропов, хромитов и хромдиопсидов). Это свидетельствует о наличии ещё не найденных тел.

Геолого-геоморфологические исследования. Геолого-геоморфологические исследования проведены с целью выяснения характера поисковой обстановки в отношении трубок взрыва и в целом оценки структурной позиции Чомполинского поля. Использованы мультиспектральные космоснимки LANDSAT.

Сравнение спектральных характеристик для различных геологических тел показало, что в целом на территории задернованность такова, что литологически разные образования нередко имеют одинаковый спектральный отклик, а одинаковые по литологии – разный. В то же время границы геологических тел (в частности контуры интрузий) после преобразований (различные фильтрации) «проявляются» на мультиспектральных изображениях. Однако, как показало сравнение с материалами геологического картирования, с гораздо более значимой контрастностью особенности геологического строения отражаются на цифровых моделях рельефа (ЦМР), построенных по данным радарной съёмки Земли из космоса SRTM. Поэтому выявление закономерностей проявления геологического строения в рельефе осуществлялось по данным ЦМР.

Прежде всего необходимо определить точные границы Ямалахского горста как неотектонической структуры, поскольку в материалах геологической съёмки листов O-51-IX, O-51-X, O-51-XV, O-51-XVI

[3–5] его конфигурация описывалась достаточно условно. Для детального геоморфологического анализа ЦМР по SRTM была приведена к размеру ячейки 50×50 м. На рис. 1, А показана детальная граница Ямалахского горста, которая проведена вручную с учётом ЦМР и построенной на её основе теневой модели рельефа (см. рис. 1, Б). Видны геоморфологические черты изучаемой территории, которая находится в зоне перехода от Алданского нагорья к Лено-Алданскому плато. Выделившийся в рельефе Ямалахский горст оконтурен сплошной чёрной линией. Здесь же приводятся контуры участка исследований, причём очевидно, что контуры неотектонической структуры, непосредственно проявленной в рельефе, включают большую площадь, чем изначально заданный участок исследований.

Для дальнейшего анализа геоморфологического строения территории использовались данные государственного геологического картирования. Были отсканированы и геокодированы геологические карты. На их основе создана схема литологических комплексов района (рис. 2, А). В единый литокомплекс были объединены интенсивно метаморфизованные архейско-протерозойские гранитогнейсы; несколько кембрийских свит преимущественно доломитового состава были объединены в кембрийский карбонатный литокомплекс. Отдельными литокомплексами выделены юрские отложения и четвертичные отложения речных долин.

На рис. 2, А хорошо видно, что Ямалахский горст сформировался на территории, для которой фоновыми являются доломиты кембрийского карбонатного

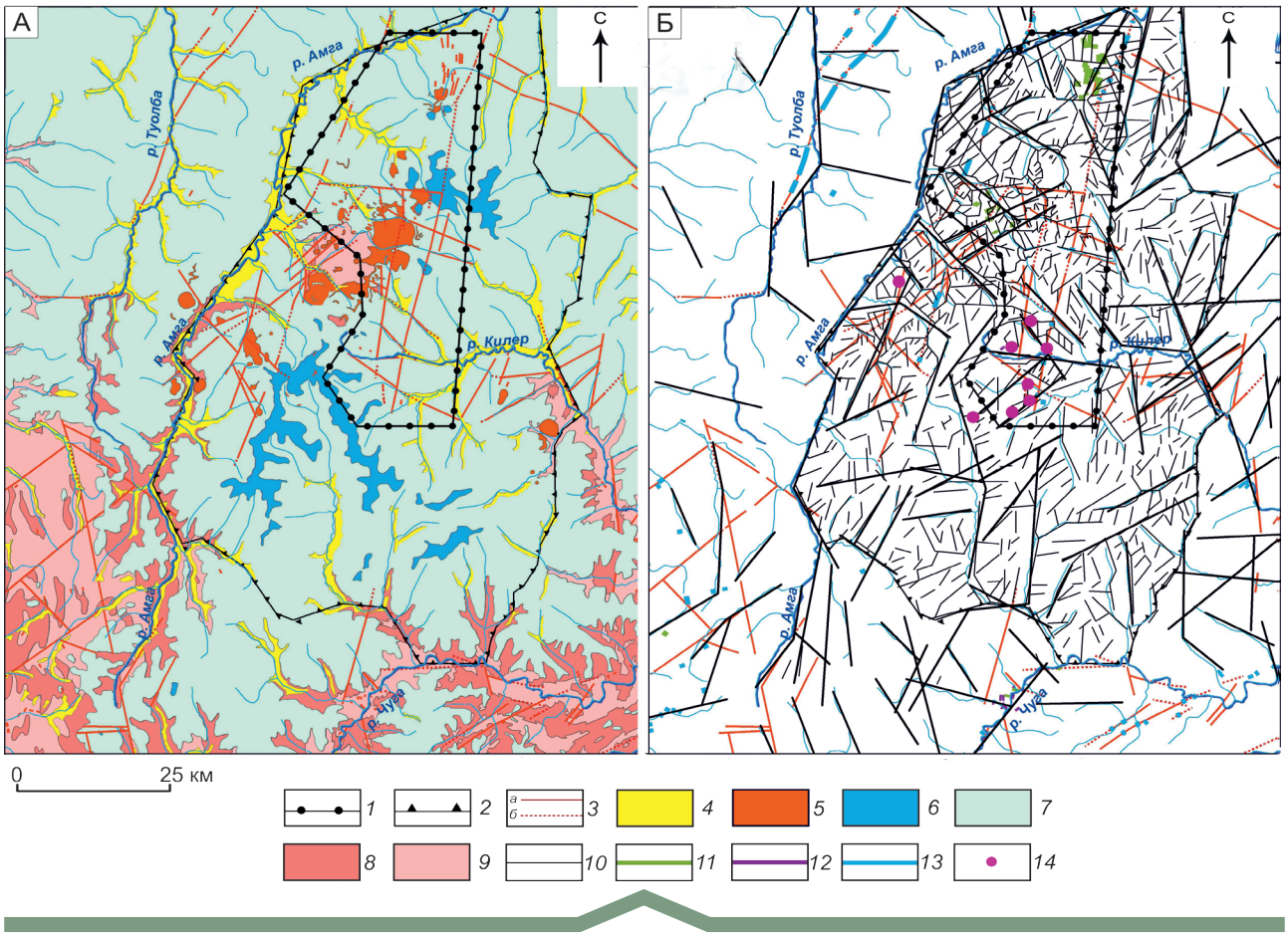


Рис. 2. Геологические особенности территории:

А – схема литокомплексов; границы: *1* – участка исследований, *2* – Амгинского горста; *3* – разломы: *а* – установленные, *б* – предполагаемые; литокомплексы: *4* – четвертичные отложения, *5* – раннемеловые сиениты, *6* – юрские песчаники, *7* – кембрийские карбонаты, *8* – архейские гранитоиды, *9* – архейско-протерозойские гнейсы; Б – схема линеаментов с вынесенными на неё разломами и разновозрастными дайками: *10* – линеаменты; дайки: *11* – меловые сиениты, *12* – триасовые лампроиты, *13* – среднепалеозойские долериты; *14* – трубки

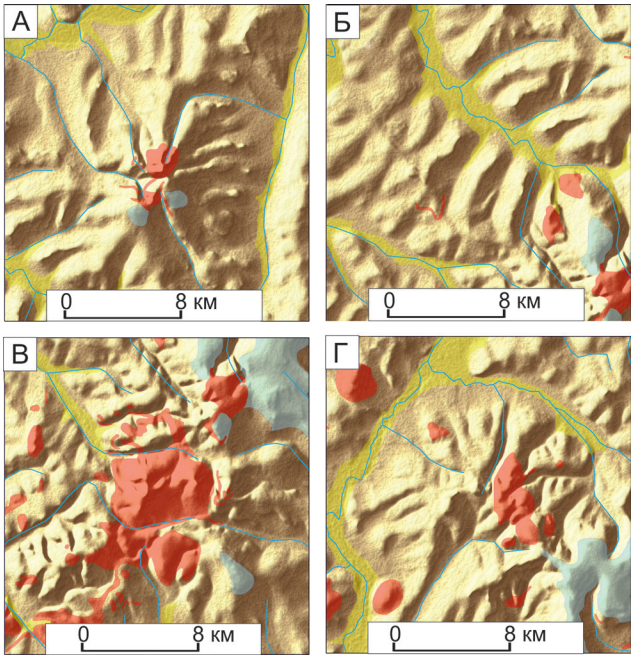


Рис. 3. Радиальные и концентрические морфоструктуры, обусловленные проявленностью на теневой модели рельефа раннемеловых щелочных интрузий (А–Г)

комплекса. Внутрь контуров горста попадают плоские участки водоразделов, сложенные юрскими песчаниками, и большинство тел щелочноземельных и щелочных пород: кварцевых и кварцсодержащих порфиров, эгирин-авгитовых и роговообманковых сиенит-порфиров, бостонитов и других щелочных интрузий раннемелового возраста. Архейско-протерозойский литологический комплекс лежит преимущественно за пределами участка или на его границах. Исключение составляет небольшой выход в центральной части горста.

При анализе ЦМР и производных от неё схем обращает на себя внимание чёткая проявленность в морфоструктурах современной дневной поверхности раннемелового интрузивного магматизма. Так, на рис. 3, А фиксируется радиальная морфоструктура долин и водоразделов, в центре которой закартированы раннемеловая интрузия и юрские песчаники. На рис. 3, Б отражён фрагмент концентрической морфоструктуры, опоясывающей выходы сиенитов и юрских песчаников. Концентрические дуги в данном случае дополняются и радиальными линеаментами. На рис. 3, В также приведён пример морфоструктуры, в которой доминируют радиальные элементы. На рис. 3, Г – радиальная морфоструктура с расходящимися из центра линеаментами, опоясанная хорошо развитой кольцевой речной долиной, выполненной аллювиальными отложениями.

Таким образом, тела раннемеловых интрузий достаточно ярко выражены в рельефе в виде концентрических морфоструктур и образуют как бы внутренний геологический каркас Ямалахского горста в сочетании с юрскими песчаниками, устойчивыми к процессам денудации и формирующими плоские полосы водоразделов. В целом же Ямалахское поднятие представляет собой ступенчатый односторонний горст, ограниченный разломами с южной, восточной и северной сторон. Общий наклон поверхности горстового поднятия наблюдается на северо-запад, куда происходит постепенное уменьшение амплитуды поднятия (от 500 м в наиболее поднятой юго-восточной части до нуля у долины р. Амга). В пределах горста расположены системы субпараллельных разломов северо-восточного простирания, вдоль которых происходят малоамплитудные (до 100 м) смещения мелких сколотых блоков горста, что придаёт ему ступенчатое строение. Некоторое представление о разломной тектонике района горста даёт рис. 2, А, на котором показаны разломы и дайки, закартированные в ходе государственной геологической съёмки. На рис. 4 представлены розы-диаграммы разломов, а также даек разного возраста и состава, составленные для объектов внутри контура горста.

Несколько специфический вид розы-диаграммы для лапрофировых даек (см. рис. 4, Б) обусловлен тем, что внутри контура горста присутствуют всего четыре дайки, две из которых ориентированы на юг, а две на юго-восток. Следует признать, что для даек щелочных пород, вероятнее всего, выборка не является генеральной. В целом же интересен тот факт, что и у разломов, и у даек розы-диаграммы однотипны (за исключением лампрофировых даек).

Существенное дополнение к представлениям о неотектоническом строении района исследований представляют собой главные и второстепенные линеаменты, отдешифрированные по ЦМР и производным от ЦМР схемам. Линеаменты проводились по спрямлённым тальвегам речных долин и прямолинейным уступам. В данном районе с жёстким фундаментом реакция на тектонические нагрузки проявлялась в значительной мере за счёт формирования зон трещиноватости как со смещением по ним блоков, так и без такового. Зоны трещиноватости – наиболее подверженные эрозии участки, поэтому по ним закладываются русла постоянных и временных водотоков. Соответственно, линеаменты отражают трещинно-разломную структуру района.

На рис. 4, Д–Е приведены розы-диаграммы линеаментов, которые обладают гораздо большим разнообразием направлений, чем розы-диаграммы даек

и геологических разломов. С одной стороны, это обусловлено наличием внутри района большого числа радиальных и концентрических трещин и разломов, связанных с кольцевыми морфоструктурами, оконтуривающими штоки и лакколиты гипабиссальных меловых интрузий. С другой стороны, дополнительные направления обусловлены системой разломов, рассекающих на отдельные блоки (ступени) Ямалахское неотектоническое поднятие. Кроме того, линеаменты отражают трещиноватость, суммарно накопившуюся за всю геологическую историю существования изучаемой территории. Поэтому на розах-диаграммах линеаментов проявлена как субмеридиональная, так и диагональная и даже субширотная ориентировка геологических структур.

На рис. 5, А видно, что выходы меловых щелочных интрузий отражаются кольцевыми структурами, которые расположены преимущественно в северной части исследуемого района. Несколько кольцевых морфоструктур выделяются условно с меньшей степенью достоверности, и внутри них нет выходов интрузий. Это может быть связано с большей глубиной залегания интрузивных тел от дневной поверхности. На рис. 5, Б добавлена схема плотности линеаментов. Видно, что максимальная густота линеаментов характерна для северо-западной части района, где имеется наибольшая концентрация как кольцевых структур, так и щелочных интрузий мелового возраста. Здесь же необходимо отметить, что лампрофировые дайки и трубки, закартированные на данной территории, локализованы за пределами распространения кольцевых морфоструктур, а также вне участков с повышенной густотой линеаментов.

Обсуждение результатов исследований. Проведённые геолого-геоморфологические исследования позволяют следующим образом представить развитие Ямалахского горста.

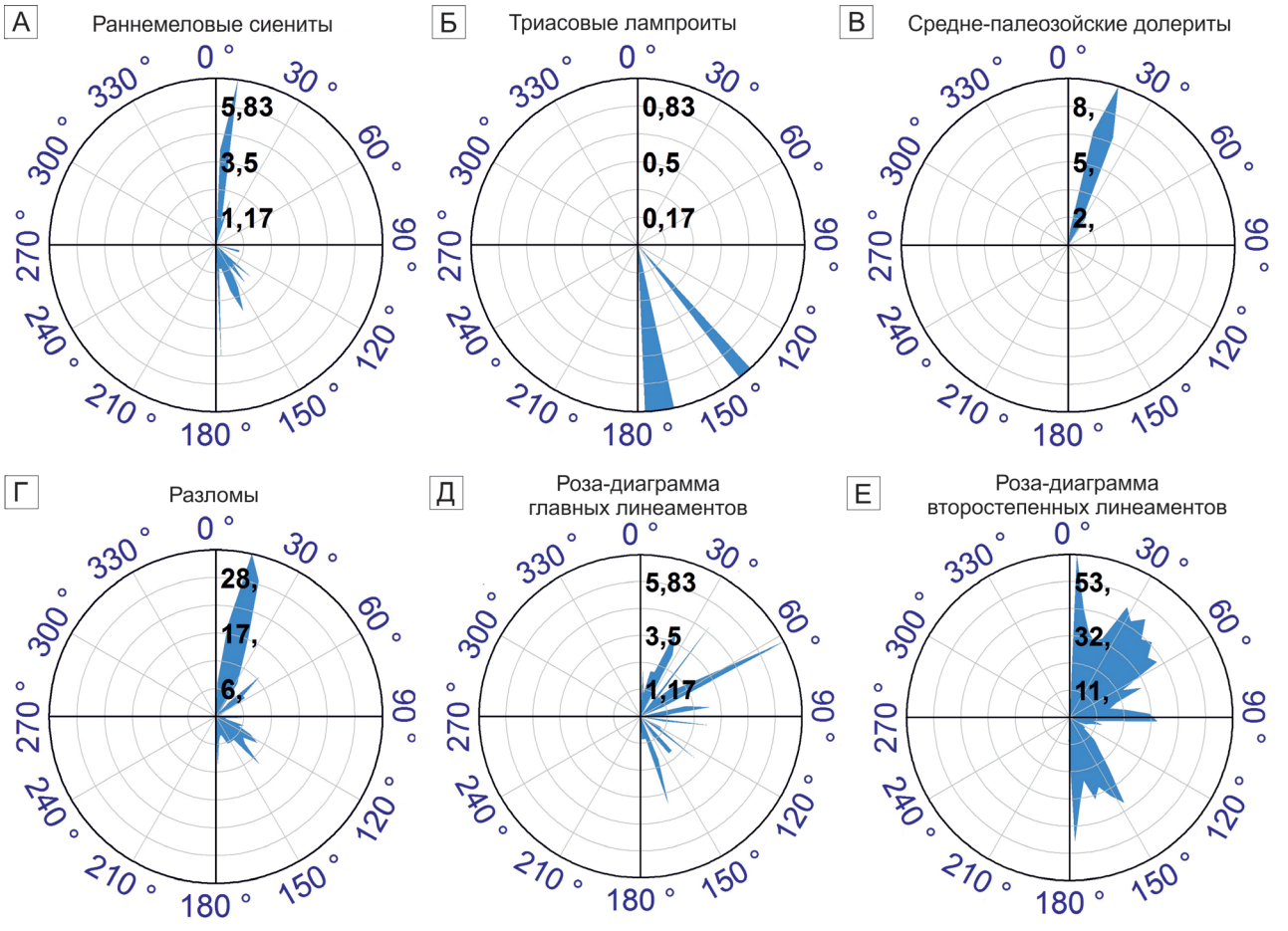


Рис. 4. Розы-диаграммы даек и разломов с геологических карт масштаба 1:200 000

На момент формирования трубок взрыва территория района представляла собой выровненную, слабо приподнятую сушу, в связи с чем эрозионный срез трубок взрыва и даек невелик (юрские отложения как промежуточный коллектор небогаты индикаторными минералами). Вероятно, все лампрофировые тела были погребены под юрскими осадками; трубка Перевальная до сих пор частично перекрыта ими. Образование горста произошло достаточно быстро в послеюрское время, судя по реликтам юрских отложений на водоразделах. Связать его можно с активизацией щелочного магматизма в позднеюрское–раннемеловое время на территории Центрально-Алданского района. Оно сопровождалось обильными эманациями, обогащёнными кремнезёмом, в результате чего произошло окварцевание юрских отложений и превращение их в весьма прочную породу, устойчивую к эрозии, и сохранение её при последующем быстром воздымании, благодаря чему они в настоящее время занимают максимально возвышенные участки. Повышенное содержание кремнезёма отмечается и в породах трубок взрыва. Обильная трещиноватость, характерная для горста, образовалась, как и кольцевые структуры, при быстром внедрении массивов щелочных пород. В южной части горста в пределах Чомполинского поля магматические массивы остались на глубине и отражаются в косвенных признаках – окремнении пород трубок взрыва, повышенной трещиноватости. На севере, где магматические массивы выходят на дневную поверхность, с ними связано золотое оруденение.

Заключение. Геолого-геоморфологические исследования показывают, что образование Ямалахского горста, наиболее вероятно, связано с внедрением крупных масс щелочных пород в период мезозойской тектоно-магматической активизации Цен-

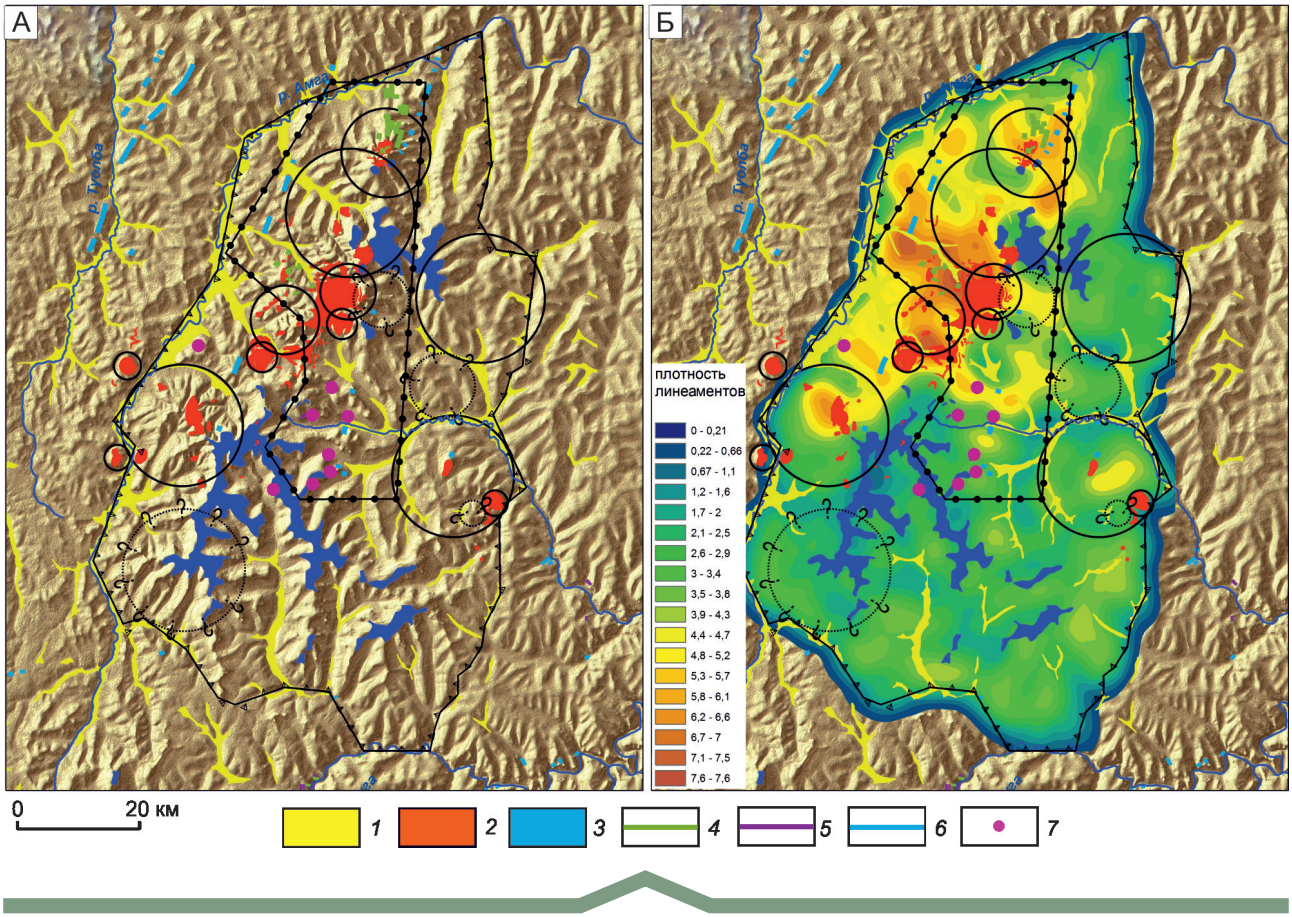


Рис. 5. Кольцевые структуры:

А – на теневой модели рельефа с дополнением некоторых геологических объектов; Б – с дополнением схемы плотности линеаментов; *1* – юрские песчанки; *2* – меловые интрузии; *3* – четвертичные отложения; дайки: *4* – сиенитов, *5* – лампроитов, *6* – долеритов; *7* – трубки; см. услов. обозн. к рис. 1

трально-Алданского региона. Лампрофировые трубки и дайки внедрились до формирования горста в доюрское время и независимы от него. Проведённые детальные исследования пород трубок взрыва и даек лампрофиров позволяют полностью отрицать их алмазоносность. Щелочные породы, сформировавшие горст, использовали ранее существовавшую субмеридиональную проницаемую зону, по которой также произошло и внедрение лампрофиров. В северной части Ямалахского горста со щелочными массивами связано золотое оруденение. Можно предполагать, что в южной части горста, где щелочные массивы не поднялись до дневной поверхности, золотое оруденение осталось на глубине.

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богатиков О.А., Рябчиков И.Д., Кононова В.А.* и др. Лампроиты. – М.: Недра, 1991. – 302 с.
2. *Корнилова В.П.* Петрография и минералогия известково-щелочных лампрофиров и эруптивных брекчий бассейна р. Чомполо // Отечественная геология. – 1997. – № 9. – С. 6–9.
3. *Малков Л.Н.* Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Алданская. Лист О-51-IX. Объяснительная записка. – М.: Недра, 1974. – 64 с.
4. *Малков Л.Н.* Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Алданская. Лист О-51-X. Объяснительная записка. – М.: Недра, 1974. – 68 с.
5. *Малков Л.Н., Фрумкин И.М.* Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Алданская. Лист О-51-XV. Объяснительная записка. – М.: Недра, 1981. – 84 с.
6. *Соболев Н.В.* О минералогических критериях алмазоносности // Геология и геофизика. – 1971. – № 3. – С. 70–80.
7. *Сухин М.В.* Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Алданская. Лист О-51-XVI. Объяснительная записка. – М.: Недра, 1964. – 67 с.

REFERENCES

1. *Bogatikov O.A., Ryabchikov I.D., Kononova V.A.* et al. Lamproity [Lamproites]. Moscow, Nedra publ. 1991. 302 p.
2. *Kornilova V.P.* Petrografiya i mineralogiya izvestkovo-shchelochnykh lamprofirov i eruptivnykh brekchiy basseyna r. Chompolo [Petrography and mineralogy of calc-alkaline lamprophyres and eruptive breccias of the Chompolo]. Otechestvennaya geologiya. 1997. No. 9. P. 6–9.
3. *Malkov L.N.* Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200 000. Seriya Aldanskaya. List O-51-IX. Ob"yasnitel'naya zapiska [Geological map of the USSR on a scale of 1:200 000. Aldanskaya series. Sheet O-51-IX. Explanatory note]. Moscow, Nedra publ. 1974. 64 p.
4. *Malkov L.N.* Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200 000. Seriya Aldanskaya. List O-51-X. Ob"yasnitel'naya zapiska [Geological map of the USSR on a scale of 1:200 000. Aldanskaya series. Sheet O-51-X. Explanatory note]. Moscow, Nedra publ. 1974. 68 p.
5. *Malkov L.N., Frumkin I.M.* Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200 000 Seriya Aldanskaya. List O-51-XV. Ob"yasnitel'naya zapiska [Geological map of the USSR on a scale of 1:200 000. Aldanskaya series. Sheet O-51-XV. Explanatory note]. Moscow, Nedra publ. 1981. 84 p.
6. *Sobolev N.V.* O mineralogicheskikh kriteriyakh almazonosnosti [Mineralogical criteria for diamond content]. Geologiya i geofizika. 1971. No. 3. P. 70–80.
7. *Sukhin M.V.* Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200 000. Seriya Aldanskaya. List O-51-XVI. Ob"yasnitel'naya zapiska [Geological map of the USSR on a scale of 1:200 000. Aldanskaya series. Sheet O-51-XVI. Explanatory note]. Moscow, Nedra publ. 1964. 67 p.

DOI:10.47765/0869-7175-2020-10033

УДК 553.81:551.24
© А.Н.Барышев, Г.К.Хачатрян, 2020

Геодинамика, тектоника алмазоносных систем и минерагения

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

Приведена оригинальная геодинамическая концепция развития всего комплекса процессов и структур, обеспечивающих образование и перемещение источников углерода для роста кристаллов алмаза в мантии, доставку алмазоносной среды к земной поверхности. Геодинамической основой образования алмаза служит погружение экзогенного источника в древних зонах субдукции, которые развиваются по краям конвективных ячей. Доставка осуществляется в адвективной системе, в которой важнейшую роль играет транстенсия в сочетании с конвекцией. Показаны периодичность размещения кустов трубок в пространстве, тектонофизическая закономерность этого явления. На основе геодинамики предложено совершенствование таксономической схемы алмазоносной системы в связи с её фрактальной структурой от минерагенической провинции до куста трубок. На конкретных примерах показаны главные структурные элементы алмазоносных таксонов (систем) и закономерности их образования. Рассмотрены острые дискуссионные вопросы природы кимберлитов.
Ключевые слова: кимберлиты, алмаз, геодинамика, конвекция, адвекция, транстенсия, минерагеническая провинция, зона, поле, куст трубок, тектонические напряжения.

Барышев Александр Николаевич
доктор геолого-минералогических наук — alexbargeol@mail.ru

Хачатрян Галина Карленовна
доктор геолого-минералогических наук — khachatryan_g_k@mail.ru

Geodynamics, diamondiferous system tectonics and minerageny

A.N.BARYSHEV, G.K.KHACHATRYAN (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals)

The paper presents a unique geodynamic evolution concept of all processes and structures ensuring carbon source formation and movement for diamond crystals growth in the mantle, and diamondiferous medium supply to the surface. Geodynamic basis for diamond formation is exogenetic source sinking in old subduction zones evolving along convection cell edges. The supply is ongoing in an advection system, with transtension combined with convection playing a key role. The paper shows periods of spatial pipe cluster location and tectonophysical pattern of this phenomenon. Based on geodynamics, the authors suggest improving a taxonomical scheme of the diamondiferous system due to its fractal structure, from a mineragenic province to a pipe cluster. Specific examples are presented to highlight major structural elements of diamondiferous taxons (systems) and their formation patterns. Debatable issues of kimberlite nature are discussed.
Keywords: kimberlites, diamonds, geodynamics, convection, advection, transtension, minerageny province, zone, field, pipe cluster, tectonic stresses.

В геодинамике и тектонике алмазоносных систем существуют две главные проблемы: первая это условия, способствующие образованию алмаза, первичная структура алмазоносного пространства в мантии; вторая – условия доставки алмазоносной среды из глубин к поверхности Земли, их структурное выражение. Обстоятельный обзор взглядов на природу кимберлитов и алмазов содержится в литературе, однако далеко не все вопросы упомянутых проблем обсуждены в полной мере. Особенно это относится к работам, не принимающим во внимание процессы и структуры субдукции при формировании

фундамента платформ [31]. Наиболее распространёнными являются представления, согласно которым алмаз в глубоком докембрии кристаллизовался из магмы или при метасоматозе за счёт флюидных компонентов первичной мантии, а в палеозое и мезозое переносился кимберлитовой магмой к земной поверхности по разломам и трубообразным каналам, завершаясь взрывом поднятой массы. Для другой концепции о ксеногенности алмазов убедительной модели, каким образом они попали в кимберлиты, предложено не было». При рассмотрении роли субдукции в алмазообразовании большинством исследователей, вслед за У.Е.Шарпом [34], используется только её плейттектоническая модель. Но есть другая модель субдукции как краевого эффекта ячеистой неустановившейся конвекции, где показана возможность её применения к геологии алмаза [5, 7]. В неё вписываются особенности кристаллохимии алмазов, латеральная и вертикальная минерагеническая зональность популяций алмазов, закономерное сочетание кимберлитов с карбонатитами, участие экзогенного вещества в их источниках [9, 32].

Проблема геодинамических условий, способствующих образованию алмаза и структуры алмазоносного пространства в мантии, рассмотрена авторами настоящей статьи в ряде работ [6, 9, 10]. Кратко напомним их основные выводы, чтобы иметь полное представление о том, как были распределены алмазы на глубине перед их подъёмом к поверхности Земли.

Условия алмазообразования. При выявлении геодинамических условий образования алмазов важную роль сыграли исследования их кристаллов, объединённых в группы популяции, типы которых обладают определёнными содержаниями азота, входящего в кристаллическую решётку в виде двойных и четверных атомных кластеров, свидетельствующих о температуре роста алмаза. Главным же результатом было то, что по размещению популяций алмаза на Сибирской платформе установлена двусторонняя с элементами концентричности латеральная зональность: наиболее высокотемпературные популяции расположены в центре, а с меньшей температурой роста – соответственно, по краям. Принимая во внимание глубинный температурный градиент, следует вывод, что зональность характеризует увеличение глубины образования алмазов в направлении к центру минерагенической провинции. Характеристика структурных примесей азота и водорода в алмазе свидетельствует об общем для них источнике, который включал азотсодержащие органические вещества (например, с первичными РНК и ДНК). Часть алмазов имеет лёгкий изотопный состав углерода и присутствие в них следов углеводородов. Особенности распределения водорода в кристаллах способствовали тому выводу, что одним из источников алмаза были биогенные углеводороды, реагировавшие в мантии с оксидами углерода, приводя к высвобождению углерода, из которого образовался алмаз [32].

Исследование строения кристаллов алмаза показало влияние тектонических напряжений на механизм их роста, неодинаковый в разных направлениях, на уплощённость формы, на деформации с образованием трещин скалывания и отрыва в кристалле, прерывающими на время его рост. Всё это свидетельствует о том, что алмаз кристаллизовался в твёрдой, а не в расплавной среде, притом в активной тектонической обстановке при региональном метаморфизме пород [8]. Эти выводы послужили поводом для выбора геодинамической модели, которая обеспечивает погружение в мантию толщ, содержащих источник углерода алмаза. Комплексу требований более других соответствовала модель ячеистой неустановившейся конвекции с развитием зон субдукции в виде опрокинутых синклиналей, погружающихся от краёв к центру ячеи. Такая модель представлена на рис 1.

На последовательное развитие структур конвекции, соответствующих фазам 0°, 60°, 90°, 120°, 180° математической модели слоистой толщи [15], нанесены условные слои литосферы. На модели видны последовательное поднятие глубинных слоёв в центре конвективной ячейки и образование синклиналеобразных зон субдукции по краям. Такие же субдукционные синклинали (рис. 2) получены тектонофизическим моделированием при исследовании структур в обстановке гравитационной неустойчивости [26]. В современных зонах субдукции, например Курильской, поле очагов землетрясений имеет форму клина, сужающегося вниз, что более соответствует синклинали, а не плите. В пользу реальности именно такой морфологии зон субдукции в природе свидетельствует сходная синклинальная структура субдуцированных толщ регионально метаморфизованной офиолитовой ассоциации, извлечённой из глубин на юго-востоке Кубы [5].

Субдукционные зоны, образовавшиеся по краям модели конвективной ячеи, аналогичны зонам размещения популяций алмаза в глубинах Сибири (см. рис. 2). Именно субдукция толщ с рассеянным в них углеводородным (биогенным) источником вещества алмаза определяет позицию, первичную структуру и морфологию алмазоносного пространства в виде перевёрнутого конуса, образованного встречным сочетанием дугообразных зон субдукции. Всё вместе взятое позволяет сделать вывод о том, что

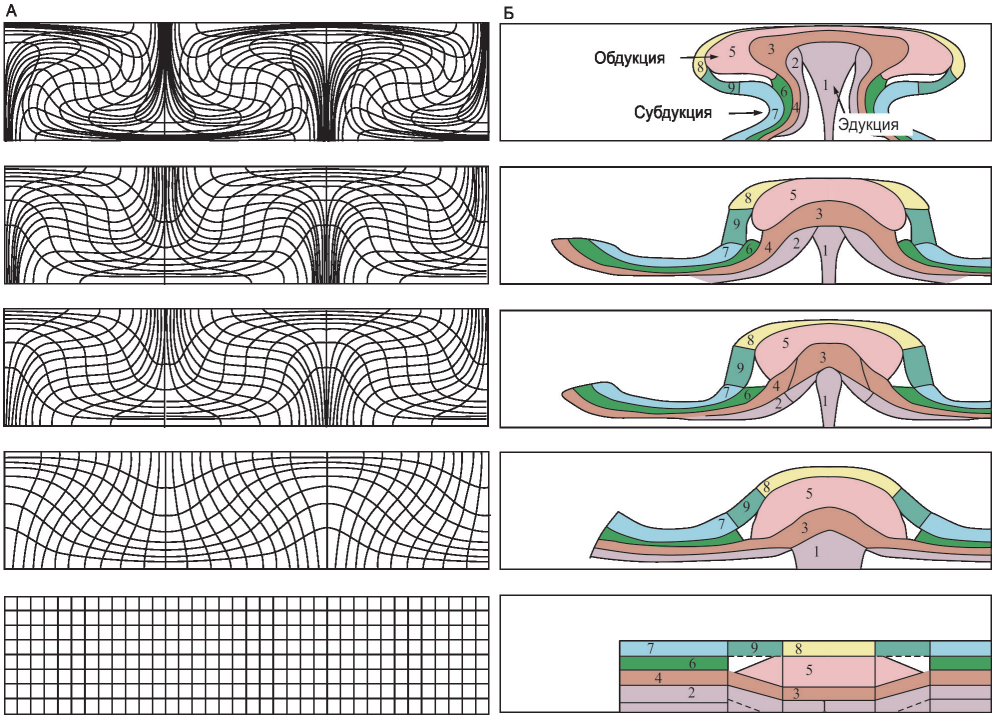


Рис. 1. Модель конвективной геодинамики корово-мантийной системы, образующей метаморфические толщи литосферы щитов (по краям) **и фундамента платформы** (в центре)**:**

А – математическая модель последовательных деформаций слоистой среды при конвекции, соответствующая (снизу вверх) фазам её развития 0°, 60°, 90°, 120°, 180°, по [15]; Б – геологическая модель ячеистой конвекции: слои древней литосферы нанесены на математическую модель в центре континентального, а по краям переходного и океанического типа; слои: 1, 2 – мантийные, 3, 4 – габбро-базальтоидные, 5 – гранит-метаморфические, 6 – эффузивных базальтов, 7, 8 – осадочные, 9 – переходных карбонатсодержащих фаций шельфа; субдукция слоёв 4, 6, 7, 9 формирует зеленокаменные толщи, а обдукция слоёв 3, 5 – гранулиты щитов

геодинамика, формирующая структуры, где образуется алмаз, определяется краевыми эффектами неустановившейся ячеистой конвекции.

Факторы и условия доставки. Доставка алмазоносных масс из глубин к поверхности Земли происходит не только значительно позже алмазообразования, но и при ином геодинамическом режиме. Вместе с тем общие физические особенности развития конвекции, не только краевой субдукционной её части, но и осевой восходящей, помогают лучше понять многие стороны процесса и геологических структур доставки. Помимо гравитационной неустойчивости, регулирующей конвекцию, на адвекцию глубинных масс влияет транстенсия. Для лучшего понимания их сути сначала рассмотрим тектонофизический аспект этих двух процессов.

Конвекция (лат. convectio – перенесение, принесение) означает перенос массы и теплоты движущейся средой, т. е. не обязательно выражает многократный циклический процесс, относящийся к установившейся конвекции. В геологии конвекция достигает лишь определённых фаз развития, т. е. в подавляющем большинстве случаев она неустановившаяся. Часть ограниченной по фазе конвекции именуют адвекцией (лат. advectio – доставка). Адвекцию как восходящую часть конвективной системы сопоставляют с диапиризмом. К диапиру (греч. διαπεϊρω – протыкать, пронзать) можно отнести кимберлитовую трубку. Что же касается иных поднятий, происходящих без «пронзания», за счёт пластических перемещений вещества, то используется термин адвективное поднятие.

Условия протекания конвекции в однородной среде при её гравитационной неустойчивости описываются уравнением Рэлея:

$$R = \frac{\rho \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot g \cdot H}{a \cdot \eta} \text{ или } R = \frac{\Delta\rho \cdot g \cdot H^3}{a \cdot \eta},$$

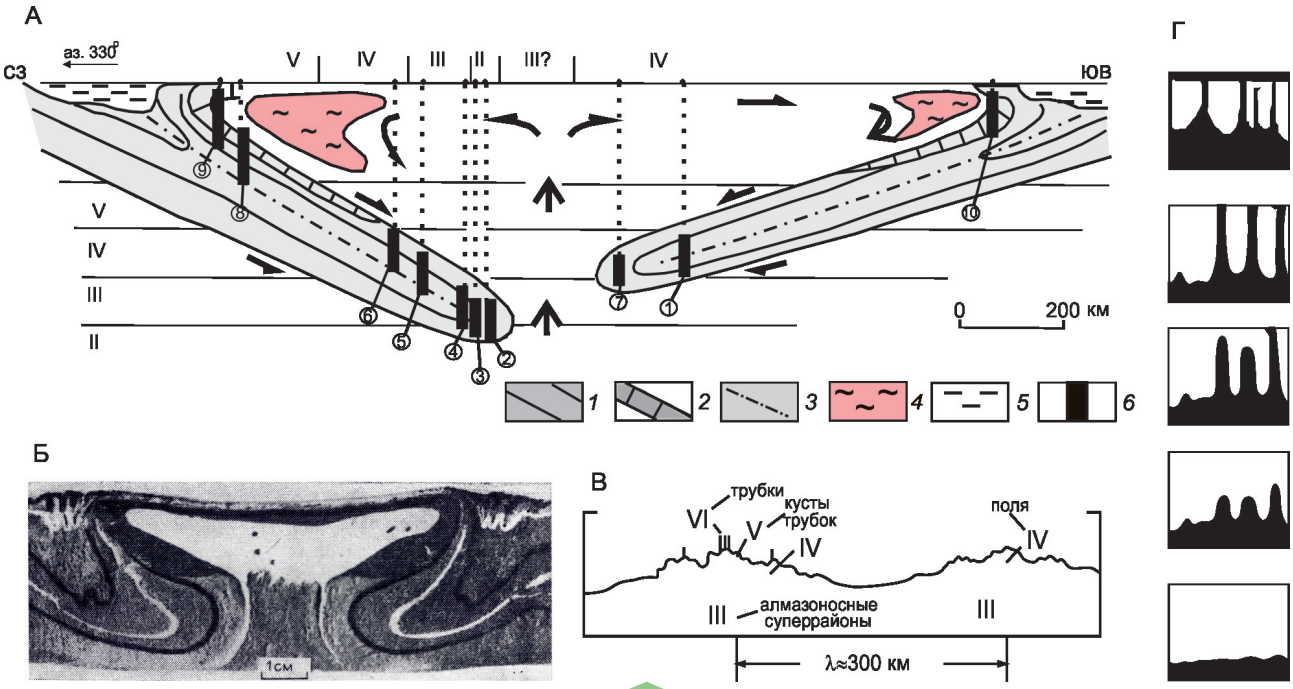


Рис. 2. Общая модель геодинамики алмазоносной системы:

А – формирование структуры алмазоносного пространства в фундаменте Сибирской платформы на рубеже раннего–среднего протерозоя (пресс-проекция на вертикальное сечение по аз. 330°); *1–2* – субдуцированные толщи краевых бассейнов с ультрабазит-базитовым основанием (*1*), шельфовые фации этих бассейнов (*2*); *3* – осевые поверхности субдуцированных синклиналей; *4* – архей-протерозойские толщи Анабарского и Алданского щитов; *5* – краевые бассейны; *6* – позиция вертикальных интервалов зоны субдукции, обеспечивающих алмазоносность кимберлитов в трубках (цифры в кружках): Мир (1), Удачная (2), Молодость (3), Поисковая (4), Ленинград (5), Мало-Куонапская (6), Накынского поля (7), Попигайской структуры (8), щелочно-мафит-карбонатитовых расслоенных и кольцевых массивов по периферии Анабарского (9) и Алданского (10) щитов; стрелками показано направление пластических течений масс в конвективной ячее; римскими цифрами обозначены типы популяций алмаза, их относительная позиция в латеральной зональности платформы и по глубине; вертикальный масштаб условный; Б – аналогичная по структуре модель, полученная при центрифугировании слоистой толщи из замазки, модельной глины и силикона, по [26]; В – фрактальная волновая структура подъёма алмазоносных масс из мантии, λ – длина волны; Г – последовательность развития и периодичность размещения ячеистых поднятий на адвективном валу, перерастание их в трубчатые тела (тектонофизическая модель адвекции битума под слоем патоки, по [29])

где R – критическое число Рэлея, ρ – плотность, ΔT – перепад температур в слое, β – коэффициент температурного расширения, g – ускорение силы тяжести, H – мощность конвектирующего слоя, a – коэффициент температуропроводности (скорости выравнивания температур) или релаксации напряжений, η – динамическая вязкость, $\Delta\rho$ – разуплотнение.

При достижении первого критического числа $R_1 \approx 1700$ конвекция осуществляется в виде вала (стоячей волны), а при втором числе $R_2 \approx 10^4$ – в виде ячеистого поднятия [15]. Возрастание гравитационной неустойчивости после условий, характеризуемых R_1, приводит к зарождению на гребне вала дополнительных волн двух других направлений, интерференция которых приводит к развитию гексагональных ячей (подобно ячейкам Бенара), а при достижении R_2 к конвекции в виде колонн. С учётом того, что вязкость геологических масс при подъёме уменьшается, вплоть до расплавов или алмазоносных флюидолитов, часть параметров конвективной системы меняется. В результате конвективная система приобретает фрактальную структуру, в которой на крупном поднятии образуется серия мелких, а на каждом из них – ещё более мелких, завершаясь, к примеру, трубками [3, 6].

Изменения параметров свойств во фрактальной структуре конвективной системы могут быть предсказаны и оценены [5]. Из уравнения Рэлея следует уравнение подобия разномасштабных систем конвекции: $\mathbf{C}_{\Delta\rho} \cdot \mathbf{C}_g \cdot \mathbf{C}_H^3 = \mathbf{C}_a \cdot \mathbf{C}_\eta$, где $\mathbf{C}$ – коэффициент подобия параметров, индекс которых соответствует обозначению переменных в уравнении Рэлея.

При малых вариациях разуплотнения $\Delta\rho$, температуропроводности горных пород $\alpha=(6\div13)\cdot10^{-3}$ см^2/с и ускорения силы тяжести g их коэффициенты подобия можно приравнять единице. Тогда $\mathbf{C_H^3\approx C_\eta}$. Иначе говоря, для принятых условий при уменьшении размера системы на один порядок вязкость в подобной системе должна быть на три порядка меньше. При этих условиях в природных конвективных системах с уменьшением размера системы на один порядок время протекания между её подобными фазами уменьшается на два порядка. То есть $\mathbf{C_t\approx C_l^2}$. Это следует из двух уравнений подобия: 1) медленных пластических деформаций: $\mathbf{C_\eta=C_\rho\cdot C_g\cdot C_a\cdot C_l\cdot C_t}$, где l – размерный параметр, как H, а C_t– коэффициент подобия времени [14], и 2) первого, подобия иных параметров, приведённого выше.

При адвекции в фактор гравитационной неустойчивости, определяемый инверсией плотности масс и горизонтальным градиентом литостатического давления, может вплетаться фактор градиента давления, связанного с особенностями поля тектонических напряжений – транстенсией. Приведём пояснения, которых мало в геологической литературе.

Транстенсия – превращение (trans) сдвиговой деформации в относительное растяжение (tension). Она возникает на участке изменения простирания разлома (или его сочленении с другим разломом) или по иным причинам при проявлении сдвиговых напряжений как до, так и после образования самого разлома. Сдвиг как бы тянет (pull) за собой один борт трещины и стремится в месте её изгиба отделить (apart) его от другого борта. Зону растяжения или бассейн именуют как пулл-апарт (pull-apart). Если сдвиг происходит в противоположном направлении, сжимая (press) ту же зону, то обстановку называют транспрессией (сдвиг преобразуется в сжатие). Поэтому для определения типа обстановки на изгибе разлома или его сочетания с другим нарушением необходимо представлять, в каком направлении может происходить сдвиг (правом, по часовой стрелке, или левом – против неё).

Транстенсия влечёт за собой важные следствия. Первое из них заключается в том, что она способствует адвекции за счёт создания градиента давления в среде, снижая всестороннее давление (оно равно одной трети от суммы трёх главных нормальных напряжений) в определенном объёме.

Вывод о роли транстенсии при адвекции легко подтвердить анализом размерностей в уравнениях. В уравнении Рэлея для конвекции (адвекции) числитель формулы $\Delta\rho\cdot g\cdot H^3$ представляет архимедову силу конвектирующего объёма, определяемого членом H^3. Те же члены, с теми же размерностями входят в уравнение закона Архимеда: выталкивающая сила $F=\rho_ж\cdot g\cdot V_т$, где $V_т$ – объём жидкости, вытесненный погружённым телом. Размерность градиента давления аналогична размерности произведения $[\Delta\rho\cdot g]=[г\cdot см^{-2}\cdot с^{-2}]$. Иначе говоря, градиент давления при транстенсии в поле тектонических напряжений играет ту же роль, что и разуплотнение в гравитационном поле при конвекции.

В больших объёмах горных пород транстенсия, поддерживаемая длительное время, нарушает баланс литостатического давления и может привести к пластическому выжиманию вверх объёма среды, обладающего пониженным давлением, и к подъёму снизу на его место плотных масс, так же как вода выжимает вверх поплавок в поле силы тяжести. Предел ползучести горных пород составляет всего лишь около 10 кг/см^2 или ещё меньше, то есть медленные пластические течения могут происходить при малых касательных напряжениях. В этой связи заметим, что эмпирически установленное правило Клиффорда в своей основе, вероятнее всего, имеет не столько возраст алмаза, сколько необходимость большой длительности времени для адвекции твёрдых масс из больших глубин мантии.

Природную модель адвекции мантии в результате транстенсии, но при иных условиях демонстрирует обстановка района озера Байкал. Байкальский рифт возник как бассейн pull-apart при левых сдвиговых перемещениях на концах разломов близширотного простирания вдоль р. Верхняя Ангара на севере и р. Иркут и р. Малый Енисей на юге озера. Наличие разломов фиксируется современными очагами землетрясений. Но главное то, что при пассивном рифтогенезе у Байкала транстенсия вызвала под ним подъём мантии, стремящейся к изостазии.

Весьма примечательно то, что области или зоны транстенсии, прилегающие к крупным сдвигам, занимают большую площадь, выражены чередованием относительно узких хребтов и впадин, ориентированных определённым образом относительно простирания сдвига в зависимости от того, левый он или правый (рис. 3). Транстенсия распространяется далеко за пределы бассейна pull-apart, причём с одной стороны от главного сдвига. К востоку от Байкала ширина области транстенсии достигает 600 км, с чередованием хребтов и впадин через расстояния около 60 км, ориентированных так же, как и озеро. Подобное явление сопровождает правый сдвиг Сан-Андреас с транстенсией, вызвавшей чередование «Бассейнов и Хребтов» (Большой бассейн, США) [2]. Малые по размеру сдвиги сопровождаются зонами транстенсии малой протяжённости и ширины.

Второе следствие транстенсии заключается в том, что при уменьшении величины сжимающей компоненты в главном нормальном напряжении σ_1 и

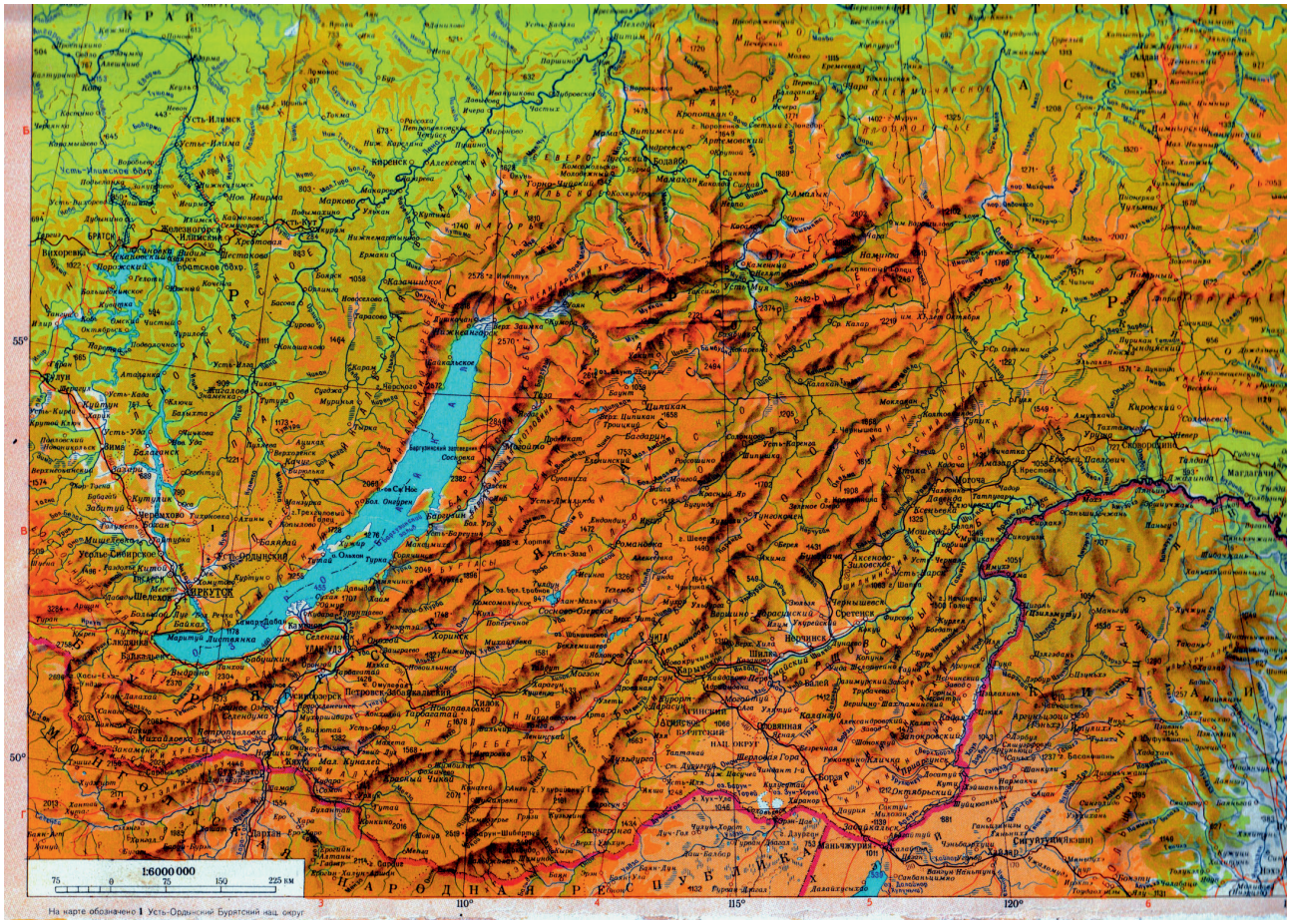


Рис. 3. Область транстенсии, выраженная бассейном пулл-апарт озера Байкал и чередованием прилегающих впадин и хребтов. *Из* [2, стр. 60]

сохранении величины наибольшего сжимающего главного нормального напряжения σ_3 возрастает максимальное касательное напряжение $\tau_{max}=1/2\cdot(\sigma_3-\sigma_1)$. Это приводит к дополнительным разрывным деформациям в преобразованном поле с изменённой ориентировкой осей главных нормальных напряжений. Причина появления новых разрывов показана на диаграмме Мора в данной статье при описании структуры Накынского поля.

Реализация адвекции за счёт транстенсии, в отличие от конвекции, развивающейся при постоянно действующей во всём пространстве гравитации, требует условий длительного поддержания напряжений в определённом объёме среды. Такое поддержание возможно в связи с напряжениями, возникающими в связи с общей геодинамикой Земли, например её ротационным режимом. С ним связывают регматическую (лат. regma – разрыв, разлом) сеть диагональных и ортогональных нарушений. Развитие диагональной пары сдвигов (правых северо-западного, левых северо-восточного простирания) может в определённой мере иметь связь с глобальным сжатием Земли (1/298,26) вдоль оси вращения. Вызванная сдвиговыми напряжениями транстенсия на большой площади может обеспечить образование близмеридиональных и широтных сдвигов. С такой комбинацией сдвигов четырёх направлений мы сталкиваемся на алмазоносных территориях. Но главная масса больших близширотных сдвигов Земли имеет иную природу. Подъём глубинных масс способствует их западному дрейфу из-за переноса ротационного момента инерции относительно малого, которым они обладали до этого. В результате ротационные силы за всё время существования Земли «закрутили, словно крышку банки» северные континентальные массы относительно южных примерно на 35°–40°. Достаточно взять в руки глобус, чтобы убедиться в этом.

Зоны транстенсии в природе обычно не имеют чётко выраженных границ. Поэтому необходимо отметить, что смещение условных границ этих зон

по разломам, показанное далее на рисунках настоящей статьи, не означает смещение осадочного слоя платформы на ту же амплитуду. Очевидно, что смещения отражают в большей мере древние осложнения адвективных валов фундамента, на которых зарождались кусты трубок, и наследуются позже. Выделение зон транстенсии и реконструкция тектонических полей напряжений проводились на основе сочетания линейного размещения трубок и их кустов, особенностей речной сети, которая наследует разрывную тектонику, на тектонофизических закономерностях полей напряжений вблизи разломов и сочетаний трещин разных направлений [3]. Иначе говоря, для закрытых территорий платформ приходится опираться на общие положения, которые сформулировал французский философ-материалист Клод Гельвеций (1715–1771): «Знание некоторых принципов легко возмещает незнание некоторых фактов».

Условия реализации факторов, способствующих доставке. Формула уравнения Рэлея в знаменателе содержит параметры вязкости и температуропроводность, стремящуюся снизить термическое расширение и разуплотнение масс, приводя к релаксации напряжений. Для условий доставки особо важна оценка переменного параметра вязкости. Она позволяет представить, как в процессе адвекции субдуцированные массы, в которых в условиях мантии образовался алмаз, «дошли до жизни такой», что превратились в кимберлиты трубок с протогенным алмазом. В этом могут помочь уравнения подобия конвекции. Но предварительно необходимо рассмотреть дискуссионные вопросы проблемы.

Особая проблема связана с представлениями о фазовом состоянии протокимберлитовой и кимберлитовой масс, как во время алмазообразования, так и при их подъёме из глубин. Кимберлиты предпочитают ячеистый диапиризм в виде трубок, практически не заполняя разломы, хотя присутствующие рядом явно магматические базальты эти разломы используют «весьма охотно». Эта особенность внедрений заставляет обратиться к сущности понятия «кимберлитовая магма», её фазовому состоянию и наиболее вероятным реологическим свойствам. С точки зрения этимологии, термин магма (итал., исп. magma – тесто, месиво) можно было бы принять, если вязкость кимберлитов до взрыва была порядка 10^4–10^7 пуаз (подобной техническому вазелину или в 1000 раз больше). Однако устоявшееся в геологии понятие магмы требует наличия расплава (частично или целиком) в её содержимом. Это ни в структуре, ни в текстуре кимберлитов явно не просматривается. Однако подавляющим большинством геологов магма подразумевается, а потом используется в модельных построениях процессов и геологических структур.

Магматическое (расплавленное) состояние кимберлитов для построения модели их подъёма вряд ли приемлемо, так как не имеет должного обоснования. Другое представление о фазовом состоянии кимберлитов – это флюидонасыщенная диспергированная масса твёрдых обломков разного размера и состава в сочетании с метаморфогенными минералами. Сомнения в существовании кимберлитовой магмы (расплава) нашло отражение во втором издании (2008) Петрографического кодекса, где указано, что представления о генезисе кимберлитов не установились [21]. В результате кимберлиты и лампроиты в Кодексе рассмотрены отдельно от типа магматических пород и выделены в самостоятельный тип (наиболее крупный таксон петрографической классификации). Вместе с тем кимберлиты не включены и в «новый тип эндогенных горных пород» флюидогенные породы (флюидолиты), хотя по всем своим свойствам, кроме ультраосновного состава, отвечают текстурно-структурным характеристикам пород этого петрографического типа. Следует заметить, что уже давно А.М.Портновым было указано на флюидный диапиризм как причину формирования кимберлитовых трубок и карбонатитовых массивов [23].

В пользу «флюидолитического», а не магматического состояния кимберлитов есть много доводов. В кимберлитах отсутствует (нигде не установлен) определённый порядок кристаллизации минералов именно из расплава, а не в процессе метаморфизма. Идиоморфные минералы в кимберлитах представлены метаморфогенными кристаллами (гранаты), в том числе перекристаллизованными (оливины). Келифитовые каймы у кристаллов и обломков не обязательно свидетельствуют о реакции их с расплавом, они могут образоваться при метаморфизме и реакции между минералами в твердофазной среде [17]. Эти выводы Н.А.Елисеева опираются на теоретические и экспериментальные исследования химических реакций в твёрдых телах (К.Хауффе, 1962) и на наблюдения келифитовых кайм у кристаллов в метаморфических породах (Дж.А.Данн, 1932). Многочисленные доводы о росте алмаза в твёрдой, а не расплавной среде, к тому же в обстановке стресса, приведены авторами в работе [9].

Масса кимберлитов, несмотря на ультраосновной состав, интенсивную серпентинизацию, при внедрении в осадочные толщи земной коры ведёт себя как среда достаточно большой вязкости (порядка 10^{11}–10^{13} пуаз, то есть подобно льду), что не характерно для основных и ультрабазитовых магм. Оценка вязкости проведена на основе сходства размеров диаметра трубчатых тел кимберлитов и корней колче-

дановосных кремнекислых экструзивов, сходства шага периодичности их размещения (2–3 км), морфологического сходства экструзивов и моделей, полученных при тектонофизических экспериментах с учётом условий подобия на эквивалентных материалах с определённой вязкостью [5, 25].

Несмотря на большую флюидность, в кимберлитах нет «рогульчатых» обломков, которые могли бы указывать на наличие газовых пузырей в магме перед взрывом. Чрезвычайная насыщенность кимберлитов обломками, по-видимому, связана не только с взрывом, но и с былыми деформациями пород уже при региональном метаморфизме в зоне субдукции до образования кимберлитов. Примечательно и то, что в трубках кимберлитов, как и в массивах карбонатитов, имеет место картина, когда центральные (а не периферические!) части овального сечения тела прорываются массой иного состава. Это трактуется как проявление другой фазы магматизма, а не адвективная структура расслоенной алмазоносной среды, нижние части которой по аналогии с ядром антиклинали поднимаются в центре, а далее происходит кимберлитовый диапиризм расслоенной среды. Иначе говоря, «любовь к концентрической зональности» у трубок – свидетельство адвекции расслоенной среды, а не последовательного разновременного внедрения разных по составу магм.

В качестве довода магматической природы кимберлитов иногда приводят наличие даек. Но это недоказывает магматическое состояние кимберлитов. Подобными бывают песчаные дайки среди осадочных толщ, изученные В.Н.Холодовым [33]. В кимберлитах присутствует обилие неоплавленных обломков чуждых пород, то есть не так, как бывает в палящих тучах вулканов. По периферии трубок кимберлитов нет следов термального метаморфизма, который можно было бы ожидать в связи расплавами.

Это ставит вслед за собой другой вопрос: почему протокимберлитовые массы, поступающие из больших глубин, где температура весьма высока, в верхних горизонтах не плавятся при декомпрессии, подобно тому, как это происходит в обстановке вулканоплутонических раннеорогенных поясов или при образовании трапповых очагов? И это при повышенной у кимберлитов флюидности, которая могла бы снизить температуру плавления! Причиной может быть то, что подъём нагретой на глубине протокимберлитовой массы происходит очень медленно из-за повышенной вязкости в системе малого размера. В этом случае релаксация температуры при обычном коэффициенте температуропроводности может опережать создание условий для плавления нагретой массы, несмотря на декомпрессию. При анализе тектоники платформ нельзя забывать об этих особенностях соотношений большой временной продолжительности действия относительно малых по величине касательных напряжений в «спокойном платформенном режиме».

О причинах адвекции алмазоносных масс и структурах их доставки. Причины и условия, побуждающие подниматься к поверхности алмазоносные мантийные массы Земли, исследованы недостаточно. Принимаемую рядом исследователей модель, в которой алмазоносная кимберлитовая магма поднимается с глубин 200–250 км со скоростью нескольких метров в секунду, только так сохраняя алмазы от их уничтожения в расплаве (модель О.Г.Сорохтина), нельзя отнести к реальным. Доставка алмазоносной среды из глубин в виде фрактальной конвективной системы с последовательным снижением вязкости представляется более обоснованной. Однако причина адвекции в связи увеличением вертикальной мощности разуплотненных слоёв, при изменении их угла падения во флексуре (подобно увеличению высоты поплавка), использованная ранее в модели [6], учитывает не все обстоятельства. На адвекцию алмазоносных систем и соответствующую им пространственную периодичность дополнительное влияние оказывает транстенсия.

Возможность подъема кимберлитовой массы («магмы») под действием выталкивающей силы в литературе по алмазоносным кимберлитам принято объяснять «повышенной проницаемостью» среды. Проницаемость считают функцией тектонической раздробленности, трещиноватости, возникающих в области пересечения разломов разного направления. Такой подход нельзя признать достаточно корректным. Проницаемостью в физике и гидрогеологии называют свойство среды, определяемое скоростью фильтрации через неё при градиенте давления. Но кимберлиты не фильтруются, а адвектируются сплошной массой. Речь должна идти об условной вязкости адвектирующей массы и окружающей среды. Разломы в большей степени являются лишь показателями поля напряжений при их образовании, чем путями движения кимберлитовой массы и их вместилищем. Разломы в такой ситуации появляются в конце процесса адвекции масс и после, имея протяжённость, ограниченную размерами зоны транстенсии. При этом в реконструированном поле напряжений зоны или области транстенсии ось наибольших сжимающих напряжений σ_3 может иметь ориентировку перпендикулярную или косую к простиранию гряды трубок, то есть неблагоприятную для приоткрывания разлома, параллельного гряде. Это лишний раз свидетельствует о том, что не разломы контролируют размещение трубок кимберлитов, а адвективные валы, развивающиеся при транстенсии.

Чем выше поднимается флюидизированная протокимберлитовая масса, тем более она расширяется, вновь и вновь компенсируя транстенсию. Происходит не только адвекция, но и дилатансия (расширение при сдвиге), увеличение диаметра трубки, что повышает разуплотнение. Лишь вверху адвективной колонны, когда прочность перекрывающей толщи не способна выдержать флюидное давление, происходит взрыв с образованием раструба (его морфология – это нижняя часть сферы). Трубки кимберлитовых брекчий весьма часто именуют трубками взрыва. Вместе с тем, геологической структурой, согласующейся с взрывом, является только верхняя часть тела в виде раструба (кратера, маара), а нижняя, трубообразная часть (диатрема) формируется до взрыва. Дело в том, что взрыв – весьма быстрое высвобождение свободной энергии с увеличением объёма, образует сферическую волну детонации [22]. Трубка не согласуется с этой волной. На морфологию трубок могут оказывать влияние разломы, но они не превращают их в протяжённые дайки. С волной детонации согласуются круглые или овальные в плане кратеры, где контакты кимберлитов имеют относительно пологие падения. Морфология трубки больше всего отвечает адвекции, подобно её выражению в тектонофизическом эксперименте (см. рис. 2, Г).

Дальнейшее обсуждение геодинамики и тектоники алмазоносных систем продолжим вместе с рассмотрением конкретных примеров их структур.

Элементы структур алмазоносных систем, их геодинамическая сущность и проблемы минерагенической таксономии. Проблемы таксономии неразрывно связаны с размерами, морфологией и структурой объектов. Они могут найти частичное решение при анализе генетической сущности объектов с позиций геодинамики. Объем понятия алмазоносное поле нельзя признать устоявшимся, который мог бы удовлетворять терминологии общей минерагении [20]. «Терминологическая опасность для науки – все равно, что туман для мореплавания», гласит крылатая фраза. Поэтому начнем с анализа геодинамики структурных элементов территорий, которые традиционно относят к алмазоносным полям.

Накынское поле (Якутия). Поле интересно тем, что для него, одного из немногих, была установлена важная роль сдвиговой тектоники и сопряжённой с ней транстенсии, предложена тектонофизическая интерпретация разрывной структуры [18]. Учитывая возникающее при транстенсии преобразование поля напряжений, предлагаем модель тектонофизического развития структурных элементов (рис. 4), несколько отличную от их интерпретации, данной П.И.Игнатовым. Основу структуры поля представляет зона транстенсии вдоль Диагонального разлома, возникшая за счёт левых сдвиговых усилий вдоль Ботуобинского разлома. Принимая за первичное поле напряжений то, которое было на северо-востоке Ботуобинского разлома (см. рис. 4, А, врезка а), мы вправе ожидать изменение осей напряжений при возникшей транстенсии (см. рис. 4, А, врезка б). При этом уменьшение всестороннего давления и за счёт этого возрастание касательных напряжений, достигающих предела длительной прочности кривой, «огибающей большие круги Мора» (см. рис. 4, А, врезка в), приводят к развитию новых разломов с соответствующими направлениями перемещений. С намеченной тектонофизической картиной вполне согласуются общие и частные черты структуры Накынского поля. Главной чертой является то, что вдоль линейной зоны транстенсии образовалась гряда кимберлитовых тел. Основными структурными элементами для неё явились не дайки в разломах, а трубки. Вместе с тем в Мархинском и Ботуобинском телах имеют место элементы жилообразной морфологии. Кроме того, трубка Майская после своего образования была смещена по близмеридиональному разлому как по левому сдвигу, входящему в зону Диагонального разлома (см. рис. 4, А, врезка г). Прерывистость его простирания может быть связана с близширотными правыми сдвигами. Эти новообразованные разломы, вероятно, потому и короткие, что зона транстенсии имеет ограниченную ширину.

Периодичность появления кустов трубок в пространстве имеет место, но осложнена наличием трещинных структур. Сближенные тела Д-96 и Ботуобинское с расстоянием между ними около 0,5 км следует рассматривать в составе одного куста. При этом одно из тел, используя трещину при внедрении, «размывает» чёткость длины волны в адвективной системе. Позиция жильного тела Мархинское может отвечать дополнительному телу, подобно полученному в тектонофизическом эксперименте в качестве поднятия второй генерации на расстоянии в полволны от волны периодичности трубок (см. рис. 2, Г). Появление трубок второй генерации можно считать вполне естественным. При адвекции в ограниченном, стеснённом пространстве появляются волновые гармоники более высокого порядка, приводящие к эффекту, который в теории нелинейных волн называется «инверсионной заселённостью». Это приводит к образованию сближенных и слившихся трубок в кустах. Если учесть отмеченные осложнения общей структуры, то выявится картина, характерная для кустов трубок в иных полях, а именно чередование с длиной волны около 2,7 км между кустами: однотрубочным Нюрбинским, «двухтрубочным»

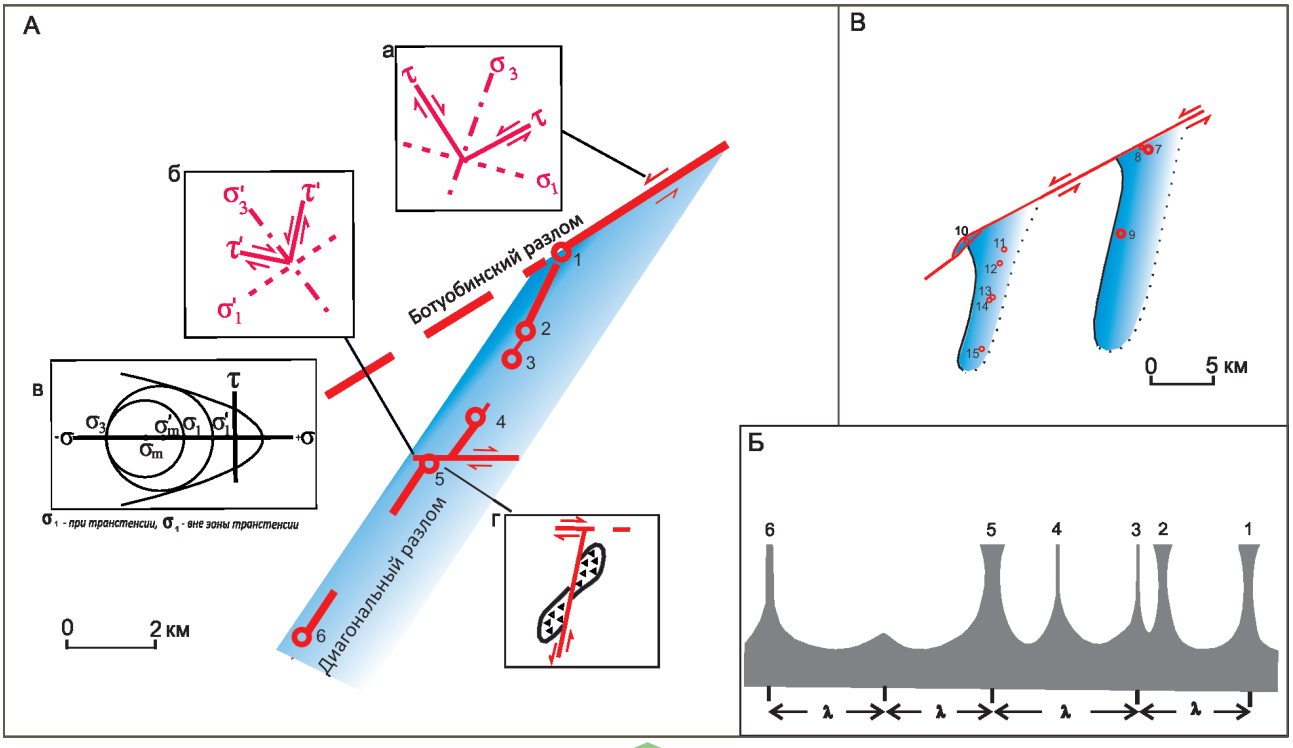


Рис. 4. Схема структуры и геодинамики алмазоносных полей Накынско-Мирнинской минерагенической зоны. *Составлена с использованием материалов* [18, 24]**:**

А – Накынское поле: цветом выделена проекция зоны транстенсии с её максимальной интенсивностью (тёмная часть); стрелки на разломах – направление сдвиговых усилий; врезки: а, б – поля тектонических напряжений: а – первичного, б – вторичного, преобразованного в зоне транстенсии, в – диаграмма Мора (огибающая большой круг – предел прочности); главные нормальные напряжения: σ_3 – алгебраически наименьшие (наибольшие сжимающие), σ_1 – алгебраически наибольшие, τ – касательные напряжения (штрихом обозначены напряжения вторичного поля); г – смещения трубки Майской по сдвигам; Б – схема развития гряды кустов трубок кимберлитов с волновой периодичностью (λ – длина волны) на адвективном валу мантийной массы; В – Мирнинский узел с двумя зонами-полями (грядами кустов трубок); кружки – кимберлитовые трубки и уплощённые тела: Нюрбинская (1), Д-96 (2), Ботуобинская (3), Мархинская (4), Майская (5), Озерная (6), Мир (7), Спутник (8), Дачная (9), Интернациональная (10), им. XXIII съезда КПСС (11), Амакинская (12), Ан-21 (13), Южная (14), Таёжная (15)

Д-96-Ботуобинским и Майским. К юго-западу от последнего на расстоянии двух волн (около 5,2 км) расположен Озерный куст. Это даёт основание к заключению, что главным фактором зарождения основания куста служили адвективные ячеи, расположенные по волновому закону через 2,6–2,7 км на валообразном поднятии (рис. 4 Б).

В Мирнинском районе (узле) ситуация напоминает соседство двух полей, аналогичных Накынскому, отстоящих друг от друга на 10 км, содержит близмеридианальный ряд трубок и кустов (см. рис. 4 В). Здесь от линии северо-восточного простирания, соединяющей трубки Интернациональная и Мир, которая соответствует позиции разлома с транстенсией вдоль него, распространены к югу две полосы шириной около 3 км с повышенной мощностью ранепалеозойских толщ [24]. Эти полосы могут отражать зоны транстенсии. К западной полосе приурочены кусты трубок Интернациональный, им.XXIII съезда, Амакинский, Южный, Таёжный, а к восточной – Мирный и Дачный. Расстояния между кустами составляют от 3,2 до 3,7 км в западной полосе, а в восточной 7,3 км, т. е. в два раза больше, отражая, очевидно, две волны.

Отмеченный ряд особенностей тектоники и геодинамики её развития присущ западной части Зимнебережной («Архангельской») минерагенической области, с той лишь разницей, что главными усилиями, обеспечивающими транстенсию, являются правые сдвиговые вдоль нарушений северо-западного направления, а не левые северо-восточные как в Якутии. С учётом продуктивности область может

рассматриваться в качестве суперрайона [6]. Традиционно на этой территории (рис. 5) выделялись алмазоносные поля Золотицкое (на западе), Черноозерское (с трубкой им. Гриба), Верхотинское (к востоку от него). Остальная часть территории относилась к Кепинскому полю. Из рисунка видно, что первые три поля соответствуют определённой зоне транстенсии, а Кепинская территория включает множество таковых.

Золотицкое поле имеет линейную форму с грядой кустов и трубок, подобно Накынскому полю. Оно представлено протяжённой на расстояние 14 км серией трубок, часть которых группируется в кусты, а другую часть составляют уединённые трубки («однотрубочные кусты»). Поле может соответствовать зоне транстенсиии и определяемому ею адвективному валу. От вала поднимается гряда кимберлитовых кустов (с севера на юг): 1) состоящий из трёх тел «трубок»: Первомайской, Белой, Кольцовской; далее однотрубочные: 2) Ломоносовский, 3) Поморский; 4) двухтрубочный Пионерский; 5) трёхтрубочный Карпинский; однотрубочные: 6) Архангельский, 7) Снегурочки. В телах кустов Пионерском и Карпинском присутствуют слившиеся воедино трубки. Расстояние между кустами с первого по пятый составляют по 2,3 км, а далее 1,8 и 2 км. Данные о размещении трубок заимствованы из рисунков работы [13]. Транстенсия способствует образованию разломов, которые влияют на морфологию трубок, вмещая короткие апофизы или приводя к удлинению трубок в плане. Вытянутость в близмеридианальном (север-северо-восточном) направлении имеют трубки Пионерская, Кольцовская, Белая, Поморская. Кроме того, от некоторых из трубок отходят апофизы в том же направлении (в трубках Снегурочка, Архангельская, Карпинского I, Карпинского II, Первомайская) [1]. При общем близмеридианальном простирании зоны кустов имеют место «скачки» её северных отрезков к западу, а южных к востоку. Это может указывать на возможные близширотные левые сдвиги или подобный по морфологии кулисообразный ряд зон транстенсии. При этом в близширотной гряде лишь трубка Октябрьская имеет слабовыраженное удлинение в этом направлении, а остальные тела изометричны. Из этого следует, что разломы не контролируют размещение трубок и кустов, а развиваются после их образования, отражая лишь поле напряжений в зонах транстенсии.

Общая структура всех полей даёт основание предполагать наличие общей транстенсии на территории Зимнебережного района. Транстенсия может быть связана с крупным правосторонним сдвигом северо-западного простирания, проходящим вдоль прямой линии, которая ограничивает с северо-востока Кольский полуостров, с юго-запада Мезенскую губу, уходит к юго-востоку вдоль нижнего течения р. Мезень, далее р. Вашка. К юго-западу от такого сдвига ширина зоны транстенсии может составить не менее 200 км, способствуя развитию кустов и трубок. На юге с ней же, вероятно, связаны киммеллититы Ижмозерского поля. В такой обстановке на территории Зимнебережного района в области транстенсии ось главных нормальных напряжений σ_1 генерализованного поля напряжений будет ориентирована в северо-западном направлении, а траектории максимальных касательных напряжений τ_{max} ориентированы в близмеридианальном (правые сдвиги) и близширотном (левые сдвиги) направлениях. Помимо сдвигов в них могла присутствовать обстановка растяжения и транстенсия.

Изложенное позволяет вернуться к обсуждению проблемы таксономии. Существующая систематизация алмазоносных таксонов недостаточно учитывает геодинамику как алмазообразования, так и подъёма глубинных масс к поверхности Земли. Подъём происходит во фрактальной системе, когда на одном поднятии вырастает серия более мелких, а на каждом из них – серия ещё более мелких, заканчивающихся трубками, сопровождаясь последовательным снижением вязкости во фракталах. При минерагеническом анализе желательно определять, какому фракталу генетически детерминированной системы соответствует таксон определённого масштаба. В то же время в минерагенической таксономии присутствуют другие таксоны, выделенные по чисто прагматическому принципу, соответствующие системы которого не обладают закономерностями структуры и размещения первых. Рассмотрим таксоны от мелких фракталов системы к крупным.

В.И.Ваганов отмечал, что разработке прогнозно-поисковой модели куста «уделялось явно недостаточно внимания» [12] При этом к единому кусту относилась вся Золотицкая группа трубок, которую мы (как и ранее А.Д.Харькив, В.К.Гаранин) представили в качестве поля-зоны, или серии ячей на адвективном валу. Рассмотрим проблему подробнее. Соотношение куста и трубки может быть разным. На одной адвективной ячее, определяющей куст, может вырасти две, даже три сближенных или слившихся трубки, при адвекции дающие апофизы в разломы, например, тела Пионерская, им. Карпинского-2 в Золотицком поле, Айхал в Якутии. Именно такому кластеру трубок более всего подходит термин куст (по аналогии с кустом смородины с одним или сближенными корнями). Трубки в кусте могут объединяться в единое с пережимами уплощённое тело. Позицию куста в ряде случаев может занимать всего

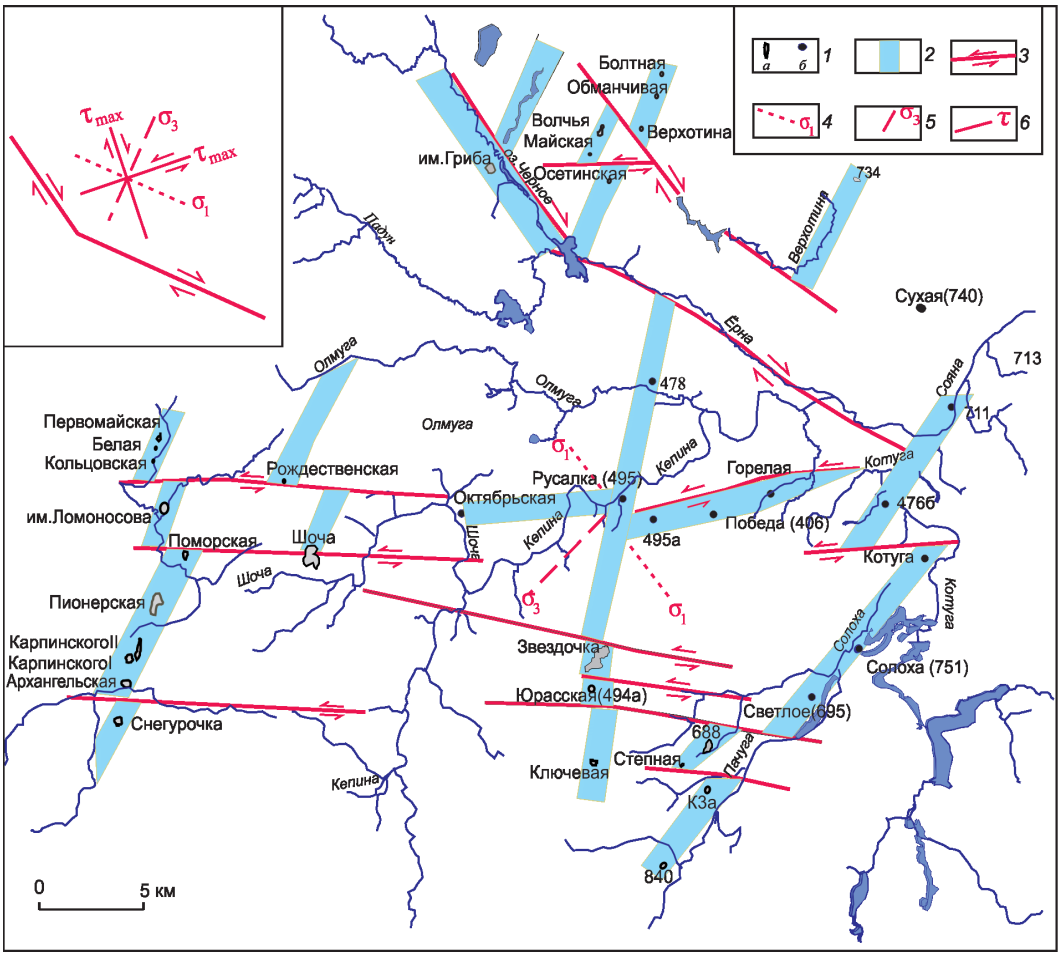


Рис. 5. Схема структуры и геодинамики Зимнебережного алмазоносного суперрайона. *Составлена с использованием материалов* [1, 13]**:**

1 – кимберлитовые тела с указанием их морфологического контура (*а*) и без (*б*); *2* – проекции зоны транстенсии в фундаменте (в условных границах); *3* – разломы и направление сдвиговых усилий: *4–5* – траектории осей главных нормальных напряжений: *4* – алгебраически наибольших («растягивающих»), *5* – алгебраически наименьших (наибольших сжимающих); *6* – траектории наибольших касательных напряжений; на врезке: схема поля напряжений при транстенсии, возникшей в результате правосдвиговых усилий по разлому р. Ёрна вблизи трубки им. Гриба

лишь одна трубка («однотрубочный» куст). Такое деление мелких алмазоносных таксонов необходимо принять. Иначе, изучая волновую периодичность размещения, мы будем измерять расстояния между системами разного масштаба. Куст – аналог месторождения, а в нём отдельные трубки как рудные тела, имеющие природные ограничения. Не всегда такой принцип используется на практике. В Золотицком поле месторождение им. Ломоносова включает серию удалённых трубок, объединённых вместе по экономическим соображениям. Экономический принцип не соответствует минерагеническому, учитывающему геодинамику.

Изложенный материал показывает, что для всех территорий Якутии и Архангельской области характерной чертой кимберлитовых кустов является их периодическое повторение вдоль линий через расстояния порядка 2–3 км или кратное ему. Учитывая трубчатую, а не дайковую морфологию тел, можно утверждать, что данное явление обусловлено волнообразным размещением ячеистых поднятий на линейном адвективном валу. Процесс связан, прежде всего, с декомпрессией и дилатансией поднимающихся кимберлитовых флюидолитов в обстановке транстенсии до вулканического взрыва. То есть зарождение куста фиксирует обстановку адвекции,

соответствующей переходу от первого критического числа Рэлея ко второму. Этот физический рубеж, или синергетическая точка бифуркации, в смене типа структур адвекции (линейной на ячеистую), то есть новой закономерности в размещении трубок, вполне заслуживают того, чтобы принять за переход минерагенических таксонов от поля (зоны) к кустам трубок (ячей). Иначе говоря, термин куст не следует применять, если серия трубок образует гряду протяжённостью более 3–4 км.

Особую проблему в минерагеничекской таксономии алмазоносных систем вызывает подход к выделению алмазоносного поля и вытекающая из этого его сущность. Например, В.И.Ваганов [12] алмазоносное поле определил как естественную группировку пространственно сближенных кимберлитовых тел, связанных происхождением с единой вертикальной «стволовой» зоной повышенной проницаемости (флюидно-магматической колонной). В качестве примера предложил Алакит-Мархинскую территорию протяжённостью 80 км, которая в центре обладает минимальной температурой с двумя максимумами по сторонам.

Другой принцип использован при разделении области Зимнего берега на территории с эндогенными образованиями разных петрохимических серий железо-титанистой в Кепинском, Черноозерском, глиноземистой в Золотицком и Верхотинском полях [13, 28]. При этом независимо от петрохимии пород месторождения присутствуют в Золотицком (им. Ломоносова) и Черноозерском (им. Гриба), а убого алмазоносные в других полях обладают столь же разной петрохимией. Такое деление правомерно и интересно, но присвоение территориям статуса алмазоносного поля не для всех территорий приемлемо, прежде всего, по их размерному параметру. Например, Кепинское поле имеет площадь порядка 1200 км^2, Черноозерское около 240 км^2 [13]. Такие площади нарушат масштабный подход к объектам в прогнозно-поисковых работах, основательно противореча параметрам рудного поля. В Словаре [27] рудное поле определяется как рудоносная площадь с месторождениями, объединёнными общностью происхождения и единством геологической структуры. Площадь рудных полей колеблется от нескольких до десятков км^2.

В существующей таксономии алмазоносных объектов недостаточно используется критерий, позволяющий более определённо связать структуру вмещающей среды с локализацией алмаза. Указание на пересечение разломов как на повышенную проницаемость недостаточно. Для традиционного алмазоносного поля типа Кепинского более подходит наименование узел или алмазоносный район как сочетание нескольких зон-полей размером до 10–15 км, в каждом из которых присутствуют кусты трубок, закономерно чередующиеся вдоль одного или нескольких направлений. Это не противоречит принципу общей минерагенической таксономии при объединении сближенных полей в узел или район [6, 20]. То есть в качестве основного геодинамического фактора образования алмазоносного поля надо признать транстенсию, а её выражением структуры пулл-апарт в сочетании с системой разрывов, характерных для её поля напряжений на территории с протяжённостью до 10–15 км.

Сложную структуру распределения кустов кимберлитовых трубок имеет Далдыно-Алакитский район Якутии. Территории, названные Далдынским (30×35 км) и Алакитским (25×40 км) алмазоносными полями, по своим размерам соответствуют двум или более узлам, а внутри них кластеры трубок могут объединяться в поля со своими контролирующими их структурными элементами (рис. 6). Узлы характеризуются сочетанием нескольких зон разного простирания, вдоль которых размещаются гряды трубок. Общая площадь такого сочетания может быть ограничена условным овальным контуром. Его природа точно не определена. Вероятнее всего, она соответствует начальным фазам ячеистой адвекции, подобно гнейсовым куполам. По размерам и продуктивности территория этих двух узлов вполне удовлетворяет требованиям, чтобы отнести её к суперрайону [6]. Здесь намечаются три главных направления линеаментов: северо-восточного и близмеридианального простирания, по которым происходят левые сдвиги (подобно Накынскому полю), и близширотные с неясной геодинамикой. Длина волны между кустами меняется, но даёт статистический максимум около 3 км, что сходно с иными рассмотренными полями.

Узлы образуют гряды вдоль крупных линейных зон, которые соответствуют понятию «минерагеническая зона». Наиболее ярким их примером служит Далдыно-Оленёкская зона, простирающаяся по азимуту 34° на северо-востоке и примерно 40° на юго-западном (Чадобецко-Далдынском) продолжении, имея среднюю ширину около 100 км (рис. 7). К юго-востоку от неё проходит аналогичная Накынско-Мирнинская зона, имеющая азимут простирания 33° на северо-востоке и примерно 41° на юго-западном своём продолжении. Это изменение простирания зон приводит к важным следствиям. При левых сдвиговых усилиях в их северо-восточных частях создаётся обстановка транстенсии, подобно pull-apart. Именно к этим северо-восточным отрезкам зон приурочены многочисленные кимберлитовые поля. Кроме того, в этой обстановке естественно появление иных зон транстенсии, где северо-восточные левые сдвиги сочетаются с нарушениями близ-

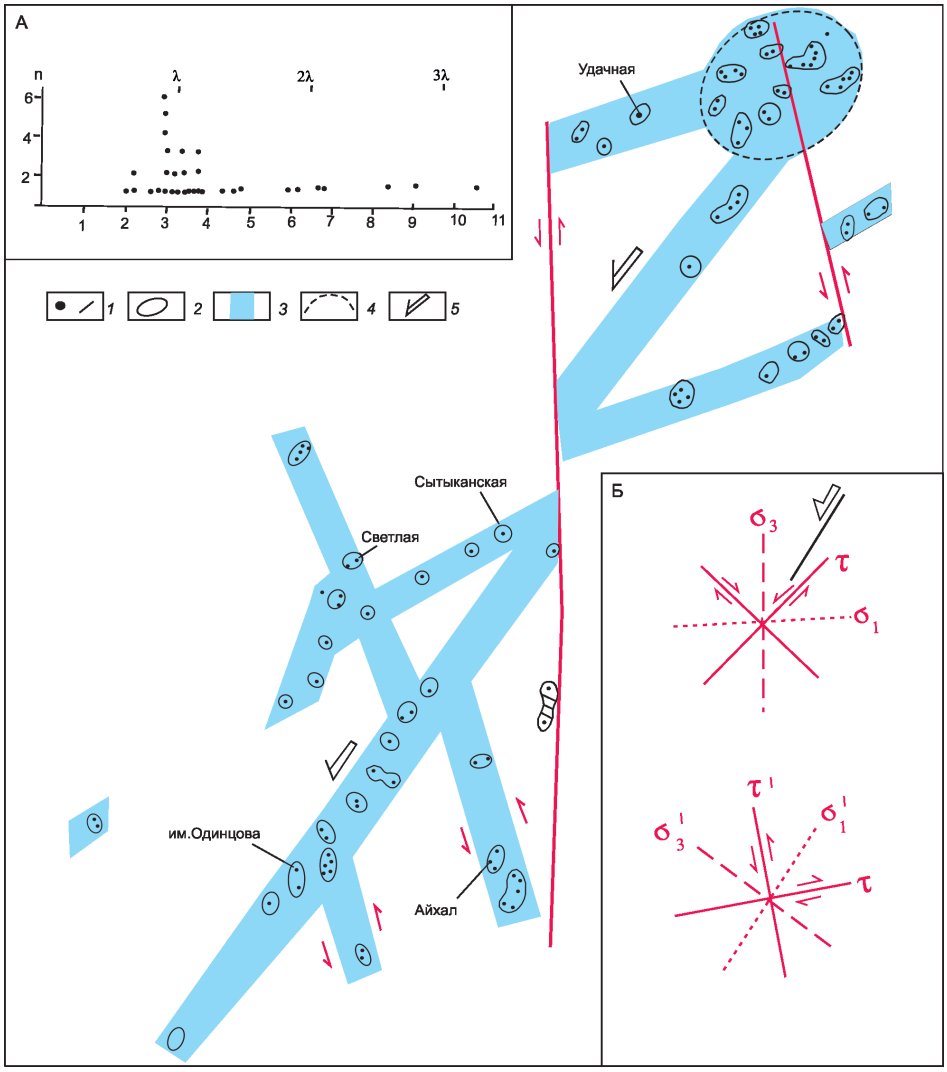


Рис. 6. Схема структуры и геодинамики Далдыно-Алакитскго суперрайона Якутии. *Составлена с использованием материалов* [19, 30]**:**

1 – трубки (а), дайки (б); условные контуры: *2* – кустов трубок, *3* – зон транстенсии, *4* – алмазоносного поля трубки Зарница; *5* – направление сдвиговых перемещений в Далдыно-Оленёкской зоне; см. условн. обозн. к рис. 5; врезки: А – гистограмма расстояний между кустами трубок (*n* – число наблюдений, λ – длина адвективной волны), Б – схема полей напряжений: вверху первичного, внизу вторичного, обусловленного транстенсией при левосдвиговых усилиях вдоль Далдыно-Оленёкской зоны

меридианального простирания. Судя по тектонике Анабарского щита, в архейских толщах много разломов север-северо-западного (близмеридианального) простирания. Их наследование вполне могло обеспечить транстенсию, определившую адвекцию глубинных алмазоносных масс. Это и привело к появлению многочисленных кимберлитовых полей в Муно-Попигайской зоне с азимутом её простирания около 335°. Весьма примечательно, что к югу от Мунского поля, там, где могла продолжаться эта зона, между Далдыно-Оленёкской и Накынско-Мирнинской зонами, алмазоносных кимберлитовых полей не установлено. И не случайно. Промежуток между этими зонами соответствует той части мантии, куда не доходили зоны субдукции с алмазоносными массами (см. рис. 2, А). То есть транстенсия здесь может быть, но отсутствуют разуплотнённые массы с экзогенным источником алмаза, принудительно погруженные при субдукции. Наоборот, наиболее погруженные части зон субдукции при инверсии, инициированной восходящей ветвью конвекции, и последующей адвекции превращаются

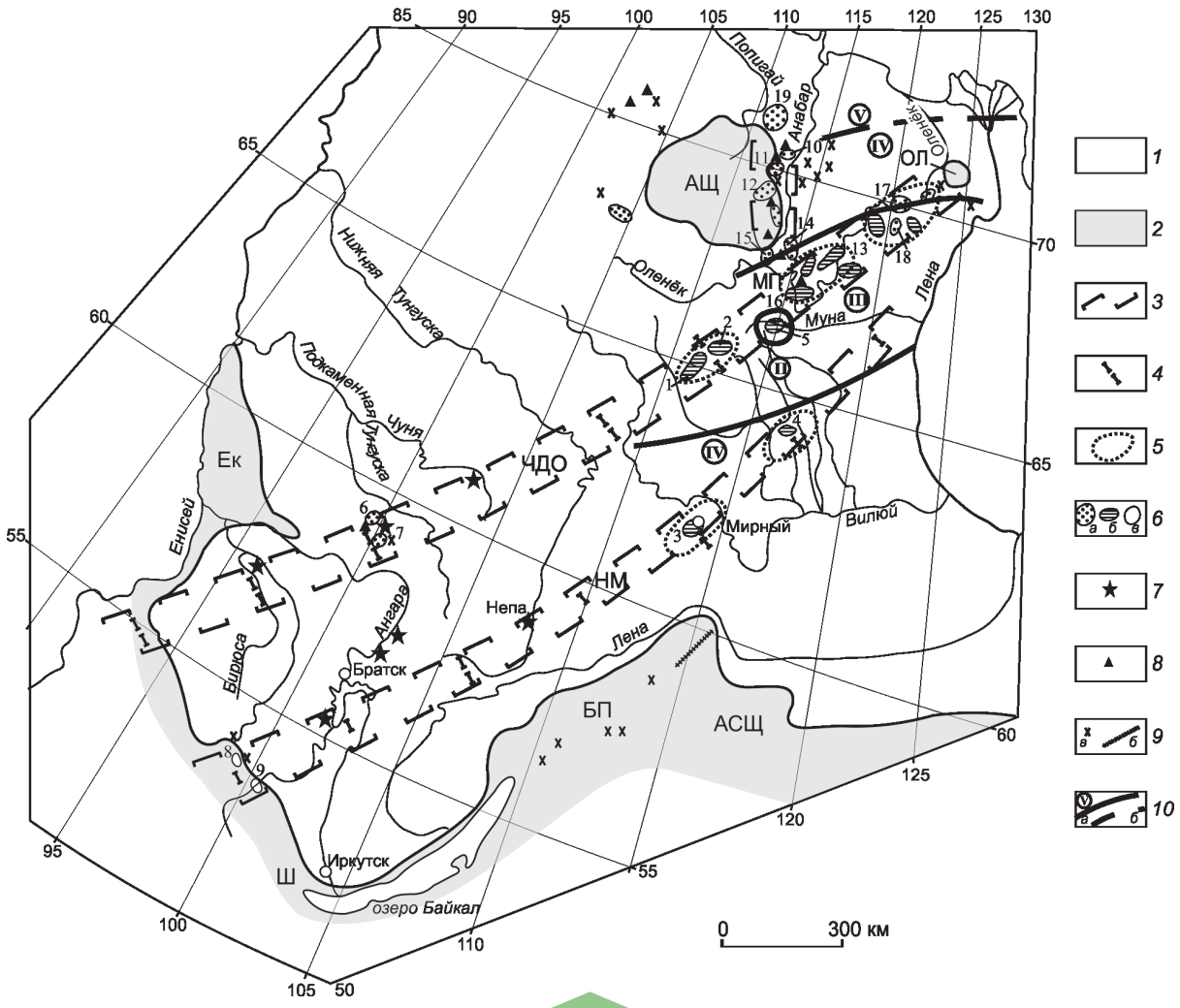


Рис. 7. Схема позиции и структуры Якутской минерагенической провинции в Сибирской мегапровинции:

1 – чехол Сибирской платформы; *2* – области выходов архей-раннепротерозойских гранулитов и гранит-зеленокаменных блоков (щиты и их фрагменты): Анабарский (АЩ), Оленёкский фрагмент (ОЛ), Алдано-Становой (АСЩ), Шарыжалгайский (Ш), фрагмент Енисейского кряжа (Ек); Байкало-Патомский шарьяж докембрийских толщ (БП); *3* – контуры минерагенических зон: Чадобецко-Далдыно-Оленёкской (ЧДО), Накынско-Мирнинской (НМ), Муно-Попигайской (МП); *4* – наиболее благоприятная позиция для проявления адвекции мантийных масс в минерагенических зонах при длине волны λ≈300 км; *5* – приблизительные контуры суперрайонов; *6* – контуры алмазоносных районов и полей с кимберлитами и родственными породами мезозойского (*а*), палеозойского (*б*), допалеозойского (*в*) возрастов: (Алакит-Мархинского (1), Далдынского (2), Мирнинского (3), Накынского (4), Мунского (5), Тайчикуно-Нембинского (6), Чадобецкого (7), Белозиминского (8), Окинского (9); Орто-Ыаргинского (10), Нижнекуонапского (Староречeнского (11), Среднекуонапского (12), Восточно-Укукитского (13), Западно-Укукитского (14), Куранахского (Малокуонапского) (15), Чомурдахского (16), Куойского (17), Молодинского (18), Попигайского (19); *7* – присутствие алмазов в аллювии; *8* – тела карбонатитов; *9* – тела щелочного и щелочно-ультраосновного составов: *а* – массивы, *б* – пояс даек лампрофиров средне-позднекаменноугольного возраста; *10* – условные границы зон, в которых главные популяции алмаза из тел кимберлитов (*а*) и из россыпей (*б*) характеризуются наиболее высокими (II), промежуточными (III, IV) и относительно низкими (V) температурами образования

в минерагенические зоны. Их удлинённая морфология свидетельствует о валообразной адвекции (при первом критическом числе Рэлея), то есть малой величине неустойчивости, а отсюда малой скорости подъёма. Но на адвективном валу появлялись волнообразные короблення, подобно тому, как в тектонофизической модели адвекции в начальные её фазы (см. рис. 2, Г). Об этом же свидетельствуют всплески кимберлитового вулканизма или проявления их признаков (алмазы в россыпях) через сходные расстоя-

ния около 300 км. Примером тому служат расстояния между суперрайонами Мирнинский и Накынский в Якутии, серединами областей Зимнего и Терского берега в Европе и иные [6, 10]. С учётом этого в 300 км к юго-востоку от Зимнего берега можно предполагать наличие проявлений кимберлитового вулканизма, скрытых под карбон-триасовыми толщами в бассейне р. Пинега (см. рис. 8). При чередовании других фракталов длина волны будет заведомо меньшей: в процессе развития адвекции и подъёме алмазоносной массы к основанию алмазоносных узлов порядка 60 км, а между полями порядка 10–15 км или при иной длине волны. На этих стадиях процесса конвекции (адвекции) возрастает неустойчивость системы, превышая первое R_1 критическое число Рэлея, но ко второму числу R_2 приближается лишь при адвекции от основания кустов в виде трубок, то есть при длине волны порядка 2–4 км.

Крупные фракталы алмазоносной системы, зарождающиеся в связи с волновым развитием адвекции, но при относительно малых амплитудах волн, могут быть оконтурены только условно в соответствии с присущей им длиной адвективной волны, если не имеется убедительного материала по конкретным проявлениям кимберлитов с алмазами. Обратим внимание на некоторые особенности наиболее крупных систем, а именно провинций, их позицию, геодинамическую сущность в тектонике платформ.

В существующей алмазоносной таксономии термин провинция чрезвычайно расплывчат. Провинция обычно сопоставляется с территорией платформы [12], но при этом порой рассматривается в масштабах всего континента (Африка), а в других случаях провинцией называют весьма малую часть платформы («Архангельская алмазоносная провинция») [1, 11]. Как показано в начале статьи, алмазоносной минерагенической провинции соответствует та часть платформы, которая расположена над одной из нескольких конвективных ячей фундамента платформы, при развитии которой в связи с субдукцией произошло образование алмаза. Этим минерагеническая провинция отличается от просто алмазоносной, на территории которой могут присутствовать алмазы в россыпях, принесённые издали. Минерагеническая алмазоносная провинция может быть оконтурена по проявлениям карбонатитов с УЩК, которые в её зональной структуре занимают периферическую позицию [9].

Провинциальный ранг минерагенических таксонов по их размерам предлагается делить на три условные категории: первая – минерагеничские мегапровинции с размером 2–3 тыс. км (Сибирская, Восточно-Европейская платформы); вторая – минерагенические провинции размером. 0,8–2 тыс. км (Беломоро-Северодвинская, Якутская). Они входят в мегапровинции как их составные части, например, в Восточно-Европейскую мегапровинцию входит Беломоро-Северодвинская (рис. 8) и расположенная к западу от неё алмазоносная Висла-Ботническая провинции [10]. Сибирскую платформу (мегапровинцию) чаще рассматривают как минерагеническую провинцию [12]. Однако другие знатоки алмазной геологии выделяли в ней на северо-востоке Якутскую алмазоносную минерагеническую провинцию [16, 31]. Западная часть платформы выделится в провинцию Тунгусской синеклизы, а на юге Ангарскую. Разделение мегапровинций и провинций важно тем, что, проводя прогнозно-минерагенические исследования, необходимо учитывать, что в фундаменте платформ находятся образования разных конвективных ячей со своими особенностями минерагении и между ячеями нет оснований ожидать наличия алмазов в трубках кимберлитов.

Третья категория провинциального ранга таксонов – минерагенические субпровинции размером 400–600 км. К ним относится особый тип алмазоносных систем с очень мелкими алмазами, рассеянными в апоосадочных метаморфических толщах (месторождение Кумды-коль, Северный Казахстан). Особенность субпровинции не только в вещественном составе алмазоносной среды и типе алмазов, но и в позиции. Тенгизская субпровинця (названа по наименованию озера в её центре) расположена на севере Казахстанской провинции, которая не является платформенной. Ордовикские толщи с алмазами фактически являются фундаментом по отношению к среднепалеозойской ячеистой провинции. Особенности субпровинции, сочетающие взаимосвязь её размера (0,5–0,6 тыс. км), глубины субдукции и времени развития, повлиявшие на главные черты алмазной минерагении, рассмотрены ранее [3]. Проблемы образования алмаза из его источника напрямую связаны с проблемами происхождения фундамента минерагенических провинций и субпровинций.

Последующий транспорт алмаза вверх происходит сначала в крупных структурах. Среди них главную роль играют линейные адвективные поднятия (валы), признаки которых фиксируются по минерагеническим зонам. Такие зоны располагаются параллельно и вблизи длинной оси эллипсовидного контура провинции: в Якутской провинции имеют северо-восточное простирание, а в Беломоро-Северодвинской – северо-западное. В зависимости от простирания первые две зоны левосдвиговые, а вторые две правосдвиговые. Правосдвиговые усилия вдоль нарушений северо-западного простирания приводят к транстенсии, в которой образуются близщи-

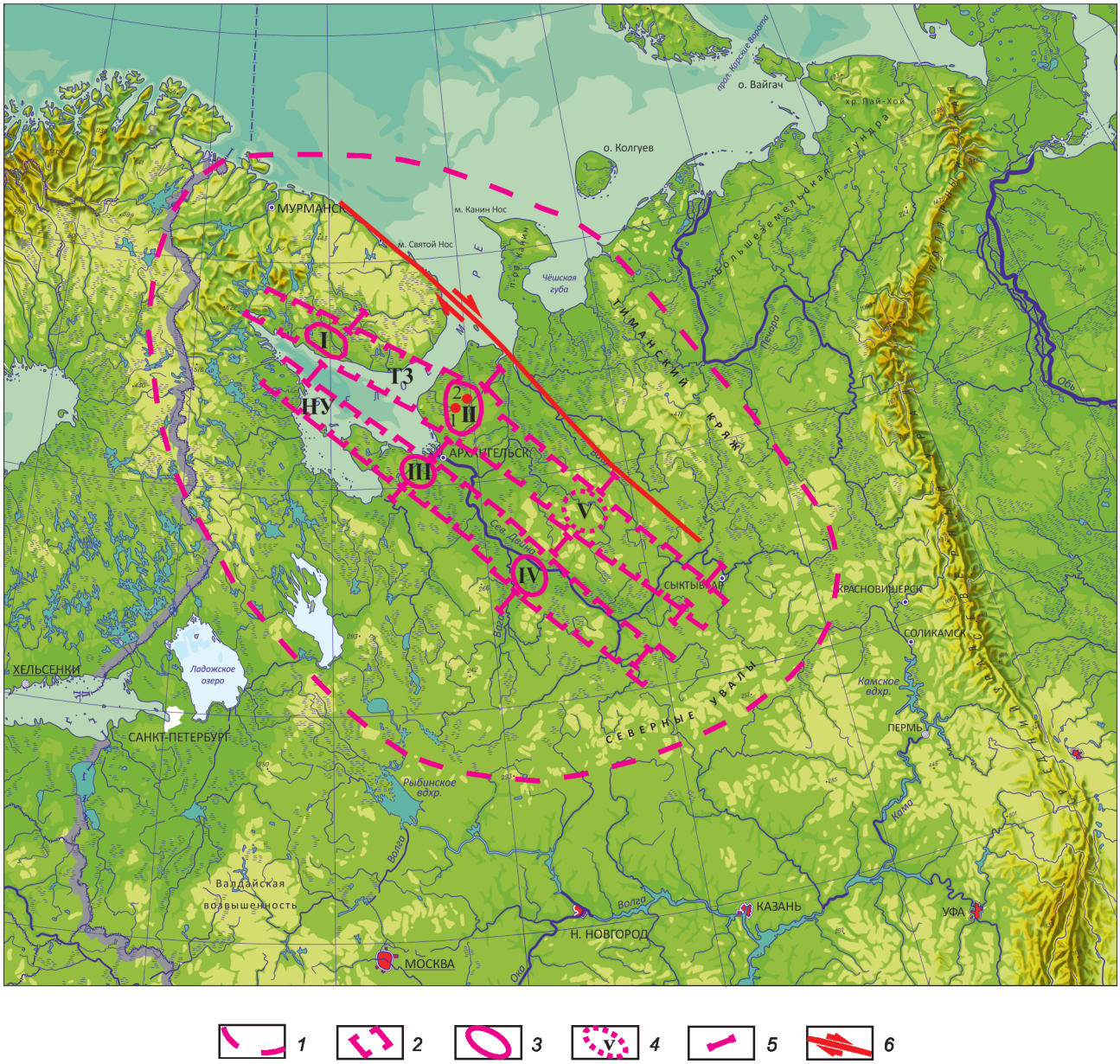


Рис. 8. Схема позиции и структуры Беломоро-Северодвинской минерагенической провинции:

1 – контур провинции; *2* – минерагенические зоны: Терско-Зимнебережная (ТЗ), Нёнокско-Устьянская (НУ); *3* – контуры алмазоносных районов и суперрайонов: Терского (I), Зимнебережного (II) с месторождениями им. Ломоносова (1) и им. Гриба (2), Нёнокского (III), Устьянского (IV); *4* – позиция прогнозного района (V) под карбон-триасовой толщей; *5* – наиболее благоприятная позиция для проявления адвекции мантийных масс в минерагенических зонах; *6* – сдвиг, инициирующий транстенсию в Зимнебережном суперрайоне

ротные левые и близмеридианальные правые сдвиги. Это отчётливо отражается на резких поворотах коротких близмеридианальных и близширотных отрезков рек Северная Двина, Пинега (кроме низовий), имеющих в целом северо-западное направление русел. Они же, как показано выше, намечены в Зимнебережном районе по смещениям гряд кустов в алмазоносных полях.

Примечательно и другое. Минерагенические зоны образуют пары. В Якутии это Далдыно-Оленёкская и Накынско-Мирнинская, а в Беломоро-Северодвинской провинции – Терско-Зимнебережная и Нёнок-

ско-Устьянская. Каждую пару вместе с разделяющей их зоной предложено выделять в качестве минерагенического пояса или мегапояса: Кандалакшско-Двинский пояс в Беломоро-Северодвинской провинции, Усть-Илимск-Нижнеленский мегапояс в Сибирской мегапровинции [10]. При этом обе минерагенические зоны Усть-Илимск-Нижнеленского мегапояса при левых сдвиговых усилиях создают обстановку транстенсии по механизму пулл-апарт там, где их простирание отклоняется в сторону меридиана. Кроме того, позиция каждой из минерагенических зон фиксирует глубинный контрастный переход нисходящих мантийных масс краевых зон субдукции в восходящие движения центральной (осевой) части конвективной системы. Зона восходящих масс между минерагеническими зонами характеризуется двумя особенностями. Во-первых, в ней отсутствуют алмазоносные кимберлиты, что уже отмечалось выше по ситуации к югу от Мунского поля, обладающего наиболее глубинными в Якутии алмазами [10]. Во-вторых, в Беломоро-Северодвинской провинции её осевая зона характеризуется рифтогенезом, который за счёт изостатической компенсации восходящего притока плотных глубинных масс приводит к углублению дна Белого моря вдоль Кандалакшской губы. Массы осевой зоны блокируют зоны субдукции, подходяшие к ним с двух сторон, вовлекают их в восходящий поток первичную геодинамическую основу доставки алмаза главных минерагенических зон провинции.

Последующие сдвиговые усилия или перемещения по главным зонам создают обстановку пулл-апарт, которая способствует развитию транстенсии и развитию структур близмеридианального простирания. Такой обстановке соответствует Мунско-Попигайская алмазоносная минерагеническая зона Якутии. Примечательно, что именно в этой зоне кимберлитовый вулканизм начался лишь в мезозое, тогда как в основной зоне Далдыно-Оленёкской, в которой сдвиговые усилия определили начальное развитие транстенсии, кимберлитовый вулканизм проявился уже в среднем палеозое. Очевидно, что адвекция в Далдыно-Оленёкской зоне началась раньше, и это связано с тем, что подъём алмазоносных масс развивается сначала рядом с восходящими массами конвективной ячеи, с которой были связаны зоны субдукции. Транстенсия наступает позже, при сдвиговых усилиях, способствуя всё больше и больше адвекции глубинных масс по мере их подъёма.

Итак, в сложнейшей от природы геологии алмаза, скрытой на больших глубинах от наблюдателя, геодинамический подход позволяет ближе подойти к решению многих проблем минерагении, к генезису не только алмазов, но и карбонатитов, находящихся в определённых соотношениях с ними. Построение моделей доставки алмаза из глубин, включая причины, условия их подъёма, структуру транспортирующей системы, необходимо сопровождать тектонофизическим анализом. Такой анализ помогает не только глубже познать сущность исследуемого объекта, но и уберечь от неоправданных допущений, например, предположений о наличии алмазоносных кимберлитов во внешнем контуре зоны карбонатитов Сибири. Исследование геодинамики фрактальной структуры алмазоносных систем даёт возможность совершенствовать их минерагеническую таксономию и конкретизировать её терминологию, используемую в прогнозно-поисковых целях при районировании территорий и применении критериев прогноза. К одному из них относится критерий пространственной периодичности алмазоносных систем, имеющий под собой волновую геодинамическую основу и выражение в реальной геологии. Его, особенно в отношении кустов трубок, следует шире использовать в практике, учитывая при этом возможные естественные осложнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андросов Е.А., Вержак В.В., Ларченко В.А., Минченко Г.В.* О структурном контроле размещения кимберлитовых тел (на примере Архангельской алмазоносной провинции) // Геология алмазов – настоящее и будущее. – Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 2005. – С. 31–43.
2. *Атлас* офицера. – М.: Военно-топографическое управление, 1974. – 394 с.
3. *Барышев А.Н.* Иерархия конвективных геологических систем и их минерагеническое значение // Отечественная геология. – 2017. – № 1. – С. 19–27.
4. *Барышев А.Н.* О критериях сопряженности трещин при реконструкции тектонических полей напряжений // Известия АН СССР серия геологическая. – 1979. – № 10. – С. 145–150.
5. *Барышев А.Н.* Периодические геодинамические и металлогенические системы, их развитие и взаимодействие. – М.: ЦНИГРИ, 1999. – 263 с.
6. *Барышев А.Н.* Периодическое размещение алмазоносных систем и смежные проблемы геологии алмазов // Отечественная геология. – 2006. – № 6. – С. 20–35.
7. *Барышев А.Н.* Субдукция и проблемы ее палеореконструкций // Отечественная геология. – 2004. – № 2. – С. 50–62.
8. *Барышев А.Н., Хачатрян Г.К.* Влияние тектонического поля напряжений на механизм роста, структуру алмаза в связи с общей геодинамикой алмазообразования. // Отечественная геология. – 2015. – № 12. – С. 46– 60.

9. *Барышев А.Н., Хачатрян Г.К.* Минерагеническое и геодинамическое значений типов популяций алмаза // Отечественная геология. – 2017. – № 6. – С. 3–13.
10. *Барышев А.Н., Хачатрян Г.К.* Минералого-геохимический и геодинамический системный подход к анализу алмазоносности и минерагеническому районированию платформ // Отечественная геология. – 2018. – № 4. – С. 90–103.
11. *Богатиков О.А.,Гаранин В.К., Кононова В.А.* и др. Архангельская алмазоносная провинция. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 522 с.
12. *Ваганов В.И.* Алмазные месторождения России и мира (основы прогнозирования). – М.: ЗАО Геоинформмарк, 2000. – 371 с.
13. *Гаранин В.К, Криулина Г.Ю., Гаранин К.В., Самосоров Г.Г.* Архангельские алмазы. Новые данные. – М.: ИП Скороходов В.А., 2018. – 232 с.
14. *Гзовский М.В.* Основы тектонофизики. – М.: Наука, 1975. – 536 с.
15. *Гончаров М.А.* Инверсия плотности в земной коре и складкообразование. – М.: Недра, 1979. – 246 с.
16. *Дукардт Ю.А., Борис Е.И.* Контроль кимберлитового вулканизма Якутской алмазоносной провинции палеорифтовыми структурами // Отечественная геология. – 1996. – № 10. – С. 28–34.
17. *Елисеев Н.А.* Метаморфизм. – М.: Недра, 1963. – 428 с.
18. *Игнатов П.А.* Методы обнаружения скрытых рудоконтролирующих структур в осадочных толщах на примере месторождений урана и алмазов // Фундаментальные проблемы геологи полезных ископаемых и металлогении. – М.: Изд-во МГУ, 2010. – Т. 1. – С. 169–187.
19. *Илупин И.П.* Кимберлиты Якутии – линейное расположение трубок и вещественный состав // Руды и металлы. – 2003. – № 5–6. – С. 60–68.
20. *Обзор* геологических понятий и терминов в применении к металлогении // Под ред. Е.Т.Шаталова. – М.: Изд-во АН СССР. – 1963. – 182 с.
21. *Петрографический* кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Издание второе, переработанное и дополненное. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. – 200 с.
22. *Покровский Г.И.* Взрыв. – М.: Недра, 1973. – 182 с.
23. *Портнов А.М.* Флюидный диапиризм как причина формирования кимберлитовых трубок и карбонатитовых массивов // Докл. АН СССР. – 1979. – Т. 246. – С. 416–420.
24. *Проценко Е.В.* Структурно-тектонические закономерности локализации алмазоносных кимберлитовых полей в пределах Вилюйско-Мархинской минерагенической зоны (Западная Якутия) // Автореф. дисс. … канд. геол.-минер. наук. – М., 2020. – 23 с.
25. *Рамберг Х.* Моделирование деформаций земной коры с применением центрифуги. – М.: Мир, 1970. – 224 с.
26. *Рамберг Х.* Сила тяжести и деформации в земной коре. Перевод с англ. // Под ред. В.В.Белоусова, А.Б.Ефимова. – М.: Изд-во Недра, 1985. – 399 с.
27. *Российский* металлогенический словарь. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2003. – 320 с.
28. *Саблуков С.М.* Вулканизм Зимнего Берега и петрологические критерии алмазоносности кимберлитов // Автореф. дисс. … канд. геол-минер. наук. – М., 1995.
29. *Сычева-Михайлова А.М.* Механизм тектонических процессов в обстановке инверсии плотности горных пород. – М.: Изд-во Недра, 1973. – 136 с.
30. *Харькив А.Д., Зинчук Н.Н. Крючков А.И.* Коренные месторождения алмазов мира. – М.: Изд-во Недра, 1998. – 555 с.
31. *Харькив А.Д., Зуенко В.В., Зинчук Н.Н., Крючков А.И., Уханов В.А., Богатых М.М.* Петрохимия кимберлитов. – М.: Изд-во Недра, 1991. – 304 с.
32. *Хачатрян Г.К.* Азот и водород в алмазах мира как индикаторы их генезиса и критерии прогноза и поисков коренных алмазных месторождений // Автореф. дисс. … д-ра геол.-минер. наук. – М., 2016. – 48 с.
33. *Холодов В.Н.* Песчаный диапиризм – новая сторона катагенетических процессов. Ст. II. Механизм образования и геологическое значение песчаных даек и «горизонтов с включениями» в миоцене Восточного Предкавказья // Литология и полезные ископаемые. – 1978. – № 5. – С. 52–63.
34. *Sharp W.E.* A plate tectonic origin for diamond-bearing kimberlites // Earth and Planetary Science Letters. – 1974. – Vol. 21. – № 4. – P. 351–354.

REFERENCES

1. *Androsov Ye.A.., Verzhak V.V. Larchenko V.A., Minchenko G.V.* O strukturnom kontrole razmeshcheniya kimberlitovykh tel (na primere Arkhangel'skoy almazonosnoy provintsii) [On structural control of the placement of kimberlite bodies (on the example of the Arkhangelsk diamondiferous province)]. Geologiya almazov – nastoyashcheye i budushcheye. Voronezh: Izd-vo Voronezhskogo un-ta publ. 2005. P. 31–43.
2. *Atlas* ofitsera [Officer's Atlas]. Moscow, Voyenno-topograficheskoye upravleniye, 1974. 394 p.
3. *Baryshev A.N.* Iyerarkhiya konvektivnykh geologicheskikh sistem i ikh mineragenicheskoye znacheniye [Hierarchy of convective geological systems and their mineragenic significance]. Otechestvennaya geologiya. 2017. No. 1. P. 19–27.
4. *Baryshev A.N.* O kriteriyakh sopryazhennosti treshchin pri rekonstruktsii tektonicheskikh poley napryazheniy [On the criteria for conjugation of cracks in the reconstruction of tectonic stress fields]. Izvestiya AN SSSR seriya geologicheskaya. 1979. No. 10. P. 145–150.
5. *Baryshev A.N.* Periodicheskiye geodinamicheskiye i metallogenicheskiye sistemy, ikh razvitiye i vzaimodeystviye [Periodic geodynamic and metallogenic systems, their

development and interaction]. Moscow, TSNIGRI, 1999. 263 p.
6. *Baryshev A.N.* Periodicheskoye razmeshcheniye almazonosnykh sistem i smezhnyye problemy geologii almazov [Periodic placement of diamondiferous systems and related problems of diamond geology]. Otechestvennaya geologiya. 2006. No. 6. P. 20–35.
7. *Baryshev A.N.* Subduktsiya i problemy yeye paleorekonstruktsiy [Subduction and problems of its paleoreconstructions]. Otechestvennaya geologiya. 2004. No. 2. P. 50–62.
8. *Baryshev A.N., Khachatryan G.K.* Vliyaniye tektonicheskogo polya napryazheniy na mekhanizm rosta, strukturu almaza v svyazi s obshchey geodinamikoy almazoobrazovaniya. [Influence of the tectonic stress field on the growth mechanism, the structure of diamond in connection with the general geodynamics of diamond formation]. Otechestvennaya geologiya. 2015. No. 12. P. 46– 60.
9. *Baryshev A.N., Khachatryan G.K.* Mineragenicheskoye i geodinamicheskoye znacheniy tipov populyatsiy almaza [Mineragenic and geodynamic values of types of diamond populations]. Otechestvennaya geologiya. 2017. No. 6. P. 3–13.
10. *Baryshev A.N., Khachatryan G.K.* Mineralogo-geokhimicheskiy i geodinamicheskiy sistemnyy podkhod k analizu almazonosnosti i mineragenicheskomu rayonirovaniyu platform [Mineralogical-geochemical and geodynamic systems approach to the analysis of diamond content and mineragenic zoning of platforms]. Otechestvennaya geologiya. 2018. No. 4. P. 90–103
11. *Bogatikov O.A.,Garanin V.K., Kononova V.A.* et al. Arkhangel'skaya almazonosnaya provintsiya [Arkhangelsk diamondiferous province]. Moscow, MGU publ. 1999. 522 p.
12. *Vaganov V.I.* Almaznyye mestorozhdeniya Rossii i mira (osnovy prognozirovaniya) [Diamond Deposits in Russia and the World (Forecasting Basics)]. Moscow, ZAO Geoinformmark publ. 2000. 371 p.
13. *Garanin V.K, Kriulina G.YU., Garanin K.V., Samosorov G.G.* Arkhangel'skiye almazy. Novyye dannyye [Arkhangelsk diamonds. New data]. Moscow, IP Skorokhodov V.A. publ. 2018. 232 p.
14. *Gzovskiy M.V.* Osnovy tektonofiziki [Foundations of tectonophysics]. Moscow, Nauka publ. 1975. 536 p.
15. *Goncharov M.A.* Inversiya plotnosti v zemnoy kore i skladkoobrazovaniye [Density inversion in the earth's crust and folding]. Moscow, Nedra publ. 1979. 246 p.
16. *Dukardt Yu.A., Boris Ye.I.* Kontrol' kimberlitovogo vulkanizma Yakutskoy almazonosnoy provintsii paleoriftovymi strukturami [Control of kimberlite volcanism of the Yakut diamondiferous province by paleorift structures]. Otechestvennaya geologiya. 1996. No. 10. P. 28–34.
17. *Yeliseyev N.A.* Metamorfizm [Metamorphism]. Moscow, Nedra publ. 1963. 428 p.
18. *Ignatov P.A.* Metody obnaruzheniya skrytykh rudokontroliruyushchikh struktur v osadochnykh tolshchakh na primere mestorozhdeniy urana i almazov [Methods for detecting hidden ore-controlling structures in sedimentary strata on the example of uranium and diamond deposits]. Fundamental'nyye problemy geologi poleznykh iskopayemykh i metallogenii. Moscow, Izd-vo MGU publ. 2010. V. 1. P. 169–187.
19. *Ilupin I.P.* Kimberlity Yakutii – lineynoye raspolozheniye trubok i veshchestvennyy sostav [Kimberlites of Yakutia - linear arrangement of pipes and material compositio]. Rudy i metally. 2003. No. 5–6. P. 60–68.
20. *Obzor* geologicheskikh ponyatiy i terminov v primenenii k metallogenii [Review of geological concepts and terms as applied to metallogeny]. Pod red. Ye.T.Shatalova. Moscow, AN SSSR publ. 1963. 182 p.
21. *Petrograficheskiy* kodeks Rossii. Magmaticheskiye, metamorficheskiye, metasomaticheskiye, impaktnyye obrazovaniya [Petrographic Code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formations]. Izdaniye vtoroye, pererabotannoye i dopolnennoye. St. Petersburg, VSEGEI publ. 2008. 200 p.
22. *Pokrovskiy G.I.* Vzryv [Explosion]. Moscow, Nedra publ. 1973. 182 p.
23. *Portnov A.M.* Flyuidnyy diapirizm kak prichina formirovaniya kimberlitovykh trubok i karbonatitovykh massivov [Fluid diapirism as the cause of the formation of kimberlite pipes and carbonatite massifs]. Dokl. AN SSSR. 1979. V. 246. P. 416–420.
24. *Protsenko Ye.V.* Strukturno-tektonicheskiye zakonomernosti lokalizatsii almazonosnykh kimberlitovykh poley v predelakh Vilyuysko-Markhinskoy mineragenicheskoy zony (Zapadnaya Yakutiya) [Structural and tectonic regularities of localization of diamondiferous kimberlite fields within the Vilyui-Markhinskaya mineragenic zone (Western Yakutia)]. Avtoref. diss. … kand. geol.-miner. nauk. Moscow. 2020. 23 p.
25. *Ramberg Kh.* Modelirovaniye deformatsiy zemnoy kory s primeneniyem tsentrifugi [Modeling crustal deformations using a centrifuge]. Moscow, Mir publ. 1970. 224 p.
26. *Ramberg Kh.* Sila tyazhesti i deformatsii v zemnoy kore [The force of gravity and deformation in the earth's crust]. Perevod s angl. Pod red. V.V.Belousova, A.B.Yefimova. Moscow, Nedra publ. 1985. 399 p.
27. *Rossiyskiy* metallogenicheskiy slovar' [Russian metallogenic dictionary]. St. Petersburg, VSEGEI publ. 2003. 320 p.
28. *Sablukov S.M.* Vulkanizm Zimnego Berega i petrologicheskiye kriterii almazonosnosti kimberlitov [Volcanism of the Zimny Coast and petrological criteria for the diamond content of kimberlites]. Avtoref. diss. … kand. geol-miner. nauk. Moscow. 1995.
29. *Sycheva-Mikhaylova A.M.* Mekhanizm tektonicheskikh protsessov v obstanovke inversii plotnosti gornykh porod [The mechanism of tectonic processes in an environment of inversion of rock density]. Moscow, Nedra publ. 1973. 136 p.
30. *Khar'kiv A.D., Zinchuk N.N. Kryuchkov A.I.* Korennyye mestorozhdeniya almazov mira [Kryuchkov Primary diamond deposits of the world]. Moscow, Nedra publ. 1998. 555 p.
31. *Khar'kiv A.D., Zuyenko V.V., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I., Ukhanov V.A., Bogatykh M.M.* Petrokhimiya kimberlitov [Petrochemistry of kimberlites]. Moscow, Nedra publ. 1991. 304 p.

32. *Khachatryan G.K.* Azot i vodorod v almazakh mira kak indikatory ikh genezisa i kriterii prognoza i poiskov korennykh almaznykh mestorozhdeniy [Nitrogen and hydrogen in diamonds of the world as indicators of their genesis and criteria for forecasting and prospecting for primary diamond deposits]. Avtoref. diss. … d-ra geol.-miner. nauk. Moscow. 2016. 48 p.
33. *Kholodov V.N.* Peschanyy diapirizm – novaya storona katageneticheskikh protsessov. St. II. Mekhanizm obrazovaniya i geologicheskoye znacheniye peschanykh dayek i «gorizontov s vklyucheniyami» v miotsene Vostochnogo Predkavkaz'ya [Sandy diapirism is a new side of catagenetic processes. Art. II. The mechanism of formation and geological significance of sand dikes and "horizons with inclusions" in the Miocene of the Eastern Ciscaucasia]. Litologiya i poleznyye iskopayemyye. 1978. No. 5. P. 52–63.
34. *Sharp W.E.* A plate tectonic origin for diamond-bearing kimberlites. Earth and Planetary Science Letters. 1974. Vol. 21. No. 4. P. 351–354.

Плата с авторов за публикацию (в том числе с аспирантов) не взимается. Гонорар не выплачивается.
Автор, подписывая статью и направляя ее в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на ее опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет».
Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или намеченных к публикациям в других изданиях, не допускается.

В памяти вечно живые

Ветераны ЦНИГРИ – участники Великой Отечественной войны. Публикация фотоматериалов из архива ЦНИГРИ

*Мы преклоняемся «...перед теми, кто в самый трудный час, не колеблясь, встал на защиту Отечества, в ком чувство долга оказалось сильнее страха, инстинкта самосохранения и любых личных устремлений, кто пожертвовал всем, чтобы защитить от унизительного рабства своих сограждан...»**

Вильшанский Аврам Лазаревич родился в 1901 г. Начальник редакционно-издательской группы института. Добровольцем вступил в народное ополчение, участвовал в обороне Москвы, был на Западном фронте в качестве капитана интендантской службы. Награждён орденами «Красной Звезды», «Отечественной войны II ст.» и медалями.

Горюнов Николай Павлович родился в 1918 г. Начальник отдела снабжения института. В 1941–1944 гг. в составе 50-го Гвардейского артиллерийского полка участвовал в обороне Москвы, освобождении Вязьмы, Гжатска, Орла, воевал в Польше. Гвардии старший сержант, командир орудийного расчета. Награждён орденом «Отечественной войны II ст.», медалями «За боевые заслуги», «За оборону Москвы», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» и др.

Гречушкин Владимир Васильевич родился в 1917 г. Инженер-электрик отдела техники безопасности. В 1941–1945 гг. старший лейтенант радиовзвода 37-й гвардейской мотострелковой дивизии Донского фронта. Награждён орденами «Красной Звезды» и «Отечественной войны II ст.», медалями «За оборону Сталинграды», «За освобождение Варшавы» и др.

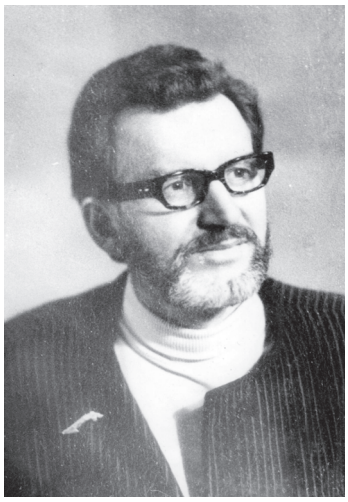
*Предисловие к книге «Геологи на войне». – М., 1995.

Горбацевич Борис Поликарпович родился в 1921 г. Врач-терапевт института. С 1943 по 1945 гг. старший врач в составе Южного фронта ПВО. Участвовал в освобождении Украины, Югославии, Румынии и Венгрии. Награждён орденами «Партизанской звезды», «Отечественной войны II ст.», медалями «За боевые заслуги» и др.

Егиазаров Николай Григорьевич родился в 1918 г. Заведующий отделом научно-технической информации. Находился в действующей армии с ноября 1939 г. по апрель 1946 г. Служил разведчиком 123-й стрелковой дивизии. В Финской кампании был стрелком лыжного батальона. Награждён орденом «Отечественной войны II ст.», медалями «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» и др.

Куц Валентин Николаевич родился в 1926 г. Заведующий I отделом института. Находился в действующей армии с 1941 по 1945 гг. в составе дивизии особого назначения 2-ого Украинского фронта, старший сержант. Награждён орденом «Отечественной войны II ст.», медалями «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» и др.

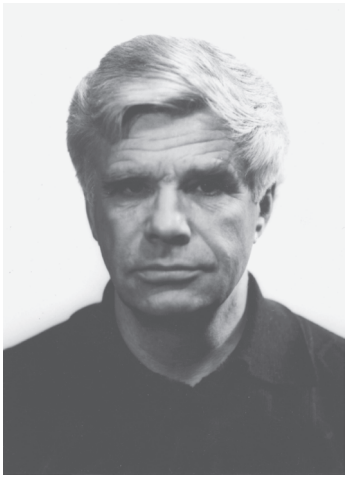
Мальцев Павел Павлович родился в 1912 г. Старший инженер отдела оформления. Мобилизован в феврале 1942 г. В составе топоотдела 116-й стрелковой дивизии 52-ой Армии инженер-капитан, прошёл с боями Сталинград, Корсунь-Шевченковскую, Курскую дугу, Кпаков, Яссы, Лигниц, Бунслау, Бреслау, Прагу. Дважды контужен, получил огнемётный ожог. Инвалид ВОВ. Награждён орденом «Отечественной войны I ст.», медалью «За боевые заслуги» и др.



Озеров Юрий Константинович родился в 1924 г. Старший научный сотрудник отдела цветных металлов. Участвовал в Великой Отечественной войне с 1942 по 1945 гг. в составе 784-го зенитно-артиллерийского полка 5-го корпуса Западного фронта. Награждён орденом «Отечественной войны II ст.», медалями «За боевые заслуги» и др.

Петров Анатолий Павлович родился в 1923 г. Старший научный сотрудник отдела горно-разведочных работ. Участвовал в Великой Отечественной войне с 1942 по 1943 гг. на Сталинградском фронте, был тяжело ранен. Награждён орденом «Отечественной войны II ст.» и медалями «За оборону Сталинграда», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» и др.

Петров Василий Петрович родился в 1918 г. Служил в действующей армии с 1939 по 1945 гг. Награждён орденами «Красной Звезды», «Отечественной войны II ст.», медалями «За оборону Ленинграда» и др.



Писцов Юрий Павлович родился в 1924 г. Старший научный сотрудник отдела россыпей, кандидат геолого-минералогических наук. Участвовал в Великой Отечественной войне с 1941 по 1945 гг. Награждён орденом «Отечественной войны II ст.», медалями «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» и др.

Поляков Михаил Григорьевич родился в 1917 г. Старший инженер издательской группы. Находился в действующей армии с мая 1938 г. по июль 1946 г. в качестве командира технической команды полка аэростатного заграждения. В конце войны окончил курсы техников воздухоплавателей. Награждён орденом «Отечественной войны II ст.», медалями «За оборону Москвы», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» и др.

Разумова Римма Васильевна родилась в 1920 г. Старший инженер отдела геолого-экономической оценки. В октябре 1941 г. добровольно пошла на фронт сандружинницей в составе 5-ой Московской стрелковой дивизии. Награждена орденом «Отечественной войны II ст.» и медалями.

Рыжов Борис Васильевич родился в 1923 г. Старший научный сотрудник отдела геологии россыпей, кандидат геолого-минералогических наук. Прошёл войну с 1943 по 1945 гг. младшим лейтенантом 109 стрелковой дивизии 20-ой ударной армии Ленинградского фронта. Воевал в районах Синявина, Гатчины, Гдова, Нарвы. Награждён орденами «Красной Звезды», «Отечественной войны I ст.», медалями «За боевые заслуги» и др.

Рябова Евгения Фёдоровна родилась в 1922 г. Главный бухгалтер института. Принимала участие в боевых действиях с 1942 по 1945 гг. в качестве старшего дальномерщика 254-го зенитно-артиллерийского полка в войсках Сталинградского, Воронежского, Степного фронтов. Награждена орденом «Отечественной войны II ст.» и медалями.

Степанов Глеб Константинович родился в 1922 г. Заместитель директора института. Находился в действующей армии с октября 1941 по ноябрь 1945 гг. Участвовал в обороне Москвы в составе Северо-Западного фронта, воевал под Старой Руссой, освобождал Минск, Варшаву. Награждён орденами «Красной Звезды», «Отечественной войны I ст.» и медалями.

Сурков Фёдор Тимофеевич родился в 1913 г. Старший инженер отдела научно-технической информации по геофизике. Служил в Советской Армии с 1941 по 1945 гг., в том числе в составе 3-го Украинского фронта в качестве командира бронемашины. Награждён орденом «Отечественной войны II ст.» и медалями.

Чанышев Измаил Сергеевич родился в 1927 г. Ведущий научный сотрудник отдела конъюнктуры минерального сырья. Служил в Советской Армии с 1944 по 1951 гг., участвовал в боевом тралении минных полей на Черном море. Награждён медалями «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» и др.

Щукин Владимир Сергеевич родился в 1917 г. Участник финской войны. В ВОВ участвовал с первых дней. Старший лейтенант, начальник разведки артиллерийского дивизиона 370-го артиллерийского полка 230-й артиллерийской дивизии. Участвовал в форсировании Днепра и Одера, освобождении Молдавии и штурме Берлина. Дважды ранен. Награждён орденами «Красной Звезды», «Отечественной войны I и II ст.», медалями «За оборону Ленинграда», «За освобождение Варшавы», «За взятие Берлина», «За Победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» и др.

85-летие Александра Николаевича Барышева

Александру Николаевичу Барышеву – ведущему научному сотруднику ЦНИГРИ, доктору геолого-минералогических наук, Почётному разведчику недр, академику Российской академии естественных наук (РАЕН) 7 декабря 2020 г. исполнилось 85 лет.

Александр Николаевич после окончания Московского института цветных металлов и золота, где он получил диплом с отличием горного инженера-геолога по специальности «Геология и разведка месторождений редких и радиоактивных руд», в мае 1959 г. поступил работать в ЦНИГРИ.

Первые два с половиной десятилетия были посвящены А.Н.Барышевым колчеданным месторождениям Кавказа, Чингиза, Рудного Алтая, Гиссара, Урала. Результаты исследований геологических и палеовулканических структур рудных полей на основе картирования масштаба 1:10 000, условий локализации, морфологии и генезиса рудных тел вошли в тематические отчёты и были суммированы в диссертациях кандидатской «Основные черты структуры Худесского рудного поля» (1965) и докторской «Строение и условия формирования колчеданоносных систем вулканогенных геосинклиналей» (1983). Впервые в нашей стране им была обоснована закономерная связь колчеданного оруденения с экструзивами риолитовых апокристаболитовых кварцевых порфиров. Обобщение материалов по колчеданоносным палеовулканическим структурам, позиции и зональности состава месторождений послужило основанием для создания концепции о вулканогенно-рудных узлах как надочаговых рудно-магматических системах, геодинамике их развития, пространственной периодичности размещения через расстояния, кратные ~30 км. Позже на основе волновой геодинамики и фрактальной структуры систем Земли, обусловленных неустановившейся конвекцией, эта концепция была развита для других разномасштабных систем с месторождениями цветных металлов, золота, алмазов. Она представляет собой новое научное направление в тектонике и металлогении, отражена в монографиях «Периодические геодинамические и металлогенические системы, их развитие и взаимодействие» (1999), «Тектоника и металлогения: системный геодинамический и формационный анализ» (2013) и серии статей.

Александр Николаевич уделяет большое внимание региональным и глобальным металлогеническим и прогнозным исследованиям на основе структурно-формационного, тектонического, геодинамического анализа. С использованием карт геологических и полезных ископаемых масштаба 1:500 000 Кубы, Урала им были составлены металлогенические карты и их оригинальные структурно-формационные основы.

А.Н.Барышеву принадлежат новые разработки в тектонике. Им показано, что не движение литосферных плит, а краевые эффекты неустановившейся ячеистой конвекции вещества мантии и земной коры играют определяющую роль в образовании зон субдукции. Той же конвекции обязана взаимосвязь субдукции с плюмообразным извлечением вверх (эдукцией) масс, что ведёт к развитию вулкано-плутонических ассоциаций с месторождениями, образованными за счёт ремобилизации рудных компонентов из субдуцированных толщ. Составив тектоническую карту Средиземноморья в масштабе 1:5 000 000, А.Н.Барышев впервые показал, что глубоководные бассейны, лишённые гранитного слоя, имеющие мощный осадочный слой и низкий

тепловой поток, формируются в результате сначала деструкции сиаля над ячеистым поднятием мантии, а потом опускания на периферии другого мантийного поднятия. К таковым относятся Левантийское и Чёрное моря в фанерозойской истории развития Тетиса. Это обосновано в монографии «Геоструктуры и минерагения Средиземноморья» (2005). В последние 15 лет юбиляр работал над рядом проблем геодинамики алмазоносных систем.

А.Н.Барышев является автором 212 научных трудов, из которых 163 опубликованы, в том числе 123 без соавторов. Он достойно представлял российскую геологическую науку за рубежом, работая в Болгарии и на Кубе. Является членом Учёного и Диссертационного советов ЦНИГРИ. Александр Николаевич награждён медалями «В память 850-летия Москвы», «65 лет Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», знаком «300 лет горно-геологической службе России», а также другими наградами.

Сердечно поздравляем Александра Николаевича и желаем ему крепкого здоровья, неисчерпаемой энергии и радостных событий в жизни.

Учёный совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала

Автор классических работ о петрологии и геохимии кимберлитов. К 90-летию со дня рождения Елены Владимировны Францессон

Е.В.Францессон

История исследований коренных месторождений алмазов связана с именами многих крупных советских и российских учёных. В числе пионеров изучения алмазов Якутии – доктор геолого-минералогических наук Елена Владимировна Францессон (1930–2019), активная участница первых исследований кимберлитовой трубки «Мир», развёрнутых в Институте геологии Якутского филиала АН СССР в 1955 г. Результаты своей пятилетней работы Елена Владимировна обобщила в кандидатской диссертации «Вопросы петрологии и генезиса кимберлитов (на примере трубки “Мир” и некоторых других)». Дальнейшие научные изыскания ведущего сотрудника отдела алмазов Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ) Е.В.Францессон позволили критически переосмыслить вопросы классификации и терминологии кимберлитовых пород, проанализировать типоморфные признаки алмазоносных и безрудных районов кимберлитового магматизма. Монографии «Петрология кимберлитов» (1968), «Докембрийские алмазоносные формации мира» (1976), «Геохимия кимберлитов» (1978), автором и соавтором которых она является, хорошо известны специалистам – они вошли в золотой фонд научной литературы о месторождениях алмазов.

На склоне лет Елена Владимировна очень живо и интересно написала о своей работе в Якутском филиале АН СССР и в ЦНИГРИ, о романтике полевых исследований и поместила заметки в сборнике воспоминаний выпускников геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова 1954 г. «О друзьях, которых мы встречали, о местах, в которых мы бывали» (2006). К сожалению, эти мемуары долгое время были недоступны широкому кругу читателей. В августе 2020 г. исполнилось 90-лет со дня рождения Елены Владимировны Францессон и редакция «Отечественной геологии» получила разрешение на повторную публикацию её воспоминаний «Тайга, немножко тундры, мои алмазные края».

В этом коротком очерке о жизни полевого геолога замечательно передан колорит времени, которое ныне мы называем началом золотого века отечественной геологии. Воспоминания Е.В.Францессон в определённой мере помогают воссоздать страницы истории изучения алмазов Якутии, что особенно важно в год 65-летия открытия кимберлитовой трубки «Мир», одного из крупнейших в мире коренных месторождений алмазов, гордости нашей страны.

Юбилей Елены Владимировны Францессон совпал с важной датой в истории научно-исследовательского института, в котором она трудилась почти всю жизнь: в 2020 г. ЦНИГРИ отмечает 85-летие со дня основания. Память об этом талантливом учёном и прекрасном человеке здесь бережно хранят. Помнят Елену Владимировну и в альма-матер – Московском государственном университете им. М.В.Ломоносова. Вступительные слова к её воспоминаниям написал однокурсник Елены Владимировны Францессон доктор геолого-минералогических наук Ингрид Николаевич Кигай.

Празднование 20-летия окончания МГУ в ресторане гостиницы «Советская». Слева направо: выпускники геологического факультета Н.К.Курбанов (ЦНИГРИ), В.А.Баскина (ИГЕМ РАН), В.Б.Александров (ИМГРЭ), Е.В.Францессон.

О моём друге Елене Францессон

Елена Владимировна Францессон (в дальнейшем Лена) – выдающийся исследователь алмазоносных кимберлитов и мой дорогой друг – родилась и выросла в замечательной семье. Её отец Владимир Андреевич Францессон (1902–1961) был известным биологом-почвоведом, который углублённо занимался проблемами великого природного достояния России – чернозёмной почвы. О значении его работ свидетельствует издание Сельхозгизом в 1963 г. тома его «Избранных трудов», посвящённых чернозёмным почвам СССР.

Её мать была замечательной гостеприимной женщиной, которая вкусно угощала друзей Лены на днях её рождения в их доме на Лихоборских буграх (есть в Москве улица с таким экзотическим названием в районе Тимирязевки – Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А.Тимирязева).

Родившийся на два года позже Лены её брат Андрей (1932–2003), закончив с отличием МФТИ, всю жизнь затем работал в академическом Институте радиотехники и электроники и параллельно преподавал в родном Физтехе. Он стал выдающимся, легендарным физиком-экспериментатором и изобретателем в области квантовой радиофизики и оптики.

Параллельно с учёбой в школе, которую закончила с серебряной медалью, Лена училась игре на фортепиано, очень любила классическую музыку и впоследствии, работая в Якутске, смогла на концертах аккомпанировать своему будущему мужу Борису Лутцу, игравшему на виолончели. Поступив в 1949 г. в МГУ, Лена примкнула к кафедре полезных ископаемых, возглавлявшейся В.И.Смирновым, бывшим зам. министра геологии СССР и будущим академиком. Мы с Леной оказались в одной группе.

По окончании первого года учёбы в МГУ у нас сначала была геодезическая практика в Красновидово под Можайском. А потом мы с Володей Александровым, Юрой Смирновым, Сашей Шмидтом, Валей Изаксон и Леной приняли участие в сборе минералогических образцов для будущего Музея Землеведения МГУ на Кольском п-ове. Наш с Сашей, Леной и Валей поход по Хибинскому и Ловозерскому массивам щелочных пород (и не только он) подробно описан в моих воспоминаниях «Незабвенные юности годы» в «Смирновском сборнике-2006». Этот первый и трудный для нас поход близко сдружил нас, четверых, на всю оставшуюся жизнь. Лена была красивая, стройная, добрая и обаятельная, с двумя толстыми косами до пояса. Саша

Однокурсники 20 лет спустя. Е.В.Францессон – в первом ряду, третья слева (беседует с Г.А.Краснопевцевой и В.А.Баскиной). Москва. 1974 г.

Шмидт был ею увлечён, хотя по разным причинам до свадьбы у них дело не дошло. А с Валей мы на последнем курсе поженились.

По окончании учёбы в МГУ в 1954 г. распределение нас разобщило. Мы с Валей были направлены в Институт геологических наук (потом ИГЕМ) Академии наук СССР, наши однокурсники и друзья – Намик Курбанов, Саша Шмидт и Неля Перижняк – стали работать в НИГРИЗолото – ЦНИГРИ, а Лена сначала поехала заниматься геологической съёмкой в Приморский край, а в 1955 г. стала сотрудницей Института геологии Якутского филиала Академии наук СССР и начала изучать алмазоносные кимберлиты. В 1965 г. директор ЦНИГРИ член-корреспондент АН СССР Иван Сергеевич Рожков, прежде бывший директором Института геологии в Якутском ФАН СССР и хорошо знавший Лену, пригласил её работать в Москве. С тех пор всё разностороннее геологическое творчество Лены вплоть до выхода её на пенсию продолжалось в ЦНИГРИ.

Лена была прекрасным, неутомимым и смелым полевым геологом. В поисках нужного для исследований материала она пешком, зачастую в одиночку исколесила сотни километров по якутским болотам, сопкам и горам. Её исследования кимберлитов были настолько целеустремлёнными, разносторонними и глубокими, что позволили написать и блестяще защитить на диссертационном Учёном Совете геологического факультета МГУ кандидатскую диссертацию «Вопросы петрологии и генезиса кимберлитов» (1965), а на её основе в 1968 г. опубликовать первую в мировой литературе монографию о петрологии кимберлитов. Эта монография была переведена на английский язык и уже в 1970 г. опубликована в Австралии.

Поражает широта охвата Леной темы кимберлитов – от тонких физических свойств отдельных минералов и минерального состава кимберлитов до эволюции щелочно-ультрабазитовых платформенных магм, ведущей к образованию кимберлитов, от петрологии и геохимии этих пород до строения и вертикальной зональности кимберлитовых трубок, от закономерностей расположения кимберлитовых полей в геологических структурах до критериев алмазоносности кимберлитов и классификации этих пород.

В 1978 г. в соавторстве с И.П.Илупиным и Ф.В.Каминским Лена опубликовала монографию «Геохимия кимберлитов», а в 1995 г. – другую «Кимберлитовый магматизм древних платформ», основу которой составили материалы её докторской диссертации. Эту монографию Лена опубликовала в соавторстве с мужем Борисом Георгиевичем Лутцем, сотрудником Института Физики Земли РАН. Этот замечательный геолог

Очередная встреча выпускников геологического факультета МГУ 1954 года. 1-й ряд (слева направо): М.Г.Хохлова, Ю.Ю.Бугельский, И.М.Липова; 2-й ряд: Е.В.Негрей, Т.Г.Иванова, М.Г.Добровольская, Ю.В.Иванова-Юнаковская, Е.В.Францессон, И.Е.Максимюк, Н.А.Пирижняк, А.Фролов, Н.Г.Демидова, В.А.Баскина, М.Н.Соколова. Москва, ПНИИИС. 2001 г.

трагически погиб в 1995 г. во время полевых работ на севере Красноярского края (предположительно, утонул, переправляясь в одиночку на резиновой лодке через порог Силорд на реке Кулюмбэ, но тело его так и не нашли). Лена мужественно перенесла эту тяжёлую утрату, как и отъезд сына в Америку.

В течение последних двадцати с лишним лет, после выхода на пенсию, мы редко встречались с Леной: в 2001 г. – на встрече однокурсников, в 2005 г. – на Смирновских чтениях в МГУ и на дне рождения Намика Курбанова, в 2011 г. – на моём 80-летии в ИГЕМ РАН. Чаще всего просто созванивались. Лена спокойно, мужественно переносила своё одиночество.

На банкете после Смирновских чтений-2005. Е.В.Францессон и И.Н.Кигай

Елена Владимировна Францессон была замечательным исследователем, светлым и красивым человеком, очень верным и отзывчивым другом. У неё было много учеников и последователей. Её заслуженно можно отнести к классикам геологии. Своими работами она внесла значимый вклад в понимание алмазоносных кимберлитовых пород и в развитие минерально-сырьевой базы нашей страны.

И.Н.Кигай,
доктор геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник, консультант
Института геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Российской академии наук

Елена Францессон

Тайга, немножко тундры, мои алмазные края

Окончив в 1949 г. школу с серебряной медалью, я без экзаменов поступила в МГУ на геологический факультет. Через год, после первого курса мы с любимыми хорошими друзьями – Валей Изаксон (Баскиной)[1], Сашей Шмидтом[2] и Ингридом Кигаем – поехали на Кольский полуостров в Хибинские и Ловозерские тундры собирать образцы для музея «Землеведение». Это были три моих замечательных друга. О них можно написать целую книгу. Дружили мы в те годы очень крепко, любили друг друга. А работая на Кольском, всё лето наслаждались чудом Кольских озёр, красотой этого края.

После второго курса нас распределяли по кафедрам. В это время образовалась «Кафедра полезных ископаемых», которую организовал и возглавил великий геолог, наш главный преподаватель Владимир Иванович Смирнов[3]. Это была неординарная личность, человек организованный, высокоэрудированный, умеющий помочь студентам и требовать от них высоких всесторонних знаний. Недавно, в день его рождения 31 декабря под руководством Виктора Ивановича Старостина[4] прошли 16 Научные чтения имени академика Владимира Ивановича Смирнова. Я, конечно, училась на этой, моей любимой, кафедре.

А после третьего курса, в 1953 г., ездила «в поля» с Натальей Александровной Фогельман в Хакасию собирать образцы из золотых жил на рудник «Коммунар». Там, в центре посёлка ещё сохранилась тюрьма, в которой жили декабристы, работавшие на месторождении. Позднее им был поставлен памятник.

Весь сезон мы работали под землёй в соответствующих одеждах. Для интереса, из любопытства я лазила по старым штрекам, пройденным, по-видимому, ещё декабристами. Они вырубали их прямо по золотоносной кварцевой жиле, и поэтому по штреку приходилось ползти на животе: то снизу вверх, то наоборот в зависимости от угла падения и протяжённости кварцевой жилы. Ну а современные штреки были, естественно, горизонтальными, по ним мы просто шли, слегка согнувшись. А вот и наша начальница – молодая, всегда весёлая, азартная Наталья Александровна Фогельман. В год, когда мы работали на Алтае, вышел первый поэтический сборник её пасынка – Евгения Евтушенко. Отец Евгения Александр Рудольфович Гангнус был геологом, и Евтушенко ещё совсем молодым нередко ездил с геологами «в поля». Гангнус стал мужем Н.А.Фогельман. Евтушенко – фамилия матери Евгения, первой жены Александра Рудольфовича. Наталья Александровна подарила мне этот первый сборник Е.Евтушенко. Читать его было очень интересно, чувствовалась неординарность автора, в сборнике были стихи и о путешествиях с геологами.

Однажды на водоразделе встретила медведицу с двумя медвежатами. Они обсасывали поспевшую красную смородину. Увидев меня, бросились вниз в одну сторону хребта, а я кинулась в другую. Память об этой поездке осталась у меня на всю жизнь.

По окончании Университета в 1955 году я сначала уехала на Дальний Восток делать геологическую съёмку масштаба 1:200 000 недалеко от Владивостока, на границе с Китаем. Там тогда ещё водилось много тигров, и я ходила в маршруты с линейкой, чтобы измерять размер их следов. Это ведь любопытно! Самые большие из них достигали 30–35 см. Вечером, когда мы залезали ночевать в палатки, отовсюду, будто звездочки, светились, как нам казалось, глаза тигров (это от страха). Гораздо опасней в тех местах были табуны кабанов. Они злые и кидались на людей всем стадом. Два раза мы переходили реку, по которой СССР граничил с Китаем, чтобы хоть одну–две ночи пожить в Китае. На следующий день после нашей ночёвки пограничники,

---

[1] Валентина Александровна Баскина (Изаксон) (1931–2017) – ведущий научный сотрудник Института геологии рудных месторождений РАН, доктор геолого-минералогических наук, автор книги «Женщины – геологи России» (СПб, 2019).

[2] Александр Исакович Шмидт (1930–1986) – старший научный сотрудник ЦНИГРИ, кандидат геолого-минералогических наук.

[3] Владимир Иванович Смирнов (1910–1988) – доктор геолого-минералогических наук, академик АН СССР, заведующий кафедрой геологии и геохимии полезных ископаемых геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова. Заместитель министра геологии СССР, вице-президент Международного союза геологических наук.

[4] Виктор Иванович Старостин – заведующий кафедрой геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых МГУ им. М.В.Ломоносова, доктор геолого-минералогических наук, заслуженный деятель науки РФ.

увидев её признаки на другой стороне реки, в Китае, вызвали нас на погранзаставу и подробно расспрашивали, что мы там оставили.

Защищали лист двухсоттысячной геологической карты во Владивостоке, и когда пришли в ресторан, чтобы поесть, нас не пустили, поскольку мы были в телогрейках, сапогах – в полевой одежде, а другой у нас с собой не было. Романтики в тот полевой сезон была бездна.

Первая поездка на только что открытую трубку «Мир»

После возвращения в Москву в 1955 г. Валя Баскина (Изаксон) мне сообщила, что в экспедицию для изучения только что открытых в Якутии алмазных месторождений ищут петрографа. Валя меня порекомендовала и посоветовала не упускать этот случай. Я такой возможности очень обрадовалась и вскоре уехала на только что открытую (в 1955 г.) трубку Мир, в этом году ей будет 50 лет[5]!

По бревну я перешла через реку Ирелях (приток реки Малая Ботуобия), подошла к трубке и увидела ещё лежавшую там упавшую лиственницу, а около её корней, из лисьей норы сыпалась так называемая «голубая земля» – типичный разрушенный кимберлит: по ней и открыли эту трубку. Но кроме лисьей норы на трубке было вырыто множество шурфов для того, чтобы её оконтурить и опробовать кимберлитовую брекчию, слагающую трубку. Работать, следовательно, уже было с чем, и поэтому я стала искать, где можно переночевать и пожить. Кое-где виднелись чьи-то палатки, а вдоль Иреляха – маленькие домики. В один из них меня пустили. За занавеской спали муж и жена, а на самодельной кушетке, стоявшей у другой стены, спала я. Один раз в пристройку из горбыля к этому домику вошла большая лошадь. Вошла, а выйти не может, значит, и я войти в дом не могу. Пришлось созвать мужчин из соседних домов. Смешно было смотреть, но каким-то образом её оттуда вытащили.

Когда всё ещё только начиналось, самолеты садились на косу реки Малая Ботуобия (это место называлось участок «Новый»), а затем все шли или, если повезёт, ехали на так называемой «пене» в город Мирный. «Пена» – это прицепленный к трактору огромный лист железа, размером приблизительно 2,3 на 4 метра. На него садились люди, грузили груз и ехали до самого Мирного. Помнится один случай. На «пене» (её называли так потому, что она «плыла» по пням, кочкам, всему, что под неё попадало) сидели четверо мужчин и играли в карты. Меня как единственную женщину посадили в кабину трактора. Неожиданно переезжаем ручей, в результате игральные карты плывут по воде, а мужчины, сидящие на «пене», все по горло в воде (а она очень холодная из-за оттаивания вечной мерзлоты).

Потом стали строить государственные дома. Помню, как из тонких листвяшек выложили Московский и Ленинградский проспекты. Вдоль них строили дома. Рос город, строилась обогатительная фабрика, выс- троили аэропорт. А при въезде в город был поставлен красивый монумент в честь первооткрывателей алмазов.

Большое впечатление на всё население уже образовавшегося в то время города Мирный произвёл севший на подготовленную площадку первый вертолёт! Сбежался весь мирнинский народ из геологических учреждений, из бухгалтерии, из отдела кадров и других учреждений и из жилых домов. Естественно, я была там. Для таёжных мест этот транспорт очень важен.

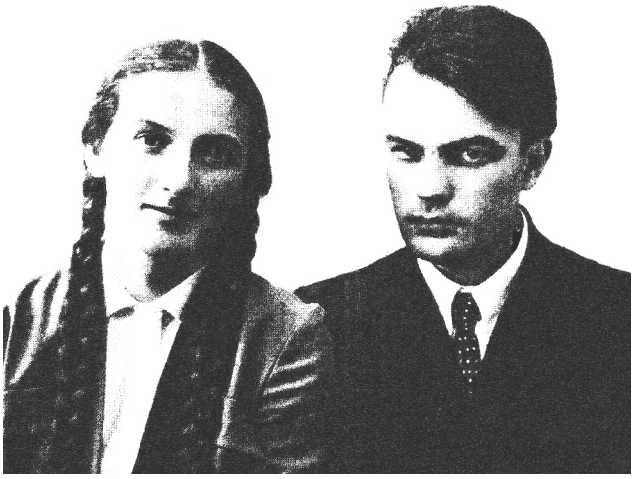
В Мирном мы постоянно описывали керн пробуренных скважин вместе с Ритой Метелкиной, начинавшей алмазную эпопею в Якутии, и Эммой Шамшиной, тогда студенткой Ленинградского университета. После бурения рабочие разбивали керн на четвертинки, одну четвёртую керна оставляли в керновых ящиках для просмотра геологами, а остальную укладывали в ящики и отправляли на фабрику для обогащения, чтобы оценить содержание алмазов на глубине и в различных разновидностях кимберлитовых брекчий, слагающих трубку. Однажды при просмотре четвертинок керна моя помощница Эмма Шамшина нашла большой алмаз – октаэдр. Мы его сразу сдали в так называемый первый (секретный) отдел. В другой раз я нашла кристалл алмаза в кимберлитовой брекчии. Это редкий, интересный с геологической точки зрения образец. Показала его директору Якутского филиала СО АН СССР, члену-корреспонденту И.С.Рожкову, а он положил его в своём кабинете в витрину, где у него лежала коллекция уникальных образцов из разных месторождений Якутии. Он мог себе это позволить.

[5] Е.В.Францессон готовила свои воспоминания к публикации в 1995 г. – в год полувекового юбилея открытия коренного месторождения алмазов в Якутии.

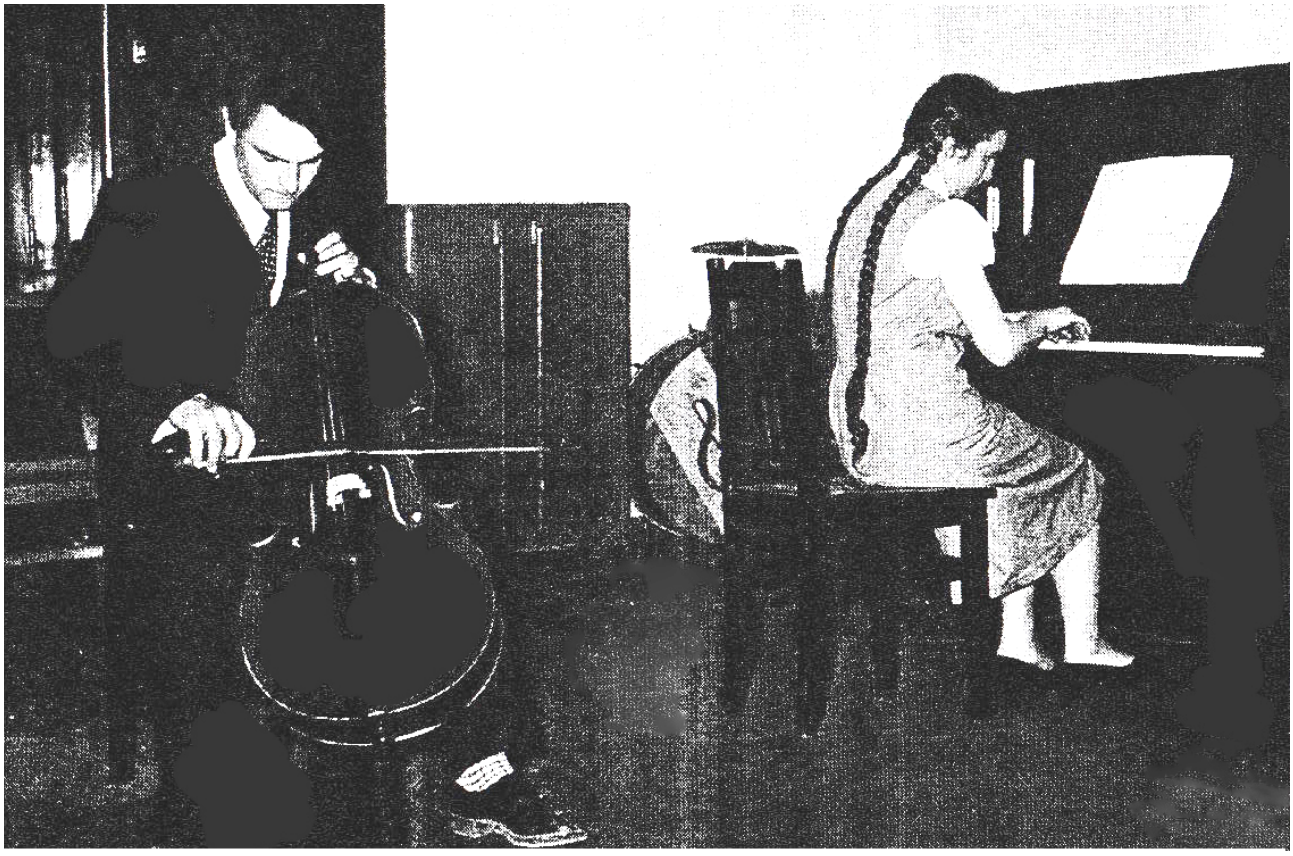
Жизнь в городе Якутск

После полевых работ на трубке перебралась в Якутск, где и проработала с большим удовольствием шесть лет, с постоянным ежегодным выездом на кимберлитовые трубки. О такой романтике я и не мечтала, в Москве, естественно, её не увидишь.

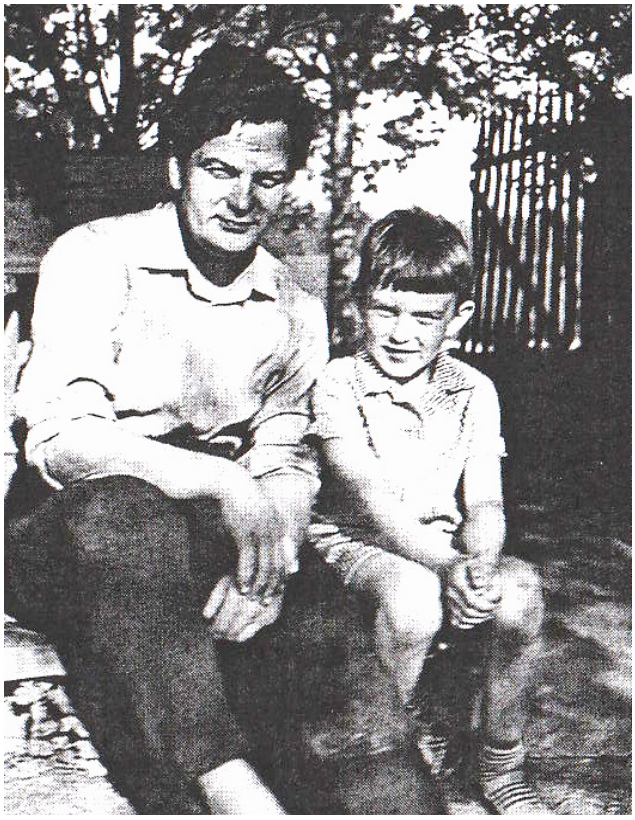
Сначала Якутский филиал АН СССР располагался в старинном купеческом доме, но вскоре было построено новое современное здание Якутского Филиала Сибирского Отделения АН СССР, а рядом с главным зданием через один–два года выстроили Институт Геологии СО АН СССР. Работать стало удобно и близко от дома, где жили сотрудники филиала. Тогда там работали Иван Некрасов, Виталий Владимирович Ковальский, наша Римма Варюхина и другие известные многим геологам специалисты. В эти два–три года оформился отдел алмазов. В Якутский филиал приехало несколько молодых специалистов, окончивших Ленинградский и Московский университеты, благодаря чему стали часто устраивать весёлые вечеринки. Особым успехом пользовались «капустники». Это были бесконечные шутки, выдумки, много юмора, что доставляло нам всем



Свадебная фотография: Е.В.Францессон и Б.Г.Лутц. Якутск. 14 октября 1959 г.



Б.Г.Лутц и Е.В.Францессон выступают на музыкальном концерте в зале заседаний Института геологии Якутского филиала АН СССР. 1959 г.



Борис Георгиевич Лутц с сыном Егором на даче в Подмосковье. Лето 1964 года. Фото Е.В.Францессон

огромное удовольствие. Для таких вечеров мы с Борисом Георгиевичем Лутцем стали репетировать музыкальную классику. Он играл на виолончели, а я ему аккомпанировала на пианино. После одной из таких репетиций Борис пригласил меня в ресторан и сделал предложение выйти за него замуж, что вскоре и произошло. Фамилию менять Борис Лутц мне не разрешил, сказал, что тогда нас будут путать в литературе.

Жизнь в Якутске, работа в Якутском филиале – один из лучших отрезков моей жизни!

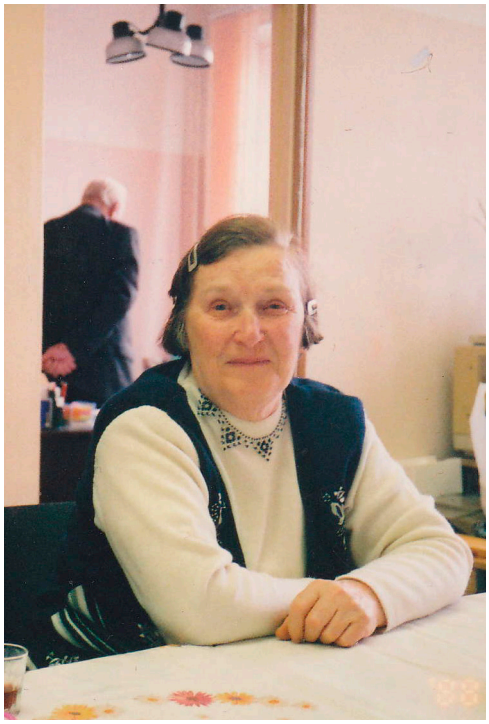
Молодость, увлекательная интересная работа со свободным выбором тематики, много молодёжи, друзей – и вся жизнь ещё впереди!

Сильные морозы зимой нас как-то не пугали. Всё было близко. Воду делали изо льда. На грузовых машинах два–три раза за зиму привозили глыбы льда, мы их разбивали топором и таскали домой в бочки, в которых получалась вода на все случаи жизни. Согревали комнаты и кухни печками, которые топили дровами минимум два–три раза в сутки. Гулять в морозы не ходили, а уже в марте, когда в Якутске очень много солнца, после зимней «спячки» открывался лыжный сезон. Всё свободное время – на лыжах: и в пойме, и вдоль реки Лены, и вверх по её коренному берегу. Кстати, мама назвала меня не Еленой, а Леной в честь этой большой многоводной реки.

Маршрут по трубкам Анабарского щита с оленями

Хочется рассказать об одном из моих маршрутов по кимберлитовым трубкам севера Анабарского щита с оленями. Первый шаг в этом маршруте: самолёт с нашим отрядом и грузом должен был сесть на обнажившуюся косу реки Оленек, в то место, где ждали нас олени. 18 дней мы жили на окраине г. Жиганск, ждали, пока спадёт «чёрная вода» – так называют воду оттаивающей мерзлоты, затрудняющую обнажение песчаных кос в реках. Затем лётчик, которому разрешено садиться на косы, привёз нас туда, где уже находились тридцать оленей (две связки по 15 штук). Ими управляла семья оленеводов. Муж, каюр, управлял одной связкой, жена, оленеводка, – другой, а ещё у них был семилетний мальчик, который ехал на последнем олене одной из связок. Мы поместили груз на оленей и двинулись по запланированному маршруту в тайгу. Груз всегда на оленях, а мы – пешком. На оленях ехать (я пробовала для эксперимента) это всё равно, что сидеть на движущихся валунах. На краю первого же встреченного болота упал и умер белый крупный красавец олень. Его груз погрузили на других оленей и поехали дальше. Этот случай произвёл на моего рабочего неизгладимое впечатление. Он спросил: «И что, так будет всю дорогу?» Я сказала – «да». Потом оказалось, что он шофёр и у него на шесть месяцев отобрали права, вот он и решил съездить на это время в экспедицию. Однако с первых же дней выяснилось: тайги он так боится, что пришлось его оставлять в лагере, в палатке варить еду, а мне ходить в маршруты по тайге одной.

Как-то мы остановились на реке во время линьки гусей. Летать в это время они, естественно, не могут, и этим успешно пользуются волки. Каюр посмотрел на везде лежащий волчий кал и сказал: «Оннако, это волка» (по-русски он говорил весьма своеобразно, но понять обычно было можно). И вот идёшь в маршрут по волчьим следам, гусиным перьям и остаткам от съеденных волками гусей. Идёшь и ощущаешь удовольствие от чувства опасности. Поверьте, я не вру, не притворяюсь и не хвастаюсь. Понимаю, что в это, может быть, трудно поверить. Но я это неоднократно ощущала, неоднократно удивлялась и радовалась. Удивительная, необычная штука. Наверное, для появления такого ощущения надо много походить по безлюдным опасным таёжным тропам!



Е.В.Францессон на празднике в честь Дня геолога. Москва, ЦНИГРИ. Начало 2000-х.

На подмосковной даче мне однажды сказали: «Лена, второй жизни не будет, поживи хоть одно лето на даче». На что я ответила: «А мне другой жизни и не надо. Тайга – это моя жизнь». То же было и у моего мужа Бориса Георгиевича Лутца.

Без накомарников мы не жили, и над спальными мешками всегда вешали пологи из марли. На стоянках обычно дымил костер специально для оленей, которые стояли около него, спасаясь от комаров и мошки.

Каюры всегда сами выбирали место для очередной стоянки, так как это должно быть местом, где для оленей есть достаточно еды (мха, ягеля и т. п.). Был случай, когда В.В.Ковальский[6] в районе Мунских трубок первый раз пошёл с оленями и захотел сам выбрать место стоянки. Тогда возмущённый каюр собрал всех оленей и ушёл в свой олений совхоз (в поселок Оленек), в результате отряду Ковальского пришлось весь полевой сезон мучиться без оленей.

У оленей две главные болезни – туберкулёз и копытка. Вот, например, была сильная гроза, и умерло сразу три оленя. А от копытки (она заразная) регулярно умирали ещё и ещё олени, в результате их осталось всего 15. Тогда каюр сказал, что я должна брать образцы размером не более 3–4 см, и чтобы весь груз не тащить, он сделал на одной из лиственниц лабаз: в него главным образом были заложены уже собранные образцы, сгущёнка, другие консервы и мука, чтобы на обратном пути в обрывах реки делать так называемую печку и печь в ней хлеб. Таким образом, маршрут превратился в кольцо, чтобы на обратном пути взять спрятанный груз и продвигаться затем к месту, где нас будет ждать самолёт.

После того как каюр-оленевод запретил мне брать большие образцы, я набирала в маршруте полный рюкзак грибов (там растут маслята), их в то лето было очень много, а для оленей это самая любимая еда. Приду из маршрута – вытряхну из рюкзака грибы. Олени тут же набрасываются на своё любимое кушанье. И им, и мне это было в удовольствие!

Возвращение в Москву. Аспирантура в МГУ и ЦНИГРИ

Когда в 1960 году я родила сына, мои родители в Якутске больше жить мне не разрешили. «Там не климат для маленьких детей» – упрямо говорили они. Вернулась в Москву и стала придумывать, как продолжить любимую тематику в столице! Для этого поступила в аспирантуру в МГУ на кафедру петрографии. Её долгое время возглавлял Ефрем Александрович Кузнецов[7], а когда я поступала в аспирантуру – Владимир Сергеевич Коптев-Дворников[8]. Ефрем Александрович был официальным руководителем моей диссертации.

Экзамены сдала, и поскольку материал для написания диссертации у меня уже был собран и частично обработан, для прохождения аспирантуры мне дали не три, а только два года. Ну что ж, через два года защитилась единогласно, а в заключение на Учёном Совете Владимир Сергеевич сказал: «Я ещё ни разу не слышал такой интересной диссертации по кимберлитам». Так я стала кандидатом геолого-минералогических

[6] Виталий Владимирович Ковальский (1928–1886) – советский геолог, специалист в области геологии алмазных месторождений, петрографии и минералогии кимберлитовых горных пород, член-корреспондент АН СССР.

[7] Ефрем Александрович Кузнецов (1892–1976) – известный советский геолог, петрограф, доктор геолого-минералогических наук, профессор МГУ, крупный специалист в геологии Урала.

[8] Владимир Сергеевич Коптев-Дворников (1903–1970) – петрограф и геолог, заслуженный деятель науки Каз.ССР, доктор геолого-минералогических наук, профессор, зав. кафедрой петрографии геологического факультета МГУ в 1963–1970 гг.

Научные сотрудники отдела геологии алмазов ЦНИГРИ М.П.Метелкина и Е.В.Францессон на учениях по гражданской обороне. Москва. 1980-е годы

наук. После чего надо было искать работу в Москве и, конечно, опять обязательно только по кимберлитовой тематике! Ходила по всем геологическим институтам г. Москва в поисках подходящей работы. Уже готова была заняться щелочно-ультраосновными интрузиями центрального типа, но с этим ничего не получилось, предложили заняться ураном, а про интрузии сказали: «свято место пусто не бывает». Но всё же, в конце концов, повезло. В это время член-корреспондент СО АН СССР Иван Сергеевич Рожков, который был президентом Якутского филиала, переехал в Москву и стал директором института ЦНИГРИ. Мы с ним встретились в столовой института ИМГРЭ.

Он спросил, почему я бегаю по всем геологическим институтам Москвы? Узнав о моей цели, предложил полгода конспектировать для него отчёты по золотым месторождениям (для какой-то монографии), а затем обещал перевести меня в лабораторию геологии алмазов, где в то время был только один человек – россыпник Богдан Иванович Прокопчук[9]. Так я наконец нашла то, что искала. Кимберлитами в то время ни один институт Москвы не занимался, только в ЦНИГРИ начала зарождаться эта тематика. С этих пор началась и продолжалась более 25 лет моя работа сначала в лаборатории, а потом и в отделе геологии алмазных месторождений ЦНИГРИ, с ежегодными выездами на полевые работы в Якутию для детального изучения кимберлитовых полей и трубок. Иногда из рыхлого кимберлита отмывали шлиховые пробы для получения минералов-спутников алмаза конкретной трубки или разновидности кимберлита (это пиропы, пикроильмениты, оливины, хромистые пироксены и др.). Их тоже постоянно изучали.

После открытия Архангельской алмазоносной провинции стала изучать её кимберлитовые трубки. И, конечно, съездила на Соловецкие острова – непревзойдённую жемчужину Архангельской области. Старалась, где можно, совмещать геологические поездки с экскурсиями по интересным местам.

Иногда от Мингео СССР меня посылали в качестве эксперта и консультанта по Восточно-Европейской платформе. Несколько раз на экспертные советы ездила в Киев, где меня встречали на министерской машине и возили-показывали этот прекрасный город; возили и во Львов; как эксперт была в Минске, Воронеже и в Архангельске (ещё до открытия там кимберлитов), смотрела шлифы (мороз был там тогда 30°) по щёлочно-ультраосновным трубкам, диагностировала их как некимберлитовые. Все экспертные заключения оставляла на местах и привозила в Мингео СССР. Один раз ездила даже в пустыню. Из-под автомобиля выскакивали огромные ящерицы, видела змей. А почему ездила туда? Там нашли крупнообломочную осадочную брекчию, внешне напоминающую кимберлитовую. Тамошние геологи, естественно, кимберлитов никогда не видели, вот и пришлось мне поехать от Мингео СССР посмотреть, что это за брекчия, и конечно забраковать её – кимберлитами там и не пахло.

[9] Богдан Иванович Прокопчук (1929–2002) – исследователь месторождений алмазов Якутии, ведущий сотрудник алмазного сектора ЦНИГРИ, организатор изучения новых видов алмазного сырья в регионах, считавшихся неперспективными, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заслуженный деятель науки, заслуженный геолог Якутской АССР, лауреат Государственной премии СССР.

Сотрудники и ветераны отдела алмазов ЦНИГРИ в День геолога. Слева направо: Г.А.Гуркина, В.А.Скосырев, Е.В.Францессон, Т.И.Колесникова, Т.Е.Щербакова, А.А.Фельдман, Ю.К.Голубев, Ю.Ю.Голубева. Москва. 2010 г.

Меня всегда приглашали на Всесоюзные конференции по алмазам, а иногда и на Международные конгрессы по алмазоносной тематике (в ЮАР, Индию, Австралию, Канаду), но из-за грифа «секретно» никуда не пускали. В ЮАР не пустили всю делегацию (Н.В.Соболева, В.А.Милашева и меня). В ЦК КПСС сказали, что туда за всё время лишь один раз ездили наши футболисты, а специалистов по алмазной тематике пустить в ЮАР ЦК КПСС категорически не может.

Благодаря нашему заведующему отделом Богдану Ивановичу Прокопчуку, который категорически настаивал на публикации моей кандидатской диссертации и даже поначалу сам возил необходимые документы в издательство «Недра», диссертация была издана. Потом в Австралии она была переведена на английский язык и разослана в библиотеки многих стран, особенно тех, которые занимаются кимберлитами и алмазами. Один экземпляр, естественно, прислали и мне. Он до сих пор у меня хранится как реликвия. В 1987 г. защитила докторскую диссертацию и тоже, уже не сопротивляясь, её издала. Для того, чтобы напечатать в издательстве ИФЗ (Института Физики Земли имени О.Ю.Шмидта), надо было присовокупить к своей фамилии фамилию мужа – Б.Г.Лутца, так как он работал в ИФЗ, и через него мою диссертацию приняли в издательстве. Редактор всё предлагал переставить фамилии (не Францессон, Лутц, а наоборот), но диссертация-то была моя, поэтому последовательность фамилий осталась прежней.

Итак, заканчиваю:

Ведь все геологи сродни
Весёлым перелётным птицам,
Как только на дворе весна
Им просто дома не сидится!

Эта профессия помогает людям любить жизнь.

Благодарим редакционную коллегию книги «О друзьях, которых мы встречали, о местах, в которых мы бывали» (Изд-во МГУ имени М.В.Ломоносова, 2006) и лично Бориса Тимофеевича Янина за возможность опубликовать воспоминания Елены Владимировны Францессон в журнале «Отечественная геология».

Публикация подготовлена научным сотрудником редакционно-оформительского отдела Е.В.Сидоровой.
Фотографии предоставлены друзьями и коллегами Е.В.Францессон.

Памяти Игоря Алексеевича Карпенко

12.06.1937–04.11.2020

Игорь Алексеевич Карпенко – крупный специалист в области геолого-экономической оценки месторождений радиоактивных, цветных, благородных металлов и алмазов, кандидат геолого-минералогических наук, Заслуженный геолог РФ, Почётный разведчик недр.

На 84 году жизни после продолжительной болезни скончался Игорь Алексеевич Карпенко.

С его именем связан ряд наиболее значительных проектов комплексной оценки рудных районов и месторождений. Одним из последних достижений Игоря Алексеевича Карпенко стала проведённая под его руководством и завершённая в 2010 году геологическая, горно-техническая, технологическая и экономическая переоценка масштаба золотоносности месторождения мирового класса Сухой Лог, в результате которой запасы этого уникального месторождения увеличились на 1000 тонн золота! Коллективом И.А.Карпенко разработаны условия недропользования, утверждены и поставлены на государственный баланс запасы месторождения Сухой Лог в новых геологических границах – таковы итоги исследования, сохраняющие актуальность. В этом и во множестве других проектов, реализованных Игорем Алексеевичем, проявились его профессионализм, широкий кругозор, творческий подход к делу, его удивительное качество находить неординарные решения самых сложных задач.

Работу по геолого-экономической оценке месторождения Сухой Лог Центральный научно-исследовательский институт цветных и благородных металлов неоднократно выдвигал на соискание Государственной премии в области науки и техники.

Игорь Алексеевич Карпенко – выпускник Московского института цветных металлов и золота им. М.И.Калинина. Свою трудовую деятельность он начал в 1961 году в Сосновской экспедиции Первого главного геологоразведочного управления Мингео СССР. Игорь Алексеевич участвовал в оценке знаменитого Стрельцовского месторождения урана и в 1972 г. был удостоен за эту работу ордена Трудового Красного Знамени. Он руководил разведкой целого ряда месторождений, запасы которых вошли в состав минерально-сырьевой базы Приаргунского горно-химического комбината – ныне единственного в России предприятия по производству урана. В 1971–1976 гг. Игорь Алексеевич Карпенко работал главным геологом, а затем заместителем начальника геологического отдела в аппарате ПГГУ Мингео СССР. В этот период он курировал геологоразведочные работы на уран в РСФСР, Узбекистане и Казахстане. Позднее разведанные месторождения были вовлечены в промышленное освоение.

В 1976–1992 гг., работая заместителем начальника отдела металлов в ГКЗ СССР, Игорь Алексеевич руководил экспертизой подсчёта запасов более 200 месторождений чёрных, цветных, редких, радиоактивных и благородных металлов. Накопленный за период работы в ГКЗ опыт обобщён им в книге «Экспертиза подсчётов запасов рудных месторождений».

В ЦНИГРИ Игорь Алексеевич пришёл работать в 1992 году и через короткое время возглавил отдел, который осуществлял количественную многовариантную оценку территорий и перспективных объектов для проведения геологоразведочных работ и освоения месторождений, что является одним из важнейших направлений работы института. Игорь Алексеевич успешно реализовывал исследовательские и методические работы по комплексной геолого-экономической оценке регионов, рудных районов и месторождений.

В их числе уникальные свинцово-цинковые месторождения Озерное и Холоднинское, месторождение алмазов имени В.Гриба в Архангельской области. Им были разработаны кондиции для подсчёта запасов различных типов руд Воронцовского месторождения золота, которое успешно разрабатывается по сей день. На основе технико-экономических обоснований и рекомендаций, предложенных И.А.Карпенко, в промышленное освоение вовлечены золоторудные месторождения Барун-Холбинское и Кедровское в Республике Бурятия, Кировское в Оренбургской области. В Красноярском крае проведена геолого-экономическая оценка россыпной алмазоносности Попигайского месторождения, в Республике Саха (Якутия) – золоторудного месторождения Кючюс. Завершив проект по геолого-экономической оценке месторождения Сухой Лог, Игорь Алексеевич Карпенко в 2010–2011 гг. провёл геолого-экономическую оценку крупного медно-порфирового месторождения Песчанка, золоторудного месторождения Клен (Чукотка), свинцово-цинковых месторождений Сардана (Якутия) и Восточный Джимидон (Северная Осетия – Алания) и ряда других объектов. Запасы по оценённым месторождениям поставлены на государственный баланс.

Игорь Алексеевич был разносторонне талантлив. Завершив профессиональную карьеру, он много времени посвящал своему замечательному увлечению – разведению пчёл, но о любимой работе не забывал: в определённом смысле именно она составляла главный смысл его жизни. Даже уйдя на пенсию, Игорь Алексеевич продолжал консультировать коллег, участвовал в совместных публикациях.

Научно-исследовательские методические и прикладные работы Игоря Алексеевича Карпенко имеют большое практическое значение, востребованы государственными организациями и частными компаниями. Его талант и исключительный профессионализм принесли заслуженное уважение коллег. За годы работы в Центральном научно-исследовательском институте цветных и благородных металлов он сумел воспитать учеников, которые сегодня продолжают его дело и хранят память об Игоре Алексеевиче.

Редколлегия журнала

Памяти Олега Сергеевича Набровенкова

18.05.1936–16.11.2020

Олег Сергеевич Набровенков – кандидат геолого-минералогических наук, лауреат премии Правительства Российской Федерации, ветеран труда, ветеран ЦНИГРИ.

Вся плодотворная научно-производственная деятельность Олега Сергеевича была неразрывно связана с ЦНИГРИ, куда он пришёл в 1959 г. после окончания Московского геологоразведочного института им. Серго Орджоникидзе и где проработал 48 лет.

Олег Сергеевич был высококвалифицированным специалистом в области прогнозирования золоторосыпных месторождений. Его работы были посвящены прогнозам, поискам россыпей золота и оценке перспектив россыпной золотоносности Ленского и Баргузинского районов, Восточной Сибири и Дальнего Востока, Полярного и Приполярного Урала, Таймыра и Киргизии, Монголии, Арабской Республики Египет, Никарагуа, Гвинейской Республики. В последние годы своей трудовой деятельности Олег Сергеевич активно занимался вопросами металлогенического районирования Приморских регионов Востока России с целью оценки их россыпной золотоносности, был ведущим экспертом рабочей группы по Новосибирской и Кемеровской областям.

Исследования О.С.Набровенкова, направленные на создание геолого-генетических основ прогноза и поисков россыпных месторождений золота, способствовали выявлению связей россыпей с различными типами источников питания, совершенствованию методики геолого-геоморфологического картирования золотороссыпных провинций, оценке перспектив россыпной золотоносности традиционных и новых районов. Результаты этих многолетних исследований послужили основой разработки геолого-геоморфологического блока легенд к комплекту карт «Экзогенная золотоносность и платиноносность РФ». В 2000 г. работа была удостоена премии Правительства Российской Федерации.

О.С.Набровенков - автор более 100 научных работ. За значительный вклад в укрепление минерально-сырьевой базы отрасли он отмечен медалями «За доблестный труд», «В память 850-летия Москвы», знаком «300 лет геологической службе России» и другими наградами.

В нашей памяти Олег Сергеевич Набровенков навсегда останется как блестящий эрудированный геолог, специалист, влюблённый в профессию, скромный, доброжелательный, отзывчивый человек, готовый помочь советом и делом.

Редколлегия журнала

Список статей, опубликованных в журнале «Отечественная геология» в 2020 году

ОРГАНИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ЭКОНОМИКА, НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

Аксенов С.А. Основные результаты геологоразведочных работ на твёрдые полезные ископаемые в 2019 г. и задачи на 2020 г. № 1. С. 8.
Иванов А.И., Черных А.И., Наумов Е.А., Волчков А.Г., Куликов Д.А., Хасанов В.Н., Алексеев Я.В., Минкин К.М., Тарасов А.С., Попов И.В. Геологоразведочные работы на благородные металлы за средства федерального бюджета в XXI веке – результаты и перспективы. № 6. С. 3.
Черных А.И., Иванов А.И., Алексеев Я.В. Развитие минерально-сырьевой базы золота субъектов Российской Федерации в 2005–2018 гг. № 1. С. 21.

НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ, НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ПРИКЛАДНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Попов Е.В., Захаркин И.В., Ткачева Е.А., Михайлова С.М., Шпекторова О.А., Михайлова Г.А. Возможности нового геологического информационного ресурса – интерактивная карта изученности. № 6. С. 15.

МИНЕРАГЕНИЯ

Иволга Е.Г., Манилов Ю.Ф., Каплун В.Б. Глубинное строение минерагенических зон Южного Приморья. № 6. С. 23.
Мигачев И.Ф., Минина О.В., Звездов В.С. Корякско-Камчатский регион – потенциальная медно-порфировая провинция. № 4–5. С. 3.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Бондаренко Н.В., Утенков В.А., Пачерский Н.В., Раков Н.Д. Геолого-генетическая модель формирования Ветренского золоторудного месторождения (Магаданская область). № 2. С. 17.
Глухов А.Н., Тюкова Е.Э. Геолого-генетические особенности Ороекского рудопроявления медистых сланцев (Приколымский террейн, Северо-Восток России). № 1. С. 52.
Лихачев А.П. Опоискованность Норильского района и возможности открытия в нём новых Pt-Cu-Ni месторождений. № 2. С. 3.
Зубков Ю.А., Сагир А.В., Чварова Н.В. «Угуйский» тип большеобъёмных золоторудных месторождений, сформированных в линейной коре выветривания (юго-западная Якутия). № 2. С. 32.
Корчагина Д.А. Перспективы выявления новых полиметаллических месторождений в Забайкалье. № 3. С. 18.
Корчагина Д.А., Агибалов О.А. Опыт прогнозирования перспективных на золотое оруденение площадей на основе проведения комплексного анализа рудной и россыпной золотоносности (Забайкальский край). № 1. С. 29.
Кузнецов В.В., Серавина Т.В., Кузнецова С.В., Елшина С.Л. Условия локализации колчеданно-полиметаллического оруденения Улугойской минерагенической зоны (Республика Тыва). № 3. С. 3.
Нестеренко М.Р. Строение и состав пикритовых габбродолеритов центральной части Октябрьского месторождения. № 6. С. 39.
Остапенко Н.С., Нерода О.Н. К генезису золото-серебряного месторождения Купол (Северо-Восток России). № 4–5. С. 39.
Хмельков А.М., Власова Э.А. Перспективы алмазоносности Лено-Анабарского междуречья севера Якутской алмазоносной провинции. № 2. С. 46.
Яблокова С.В., Самосоров Г.Г., Позднякова Н.Н. Типоморфные особенности золота как критерии связи россыпей с коренными источниками золото-серебряного типа (на примере рудно-россыпного узла Многовершинное). № 4–5. С. 24.

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Афанасьев В.П., Николенко Е.И., Лобов К.В., Зольников И.Д., Картозия А.А., Глушкова Н.В. Геолого-геоморфологические особенности строения и история формирования Ямалахского горста (Южная Якутия). № 6. С. 80.
Коковкин А.А. Феномен Бурейского оползня: данные полевых исследований и модель формирования. № 4–5. С. 48.

ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ

Гусев А.И., Гусев Н.И. Новые данные по абсолютному возрасту, петрологии и потенциальной рудоносности Мурзинского интрузивного массива (северо-западный Алтай). № 6. С. 68.
Звездов В.С. Механизмы внедрения базитовой магмы в многослойную толщу чехла Восточно-Сибирской платформы и влияние деформационных свойств пород на размещение и морфологию рудоносных трапповых интрузивов (на примере Норильского района). № 3. С. 47.
Зинчук Н.Н. Об использовании гипергенных образований кимберлитов при алмазопоисковых работах. № 2. С. 62.
Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Особенности алмазов из древних осадочных толщ на площадях влияния кристаллических массивов. № 3. С. 75.
Литвиненко А.К., Романова Е.И. Роль пустот в образовании кристаллов на месторождении благородной шпинели Кухи-Лал, Юго-Западный Памир. № 1. С. 80.

Николаев Ю.Н., Калько И.А., Бакшеев И.А., Аплеталин А.В., Власов Е.А., Хабибуллина Ю.Н., Джеджея Г.Т., Прокофьев В.Ю., Тихомиров П.Л. Золото-серебряная минерализация Олойской зоны и её промышленные перспективы. № 1. С. 66.
Петроченков Д.А. Ювелирно-поделочные аммониты из отложений готерива Ульяновской области: минеральный состав, геммологические характеристики. № 4–5. С. 64.
Салихов Р.Ф., Гаранин К.В., Толстов А.В., Ковальчук О.Е., Гаранин В.К., Поляничко В.В., Никифорова А.Ю. Геологическое строение и вещественный состав кимберлитовой трубки заря (Западная Якутия). № 6. С. 48.
Черных А.В., Новиков Д.А. Палеогидрогеохимия нефтегазоносных отложений Анабаро-Хатангского бассейна. № 2. С. 81.

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА МИРОВОГО ОКЕАНА

Сагалевич А.М., Сагалевич В.Д. Исследования гидротермальных полей на дне Мирового океана с применением глубоководных обитаемых аппаратов «Мир». № 3. С. 76.

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Малов А.И. Роль оледенений и морских трансгрессий в эволюции подземной гидросферы прибрежной арктической территории (на примере Юго-Восточного Беломорья). № 3. С. 89.

ДИСКУССИИ

Барышев А.Н., Хачатрян Г.К. Геодинамика, тектоника алмазоносных систем и минерагения. № 6. С. 115.

К 85-ЛЕТИЮ ЦНИГРИ

85-летие ЦНИГРИ. № 1. С. 3.
Мирлин Е.Г. Вклад учёных ЦНИГРИ в изучение геологии и рудоносности Мирового океана. № 3. С. 99.

75-й ГОДОВЩИНЕ ПОБЕДЫ ПОСВЯЩАЕТСЯ

Ветераны ЦНИГРИ – участники Великой Отечественной войны: М.Г.Андреева, Л.С.Бегун. № 1. С. 92.
Ветераны ЦНИГРИ – участники Великой Отечественной войны: Т.Г.Куц, М.А.Васильева. № 2. С. 117.
Ветераны ЦНИГРИ – участники Великой Отечественной войны: А.В.Ижорский, С.А.Манилов, В.Т.Мартынов, Л.А.Болотов, В.В.Лебедев, М.Б.Шебеко, Л.И.Яковлев. № 4–5. С. 97.
Ветераны ЦНИГРИ – участники Великой Отечественной войны. Публикация фотоматериалов из архива ЦНИГРИ. № 6. С. 109.
Конышев В.О., Антонец А.В, Сидорова Е.В. Мы помним. № 4–5. С. 104.
Лидия Александровна Николаева: «Я жила в Ленинграде в декабре 41-го года…». № 3. С. 104.
О значении минеральных ресурсов в экономике страны в период Великой Отечественной войны. № 1. С. 88.
Сидорова Е.В., Грибовская О.А. «Шёл к завоёванным победам с фронтовиками полевик…». № 2. С. 97.

РЕЦЕНЗИИ

Некрасов Е.М. Рецензия на книгу П.А.Игнатова, К.В.Новикова «Полевая диагностика тектонических нарушений и флюидоразрывных образований в кимберлитовмещающих отложениях нижнего палеозоя». № 2. С. 121.

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

80-летие Виктора Петровича Орлова. № 2. С. 119.
85-летие Александра Николаевича Барышева. № 6. С. 115.
Борис Константинович Михайлов. К 70-летию со дня рождения. Воспоминания о замечательном геологе и неординарном человеке. № 3. С. 112.
К 80-летию со дня рождения Георгия Владимировича Ручкина. № 1. С. 94.
К 90-летию со дня рождения Елены Владимировны Францессон. № 6. С. 117.
К 115-летию Герасима Васильевича Богомолова. № 4–5. С. 110.
Памяти Александра Александровича Константиновского. № 4–5. С. 117.
Памяти Аллы Георгиевны Воларович. № 3. С. 134.
Памяти Бориса Александровича Яцкевича. № 3. С. 132.
Памяти Виктора Ивановича Власюка. № 1. С. 93.
Памяти Игоря Алексеевича Карпенко. № 6. С. 128.
Памяти Олега Сергеевича Набровенкова. № 6. С. 130.

X международная научно-практическая конференция

«Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов»

13–16 апреля 2021 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГБУ «ЦНИГРИ») проводит 13–16 апреля 2021 г. X международную научно-практическую конференцию «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов».
Конференция проводится при поддержке Федерального агенства по недорпользованию, Российской академии наук, Российского геологического общества, Ассоциации геологических организаций.

Тематика конференции:

- минерагения 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;
- научно-методические основы комплексирования геологических, геохимических, геофизических методов прогноза, поисков, оценки и разведки;
- использование комплексных моделей месторождений для целей прогноза, поисков, оценки и разведки АБЦМ;
- разработка и реализация инновационных методов, методик и технологий ГРР.

Место проведения:

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

ФГБУ «ЦНИГРИ»

К сведению участников:

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

Программа конференции включает пленарное заседание, устные и стендовые доклады на тематических секциях, а также полевую экскурсию на полиметаллические и золоторудные месторождения Рудного Алтая. Участие в экскурсии платное.

Окончание приема заявок и оплаты участия в полевых экскурсиях 22.02.2021

Конференция будет проходить в смешанном (очном и онлайн) формате. У докладчиков беудет возможность присутствовать в зале, а для тех, кто не сможет приехать, доступно выступление онлайн. Все лекции и выступления будут транслироваться в прямом эфире.

Подробная информация на сайте http://conf2021.tsnigri.ru

Программа конференции будет разослана в электронном виде зарегистрированным участникам. Регистрация участников и прием тезисов будет проводиться на сайте ЦНИГРИ.

Организационный взнос с участников не взимается.

Официальный язык конференции — русский и английский.

Окончание регистрации и приема тезисов 15.03.2021 на сайте http://conf2021.tsnigri.ru/
Подтверждение включения докладов в программу конференции 01.04.2021.

Контакты:

Третьякова Ирина Геннадьевна
учёный секретарь
тел.: (495) 315-26-83
email: conference@tsnigri.ru

II МОЛОДЁЖНАЯ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«МСБ алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче»

17–19 ФЕВРАЛЯ 2021 г

Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»

Уважаемые коллеги!

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ») приглашает вас принять участие в работе II молодёжной научно-образовательной геологической конференции: «МСБ алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче».

Конференцию проводит Федеральное государственное бюджетное учреждение Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГБУ «ЦНИГРИ») по адресу Москва, Варшавское шоссе, 129 к 1.

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

Научные направления конференции:

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

Предполагаемые лекции:

1) Похиленко Н.П. — д.г.-м.н., академик РАН, научный руководитель ИГМ СО РАН «Происхождение и закономерности размещения алмазных месторождений»;
2) Фридовский В.Ю. — д.г.-м.н., директор ИГАБМ СО РАН «Орогенный тип золоторудных месторождений: геология, условия образования, металлогения»;
3) Калинин Ю.А. —д.г.-м.н., главный научный сотрудник ИГМ СО РАН «Современные представления о типах и генезисе экзогенных месторождений золота»;
4) Наумов Е.А. — к.г.-м.н., заместитель генерального директора ФГБУ «ЦНИГРИ» «Современные методы исследования вещества при изучении руд».

Организационный взнос с участников не взимается.

Язык конференции — русский.

Кроме того, предполагается проведение лекций на базовые темы: категории ресурсов и запасов, широкий спектр методов поисков и разведки, различные типы месторождений, ГИС.

Конференция будет организована в смешанном формате. У докладчиков будет возможность присутствовать в зале, а для тех, кто не сможет приехать, доступно выступление онлайн. Все лекции и выступления будут транслироваться онлайн.

Контакты

Антонец Анастасия Владимировна
тел.: (495) 315-26-01
email: antonetc@tsnigri.ru
www.young.tsnigri.ru

Конференция будет проходить по адресу: **г. Москва, Варшавское шоссе, 129, кор. 1.**

Регистрация и подача тезисов возможна до 31.01.2021 на сайте young.tsnigri.ru.