

# ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 3 / 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

МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ
<i>Кузнецов В.В., Серавина Т.В., Кузнецова С.В., Елицина С.Л.</i> Условия локализации колчеданно-полиметаллического оруденения Улугойской минерагенической зоны (Рес- публика Тыва) ..... 3	<i>Малов А.И.</i> Роль оледенений и морских трансгрессий в эволюции подземной гидросферы прибрежной арктической тер- ритории (на примере Юго-Восточного Беломорья) ..... 89
<i>Корчагина Д.А.</i> Перспективы выявления новых полиметаллических месторождений в Забайкалье..... 18	К 85-летию ЦНИГРИ
ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ	<i>Мирлин Е.Г.</i> Вклад учёных ЦНИГРИ в изучение геологии и рудо- носности Мирового океана ..... 99
<i>Звездов В.С.</i> Механизмы внедрения базитовой магмы в многослой- ную толщу чехла Восточно-Сибирской платформы и влияние деформационных свойств пород на размеще- ние и морфологию рудоносных трапповых интрузивов (на примере Норильского района) ..... 47	75-й ГОДОВЩИНЕ ПОБЕДЫ ПОСВЯЩАЕТСЯ
<i>Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.</i> Особенности алмазов из древних осадочных толщ на площадях влияния кристаллических массивов..... 75	Лидия Александровна Николаева: «Я жила в Ленин- граде в декабре 41-го года...» ..... 104
	ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ
	Борис Константинович Михайлов. К 70-летию со дня рождения. Воспоминания о замечательном геологе и неординарном человеке..... 112
	Памяти Бориса Александровича Яцкевича ..... 132
	Памяти Аллы Георгиевны Воларович..... 134

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 13.07.2020

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](http://tsnigri.ru/o_geology)

Сайт электронной библиотеки: <http://elibrary.ru>

Типография ФГБУ ЦНИГРИ

## Условия локализации колчеданно-полиметаллического оруденения Улугуйской минерагенической зоны (Республика Тыва)

В.В.КУЗНЕЦОВ, Т.В.СЕРАВИНА, С.В.КУЗНЕЦОВА, С.Л.ЕЛШИНА (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), 117545, г.Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

В статье рассмотрены особенности геологического строения и условия образования колчеданно-полиметаллических месторождений и рудопроявлений Улугуйской минерагенической зоны, относящихся к типу VMS. Установлено, что процесс рудообразования тесно связан со становлением вулканогенной контрастной риолит-базальтовой формации (туматтайгинская, тапсинская (сынакская) свиты нижнекембрийского возраста). Месторождения локализованы в локальных палеодепрессиях; рудовмещающие породы относятся к вулканогенно-осадочным фациям; главные минеральные типы руд: колчеданно-полиметаллические, колчеданно-свинцово-цинковые, медно-колчеданные, барит-полиметаллические, с золотом; промышленные рудные залежи сформировались синхронно с вулканизмом. В пределах минерагенической зоны выделено 3 рудных района: Кызыл-Таштыгский, Кызыл-Ташский и Оттугайгинский. Создана геометризованная модель, и изучено колчеданно-полиметаллическое оруденение Кызыл-Таштыгского месторождения. *Ключевые слова:* Улугуйская минерагеническая зона, VMS, свинец и цинк, Кызыл-Таштыгское месторождение.

Кузнецов Владимир Вениаминович  
кандидат геолого-минералогических наук

okt@tsnigri.ru

Серавина Татьяна Валерьевна  
кандидат геолого-минералогических наук



tanyaseravina@gmail.com

Кузнецова Светлана Владимировна

skuznetsova@tsnigri.ru

Елшина Светлана Львовна

elshina@tsnigri.ru

## Localization conditions of pyrite-polymetallic mineralization in the Ulugojskaja mineragenic zone (Republic of Tuva)

V.V.KUZNETSOV, T.V.SERAVINA, S.V.KUZNETSOVA, S.L.ELSHINA (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals)

The article discusses the features of the geological structure and the conditions for the formation of pyrite-polymetallic deposits and ore occurrences of the Ulugojskaja mineragenic zone, which are of the VMS type. It was established that the process of ore formation is closely related to the formation of a volcanogenic contrast rhyolite-basalt formation (Tumattayginskaja, Tapsinskaja (Syynakskaja) series of the Lower Cambrian age); deposits are localized in local paleodepressions; ore-bearing rocks belong to the volcano-sedimentary facies; the main mineral types of ores: pyrite-polymetallic, pyrite-lead-zinc, copper-pyrite, barite-polymetallic, with gold; industrial ore deposits formed synchronously with volcanism. Within the mineralogical zone 3 ore districts have been identified: Kyzyl-Tashtygskij, Kyzyl-Tashskij and Ottugaiginskij. A geometrized model was created and the pyrite-polymetallic mineralization of the Kyzyl-Tashtygskoe deposit was studied.

*Key words:* Ulugojskaja mineragenic zone, VMS, lead and zinc, Kyzyl-Tashtygskoe deposit.

Алтае-Саянская провинция отличается разнообразным и сложным тектоническим строением. Её восточная часть, включающая Енисейский кряж и Восточный Саян, представляет собой обнажённые выступы докембрийского фундамента Сибирской платформы. Структуры, расположенные к западу от них, образуют мозаику блоков, сложенных комплексами венда–нижнего и среднего палеозоя, которые фрагментарно перекрыты образованиями девона и карбона.

Наиболее древними из полезных ископаемых являются силлиманитовые сланцы и железистые кварциты гранит-зеленокаменной области архея (Шарышалгайский выступ на юге Восточного Саяна). В протоколлизонных поясах нижнего протерозоя Восточного Саяна отмечаются контактово-метасоматические месторождения железа, талька, магнетита, грейзеновые редкометалльно-редкоземельные (тантал, литий, бериллий) и пегматитовые месторождения мусковита. В Канском зеленокаменном поясе известно медно-никелевое месторождение (Кингашское). В рифейскую эпоху на Енисейском кряже в пассивноукраинной обстановке сформировались крупнейшие месторождения свинца, цинка, железа, талька, магнетита, а в коллизонной обстановке – золота. В пологодислоцированном венд-кембрийском терригенно-карбонатном чехле срединных массивов образовались крупные месторождения осадочных бокситов, фосфоритов, а также барита. В венде в обрамлении Сибирской платформы возникли месторождения ниобия, тантала, апатита, алюминия в связи с локальными проявлениями карбонатитового и щелочного магматизма [1].

В пределах Алтае-Саянской провинции наиболее перспективными для выявления золото-серебросодержащего полиметаллического оруденения являются Рудноалтайская, Салаирская, Улугуйская и Ангаро-Большепитская минерагенические зоны [17].

Улугуйская минерагеническая зона выделяется в южной части Алтае-Саянской металлогенической провинции и расположена в Каа-Хемском и Тоджинском районах Республики Тыва. Минерально-сырьевая база Республики Тыва характеризуется разнообразием полезных ископаемых. Здесь имеются месторождения чёрных, цветных, редких и благородных металлов, нерудного сырья, горючих ископаемых, подземных пресных и минеральных вод. Разведано 20 месторождений полезных ископаемых с утверждёнными запасами, но подготовленных к освоению месторождений в республике очень мало. В Улугуйской минерагенической зоне балансом учтено одно полиметаллическое месторождение – Кызыл-Таштыгское, которое находится в верховьях р. Улуг-О, в труднодоступном районе.

Многолетний российский опыт показывает, что на открытие и подготовку запасов месторождения полиметаллических руд уходит от 10 до 20 лет. При этом значительный отрезок времени затрачивается на проведение работ поисковой стадии, и с течением времени он только увеличивается. В пределах Улугуйской минерагенической зоны перспективы выявления новых объектов полиметаллического оруденения далеко не исчерпаны. На территории известны многочисленные недооценённые рудопроявления, прииски, пункты минерализации цветных металлов и золота, высокоинтенсивные геофизические и геохимические аномалии, требующие заверки [14].

Улугуйская минерагеническая зона представляет собой линейные горстовые выступы нижнекембрийских вулканогенно-осадочных пород, вытянутых в субширотном направлении на 130 км в полосе шириной 20–30 км. С севера зона ограничена Азасским, с юга – Каахемским глубинными разломами. Разрез нижнекембрийских отложений в горстах имеет мощность 5000–6000 м. Нижняя часть его сложена вулканитами контрастной риолит-базальтовой формации (туматтайгинская свита, 3500–4000 м), верхняя часть – туфогенно-осадочными породами с подчинённой ролью эффузивов (тапсинская (сыынакская) свита, 1500–2000 м). Разрез отложений весьма изменчив по латерали и мощности, характеризуется сложным набором фаций. Выделяются жерловые, околожерловые и удалённые фации вулканических построек, в которых широко развиты тела (дайки, штоки, силлы) субвулканических и гипабиссальных интрузий кислого и основного состава [2, 4, 9, 12].

Колчеданно-полиметаллическое оруденение концентрируется в выделяемых в Улугуйской зоне Кызыл-Таштыгском, Кызыл-Ташском и Оттугайгинском рудных районах (рис. 1), а в их пределах – в участках сочленения разломов, контролирующего положение вулканических построек. Последние характеризуются концентрацией субвулканических интрузий различного состава и разных этапов внедрения, наличием вулканических аппаратов, широким развитием грубообломочных туфов жерловой и околожерловой фации, зон метасоматического изменения пород. Руды локализуются на участках переслаивания вулканических пород разного состава с горизонтами осадочных образований – туффитов, кремнистых, углеродисто-кремнистых сланцев, образующихся на склонах (Оттугайгинский прогиб) или по краям вулканических поднятий (Кызыл-Таштыгская депрессия).

На основании анализа вещественного состава вулканогенных и осадочных пород Улугуйской зоны разработано формационное деление рудоносных

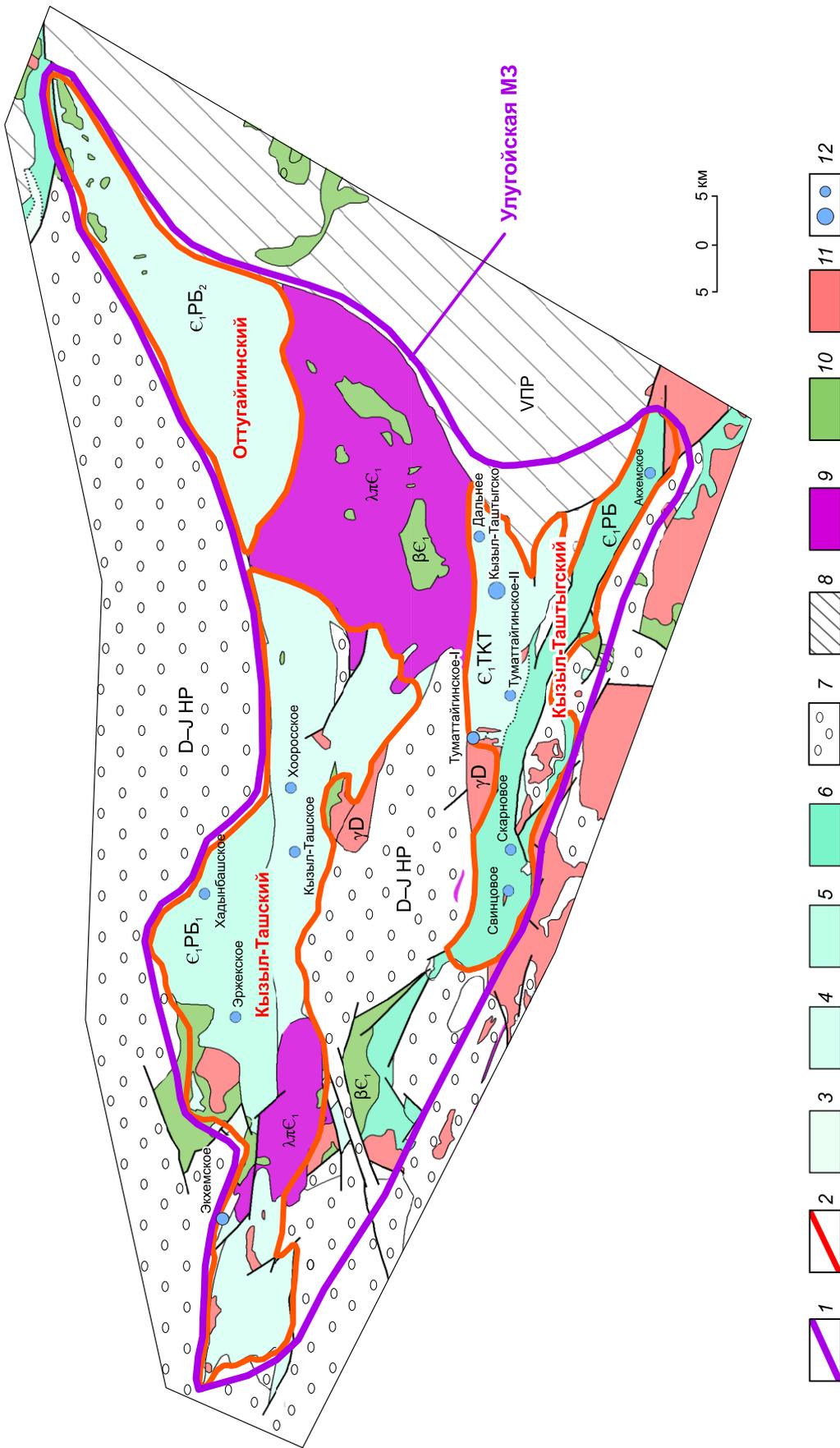


Рис. 1. Формационная схема Улугойской минералогической зоны. С использованием материалов [1, 2, 4, 6, 7, 9, 12]:

1–2 – граница; 1 – минералогическая зона; 2 – рудных районов; 3–11 – геологические формации: 3 – туфогенно-карбонатно-терригенная формация (Тапсинская свита),  $\epsilon_1 TKT$ , 4–6 – рудовмещающая контрастная риолит-базальтовая формация: 4 – верхняя субформация (Туматтайгская свита, верхняя подсвита),  $\epsilon_1 RB_2$ , 5 – нижняя субформация (Туматтайгская свита, нижняя подсвита),  $\epsilon_1 RB_1$ , 6 – нерасчленённые отложения формации (Туматтайгская свита),  $\epsilon_1 RB$ , 7 – надрудная нерасчленённая,  $D-J NP$ , 8 – подрудная нерасчленённая,  $V PR$ , 9 – риолит-риодацитовая (субвулканическая),  $\lambda L \epsilon_1$ , 10 – габбро-долеритовая,  $\beta \epsilon_1$ , 11 – гранитная интрузивная,  $\gamma D$ ; 12 – месторождения и рудопроявления

Формационная колонка	Свита	Подсвита	Пачка (мощность)	Формации	Суб-формации	Индексы	Литологическая колонка
	Тапсинская		С <sub>1</sub> тр (500–1300 м)	Туфогенно-карбонатно-терригенная		С <sub>1</sub> ТКТ	
<p>Скарновое Свинцовое Туматтайгинское 2 Южное</p> <p>Дальнее Сыынакское 1</p>	Туматтайгинская	Верхняя	Верхняя С <sub>1</sub> тм <sup>2</sup> (250–800 м)	Верхняя	Верхняя	С <sub>1</sub> РБ <sub>2</sub> <sup>2</sup>	
Кызыл-Таштыгское			Нижняя С <sub>1</sub> тм <sup>1</sup> (750–1000 м)				
Туматтайгинское 1 Сыынакское 2 Перевальное	Туматтайгинская	Нижняя	Верхняя С <sub>1</sub> тм <sup>2</sup> (500 м)	Риолит-базальтовая	Нижняя	С <sub>1</sub> РБ <sub>1</sub> <sup>2</sup>	
			Нижняя С <sub>1</sub> тм <sup>1</sup> (более 1500 м)				
	Охемская		В (> 1000 м)	Подрудная		В ПР	

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26

**Рис. 2. Формационная и литолого-фациальная колонки вулканогенно-осадочных отложений Улугуйской минералогической зоны с положением месторождений и рудопроявлений в разрезе рудовмещающей формации. С использованием материалов [1, 2, 4, 6, 7, 9, 12]:**

*геологические формации: 1 – туфогенно-карбонатно-терригенная формация (Тапсинская свита); риолит-базальтовая формация (Туматтайгинская свита): верхняя субформация: 2 – верхняя и 3 – нижняя пачки, 4–5 – нижняя субформация: 4 – верхняя и 5 – нижняя пачки; 6 – подрудная нерасчленённая; фации вулканогенных пород основного состава: 7 – промежуточная зона (лавы андезитов, базальтов); фации вулканогенных пород кислого состава: 8–9 – промежуточная зона: 8 – лавы риолитов, риодацитов, дацитов, 9 – мелкообломочные туфы риолитового, риодацитового и дацитового состава; фации вулканогенно-осадочных пород: 10–13 – удалённая зона: 10 – конгломераты, 11 – песчаники, 12 – туфоалевролиты, туффиты разного состава, алевролиты, алевролиты известковистые, кремнистые и углистые, 13 – известняки; литологические разности пород: 14 – лавы базальтов, 15 – лавы андезитов, 16 – лавы риолитов, 17 – туфы риолитового состава мелкообломочные и среднеобломочные, 18 – конгломераты, 19 – песчаники, 20 – туфоалевролиты, 21 – туффиты разного состава, 22 – алевролиты, 23 – алевролиты углистые, 24 – алевролиты кремнистые, 25 – известняки; 26 – месторождения и рудопроявления*

комплексов. Рудовмещающая формация – контрастная риолит-базальтовая и соответствует туматтайгинской свите. Породы сформировались на раннегеосинклинальной стадии салаирского этапа и залегают на карбонатно-терригенных породах венда (охемская свита) без видимого несогласия. Надрудная формация – туфогенно-карбонатно-терригенная, отвечающая сыынакской (тапсинской) свите (рис. 2). Её породы перекрываются с разрывом верхнекембрийскими (таштыгхемская свита), силурийскими и девонскими толщами [2, 4, 9, 10, 12].

Туматтайгинская свита ( $C_1tm$ ) мощностью от 2600 до 4300 м выполняет роль основной рудовмещающей среды. Она отличается существенно вулканогенным разрезом, преобладанием пород от базальтов и трахибазальтов до риодацитов и риолитов при отсутствии андезитов. Нижняя подсвита ( $C_1tm_1$ ) представляет собой платобазальтовое основание структуры в виде серии различных по размеру блоков. Она сложена крупновкрапленными и афировыми базальтами, трахибазальтами и андезибазальтами. Встречаются туфы основного состава, прослойки и линзы сланцев и яшмоидов. Верхняя туматтайгинская подсвита ( $C_1tm_2$ ) отличается сложным геологическим разрезом и большим разнообразием слагающих её пород. Она расчленена на 4 толщи (снизу вверх):

дацит-туфо-терригенная; нижняя базальтовая; риолит-туфо-терригенная; верхняя базальтовая.

Тапсинская (сыынакская свита) ( $C_1tp$ ) мощностью от 500 до 1300 м залегает согласно на отложениях туматтайгинской свиты. Они представлены туффитами, туфоконгломератами и туфопесчаниками, алевролитами, кремнистыми сланцами и яшмоидами с редкими линзами известняков.

Гидротермально изменённые породы Улугуйской зоны относятся к серицит-кварцевой формации и представлены продуктами щелочного магнезиального метасоматоза: хлоритолитами, талькитами, доломитами. Вулканогенные породы риолит-базальтовой формации метаморфизованы в зеленосланцевой фации, преимущественно мусковит-хлоритовой субфации [2, 4, 12].

На основании имеющихся данных проанализированы породы туматтайгинской свиты эталонного Кызыл-Таштыгского рудного района (Кызыл-Таштыгское и Туматтайгинское рудные поля). Для рудных полей по данным [2, 4, 12] были построены диаграммы, которые отражают долю пород с разным содержанием  $SiO_2$  и содержание в этих группах пород  $Na_2O$  и  $K_2O$ . Сравнение химизма пород зоны проводилось по группам (со следующими значениями  $SiO_2$ ): базальты 44–52%, андезибазальты 52–56%, андезиты 56–63%, дациты 63–70%, риолиты 70–78%.

Как видно из диаграммы (рис. 3) в координатах  $SiO_2/(Na_2O+K_2O)$  (TAS), Кызыл-Таштыгское и Туматтайгинское рудные поля представлены преимущественно породами кислого состава от низкощелочного до умереннощелочного ряда и основными породами от нормального до щелочного ряда. В подчинённом количестве встречаются породы среднего состава от нормального до щелочного ряда. Породы представлены базальтами, трахибазальтами, низкощелочными дацитами, риодацитами, трахидацитами, трахириодацитами, низкощелочными риолитами, риолитами, трахириолитами, реже андезитами, трахиандезитами, андезибазальтами и трахиандезибазальтами. Породы характеризуются общим понижением щёлочности при повышении кислотности. Таким образом, циклы вулканизма характеризуются контрастным характером дифференциации риолит-базальтового состава гомодромного ряда.

Из диаграмм  $K_2O-Na_2O$  (см. рисунки 4 и 5) следует, что вулканы Кызыл-Таштыгского и Туматтайгинского рудных полей характеризуются преобладанием натрия над калием, относятся к натриевой и реже к калинатриевой серии. Изменение состава вулканических пород проанализировано по  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$  и  $K_2O$ . Для базальтов и габбро от туматтайгинской к тапсинской (сыынакской) свите возрастает

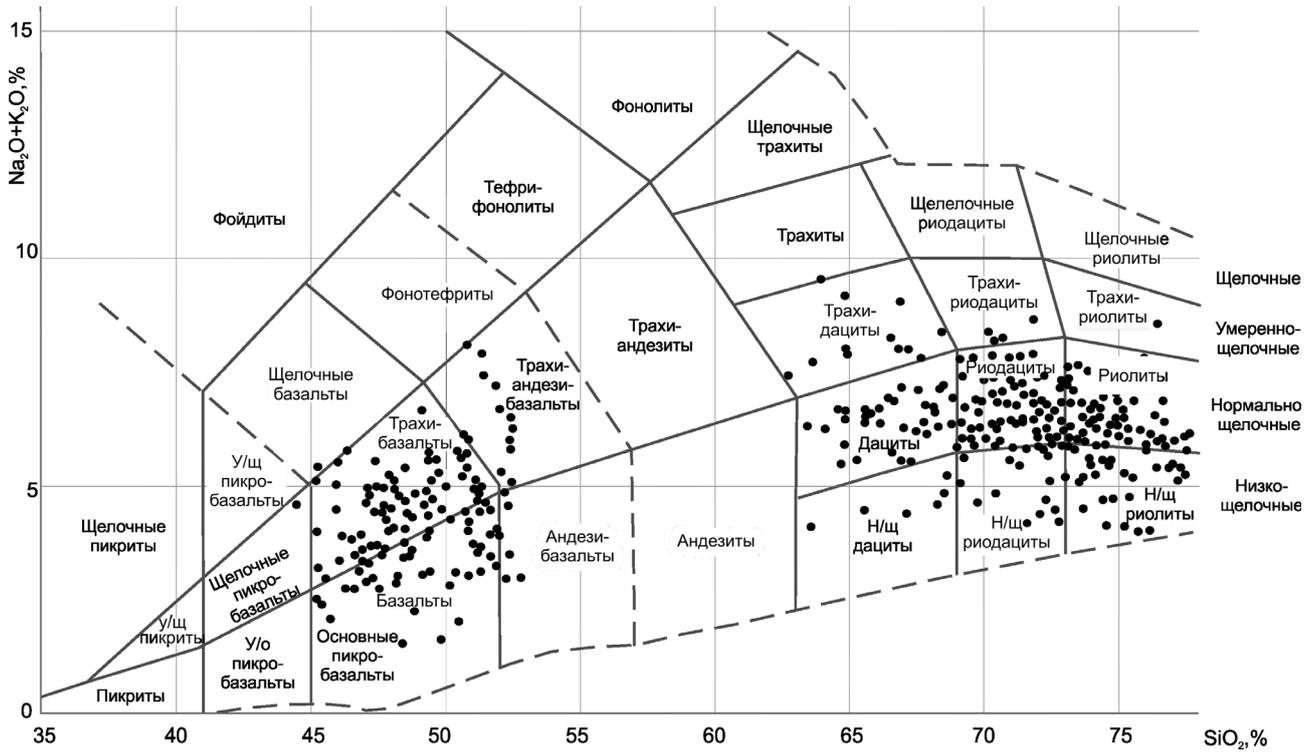


Рис. 3. Диаграмма в координатах  $SiO_2/(Na_2O+K_2O)$  (TAS) для пород Кызыл-Таштыгского и Туматтайгинского рудных полей. С использованием материалов [2, 4, 12]

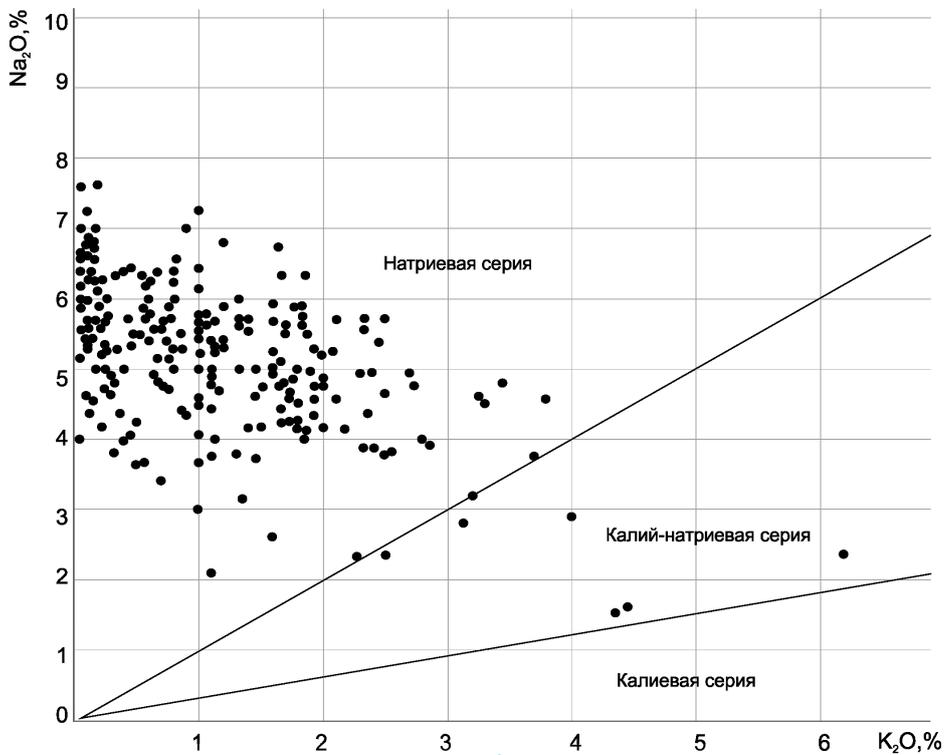


Рис. 4. Диаграмма  $K_2O-Na_2O$  для кислых пород Кызыл-Таштыгского и Туматтайгинского рудных полей. С использованием материалов [2, 4, 12]

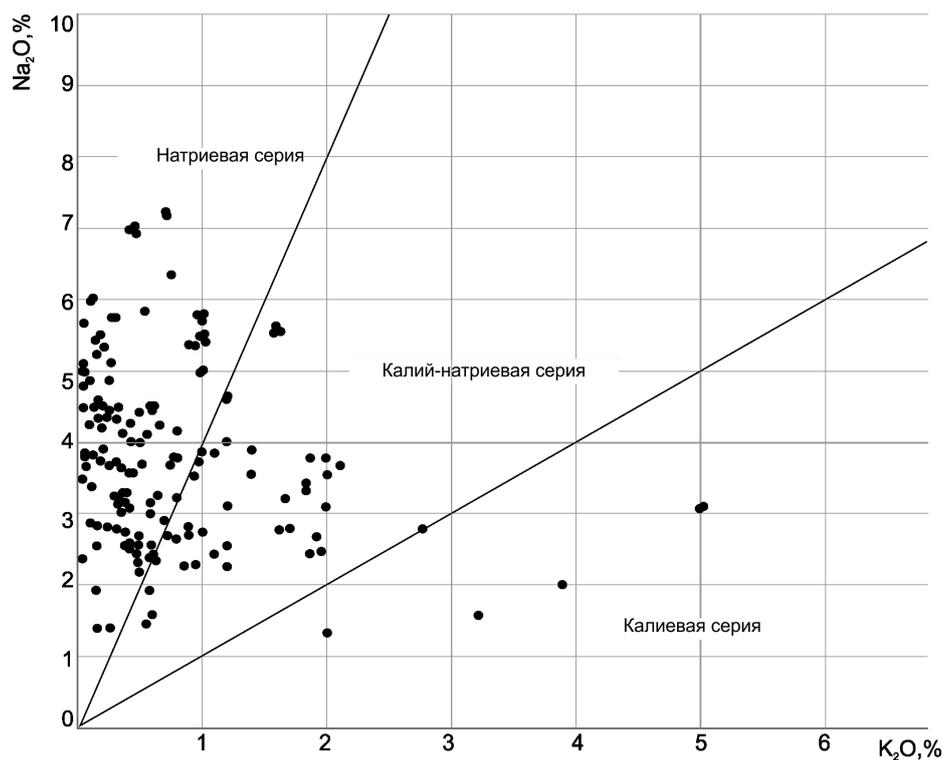


Рис. 5. Диаграмма  $K_2O-Na_2O$  для основных пород Кызыл-Таштыгского и Туматтайгинского рудных полей. С использованием материалов [2, 4, 12]

содержание (в %):  $SiO_2$  (48,3–50,8),  $Al_2O_3$  (15,3–18,6),  $Na_2O$  (3,1–3,5),  $K_2O$  (0,5–1,6) и уменьшается концентрация  $TiO_2$  (1,8–1,0) и  $CaO$  (9,7–8,5).

Месторождения Улугуйской минерагенической зоны относятся к типу VMS. Недавние попытки классифицировать типы колчеданных месторождений в вулканогенных ассоциациях подчеркнули различия в связанных с оруденением вулканических и осадочных вмещающих породах (С.Т.Барри и Хэннингтон, 1999; Г.В.Ручкин и др., 2002; Дж.М.Франклин и др., 2005; Гайли и др., 2007). Преимущества этих систем классификации – более близкая связь между тектонической обстановкой и литолого-стратиграфическими разностями пород и увеличение прогнозной способности во время полевых исследований. По составу руд, связи с рудоконтролирующими формациями и промышленной значимости месторождения и рудопроявления Улугуйской зоны относятся к золото-серебросодержащему медно-свинцово-цинковому колчеданному (рудноалтайскому) рудно-формационному типу [13, 14, 16].

Формирование рудных залежей в пределах Улугуйской минерагенической зоны обусловлено гидротермально-осадочным способом рудоотложения. Основными доказательствами указанной концепции, установленными на большинстве рудных полей,

в том числе Кызыл-Таштыгском, являются следующие: присутствие рудокластов в вулканических брекчиях, перекрывающих колчеданные залежи, присутствие ксенолитов цинково-медноколчеданной руды в поздних субвулканических интрузиях и пересечение последними рудных тел, находки обломков руды в перекрывающих конгломератах, присутствие в составе рудных залежей слоистых руд с осадочными текстурами. Наряду с этим существенное влияние на морфологию рудных тел и распределение разных типов руд оказывают последующие преобразования рудных тел и наложение более молодой минерализации (полигенность и полихронность оруденения).

Для Улугуйской зоны профилирующей является колчеданно-полиметаллическая формация (медно-свинцово-цинковая). Известны также рудопроявления скарново-полиметаллического, золото-кварцевого, золото-полиметаллического, медно-порфирового формационных типов. Наиболее масштабные объекты залегают в придонных частях кальдер и межвулканических депрессий, а также в вулканокупольных сооружениях.

Рудные тела месторождений Улугуйской зоны массивные пластообразные, согласные, редко субсогласные с напластованием, представляющие результат гидротермально-осадочного рудообразования в вулкано-

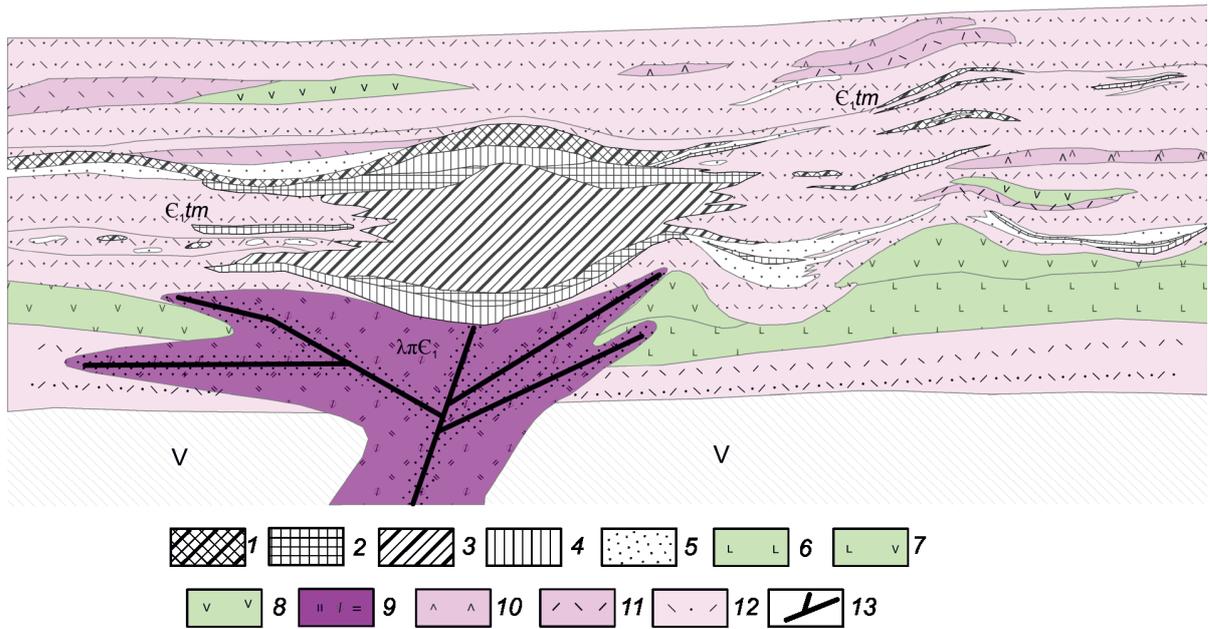


Рис. 6. Геометризованная модель Кызыл-Ташыгского месторождения. С использованием материалов [1, 2, 4, 6, 7, 9, 12]:

1–5 – типы руд: 1 – полиметаллическая медно-свинцово-цинковая, 2 – массивная медно-цинковая, 3 – массивные серноколчеданные, 4 – бедные барит-полиметаллические, 5 – вкрапленная медно-цинковая; фации вулканогенных пород основного состава: 6–8 – промежуточная зона: 6 – лавы базальтов, 7 – лавы андезибазальтов, 8 – лавы андезитов; фации вулканогенных пород кислого состава: 9 – жерловая зона (риолиты, риодациты афировые); 10–12 – промежуточная зона: 10 – лавы дацитов, 11 – лавы риолитов, риодацитов, 12 – туфы риолитового и риодацитового состава мелкообломочные; 13 – рудовыводящие разрывные нарушения

тектонических структурах и сопряжённые с непромышленными прожилково-вкрапленными рудами в серицито-кварцевых метасоматитах. Также отмечаются мелкие рудные залежи массивных или прожилково-вкрапленных руд в подводящих каналах при ограниченном развитии пологих составляющих [2, 8–10,12].

Эталонным объектом для Улугуйской минерагенической зоны является месторождение Кызыл-Ташыгское, которое находится в верховьях р. Улуг-О в Тоджинском районе Республики Тыва. Месторождение локализуется в северной прибортовой части внутреннего прогиба Кызыл-Ташыгской вулканотектонической депрессии, расположенной в юго-восточной части Улугуйской зоны, среди нижнекембрийских вулканогенных отложений верхнетуматтайгинской подситы ( $Є_1т_2$ ) (рис. 6). Месторождение было детально разведано в 1953–1964 гг. (запасы утверждены в ГКЗ) и разрабатывается с 2013 г. открытым способом. Запасы руды (A+B+C<sub>1</sub>) месторождения составляют 8842 тыс. т.

На месторождении выявлены и разведаны 47 линзообразных рудных тел. Рудные минералы – сфалерит, галенит, пирит, халькопирит, редко теннантит;

нерудные – карбонаты, кварц, барит, хлорит. Руды массивные, брекчиевые и вкрапленные. В пределах месторождения выделяются три типа руд: полиметаллические, медные и серноколчеданные. Предшественниками установлено 6 стадий колчеданно-полиметаллического оруденения на месторождении: дорудная кварц-серицитовая, серноколчеданная, медноцинковая, полиметаллическая, полиметаллическая-баритовая и пострудная кварц-карбонатная [2, 4, 6, 7, 11, 15].

На Кызыл-Ташыгском месторождении авторами исследованы колчеданные (пиритовые с небольшим количеством сфалерита и халькопирита) и медноцинковые (пирит-халькопирит-сфалеритовые) руды. Колчеданное оруденение представлено массивными, густо-вкрапленными и брекчиевыми рудами. Среди сульфидов значительно преобладает пирит, слагающий до 90% образцов. В качестве примесей отмечаются сфалерит и эпизодически халькопирит, изредка встречается пирротин.

Массивные руды крупнозернистые или разнозернистые. Размер зёрен до 5 мм. Пирит интенсивно разбит трещинами (рис. 7). В зернистом пирите слабо угадываются кристаллографические очертания,

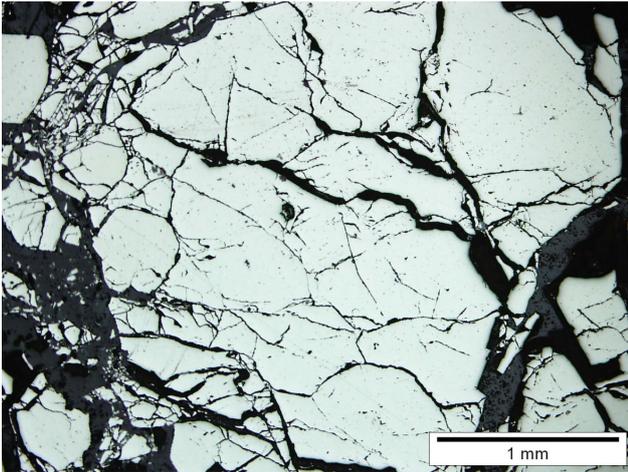


Рис. 7. Морфология выделения пирита

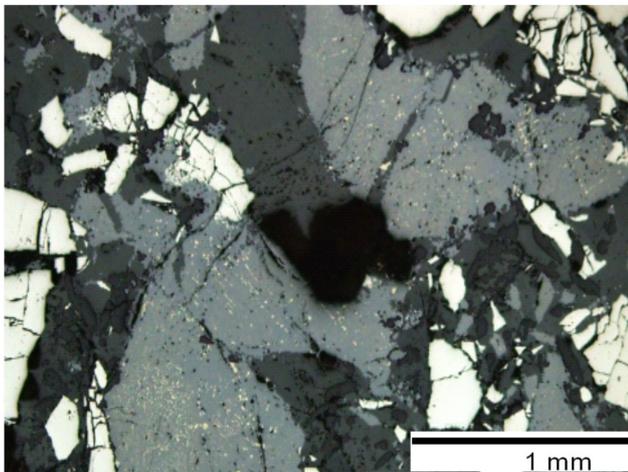


Рис. 8. Скопления сфалерита (серое), содержащего эмульсионную вкрапленность халькопирита

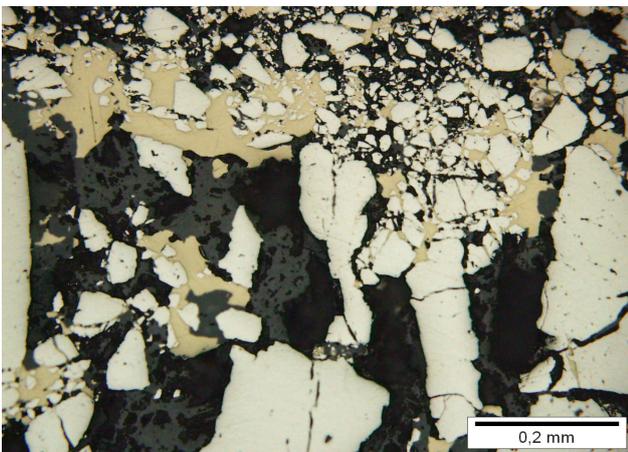


Рис. 9. Халькопирит (желтое) цементирует раздробленный пирит (белое)

а в участках, где очертания зёрен затусованы, пирит имеет сливной вид. Зёрна пирита гладкие, некоторые мелкие трещины слегка заплывшие, что свидетельствует о перекристаллизации. Границы пирита деформационные. Тонкие обломки раздробленного пирита затянуты по трещинам. По более крупным трещинам в пирите развиваются кварц и светлоричный карбонат, которые, в свою очередь, цементируются серицит-хлоритовым агрегатом. Кроме того, в пределах массивных выделений трещиноватого пирита наблюдаются выделения сферической формы, стенки которых выполнены тонкодисперсным пиритом, а центральная часть – кварцем или халькопиритом и в некоторых случаях остается полый. Размер выделений до 7 мм.

Сфалерит наблюдается в качестве включений в пирите, иногда довольно крупных, а также образует скопления размером до 7 мм на пересечении нескольких трещин. Выделения сфалерита здесь достигают 2–3 мм и ассоциируют с карбонатом. Сфалерит интенсивно корродирован нерудным минералом, содержит несколько систем трещин, первые сильно заплывшие, не совпадают с трещинами в пирите. Вторая система трещин пересекает пирит и сфалерит с карбонатом, являясь, таким образом, более поздней. Кроме того, наблюдается переотложение части сфалерита, в результате чего он цементирует раздробленный материал по краям некоторых пиритовых скоплений. Первичный сфалерит насыщен эмульсионной вкрапленностью халькопирита (рис. 8), который также наблюдается в виде тонких штрихов вдоль двойниковых пластин сфалерита. В некоторых случаях эмульсионная вкрапленность переходит в скопления более крупных выделений халькопирита (до 0,04 мм). Переотложенный сфалерит свободен от эмульсионной вкрапленности.

Халькопирит встречается эпизодически. Как правило, он цементирует раздробленный пирит (рис. 9) в пределах небольших участков (около 5–7 мм) или развивается в пирите вдоль тонких трещинок. Кроме того, в зоне развития нерудных образований, представленных преимущественно серицит-хлоритовым материалом, встречаются обломки нерудных минералов с изометричными включениями халькопирита более ранней генерации, размером до 0,3 мм. Здесь халькопирит разбит трещинами и корродирован карбонатом (в пределах обломка).

Пирротин встречается в виде изометричных включений в пирите, размером 0,02–0,05 мм.

Густовкрапленные руды представлены скоплениями гипидиоморфных и аллотриоморфных зёрен пирита, размером 0,5–2 мм. Пирит интенсивно разбит трещинами, несёт на себе следы перекристаллизации, выраженные в появлении кристаллогра-

фических очертаний по краям пиритовых скоплений, заплыванием трещин и др. По трещинам в пирите развивается кварц. Внешние границы зёрен неровные, часто закруглённые, корродированы нерудными минералами, в том числе кварцем и серицит-хлоритовой массой. Халькопирит, сфалерит и пирротин здесь встречаются в качестве многочисленных мелких включений, которыми насыщен пирит. Наиболее часто наблюдаются включения халькопирита и пирротина, реже сфалерита. Размер выделений 0,01–0,03 мм. Включения изометричные, иногда многофазовые – халькопирит-пирротинные или халькопирит-сфалеритовые.

В колчеданных рудах брекчиевой текстуры выделяются разности с обломками 0,7–1,5 и 2–10 см. В этих рудах обломки сульфидов цементируются тонко- и среднезернистой раздробленной сульфидной массой и новообразованными сульфидами в ассоциации с нерудными минералами, преимущественно карбонатом. Среди обломков значительно преобладает пирит. Пирит в обломках интенсивно раздроблен и корродирован другими минералами. В ряде случаев обломок в результате дробления в краевых частях распадается на скопление более мелких зёрен, которые цементируются более поздними сульфидами и карбонатом, сохраняя первоначальные очертания макроскопически. В цементе наблюдается как раздробленный пиритовый материал, так и частично перекристаллизованные обломки пирита до 4 мм, а также скопления тонкозернистого и аллотриоморфного пирита, по-видимому, новообразованного.

Сфалерит цементирует и корродирует пиритовый материал. Иногда в сфалерите наблюдается тонкая эмульсионная вкрапленность халькопирита. Халькопирит встречается эпизодически, образуя скопления размером до 0,3 мм в виде изометричных или ветвящихся выделений 0,02–0,08 мм в пределах сфалерита, а также развивается в виде кайм вдоль границ зёрен пирита. В некоторых участках содержание сфалерита и халькопирита в цементе значительно повышается, что позволяет рассматривать эти руды как переходные к медно-цинковым разностям.

С целью выявления первичной структуры пирита было проведено травление концентрированной азотной кислотой. Хотя значительно преобразованные пириты, как правило, плохо поддаются диагностическому травлению, в некоторых зёрнах были выявлены реликты колломорфной структуры (рис. 10), в отдельных участках наблюдалась гранобластовая структура. Кроме того, выявлены округлые образования в пирите, внешняя часть которых сложена тонкодисперсным пиритом или пиритом с микрогранобластовой структурой, а внутренняя цементи-

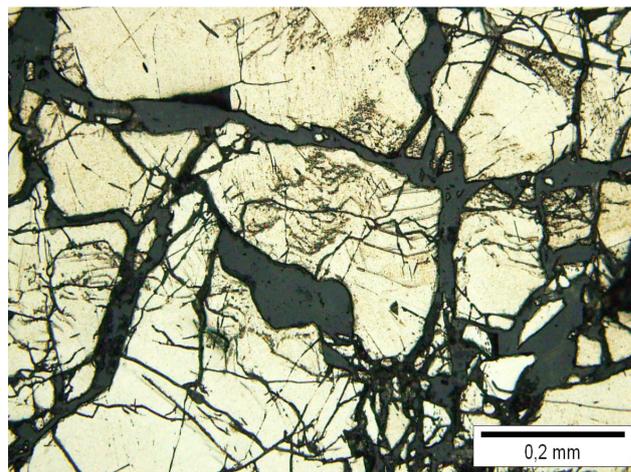


Рис. 10. Реликты колломорфной структуры, выявленной в пирите при травлении концентрированной азотной кислотой

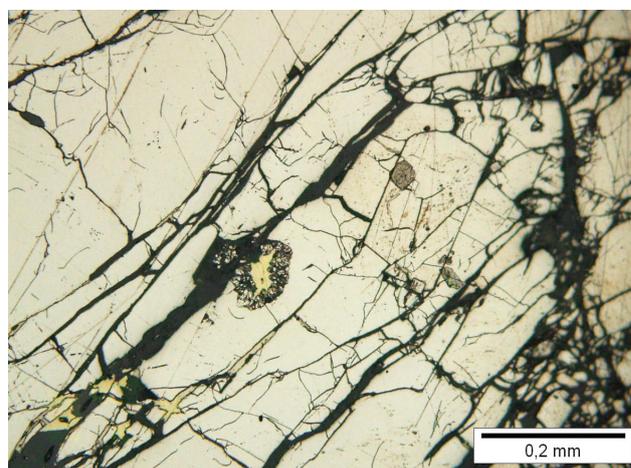


Рис. 11. Сферическое образование, выявленное в пирите при травлении концентрированной азотной кислотой:

по краю образования наблюдается микрогранобластовая структура; центральная часть выполнена халькопиритом



Рис. 12. Сульфидная брекчия зонального строения

руется халькопиритом или кварцем (рис. 11). Данные структуры свидетельствуют о первичной гидротермально-осадочной природе минерализации.

Медно-цинковые (пирит-халькопирит-сфалеритовые) руды в описанных авторами разностях, в основном представлены брекчиевыми разностями и подчинённым количеством полосчатых руд.

Брекчиевые пирит-халькопирит-сфалеритовые руды имеют простой минеральный состав, главные рудные минералы – сфалерит, халькопирит и пирит, в небольшом количестве наблюдаются вюрцит и единичные проявления галенита и пирротина. В некоторых случаях в брекчиях наблюдается зональное строение, обусловленное неравномерным распределением обломков основных сульфидов и реже сульфидов цемента (рис. 12). Наиболее крупные обломки достигают размера 1,5 см, также широко представлен тонкообломочный материал. Пирит в крупных обломках представляет собой интенсивно раздробленные мелкозернистые аллотриоморфные агрегаты, по краям скоплений он раздроблен и растащен. Такие растащенные обломки на контакте с хлоритом, который присутствует в цементе, приобретают кристаллографические очертания и гипидиоморфную структуру, что свидетельствует об их перекристаллизации. В пирите изредка присутствуют тонкие включения пирротина. По трещинам наблюдается замещение пирита нерудными минералами и сульфидами поздних генераций.

Халькопирит в обломках также сильно раздроблен. По трещинам развиваются кварц и карбонат, которые вместе с другими нерудными минералами корродируют зёрна халькопирита. В цементе близ обломков присутствуют скопления халькопирита-2, которые развиваются в интерстициях нерудных минералов, главным образом хлорита.

Обломки сфалерита более мелкие, достигают размера 8 мм. Сфалерит насыщен эмульсионной вкрапленностью халькопирита, в ряде случаев наблюдается перераспределение эмульсионной вкрапленности с концентрацией вдоль двойниковых пластинок сфалерита, а также укрупнение выделений халькопирита (рис. 13, А). Вдоль границ зёрен сфалерита развиваются вюрцит и сфалерит более поздней генерации (сфалерит-2), лишённые эмульсионной вкрапленности халькопирита (см. рис. 13, Б). Халькопирит-2 и сфалерит-2 широко развиты в цементе брекчий, где также распределены неравномерно.

Состав главных минералов в полосчатых медно-цинковых рудах такой же как и брекчиевых, но отличается присутствием во второстепенных минералах блёклой руды и галенита, в качестве редких минералов в этих рудах присутствуют аргентит и джемсонит. В пределах полос также на-

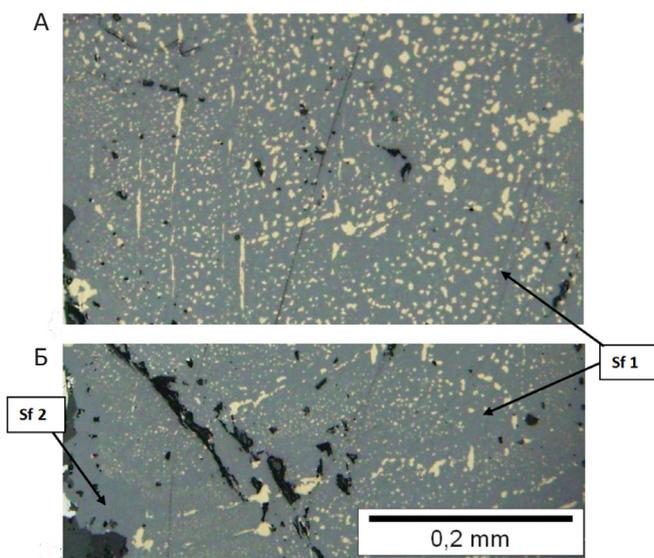


Рис. 13. А – выделения халькопирита (жёлтое) вдоль двойниковых пластин в сфалерите (светло-серое); Б – кайма сфалерита-2 (тёмно-серое) вдоль границы крупного зерна сфалерита-1 (светло-серое)

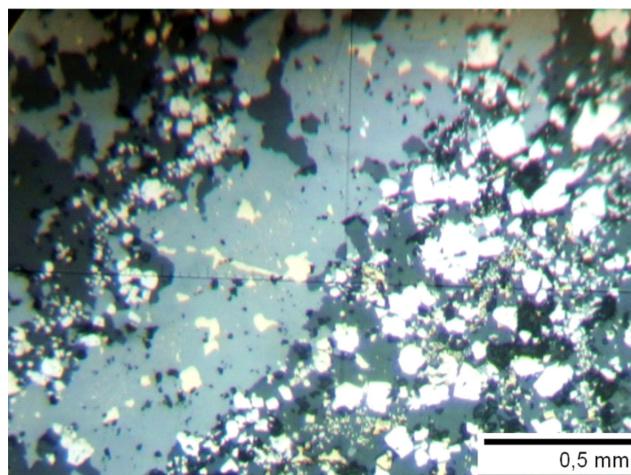


Рис. 14. Скопления сфалерита (светло-серое) полосчатых руд (пирит (белое))

блюдается карбонат. Пирит здесь образует густую вкрапленность и тонко-, среднезернистые, а также глобулярные разности. Сфалерит цементирует скопления зёрен пирита и образует сплошные выделения в пределах полос толщиной 0,4–3 мм (рис. 14), в которых также присутствуют вкрапления пирита, но более редкие. В целом сфалерит практически не содержит эмульсионной вкрапленности халькопирита, исключения составляют участки, где сфалерит

контактирует с халькопиритом. Халькопирит образует выделения размером около 0,1 мм, его наибольшие концентрации тяготеют к контакту карбоната с пиритом и сфалеритом. Блѣклые руды и галенит развиваются в интерстициях зѣрен сфалерита. Блѣклые руды представлены теннантитом и тетраэдритом, иногда концентрируются в виде единичных выделений вдоль двойниковых швов в сфалерите, чаще образуют самостоятельные выделения размером до 0,5 мм в пределах полос сульфидов в ассоциации с карбонатом.

Кроме того, на месторождении развиты полиметаллические и барит-полиметаллические руды (содержание барита в рудах более 30%), которые непосредственно авторами статьи не наблюдались, но широко освещены другими исследователями [6]. Главными минералами в этих типах руд являются сфалерит, галенит, халькопирит и пирит, второстепенными – блѣклые руды, эпизодически самородное золото, минералы серебра, в барит-полиметаллических рудах, кроме того, наблюдались теллуриды висмута.

Установлено, что в данных ассоциациях наиболее ранним минералом является пирит, после чего были отложены сфалерит, насыщенный эмульсионной вкрапленностью халькопирита, а также халькопирит, представленный в обломках брекчиевых руд и в небольшом количестве в пределах колчеданных руд. Затем происходило отложение сульфидов второй генерации, представленных сфалеритом, лишѣнным эмульсионной вкрапленности, халькопирита второй генерации, галенита и блѣклой руды.

Реликты колломорфной структуры в этих рудах свидетельствуют об их гидротермально-осадочном происхождении, а текстурный рисунок установленных сферических образований с пиритовыми оторочками является характерным для участков продолжающейся повышенной активности флюидов в подобных месторождениях, изученных авторами статьи ранее на Рудном Алтае.

По характеру взаимоотношений с вулканогенно-осадочными породами и наличию в цементе брекчий глобулярного и колломорфного пирита можно предположить образование рудных брекчий за сѣт обрушения гидротермальных построек, а также путѣм механизма гидротермального взрыва при закупорке каналов [3].

Помимо Кызыл-Таштыгского, в пределах Улугойской минерагенической зоны известны другие месторождения и рудопроявления. В размещении рудных объектов различного минерального типа в Улугойской зоне намечаются следующие тенденции. В верхней половине разреза туматтайгинской свиты проявлено халькопирит-галенит-сфалерит-пиритовое оруденение с соотношением свинца, меди, цинка

от 1:0,8:6,4 до 1:0,5:20 (Кызыл-Таштыгское, Дальнее, Южное, Перевальное, Туматтайгинское (I и II), Сыынакское, Свинцовое, Скарновое). Такой профиль минерализации свойственен части Улугойской зоны, где развита риолит-базальтовая калинатриевая формация. В северной части зоны, для которой характерна риолит-базальтовая натриевая субформация, большинство рудопроявлений, залегающих на том же стратиграфическом уровне, относится к халькопирит-сфалерит-пиритовому типу (Эржекское, Кыскаштыгское, Хадынбашское). В низах вулканогенного разреза среди монотонных базальтовых лав установлены объекты пиритового и сфалерит-халькопирит-пиритового минерального типов (Анахемское, Холодно-реченское, Кызыл-Ташское) [2, 12].

О формировании и генетических особенностях колчеданно-полиметаллического оруденения Улугойской минерагенической зоны существует несколько точек зрения (Б.И.Бермана [2], Э.Г.Дистанова [7], В.С.Кузубного [12], В.В.Зайкова [9], К.Р.Ковалева [10], В.А.Симонова [15], И.В.Гаськова [6]).

Решение вопросов условий и механизма формирования месторождений является первостепенным при прогнозных исследованиях, так как от правильного понимания происхождения месторождений зависит комплекс поисковых предпосылок и признаков, а также направление поисковых работ. Согласно данным А.Л.Дергачева [5], в геологической истории Земли выделяются четыре кратковременных пика образования вулканогенных колчеданных месторождений: неоархейский (2,72–2,69 млрд. лет), палеопротерозойский (1,89–1,85 млрд. лет), кембрийско-ордовикский (542–472 млн. лет), в который образовались объекты Улугойской минерагенической зоны, и девонско-раннекаменноугольный (416–330 млн. лет), связанные со стадиями быстрого сближения блоков континентальной коры различных суперконтинентальных циклов.

Важнейшими факторами образования колчеданно-полиметаллического оруденения в пределах Улугойской зоны являются: формационный (связь с контрастной риолит-базальтовой формацией, что было показано выше), близость источника рудного вещества, наличие структур, благоприятствовавших накоплению и быстрому захоронению крупных рудных тел, а также большая продолжительность процессов рудообразования на фоне палеовулканического режима (А.Л.Дергачев, Н.И.Еремин, 2008; Н.И.Еремин и др., 2004).

Проведѣнные исследования закономерностей распределения месторождений Улугойской зоны, их строения, состава и условий образования подтверждают парагенетическую связь колчеданно-полиметаллического оруденения с процессами кембрий-

ского вулканизма и их приуроченность к центрам вулканической активности.

Гидротермальные системы, возникшие в связи с подводным вулканизмом, описываются конвективно-рециклинговой моделью (Elder, 1965; Kajiwara, 1973; Ohmoto, Rye, 1974; Large, 1977; Spooner, 1980; А.И.Кривцов, 1995; Д.В.Гричук и др., 1998), состоящей из теплового источника с подчинёнными ему конвекционными ячейками, в которых выделяются зоны нисходящего потока, нейтральная, а также зона разгрузки (рудных тел).

В основе конвективно-рециклинговой модели лежат представления о гидротермально-метасоматических системах, которые функционировали в значительной степени за счёт морских вод. Источником энергии, обеспечивающим возникновение и функционирование таких систем, служил располагающийся в их нижней части периферический магматический очаг.

Восходящая ветвь конвективной ячейки находится над локальными зонами растяжения, расположенными над периферическими магматическими очагами. Они фиксируются вулканическими центрами, телами субвулканических интрузий. После завершения магматического этапа над магматической камерой формируются депрессионные структуры. По контролирующим их разломам поднимаются восходящие потоки конвективно-рециклинговой ячейки. При формировании рудной постройки над восходящей ветвью системы происходит интенсивное перераспределение рудных элементов с накоплением меди во внутренней высокотемпературной зоне и цинка во внешней низкотемпературной зоне постройки («чёрного курильщика»).

На возможность образования древних колчеданных руд Улугуйской зоны по механизму «чёрных курильщиков» указывает холмообразная форма проксимальных рудных залежей на Кызыл-Таштыгском месторождении [6, 8], широкое развитие брекчиевых, градационно-слоистых и других подобных текстурных форм в них, образованных за счёт продуктов разрушения «курильщика», а также осаждения дисперсного рудного вещества из восходящих плюмов.

Согласно данным В.Ю.Русакова (2014), дистальные рудные залежи формируются в условиях сходных с осадконакоплением из материала плюмов нейтральной плавучести и материала дымов «чёрных курильщиков» (гидрогенное дисперсное гидротермально-осадочное образование), что подтверждается полным совпадением структурных форм руд и современных металлоносных осадков.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беззубцев В.В., Махлаев М.Л., Кириченко В.Т. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Алтае-Саянская. Лист N-46 (Абакан). Объяснительная записка. – СПб.: Изд-во картфабрики ВСЕГЕИ, 2008. – 391 с.
2. Берман Б.И. Геология и генезис полиметаллических месторождений Кызыл-Таштыгского рудного поля (Восточная Тува) // Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – М., 1966. – 20 с.
3. Богданов Ю.А., Лисицин А.П., Сагалевич А.М. Гидротермальный рудогенез океанского дна. – М.: Наука, 2006. – 527 с.
4. Бухаров Н.С. Факторы пространственного размещения рудных тел Кызыл-Таштыгского полиметаллического месторождения (Тува) // Металлогения Сибири. – Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1987. – Т. 2. – С. 46–48.
5. Дергачев А.Л. Эволюция вулканогенного колчеданообразования в истории Земли // Автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. – М: МГУ, 2010. – 262 с.
6. Гаськов И.В. Кызыл-Таштыгское месторождение в Восточной Туве – эталон древнего вулканогенного образования колчеданно-полиметаллических руд // Геология и геофизика. – 2020. – № 2. – С. 175–193.
7. Дистанов Э.Г. Колчеданно-полиметаллические месторождения Сибири. – Новосибирск: Наука, 1977. – 350 с.
8. Зайков В.В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин: на примере колчеданосных зон Урала и Сибири. 2-е изд., доп. – М.: Наука, 2006. – 429 с.
9. Зайков В.В., Лебедев В.И., Тюлькин В.Г. и др. Рудные формации Тувы. – Новосибирск: Наука, 1981. – 200 с.
10. Ковалев К.Р. Особенности формирования и метаморфизм руд колчеданно-полиметаллических месторождений Салаира и Тувы // Геология и геофизика. – 1966. – № 9. – С. 44–54.
11. Кузугет Р.В., Анкушева Н.Н. Минералогия и условия образования медно-цинковых и медных руд Кызыл-Таштыгского колчеданно-полиметаллического месторождения (Восточная Тува) // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 12. – С. 414–422.
12. Кузубный В.С., Макаров В.А., Калеев Е.А. и др. Кызыл-Таштыгский колчеданно-полиметаллический рудный узел Восточной Тувы. – Красноярск, 2001. – 292 с.
13. Кузнецов В.В., Кудрявцева Н.Г., Галямов А.Л. и др. Геолого-генетические основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений рудноалтайского типа // Отечественная геология. – 2014. – № 2. – С. 30–38.
14. Кузнецов В.В., Серавина Т.В. Прогноз и поиски месторождений свинца и цинка в вулканогенных (VMS) и терригенно-карбонатных ассоциациях (SEDEX) // Материалы XIV международной научно-практической

- конференции «Новые идеи в науках о Земле». – М., 2019. – Т. 2. – С. 173–176.
15. *Симонов В.А., Котляров А.В.* Физико-химические параметры палеогидротермальных систем колчеданно-полиметаллического месторождения Кызыл-Таштыг, Восточная Тува // *Металлогения древних и современных океанов–2013.* – Миасс: ИМин УрО РАН, 2013. – С. 152–155.
  16. *Серавина Т.В.* Положение колчеданно-полиметаллических месторождений Сибири в вулканогенном раз-

резе (на примере Рудноалтайской, Салаирской, Кызылташтыгской и Приаргунской минерагенических зон) // *Материалы XXIV молодежной научной школы «Металлогения древних и современных океанов – 2018. Вулканизм и рудообразование».* – Миасс, 2018. – С. 104–108.

17. *Серавина Т.В., Кузнецов В.В.* Опыт и результаты прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений 2009–2017 гг. // *Руды и металлы.* – 2018. – № 3. – С. 16–25.

### REFERENCES

1. *Bezzubtsev V.V., Makhlayev M.L., Kirichenko V.T.* et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:1 000 000 [State geological map of the Russian Federation on a scale of 1: 1 000 000]. Tret'ye pokoleniye. Seriya Altaye-Sayanskaya. List N-46 (Abakan). Ob'yasnitel'naya zapiska. Saint Petersburg, Izd-vo kartfabriki VSEGEI publ. 2008. 391 p.
2. *Berman B.I.* Geologiya i genezis polimetallicheskikh mestorozhdeniy Kyzyl-Tashtygskogo rudnogo polya (Vostochnaya Tuva) [Berman B.I. Geology and genesis of polymetallic deposits of the Kyzyl-Tashtyg ore field (East Tuva)]. avtor-ref. dis. ... kand. geolog.-miner. nauk. – Moscow, 1966. 20 p.
3. *Bogdanov Yu.A., Lisitsin A.P., Sagalevich A.M.* Gidrottermal'nyy rudogenez okeanskogo dna [Hydrothermal ore genesis of the ocean floor]. Moscow, Nauka publ. 2006. 527 p.
4. *Bukharov N.S.* Faktory prostranstvennogo razmeshcheniya rudnykh tel Kyzyl-Tashtygskogo polimetallicheskogo mestorozhdeniya (Tuva) [Factors of spatial distribution of ore bodies of the Kyzyl-Tashtyg polymetallic deposit (Tuva)]. *Metallogeniya Sibiri.* Novosibirsk, IGiG SO ANSSSR publ. 1987. V. 2. P. 46–48.
5. *Dergachev A.L.* Evolyutsiya vulkanogennogokolchedanobrazovaniya v istorii Zemli [The evolution of volcanogenic pyrites in the history of the Earth]. *Doktorskaya dissertatsiya.* Moscow, MGU publ. 2010. 262 p.
6. *Gas'kov I.V.* Kyzyl-Tashtygskoye mestorozhdeniye v Vostochnoy Tuve – etalon drevnego vulkanogennogo obrazovaniya kolchedanno-polimetallicheskikh rud [The Kyzyl-Tashtyg deposit in East Tuva is a standard of the ancient volcanogenic formation of pyrite-polymetallic ores]. *Geologiya i geofizika.* 2020. No 2. P. 175–193.
7. *Distanov E.G.* Kolchedanno-polimetallicheskiye mestorozhdeniya Sibiri [Pyrite-polymetallic deposits of Siberia]. Novosibirsk, Nauka publ. 1977. 350 p.
8. *Zaykov V.V.* Vulkanizm i sul'fidnyye kholmy paleoceanicheskikh okrain: na primere kolchedanonosnykh zon Urala i Sibiri [Volcanism and sulfide hills of the paleoceanic margins: on the example of the pyritiferous zones of the Urals and Siberia]. 2-ye izd., dop. Moscow, Nauka publ. 2006. 429 p.
9. *Zaykov V.V., Lebedev V.I., Tyul'kin V.G., Grechishcheva V.N., Kuzhuget K.S.* Rudnyye formatsii Tuvy [Ore formations of Tuva]. Novosibirsk, Nauka publ. 1981. 200 p.
10. *Kovalev K.R.* Osobennosti formirovaniya i metamorfizm rud kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy Salaira i Tuvy [Features of the formation and metamorphism of ores of pyrite-polymetallic deposits of Salair and Tuva]. *Geologiya i geofizika.* 1966. No. 9. P. 44–54.
11. *Kuzhuget R.V., Ankusheva N.N.* Mineralogiya i usloviya obrazovaniya medno-tsinkovykh i mednykh rud Kyzyl-Tashtygskogo kolchedanno-polimetallicheskogo mestorozhdeniya (Vostochnaya Tuva) [Mineralogy and conditions for the formation of copper-zinc and copper ores of the Kyzyl-Tashtyg pyrite-polymetallic deposit (East Tuva)]. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya.* 2016. No.12. P. 414–422.
12. *Kuzebnyy V.S., Makarov V.A., Kaleyev Ye.A.* et al. Kyzyl-Tashtygskiy kolchedanno-polimetallicheskiy rudnyy uzel Vostochnoy Tuvy [Kyzyl-Tashtyg pyrite-polymetallic ore cluster of East Tuva]. Krasnoyarsk. 2001. 292 p.
13. *Kuznetsov V.V., Kudryavtseva N.G., Galyamov A.L., Kuznetsova S.V., Seravina T.V.* Geologo-geneticheskiye osnovy prognoza i poiskov kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy rudnoaltayskogo tipa [Geological and genetic foundations of the forecast and searches for pyrite-polymetallic deposits of the ore-Altai type]. *Otechestvennaya geologiya.* 2014. No. 2. P. 30–38.
14. *Kuznetsov V.V., Seravina T.V.* Prognoz i poiski mestorozhdeniy svintsya i tsinka v vulkanogennykh (VMS) i terrigenno-karbonatnykh assotsiatsiyakh (SEDEX) [Forecast and search for deposits of lead and zinc in volcanogenic (VMS) and terrigenous-carbonate associations (SEDEX)]. *Materialy XIV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Novyye idei v nauках o Zemle.* Moscow. 2019. V.2. P.173–176.
15. *Simonov V.A., Kotlyarov A.V.* Fiziko-khimicheskiye parametry paleogidrotermal'nykh sistem kolchedanno-polimetallicheskogo mestorozhdeniya Kyzyl-Tashtyg, Vostochnaya Tuva [Physico-chemical parameters of the paleohydrothermal systems of the pyrite-polymetallic deposit Kyzyl-Tashtyg, East Tuva]. *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov.* 2013. Miass, IMin Uro RAN publ. 2013. P. 152–155.

16. *Seravina T.V.* Polozheniye kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdeniy Sibiri v vulkanogenom razreze (na primere Rudnoaltayskoy, Salairskoy, Kyzyltashtyskoy i Priargunskoy mineragenicheskikh zon) [The position of the pyrite-polymetallic deposits of Siberia in a volcanogenic section (for example, the Rudnoaltayskaya, Salairskaya, Kyzyltashtyskaya and Priargunsky mineralogical zones)]. *Materialy XXIV molodezhnoy nauchnoy shkoly Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov–2018. Vulkanizm i rudoobrazovaniye*. Miass. 2018. P. 104–108.
17. *Seravina T.V., Kuznetsov V.V.* Opyt i rezul'taty prognoza i poiskov kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdeniy 2009–2017 gg. [Experience and results of the forecast and searches for pyritic-polymetallic deposits in 2009–2017]. *Rudy i metally*. 2018. No. 3. P. 16–25.

#### Требования к оформлению рисунков

Рисунки и другие графические материалы (не более 8) представляются в цветном или черно-белом варианте в электронном виде. Размер оригиналов рисунков не должен превышать формата страницы журнала (170х237 мм). Каждый рисунок помещается в отдельный файл в одном из следующих форматов: графический редактор Corel Draw, JPEG, TIFF (только для фото), диаграмма Microsoft Excel. Графика должна быть прямо связана с текстом и способствовать его сокращению. Оформление и содержание иллюстративного материала должны обеспечивать его читаемость после возможного уменьшения. Ксерокопии и сканированные ксерокопии не принимаются. Подрисуночные подписи печатаются на отдельной странице. Рисунки, не удовлетворяющие требованиям редакции, возвращаются автору.

### Перспективы выявления новых полиметаллических месторождений в Забайкалье

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

Рассмотрено состояние минерально-сырьевой базы свинца и цинка Приаргунской металлогенической зоны. Показано, что обеспеченность действующих предприятий является недостаточной. Обоснованы перспективы выявления новых месторождений Нойон-Тологойского и Приаргунского типов оруденения. Оценены прогнозные ресурсы категории  $P_3$  для перспективных площадей. В качестве первоочередных площадей для проведения поисковых работ выделены Мулинская и Маньковская (Нойон-Тологойский тип) и Воздвиженская и Запокровская (Приаргунский тип).

*Ключевые слова:* свинец, цинк, минерально-сырьевая база, Забайкальский край, запасы, добыча, Приаргунская металлогеническая зона, прогнозные ресурсы, перспективные площади.

Корчагина Дарья Александровна



korchagina@tsnigri.ru

### Prospects for new polymetallic deposit discovery in Trans-Baikal region

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

Lead and zinc mineral base status in Argun metallogenic zone is considered. Operating plant mineral insufficiency is shown. Discovery prospects for new Noyun-Tologoi and Argun mineralization type deposits are validated. Undiscovered resources for promising areas are established. Mulinskaya and Mankovskaya (Noyun-Tologoi type), and Vozdvizhenskaya and Zapokrovskaya (Argun type) areas are revealed as prioritized prospecting areas.

*Key words:* lead, zinc, mineral base, Trans-Baikal region, reserves, production, Argun metallogenic zone, undiscovered resources, promising areas.

Забайкальский край является одним из старейших горнорудных районов России. С XIX в. здесь добывались в основном золото из россыпей, серебро из серебро-полиметаллических месторождений. В XX в. началась добыча из коренных месторождений золота, олова, урана, полиметаллов и др.

В настоящей статье рассматриваются проблемы минерально-сырьевой базы (МСБ) золото-серебро-полиметаллических месторождений, сосредоточенных в основном в юго-восточной части края в пределах Приаргунской металлогенической зоны (МЗ) (рис. 1). Здесь в принятой стратегии экономического развития Забайкальского края на период до 2030 г. предусмотрено создание горно-экономического центра. В связи с этим весьма ак-

туальной задачей является оценка состояния МСБ цинка и свинца с попутными золотом и серебром и перспектив её развития.

С XIX в. в пределах Приаргунской металлогенической зоны эксплуатировались полиметаллические месторождения в основном с целью добычи серебра, а с XX в. – всего комплекса металлов. До 1995 г. добыча велась на месторождениях, локализованных в терригенно-карбонатных породах (Савинское № 5, Северо-Акатуевское, Кадаинское, Михайловское, Воздвиженское, Екатерино-Благодатное, Центральное, Алгачинское). С 1995 г. их эксплуатация была прекращена, рудники закрыты в связи с нерентабельностью, прекратил работу Нерчинский полиметаллический комбинат, работающий

на сырье этих предприятий. С 2002 г. оставшиеся запасы этих ранее разрабатываемых месторождений переведены в нераспределённый фонд.

Кроме полиметаллических месторождений, в терригенно-карбонатных толщах ещё в 1960-е годы было выявлено промышленное полиметаллическое оруденение в осадочно-вулканогенных породах – месторождение Ново-Широкинское. Оно не разрабатывалось ранее и с 1951 по 2008 гг. числилось в государственном балансе в статусе «подготавливаемое к освоению».

В 2008 г. завершены первоочередные геолого-разведочные работы, и впервые учтены балансовые запасы свинца и цинка на месторождении Нойон-Тологой, локализованном в осадочно-вулканогенных породах. Его изучение привело к выводу о высоких перспективах выявления новых месторождений в таких обстановках и выделению Нойон-Тологойского типа колчеданно-полиметаллических месторождений (В.В.Кузнецов и др., 2018). Соответ-

ственно, Ново-Широкинское месторождение также отнесено к этому типу. Месторождения, локализованные в терригенно-карбонатных породах, отнесены В.В.Кузнецовым к Приаргунскому типу (В.В.Кузнецов и др., 2018).

В настоящее время в Приаргунской МЗ балансовые запасы кат. АВС<sub>1</sub> С<sub>2</sub>, сосредоточенные в основном в месторождениях Нойон-Тологой и Ново-Широкинское, составляют (в тыс. т): свинец – 1808, цинк – 1804,3. Динамика изменения запасов Приаргунской МЗ показана на рис. 2.

В 2008 г., после длительного перерыва в эксплуатационных работах в пределах Приаргунской МЗ, впервые началась добыча руды на месторождениях Ново-Широкинское и Нойон-Тологой. В настоящее время она имеет отчётливую тенденцию к увеличению.

Так, за 2018 г. было добыто (в тыс. т): свинец – 25,2 и цинк – 25. Динамика добычи показана на рис. 3.

На месторождении Нойон-Тологой (недропользователь ООО «Байкалруд») построена I очередь

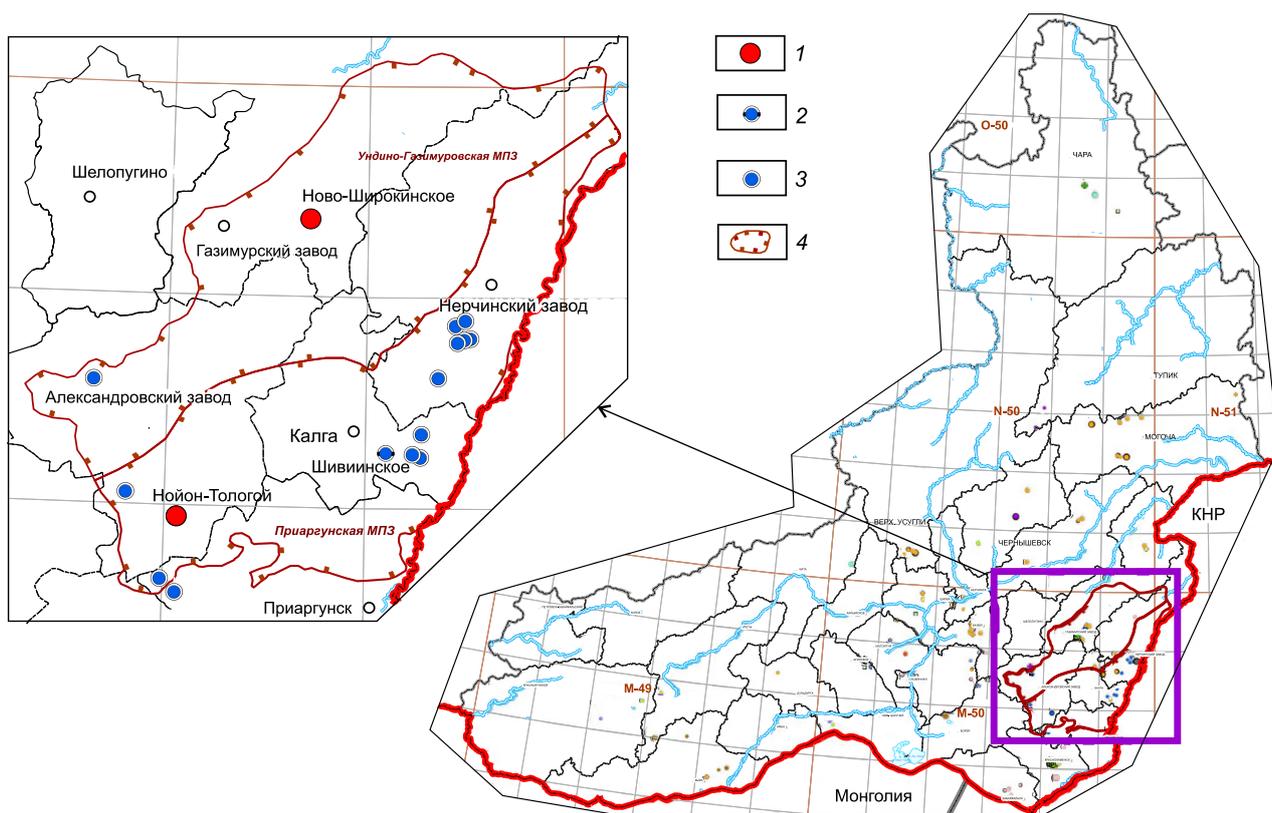


Рис. 1. Схема расположения Приаргунской МЗ на территории Забайкальского края:

месторождения: 1 – Нойон-Тологойского типа (РФН, разрабатываемые), 2 – Шивиинское (РФН, разведываемое), 3 – Приаргунского типа (НРФН); 4 – границы металлогенических зон (Приаргунская) и подзон

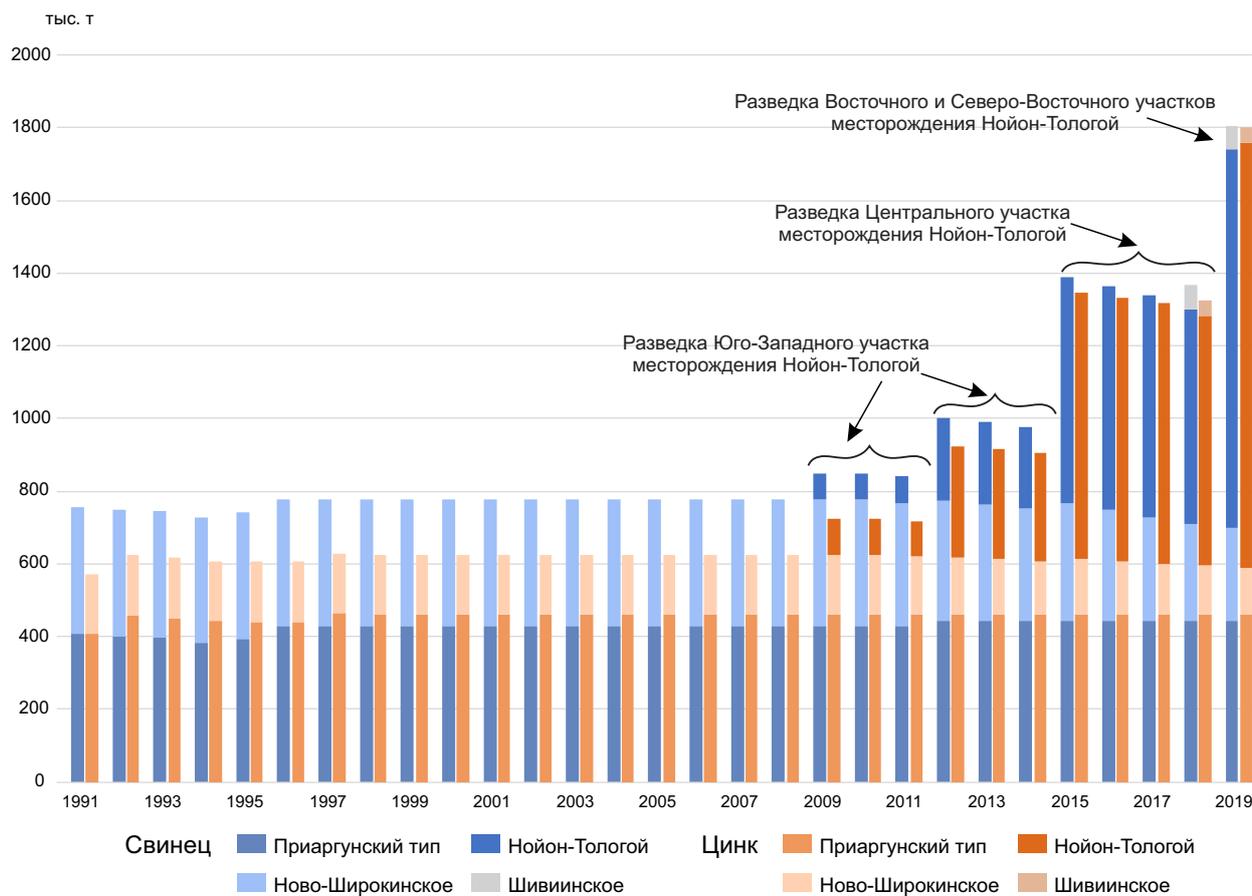


Рис. 2. Изменение запасов цветных металлов Приаргунской МЗ, 1991–2019 гг.

фабрики, рассчитанная на переработку около 1000 тыс. т руды в год. Проектная (из материалов ТЭО) мощность фабрики – 3,0 млн. т руды в год. При этой производительности обеспеченность предприятия балансовыми запасами составляет 20 лет.

ОАО «Ново-Широкинский рудник» разрабатывает подземным способом Ново-Широкинское полиметаллическое месторождение. Обеспеченность предприятия балансовыми запасами составляет 16 лет при плановой (по материалам ТЭО) производительности по добыче руды 850 тыс. т в год.

Таким образом, обеспеченность Приаргунской МЗ не превышает 20 лет, то есть является критической (рис. 4). Для поддержания стабильной добычи полиметаллов в пределах Приаргунской металлогенической зоны необходимо выявлять новые месторождения, которые должны быть введены в строй ко времени её сокращения на месторождениях Ново-Широкинское и Нойон-Тологой.

Однако в настоящее время перспективы выявления новых месторождений с соответствующими балансовыми запасами недостаточно обоснованы. Так, в выявленных к настоящему времени рудопроявлениях и перспективных площадях количество апробированных прогнозных ресурсов составляет (в тыс. т): цинк кат.  $P_3$  – 924, кат.  $P_2$  – 1140, кат.  $P_1$  – 0, 58; свинец кат.  $P_3$  – 698, кат.  $P_2$  – 812, кат.  $P_1$  – 47. Согласно статистическим расчётам коэффициента реализации прогнозных ресурсов свинца и цинка низких категорий в более высокие, а затем в запасы  $C_2$ , проведённым В.В.Кузнецовым по аналогии с расчётом такового по золоту (А.И.Иванов, А.И.Черных, С.С.Вартанян, 2018), из имеющихся прогнозных ресурсов могут быть подготовлены относительно небольшие запасы категории  $C_2$  (свинца – 321 и цинка – 565 тыс. т), которые могут обеспечить современный уровень добычи менее чем на 6 лет (см. рис. 4, прогнозный уровень добычи).

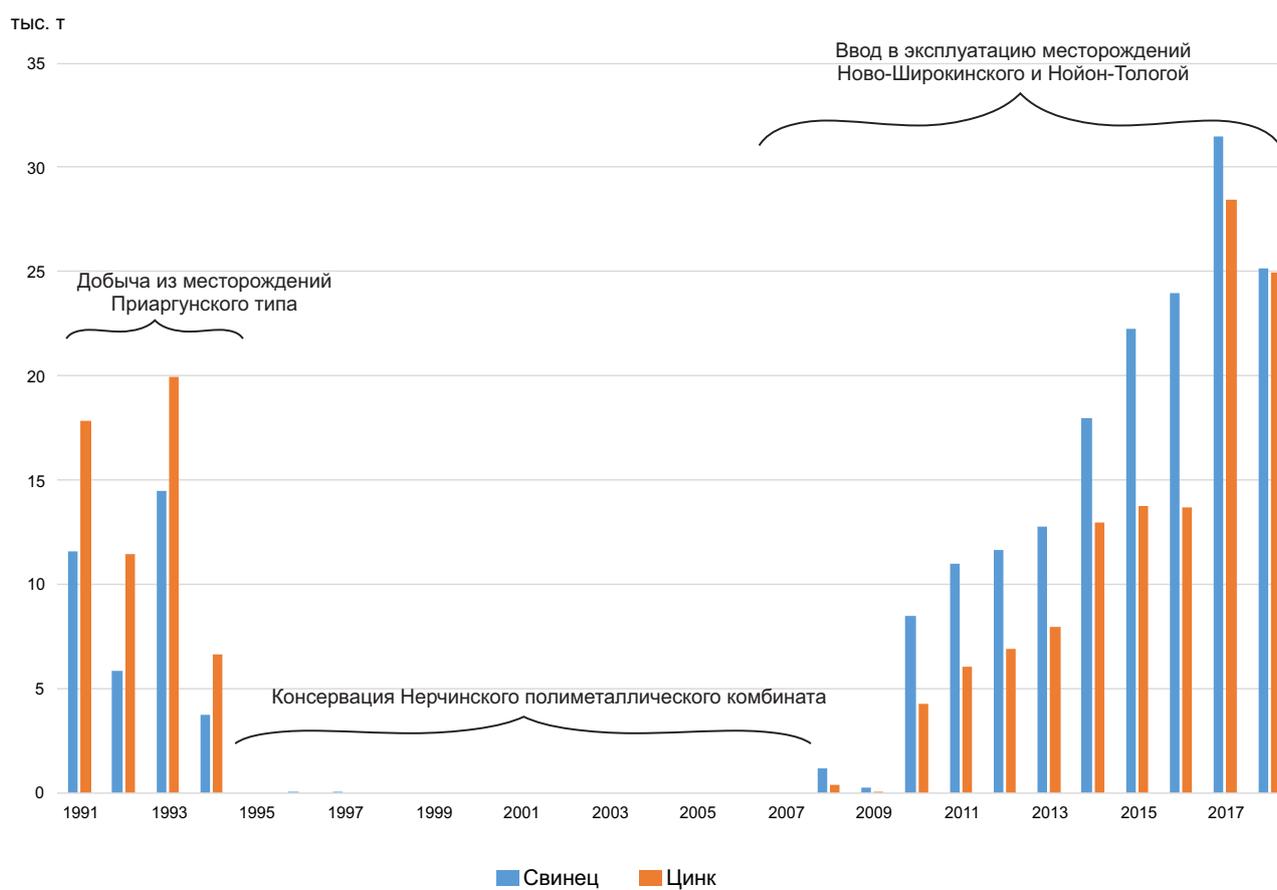


Рис. 3. Изменение добычи цветных металлов в пределах Приаргунской МЗ за 1991–2018 гг.

То есть очевидны необходимость усиления поисковых работ и выявление новых месторождений свинца и цинка.

В то же время анализ геологических материалов показывает, что в пределах региона возможно выявление крупных полиметаллических объектов с существенным содержанием серебра и золота (А.И.Иванов и др., 2016).

Рудоносными в пределах региона являются венд-кембрийская вулканогенно-карбонатно-терригенная и средне-верхнеюрская вулканогенно-кремнисто-терригенная формации.

*Венд-кембрийская вулканогенно-карбонатно-терригенная формация* подразделяется на две субформации: нижнюю – углеродисто-карбонатно-терригенную и верхнюю – терригенно-карбонатную.

Углеродисто-карбонатно-терригенная субформация венда сложена углеродисто-глинистыми, кварцево-сланцевыми алевролитами, метаморфи-

зованными песчаниками и алевролитами или ритмичной пачкой, состоящей из чередования терригенных и карбонатных отложений.

Раннекембрийская терригенно-карбонатная субформация сложена переслаивающимися пачками водорослевых и кремнистых доломитов и хемогенных известняков с прослоями глинистых сланцев и алевролитов, линзами осадочных карбонатных брекчий, реже – конгломератов. В средней части разреза отмечается флишеидная толща, представленная глинистыми сланцами, алевролитами и песчаниками с прослоями известняков, доломитов кремнистых пород и туфопесчаников. В Нерчинско-Заводском рудном районе формация сложена доломитами, доломитовыми известняками и известняками с прослоями глинистых и мергелистых сланцев.

Охарактеризованная формация является рудо-вмещающей для свинцово-цинково-колчеданного оруденения Приаргунского типа. Доказанная страти-

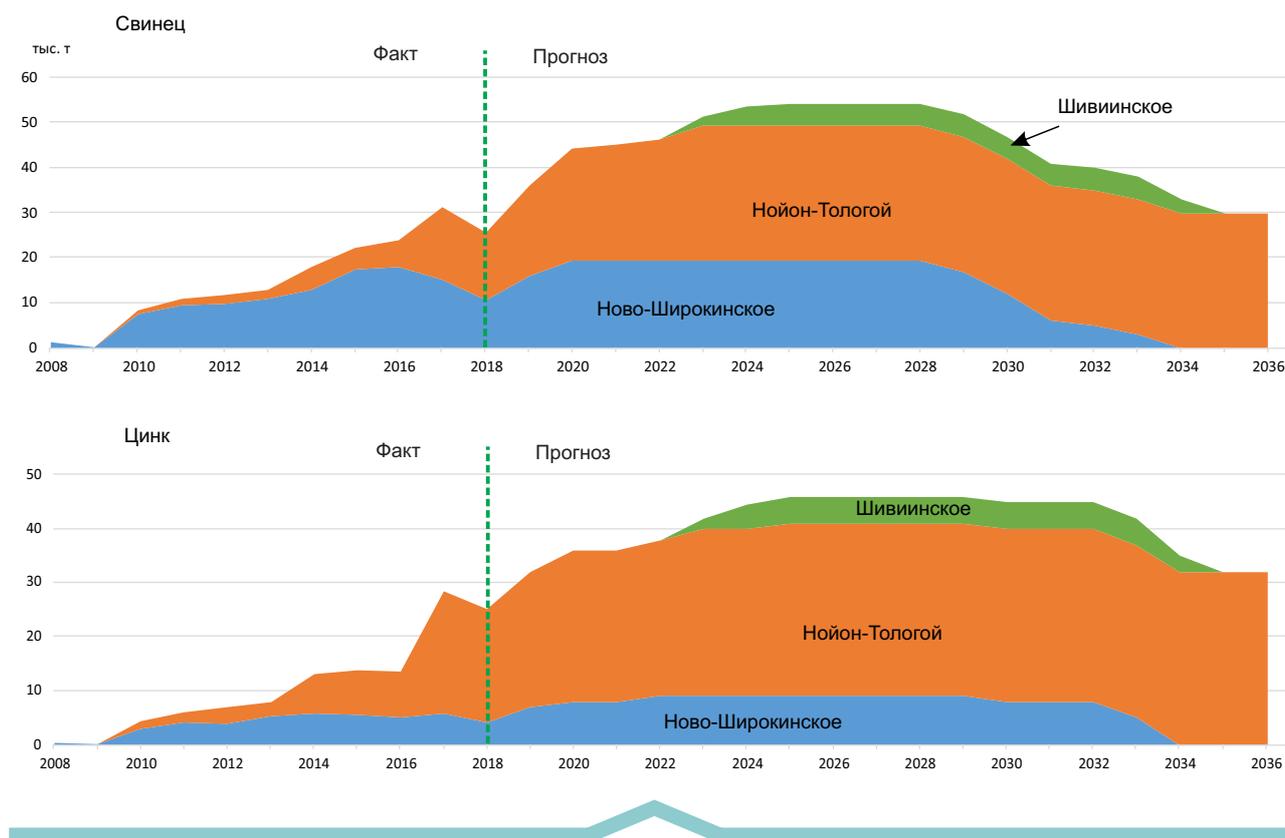


Рис. 4. Динамика добычи свинца и цинка на месторождениях Ново-Широкинское и Нойон-Тологой в 2008–2018 гг. и прогноз таковой в пределах Приаргунской МЗ до 2036 г.

формность руд на известных месторождениях расширяет перспективы увеличения их масштабов в процессе доразведки, и, соответственно, привлекательность промышленного освоения.

*Средне-верхнеюрская вулканогенно-кремнисто-терригенная формация.* На основе сопоставления обобщённых колонок рудных районов указанная выше формация подразделяется на три субформации (снизу вверх): базальт-(андезит)-дацитовую углерод-кремнисто-терригенную, базальт-андезит-дацитовую и вулканогенно-терригенную. Для всех субформаций характерна фациальная изменчивость, заключающаяся в смене вулканогенных отложений терригенными, часто на коротких расстояниях. Соотношение вулканогенной и терригенной составляющей в их пределах различно – от преобладания вулканитов до резко подчинённого их количества. Что касается самих вулканогенных пород, то также наблюдается резкая изменчивость в соотношении кислых, средних и основных пород. Вулканизм в регионе носил циклический характер. В настоящее время можно выделить до трёх ци-

клов: основные–средние–кислые вулканогенные отложения с постепенными переходами друг в друга. Отложения формации вмещают колчеданно-полиметаллические месторождения Нойон-Тологойского типа (В.В.Кузнецов и др., 2018).

Ранее для определения общих перспектив Приаргунской зоны на выявление новых полиметаллических месторождений проведено металлогеническое районирование с выделением рудных районов и узлов, специализированных на оруденение Приаргунского и Нойон-Тологойского типов (В.В.Кузнецов и др., 2018). Выделение и оконтуривание рудных узлов осуществлялось, прежде всего, по структурно-формационным признакам. Так, рудные узлы Приаргунского типа контролируются палеогибями первого порядка в пределах морского бассейна, выполненными породами венд-кембрийской карбонатно-терригенной формации. Рудные узлы Нойон-Тологойского типа оконтуривают вулканотектонические депрессии, в пределах которых сформировались средне-верхнеюрские терригенно-вулканогенные отложения, объединяющиеся

в последовательно дифференцированную вулканогенно-кремнисто-терригенную формацию.

В пределах наиболее изученных рудных узлов в краевых частях прогибов первого порядка и вулканогенно-тектонических депрессий, осложнённых прогибами более высокого порядка, с развитием рудоносных субформаций (вендской углеродисто-карбонатно-терригенной, кембрийской – терригенно-карбонатной; среднеюрской базальт-(андезит)-дацитовой углерод-кремнисто-терригенной и базальт-андезит-дацитовой и позднеюрской вулканогенно-терригенной) выделены рудные поля (перспективные площади) с установленными признаками полиметаллического оруденения.

С целью обоснования очерёдности проведения дальнейших поисковых и прогнозно-минерогенических работ автором проведено ранжирование рудных узлов и рудных полей по степени перспективности на выявление в их пределах полиметаллических месторождений, и произведена оценка прогнозных ресурсов категории  $P_3$  каждого из них.

Оценка прогнозных ресурсов рудных узлов и перспективных площадей проводилась методом геологической аналогии путём сопоставления с объектом-аналогом, для которого рассчитана удельная площадная продуктивность.

Технология количественной оценки прогнозных ресурсов категории  $P_3$  методом аналогии включает ряд этапов:

1. Выбор эталонного объекта с установленными геологическими границами, известным геолого-промышленным типом месторождения, запасами, включая погашенные. Эталонным объектом для рудных узлов Нойон-Тологойского типа (колчеданно-полиметаллических месторождений в осадочно-вулканогенных породах) был выбран рудный узел, включающий месторождение Нойон-Тологой, для перспективных площадей – Нойон-Тологойское рудное поле. Эталонным объектом для рудных узлов Приаргунского типа (свинцово-цинково-колчеданных месторождений в терригенно-карбонатных толщах) был выбран рудный узел с месторождением Савинское 5, для перспективных площадей – Савинское рудное поле.

2. Определение площади эталонного объекта. Площадью эталонного объекта для рудных узлов является пространственно обособленная относительно изометричная рудоносная площадь, выделяющаяся на фоне слабоминерализованных или безрудных площадей. Она имеет резко выраженную групповую локализацию рудных проявлений и охватывает генетически связанные месторождения, входящие в состав рудно-магматической системы.

Площадь эталонного объекта для *перспективных площадей* ограничивается продуктивными частями рудных узлов (рудными полями) с отчётливыми признаками полиметаллического оруденения.

3. Вычисление площадной продуктивности объекта-эталона как отношение площади объекта-эталона к сумме балансовых и забалансовых запасов кат.  $ABC_1C_2$  и накопленной добычи свинца и цинка (см. таблицы 1 и 5).

Удельная продуктивность определялась по формуле:  $S_{уп} = (D+Z+Y3)/S$ , где:

$S_{уп}$  – удельная продуктивность (тыс. т/км<sup>2</sup>);

$S$  – площадь рудных узлов и перспективных площадей (км<sup>2</sup>);

$D$  – накопленная добыча (тыс. т);

$Z$  – запасы (металла) категорий  $A, B, C_1, C_2$ +забалансовые запасы (тыс. т);

$Y3$  – прогнозные ресурсы (тыс. т), пересчитанные в условные запасы по формуле по аналогии с расчётом коэффициентов перевода прогнозных ресурсов по золоту.

4. Введение поправочного (понижающего) коэффициента подобия ( $K_{под}$ ). При оценке прогнозных ресурсов очень важным является вычисление коэффициента подобия, так как от этого напрямую зависит корректность получаемого результата. Коэффициенты подобия рассчитывались путём проведения сравнения геологических характеристик и степени проявленности поисковых критериев и признаков эталонного объекта и перспективной площади. Для этого были составлены таблицы поисковых критериев и признаков, в которых была отражена степень проявленности признаков в количественном выражении (признак проявлен, признак не проявлен, признак не определён, признак проявлен не полностью). Основными группами признаков, включённых в анализ, являлись:

- рудовмещающая геологическая формация, субформация;
- принадлежность к фациальной зоне вулканогенно-осадочных и терригенно-карбонатных отложений;
- литологический состав;
- интрузивные и субвулканические образования;
- современные и палеоструктурные элементы;
- состав гидротермально-метасоматических изменений;
- проявления рудной минерализации;
- характеристика геохимических полей (первичные и вторичные ореолы рассеяния);
- характеристика геофизических полей (гравиметрические, магнитные поля и поля проводимости и удельного сопротивления).

В результате получены поправочные коэффициенты, показывающие степень сходства (в процентах)

каждого перспективного объекта с эталоном (см. таблицы 2, 3, 6, 7).

5. Распространение площадной удельной продуктивности объекта-аналога с учётом коэффициента подобия на прогнозируемый объект оценки. Оценка прогнозных ресурсов рудных узлов осуществлялась в зависимости от степени изученности двумя способами. Если в прогнозируемом рудном узле вследствие слабой изученности не выделены перспективные площади, оценка прогнозных ресурсов осуществлялась «прямым» способом – как произведение его площади на рассчитанную с учётом коэффициента подобия продуктивность. Если в пределах рудного узла выделена перспективная площадь, то в начале оценивались прогноз-ные ресурсы этой площади с использованием рас-считанной для неё продуктивности. Затем продук-тивность, рассчитанная для рудного узла, распро-странялась на часть его площади за пределами пер-спективной площади. Сумма этих значений и соот-ветствует общей оценке прогнозных ресурсов руд-ного узла.

6. Соотношения содержания свинца и цинка в ру-дах прогнозируемых месторождений оцениваются согласно эталонным объектам.

*Оценка прогнозных ресурсов объектов Нойон-Тологойского типа.* Согласно ранее проведённым ис-

следованиям, к этому типу относятся Мулинская, Маньковская, Диниская, Калгуканская, Буровская, Чашинская и Клинская площади (В.В.Кузнецов и др., 2018).

Удельная продуктивность (УП) эталонного объ-екта (Нойон-Тологойское рудное поле) составила 13,5 тыс. т/км<sup>2</sup>, Нойон-Тологойского рудного узла – 6,8 тыс. т/км<sup>2</sup> (см. табл. 1).

Расчёт коэффициента подобия показал, что сте-пень схождения прогнозируемых объектов с эталон-ным варьируется от 27 до 68% (см. таблицы 2 и 3). С использованием этих коэффициентов оценены прогноз-ные ресурсы рудных узлов и перспектив-ных площадей (см. табл. 4 и рис. 5).

На основании полученных результатов наиболь-ший интерес представляют площади с прогнозными ресурсами суммы свинца и цинка около 1 млн. т или более (выделены зелёными тонами на рис. 5 и в табл. 4). В качестве первоочередных авторами выделены две площади – Мулинская и Маньков-ская, и обосновано их включение в перечень поиско-вых работ за счёт средств федерального бюджета на 2020–2024 гг. В пределах остальных рекомен-дуется постановка прогнозно-минерагенических работ с целью подготовки участков для проведе-ния поисков месторождений Нойон-Тологойского типа.

### 1. Основные показатели удельной продуктивности для Нойон-Тологойского типа

Объекты	Прогнозные ресурсы (ПР), т			Условные запасы (УЗ), кг	Добыча (Д), кг	Запасы, кг			Всего (ПР+УЗ+Д+З), кг	Площадь, км <sup>2</sup>	Удельная продуктивность, тыс. т/км <sup>2</sup>
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>			A+B+C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	Забалансовые			
Нойон-Тологойский РУ				170	130,2	1581,1	629,4	930,4	3441,1	509,2	6,8
Нойон-Тогойское рудное поле				170	130,2	1581,1	629,4	930,4	3441,1	254,5	13,5
Нойон-Тогой (месторождение)					130,2	1581,1	629,4	930,4			
Свинец					53,7	716,7	323,7	423,8			
Цинк					76,5	864,4	305,7	506,6			
Талман (рудопоявление)				170							
Свинец		256		74,3							
Цинк		259,3		95,7							

2. Расчёт коэффициента подобия для перспективных площадей

№	Параметры	Критерии и признаки	Чашинская	Буровская	Калгуканская	Донинская	Мулинская	Маньковская	Клинская
1.			<b>Формация (субформация)</b>						
1.1.	Название	Формация: вулканогенно-кремнисто-терригенная; субформации: базальт-(андезит)-дацитовая углерод-кремнисто-терригенная; базальт-андезит дацитовая	+	+	+	+	+	+	+
1.2.	Возраст	Средне-позднеюрский	+	+	+	+	+	+	+
1.3.	Рудоносная часть разреза	Вулканогенный разрез характеризуется преобладанием основных и средних вулканитов; в резко подчинённом количестве наблюдаются покровы кислого состава	+	+	+	+	+	+	+
1.3.1.	Мощность, м	300–400–900	0	0	+	+	+	+	0
		а) Жерловые фации вулканизма представлены субвулканическими телами габбро-долеритов, долеритов, базальтов и андезибазальтов	+	0	0	0	+	+	+
		б) Прижерловые фации характеризуются наличием в их пределах лавобрекчий, кластолав, крупнообломочных туфов основного и среднего состава	+	(+)	+	+	+	+	+
1.3.2.	Литологические различия	в) Промежуточные фации вулканизма характеризуются развитием лав от андезибазальтового до дацитового состава реже их туфов	+	+	+	+	+	+	+
		г) Удалённые фации представлены туфогенными алевролитами глинистыми, глинисто-кремнистыми, кремнистыми реже туфогенными песчаниками и туфитами	(+)	(+)	(+)	+	+	+	(+)

№	Параметры	Критерии и признаки	Чашинская	Буровская	Калуганская	Донинская	Мулинская	Маньковская	Клинская
1.3.3.	Элементы залегания пород (углы падения)	20°–45°	+	+	+	+	+	+	+
2.	<b>Интрузивные и субвулканические образования</b>								
2.1.	Название	Субвулканические тела габродолеритов, долеритов, базальтов и андезибазальтов, сиенитов	(+–)	(+–)	(+–)	(+–)	+	+	(+–)
2.2.	Формы и параметры	Штоки, силлы	+	+	+	+	+	+	+
2.3.	Ориентировка магматических тел	От субсогласной до секущей	+	+	+	+	+	+	+
2.4.	Контактовый метаморфизм	Мусковит-роговиковой фации	(+–)	(+–)	+	+	+	+	(+–)
3.	<b>Структура</b>								
3.1.	Складчатые структуры	Моноклиналь; крыло синклинальной структуры	0	0	+	+	+	+	+
3.1.1.	Типы складок и их параметры	Изоκлиналная и флекурообразная складчатость с размахом крыльев от первых метров до нескольких сотен метров	0	0	+	+	+	+	(+–)
3.2.	Разрывные нарушения	Синвулканические послейные и секущие, пологие и крутопадающие	+	+	+	+	+	+	+
3.3.	Консидиментационные и синвулканические структуры и их параметры	Вулканическая депрессия, размером 20×10 км, осложнённая вулканическими впадинами размером 2,5–3×1,5–3 км	(+–)	(+–)	+	(+–)	+	+	+

Продолжение табл. 2

№	Параметры	Критерии и признаки	Чашинская	Буровская	Калгужанская	Донинская	Мулинская	Маньковская	Клинская	
4	<b>Гидротермально-метасоматические изменения</b>									
4.1.	Состав	Ассоциация кварц-серцит-карбонат (рудный минерал), которая соот- ветствует березитам, а процесс гидротермального (околорудного) изменения классифицируется как березитизация	+	0	0	0	(+ -)	(+ -)	(+ -)	
4.2.	Морфология и параметры зон изменений	Субсогласные зоны	0	0	0	0	(+ -)	(+ -)	0	
5	<b>Проявление рудной минерализации</b>									
5.1.	Морфология и параметры	Послойные или секущие вмещающие вулканогенно-осадочные породы зоны сульфидных руд прожилковой, прожилково-гнездово-вкрапленной и вкрапленной текстуры.	(+ -)	0	0	0	(+ -)	(+ -)	0	
5.2.	Положение в элементах структуры	Согласное, секущее в зоне подводя- щего канала	0	0	0	0	0	0	0	
5.3.	Количество рудоносных уровней	Два	0	0	0	0	0	0	0	
6	<b>Первичные и вторичные геохимические ореолы</b>									
6.1.	Аномальные значения основных рудных элементов	<i>Первичные ореолы:</i> Pb – 0,05–0,2%, Zn – 0,1–0,5%, Ag – 10–50 г/т <i>Вторичные ореолы:</i> Pb – 0,02–0,1%, Zn – 0,05–0,2%, Ag – 5–20 г/т	0	0	0	0	0	0	0	
6.2.	Элементы-индикаторы оруденения и их значения	<i>Первичные ореолы:</i> Cd – 0,005–0,02%, As – 0,03–0,1%, Bi – 0,005–0,01%, Sb – 0,01–0,03%, Cu – 0,03–0,05% <i>Вторичные ореолы:</i> Cd – 0,002–0,01%, As – 0,01–0,05%, Bi – 0,002–0,05%, Sb – 0,005–0,02%, Cu – 0,02–0,06%	(+ -)	0	+	+	+	+	0	

№	Параметры	Критерии и признаки	Чаши́нская	Бу́ровская	Ка́лгуканская	До́нская	Му́льнская	Ма́ньковская	Кли́нская
6.3.	Наиболее характерные ассоциации химических элементов	Свинец, цинк, серебро, мышьяк, висмут	(+ -)	0	+	+	+	+	0
6.4.	Морфология аномалий								
	а) в плане	Линейно-вытянутая	+	0	+	+	+	+	0
	б) в разрезе	Пласто-линзообразная	+	0	+	+	+	+	0
	Размеры								
6.5.	а) в плане	Протяжённость – от 250–400 м до 1 км; ширина от 5–20 до 50–80 м	+	0	+	+	+	+	0
6.6.	Зональность								
	а) в плане	От центра к периферии: Cu–Zn–Bi–As–Mo–Pb–Ag–Sb–Au–Ba–Hg	0	0	0	0	0	0	0
	б) в разрезе	Снизу вверх: Mo–Cu–Zn–Bi–As–Pb–Ag–Au–Sb–Ba–Hg	0	0	0	0	0	0	0
7	<b>Геофизические аномалии</b>								
7.1.	Магнитные и гравиметрические	Знакопеременное магнитное и гравитационное поле	+	+	+	+	+	+	+
7.2.	Электро-разведка	Положительные аномалии ВП, ЕП и др. отрицательные $R_{\text{каз}}$ или их градиентные зоны	0	0	0	+	0	+	+
Итого коэффициент подобия			44,1%	26,5%	58,8%	62%	67,6%	70,6%	44,1%

Примечание. «<+>» – признак проявлен, «0» – признак не определен, «+ -» – признак проявлен не полностью, «<->» – признак не проявлен.

3. Расчёт коэффициента подобия для рудных узлов

№	Параметры	Критерии и признаки	Савва-Борзинский	Золотой-Ский	Мостовский	Газимурский	Широкий	Жунгалинский	Богданский	Моторский	Козулинский	Зерфугуйский
1.			<b>Формация (субформация)</b>									
1.1.	Название	Формация: вулканогенно-кремнисто-терригенная; субформации: базальт-(андезит)-дацитовая углерод-кремнисто-терригенная; базальт-андезит дацитовая	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1.2.	Возраст	Средне-позднеюрский	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1.3.	Рудоносная часть разреза	Вулканогенный разрез характеризуется преобладанием основных и средних вулканитов; в резко подчинённом количестве наблюдаются покровы кислого состава	+	+	(+ -)	(+ -)	+	(+ -)	(+ -)	(+ -)	(+ -)	+
1.3.1.	Мощность, м	300–400–900	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1.3.2.	Лито-логические различия	а) Жерловые фации вулканизма представлены субвулканическими телами габбро-долеритов, долеритов, базальтов и андезибазальтов б) Прижерловые фации характеризуются наличием в их пределах лавобрекчий, кластолав, крупнообломочных туфов основного и среднего состава	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+

№	Параметры	Критерии и признаки	Савва-Борзинский	Золотой-Сайский	Мостовский	Газимурский	Широкий-Сайский	Жунгалинский	Богданский	Мотогорский	Козулинский	Зеренгауский
1.3.2	Лито-логические различия	в) Промежуточные фации вулканизма характеризуются развитием от андезибазальтового до дацитового состава реже их туфов	+	+	+	+	+	+	(+ -)	+	+	+
		г) Удалённые фации представлены туфогенными алевролитами глинистыми, глинисто-кремнистыми, кремнистыми реже туфогенными песчаниками и туффитами.	+	+	+	+	+	+	+	0	+	+
1.3.3.	Элементы залегания пород (углы падения)	20°-45°	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2.	<b>Интрузивные и субвулканические образования</b>											
2.1.	Название	Субвулканические тела габро-долеритов, долеритов, базальтов и андезибазальтов, сиенитов	(+ -)	+	(+ -)	(+ -)	+	(+ -)	+	(+ -)	(+ -)	+
2.2.	Формы и параметры	Штоки, sillы	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2.3.	Ориентировка магматических тел	От субогласной до секущей	+	+	+	+	+	+	(+ -)	+	+	+
2.4.	Контактный метаморфизм	Мусковит-роговиковой фации	+	+	0	0	+	0	0	0	-	-

Продолжение табл. 3

№	Параметры	Критерии и признаки	Савва-Борзинский	Золотой-ский	Мосгов-ский	Газимур-ский	Широкин-ский	Жуңгалин-ский	Богдан-ский	Могогор-ский	Козуллин-ский	Зерефгуй-ский
<b>Структура</b>												
3.												
3.1.	Складчатые структуры	Моноклинали. Крыло синклинальной структуры	+	+	(+ -)	(+ -)	+	(+ -)	+	(+ -)	0	0
3.1.1.	Типы складок и их параметры	Изогиальная и флексу-рообразная складчатость с размахом крыльев от первых метров до нескольких сотен метров	+	+	(+ -)	(+ -)	+	(+ -)	(+ -)	(+ -)	0	0
3.2.	Разрывные нарушения	Синвулканические по-слойные и секущие, по-логие и крутопадающие	+	+	(+ -)	(+ -)	+	(+ -)	(+ -)	(+ -)	(+ -)	(+ -)
3.3.	Консидимен-тационные и синвулкани-ческие струк-туры и их параметры	Вулканическая депрес-сия, размером 20×10 км, осложненные вулкани-ческими впадинами размером 2,5-3×1,5-3 км	(+ -)	+	(+ -)	(+ -)	+	(+ -)	0	(+ -)	+	+
<b>Гидротермально-метасоматические изменения</b>												
4.												
4.1.	Состав	Ассоциация: кварц-сери-цит-карбонат (рудный минерал), которая соот-ветствует березитам, а процесс гидротермально-го (околорудного) изме-нения классифицируется как березитизация	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0
4.2.	Морфология и параметры зон изменений	Субоглазные зоны	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0

№	Параметры	Критерии и признаки	Савва-Борзинский	Золый-ский	Мостов-ский	Газимур-ский	Широкин-ский	Жунгалин-ский	Богдан-ский	Могогор-ский	Козулин-ский	Зерсфгуй-ский
<b>Проявление рудной минерализации</b>												
5.												
5.1.	Морфология и параметры	Послойные или секущие вмещающие вулканогенно-осадочные породы зоны сульфидных руд прожилковой, прожилково-гнездово-вкрапленной и вкрапленной текстуры	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0
5.2.	Положение в элементах структуры	Согласное, секущее в зоне подводящего канала	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0
5.3.	Количество рудоносных уровней	Два	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0
<b>Первичные и вторичные геохимические ореолы</b>												
6.												
6.1.	Аномальные значения основных рудных элементов	<i>Первичные ореолы:</i> Pb – 0,05–0,2%, Zn – 0,1–0,5%, Ag – 10–50 г/т <i>Вторичные ореолы:</i> Pb – 0,02–0,1%, Zn – 0,05–0,2%, Ag – 5–20 г/т	0	+	0	0	+	0	0	0	0	(+–)
6.2.	Элементы-индикаторы оруденения и их значения	<i>Первичные ореолы:</i> Cd – 0,005–0,02%, As – 0,03–0,1%, Bi – 0,005–0,01%, Sb – 0,01–0,03%, Cu – 0,03–0,05% <i>Вторичные ореолы:</i> Cd – 0,002–0,01%, As – 0,01–0,05%, Bi – 0,002–0,05%, Sb – 0,005–0,02%, Cu – 0,02–0,06%	(+–)	+	0	0	+	0	0	0	0	0

Окончание табл. 3

№	Параметры	Критерии и признаки	Савва-Борзинский	Золый-ский	Мостов-ский	Газимур-ский	Широкин-ский	Жунгалин-ский	Богдан-ский	Мотор-ский	Козулин-ский	Зерифтуй-ский
6.3.	Наиболее характерные ассоциации химических элементов	Свинец, цинк, серебро, мышьяк, висмут	+	+	0	0	+	0	0	0	+	+
6.4.	Морфология аномалий	Линейно-вытянутая Пласто-линзообразная	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5.	Размеры	Протяжённость – от 250–400 м до 1 км; ширина от 5–20 до 50–80 м	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.6.	Зональность	От центра к периферии: Cu–Zn–Bi–As–Mo–Pb–Ag–Sb–Au–Ba–Hg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.6.	а) в плане б) в разрезе	Снизу вверх: Mo–Cu–Zn–Bi–As–Pb–Ag–Au–Sb–Ba–Hg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.	<b>Геофизические аномалии</b>											
7.1.	Магнитные и гравиметрические	Знакопеременное магнитное и гравитационное поле	+	0	+	+	0	+	+	+	+	+
7.2.	Электро-разведка	Положительные аномалии ВП, ЕП и др. отрицательные $\rho_{\text{каж}}$ или их градиентные зоны	+	+	0	0	+	0	0	0	0	0
Итого коэффициент подобия			61,7%	82,3%	32,4%	32,4%	82,3%	32,4%	26,5%	32,4%	32,4%	41,2%

### 4. Оценка прогнозных ресурсов рудных узлов и перспективных площадей Нойон-Тологойского типа

№ на карте	Названия	S км <sup>2</sup>	УП	ПР <sub>3</sub>	K <sub>под</sub>	Руда	Свинец	Цинк
<b>1</b>	<b>Чашинский РУ (итого)</b>	<b>119</b>		<b>1450</b>		<b>638,17</b>	<b>382,9</b>	<b>255,3</b>
1.1	Чашинская	95,7	13,5	1292	0,44	568,46	341,1	227,4
	часть РУ за пределами перспективной площади	23,3	6,8	158	0,44	69,71	41,8	27,9
<b>2</b>	<b>Буровский РУ (итого)</b>	<b>595,2</b>		<b>5860</b>		<b>1563,86</b>	<b>938,3</b>	<b>625,5</b>
2.1	Буровская	270,5	13,5	3652	0,27	967,71	580,6	387,1
	часть РУ за пределами перспективной площади	324,7	6,8	2208	0,27	596,15	357,7	238,5
<b>3</b>	<b>Верхне-Борзинский РУ (итого)</b>	<b>192,6</b>		<b>1644</b>		<b>969,95</b>	<b>582,0</b>	<b>388,0</b>
3.1	Калгуканская	50,2	13,5	678	0,59	399,84	239,9	159,9
	часть РУ за пределами перспективной площади	142,1	6,8	966	0,59	570,11	342,1	228,0
<b>4</b>	<b>Донинский РУ (итого)</b>	<b>278,2</b>		<b>2845</b>		<b>1763,59</b>	<b>1058,2</b>	<b>705,4</b>
4.1	Донинская	142,2	13,5	1920	0,62	1190,21	714,1	476,1
	часть РУ за пределами перспективной площади	136	6,8	925	0,62	573,38	344,0	229,4
<b>5</b>	<b>Савва-Борзинский РУ (итого)</b>	<b>164,3</b>	<b>6,8</b>	<b>1117</b>	<b>0,62</b>	<b>692,69</b>	<b>415,6</b>	<b>277,1</b>
<b>6</b>	<b>Нойон-Тологойский РУ (итого)</b>	<b>509,2</b>		<b>4749</b>		<b>3229,3</b>	<b>1937,6</b>	<b>1291,7</b>
6.1	Мулинская	192	13,5	2592	0,68	1762,6	1057,5	705,0
	часть РУ за пределами перспективной площади	317,2	6,8	2157	0,68	1466,7	880,0	586,7
<b>7</b>	<b>Александрово-Заводский РУ (итого)</b>	<b>330,2</b>		<b>2920</b>		<b>2073,24</b>	<b>1243,9</b>	<b>829,3</b>
7.1	Маньковская	100,7	13,5	1359	0,71	965,21	579,1	386,1
	часть РУ за пределами перспективной площади	229,5	6,8	1561	0,71	1108,03	664,8	443,2
<b>8</b>	<b>Клинский РУ (итого)</b>	<b>165</b>		<b>1530</b>		<b>674,04</b>	<b>404,4</b>	<b>269,6</b>
8.1	Клинская	60,9	13,5	822	0,44	362,57	217,5	145,0
	часть РУ за пределами перспективной площади	104,1	6,8	708	0,44	311,47	186,9	124,6
<b>9</b>	<b>Золайский РУ</b>	<b>88,1</b>	<b>6,8</b>	<b>599,08</b>	<b>0,82</b>	<b>491,2</b>	<b>294,7</b>	<b>196,5</b>
<b>10</b>	<b>Мостовский РУ</b>	<b>187,3</b>	<b>6,8</b>	<b>1273,64</b>	<b>0,32</b>	<b>407,6</b>	<b>244,5</b>	<b>163,0</b>
<b>11</b>	<b>Газимурский РУ</b>	<b>394,3</b>	<b>6,8</b>	<b>2681,24</b>	<b>0,32</b>	<b>858,0</b>	<b>514,8</b>	<b>343,2</b>
<b>12</b>	<b>Широкинский РУ</b>	<b>86</b>	<b>13,5</b>	<b>1161</b>	<b>0,82</b>	<b>952,0</b>	<b>571,2</b>	<b>380,8</b>
<b>13</b>	<b>Жунталинский РУ</b>	<b>149,3</b>	<b>6,8</b>	<b>1015,24</b>	<b>0,32</b>	<b>324,9</b>	<b>194,9</b>	<b>130,0</b>
<b>14</b>	<b>Богданский РУ</b>	<b>112,5</b>	<b>6,8</b>	<b>765</b>	<b>0,26</b>	<b>198,9</b>	<b>119,3</b>	<b>79,6</b>
<b>15</b>	<b>Мотогорский РУ</b>	<b>172,6</b>	<b>6,8</b>	<b>1173,68</b>	<b>0,32</b>	<b>375,6</b>	<b>225,3</b>	<b>150,2</b>
<b>16</b>	<b>Козулинский РУ</b>	<b>772,7</b>	<b>6,8</b>	<b>5254,36</b>	<b>0,32</b>	<b>1681,4</b>	<b>1008,8</b>	<b>672,6</b>
<b>17</b>	<b>Зерентуйский РУ</b>	<b>356,9</b>	<b>6,8</b>	<b>2426,92</b>	<b>0,41</b>	<b>995,0</b>	<b>597,0</b>	<b>398,0</b>

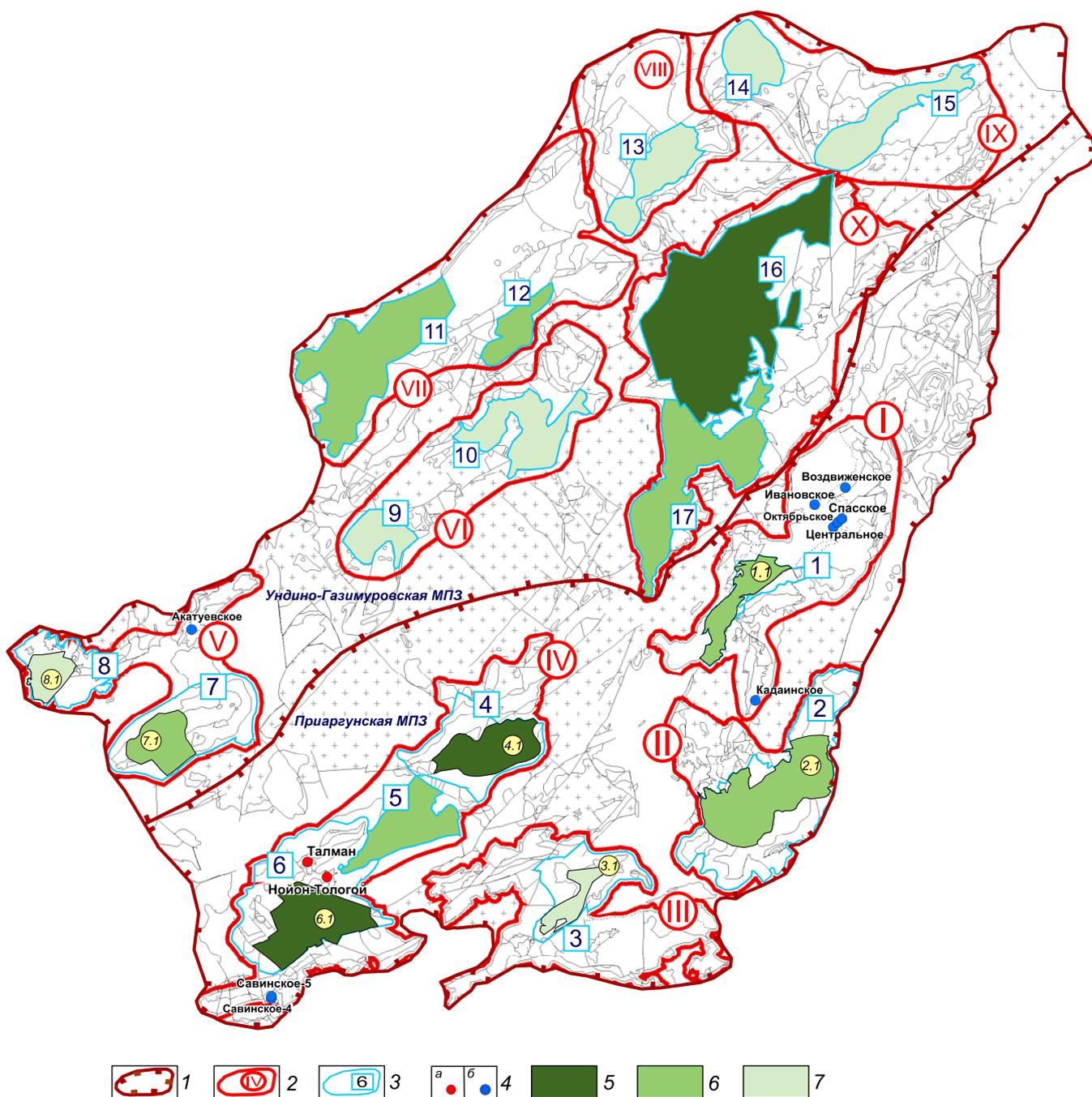


Рис. 5. Перспективные площади Нойон-Тологойского типа с прогнозными ресурсами категории  $P_3$ :

1–3 – границы: 1 – металлогенических зон (Приаргунская) и подзон, 2 – рудных районов (I – Нерчинско-Заводской, II – Покровский, III – Калгуканский, IV – Кличкинский, V – Шахтаминский (Александрово-Заводской), VI – Урюкманский, VII – Широкинский, VIII – Жунталинский, IX – Богдано-Мотогорский, X – Козулинский, 3 – рудных узлов Нойон-Тологойского типа (номера см. в табл. 4); 4 – месторождения: а – колчеданно-полиметаллические в осадочно-вулканогенных породах (Нойон-Тологойский тип), б – свинцово-цинково-колчеданные в терригенно-карботаных породах (Приаргунский тип); 5–7 – перспективные площади: 5 – первой очереди (>1000 тыс. т), 6 – второй очереди (500–1000 тыс. т), 7 – третьей очереди (до 500 тыс. т); см. услов. обозн. в табл. 4

5. Основные показатели удельной продуктивности для Приаргунского типа

Объекты	Прогнозные ресурсы (ПР), т			Условные запасы (УЗ), кг	Добыча (Д), кг	Запасы, кг			Всего (ПР+УЗ+Д+З), кг	Площадь, км <sup>2</sup>	Удельная продуктивность, тыс. т/км <sup>2</sup>
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>			A+B+C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	Забалансовые			
Савинский РУ					370	241	128	29,3	768,3	205,5	3,7
Савинское рудное поле					370	241	128	29,3	768,3	23,43	32,8
Савинское 5					370	241	128	29,3			
Свинец						84	34	9,6			
Цинк						157	94	19,7			

Оценка прогнозных ресурсов объектов Приаргунского типа. Согласно ранее проведённым исследованиям, к этому типу относятся Чупинская, Ивановская, Запокровская, Кадаинская, Михайловская, Горнозверентуйская, Воздвиженская и Акатуевская площади (В.В.Кузнецов и др., 2018).

Удельная продуктивность эталонного объекта (Савинское рудное поле) составила 32,8 тыс. т/км<sup>2</sup>, Савинского рудного узла – 3,7 тыс. т/км<sup>2</sup> (см. табл. 5).

Расчёт коэффициента подобия показал, что степень сходства с эталонным варьируется от 65 до 92% (см. таблицы 6 и 7). Результаты оценки прогнозных ресурсов площадей приведены в табл. 8 и на рис. 6.

На основании полученных результатов наибольший интерес представляют площади с прогнозными ресурсами суммы свинца и цинка около 1 млн. т или более (Воздвиженская и Запокровская). Михайловская, Кадаинская и Горнозверентуйская площади требуют постановки комплекса прогнозно-минералогических работ с целью подготовки участков для проведения поисков месторождений Приаргунского типа. Также требуется переоценка имеющихся в их пределах месторождений нераспределённого фонда недр, исходя из современной экономической ситуации и установленной стратифицированности оруденения данного типа. На Ивановской площади в настоящее время ведутся поисковые работы.

Ниже приведена краткая характеристика Калгуканской площади, которая, по результатам оценки авторов, является одной из самых перспективных.

Калгуканская площадь (рис. 7) соответствует одноимённому рудному узлу и характеризуется приуроченностью к единой рудоконтролирующей структуре, сформировавшейся на средне-позднеюрской стадии геологического развития. Роль ведущего минералогического фактора здесь играет вулканотектоническая депрессия мульдообразной формы, вытянутая в северо-восточном направлении, с юго-запада ограниченная глубинными разломами первого порядка, а с юго-востока – контактом с базальной толщей нерасчленённой среднеюрской вулканогенно-терригенной формацией. Депрессия сложена юрскими конгломерато-песчанистыми образованиями, перекрытыми туфогенно-, вулканогенно-осадочными отложениями.

Выявление стратифицированного полиметаллического оруденения прогнозируется на восточном контакте позднеюрских лав андезибазальтового и базальтового состава и туфогенно-терригенной толщи андезибазальтового состава, залегающих на подстилающем базальном горизонте нерасчленённой вулканогенно-кремнистой толщи средней юры в непосредственной близости от вулканического аппарата основного состава, что характерно для рудовмещающих фаций Нойон-Тологойского типа. Это узкая полоса, вытянутая с юго-запада на северо-восток, длиной 6,5 и шириной до 2 км.

Перспективная пачка пород чётко выделяется в геофизических полях: локальных гравитационных, аномалия от –3 до –1 мГл и вытянутых вдоль всей

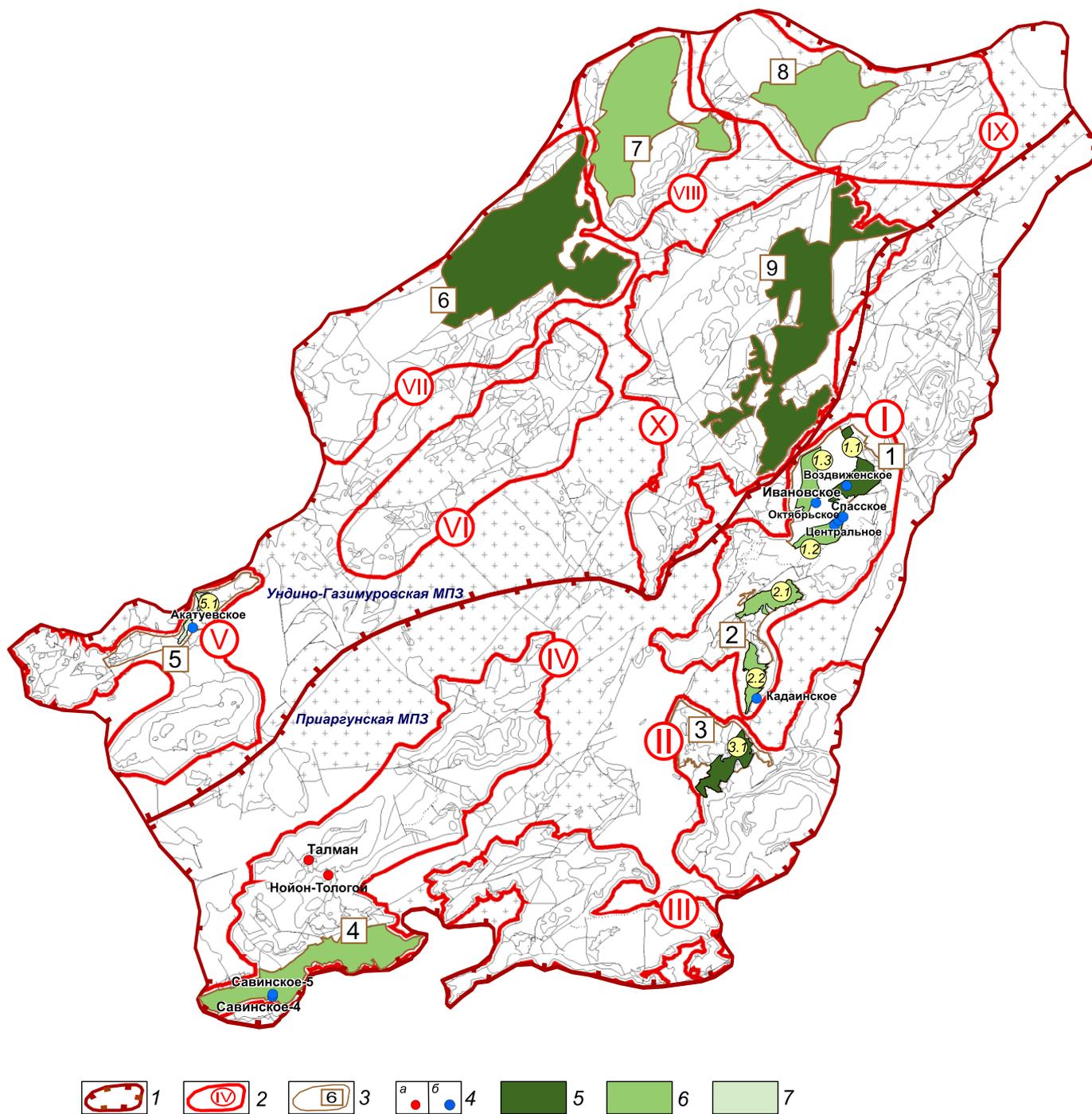


Рис. 6. Перспективные площади Приаргунского типа с прогнозными ресурсами категории  $P_3$ :

1–3 – границы: 1 – металлогенических зон (Приаргунская) и подзон, 2 – рудных районов (I – Нерчинско-Заводской, II – Покровский, III – Калгуканский, IV – Кличкинский, V – Шахтаминский (Александрово-Заводской), VI – Урюкманский, VII – Широкинский, VIII – Жунталинский, IX – Богдано-Мотогорский, X – Козулинский), 3 – рудных узлов Приаргунского типа (номера см. в табл. 2); 4 – месторождения: а – колчеданно-полиметаллические в осадочно-вулканогенных породах (Нойон-Тологойский тип), б – свинцово-цинково-колчеданные в терригенно-карботаных породах (Приаргунский тип); 5–7 – перспективные площади: 5 – первой очереди (>1000 тыс. т), 6 – второй очереди (500–1000 тыс. т), 7 – третьей очереди (до 500 тыс. т); см. услов. обозн. в табл. 8

6. Расчёт коэффициента подобия для перспективных площадей

№	Параметры	Критерии и признаки	Водвыженская	Горнозёрн-туйская	Ивановская	Михайловская	Каданская	Запокрская	Асагуевская
1.	<b>Формация (субформация)</b>								
1.1.	Название	Вулканогенно-карбонатно-терригенная формация (углеродисто-терригенно-карбонатная субформация)	+	+	+	(+ -)	+	+	+
1.2.	Возраст	Нижний кембрий	+	+	+	(+ -)	+	+	+
1.3.	Рудоносная часть разреза	Терригенно-карбонатная толща	+	+	+	+	+	+	+
1.3.1.	Мощность, м	450–600	+	(+ -)	+	+	+	+	+
1.3.2.	Литологические различия и их соотношения, в %	Углеродсодержащие алевролиты – 10–35, известняки – 10–45, рудные тела – 5, доломиты – 10–50, эффузивные породы – 0–5	+	(+ -)	+	(+ -)	+	+	+
1.3.3.	Элементы залегания пород (углы падения)	Простираение северо-восточное 20–40° (угол 50°–70°)	+	+	+	0	+	+	+
2.	<b>Интрузивные и субвулканические образования</b>								
2.1.	Название	<i>Интрузивные:</i> граниты, гранит-порфиры (PZ <sub>1</sub> ), сиениты, граносиенит-порфиры (J <sub>3</sub> ); <i>субвулканические:</i> андезиты, дациты, диориты (J <sub>3</sub> )	+	+	+	+	+	+	+
2.2.	Формы и параметры	Крупный массив PZ гранитов, небольшие штоки юрских интрузий; дайки и штоки субвулканических пород	+	+	(+ -)	+	+	+	+
2.3.	Ориентировка магматических тел	Секущая под небольшим углом к напластованию	+	+	+	+	+	+	+
2.4.	Контактный метаморфизм	Зоны ороговикования, скарирование известняков (2–20 м), резе с образованием эпидот-ангинолит-треолитовых скарнов; развитие зон турмалинового состава; серпентинизация и серицитизация (100–200 м); волизи рудных тел субвулканические породы карбонатизированы, хлоритизированы, обохрены с вкрапленниками сульфидов	+	(+ -)	+	(+ -)	(+ -)	+	+

Продолжение табл. 6

№	Параметры	Критерии и признаки	Воздвиженская	Горнозёрн-туйская	Ивановская	Михайловская	Кадаинская	Запоровская	Актюевская
<b>Структура</b>									
3.									
3.1.	Складчатые структуры	Крыло антиклинория, простирающегося в субмеридиональном направлении	+	+	-	+	+	+	+
3.1.1.	Типы складок и их параметры	Флексуорообразный перегиб, осложняющий крыло антиклинальной складки	+	(+ -)	+	+	+	+	+
3.2.	Разрывные нарушения	Субмеридионального, северо-западного, субширотного простираения	(+ -)	(+ -)	+	(+ -)	+	+	(+ -)
3.2.1.	Типы нарушений	Сбросо-сдвиги, взбросо-сдвиги	+	+	+	+	+	+	+
3.2.2.	Магматическое и минеральное заполнение	Верхнеюрские интрузии и дайки кислого состава	+	+	(+ -)	+	+	+	+
3.3.	Конседиментационные и синвулканические структуры и их параметры	Конседиментационные впадины размером 6×2,5 км, осложнённые впадинами более высокого порядка	+	(+ -)	+	+	+	+	+
<b>Гидротермально-метасоматические изменения</b>									
4.									
4.1.	Состав	По известнякам развиты – серпентинит, кварц; по эффузивным породам – карбонаты, кварц, реже хлорит, серицит, каолин; кварц-серицитовые метасоматиты развиты вдоль зон подводящих каналов	+	(+ -)	0	+	+	+	+
4.2.	Морфология и параметры зон изменений	Пластообразная, линзовидная форма по простиранию до 100 м и до 10 м по мощности	+	(+ -)	0	+	+	+	+
<b>Проявление рудной минерализации</b>									
5.									
5.1.	Морфология и параметры	Зоны минерализации линзообразные, трубообразные, жиллообразные тела, мощностью от одного до 20 м с раздувами до 35–40 м, вытянутые по простиранию до 400 м, по падению до 300 м	+	+	0	+	+	+	+

Продолжение табл. 6

№	Параметры	Критерии и признаки	Водяженская	Горнозёрн- туйская	Ивановская	Михайловская	Каданская	Запокровская	Актауевская
5.2.	Положение в элементах структуры	Субсогласное с вмещающими породами и секущее, вдоль нарушений северо-западного направления	+	+	0	+	+	+	+
5.3.	Состав зон минерализации	Свинцово-цинковый; состав рудных минералов: галенит, сфалерит и пирит; в небольших количествах наблюдаются: буланжерит, халькопирит, блёкляя руда, марказит, станин; к редко встречающимся относятся пирротин, пираргирит, геокронит, менегинит, бурнонит, аргентит, самородные золото и серебро, висмутин, борнит, касситерит	+	+	(+ -)	+	+	+	+
6.	<b>Первичные и вторичные геохимические ореолы</b>								
6.1.	Аномальные значения основных рудных элементов	<i>Первичные ореолы:</i> Pb – 0,1–0,2%, Zn – 0,2–0,5%; <i>Вторичные ореолы:</i> Pb – 0,05–0,15%, Zn – 0,2–0,8%	(+ -)	0	0	(+ -)	(+ -)	(+ -)	(+ -)
6.2.	Элементы-индикаторы оруденения и их значения	<i>Первичные ореолы:</i> Ag – 0,3–0,7 г/т, Cd – 0,01–0,03%, As – 0,1–0,5%, Bi – 0,005–0,01%, Sb – 0,02–0,1%, Cu – 0,05–0,1%; <i>Вторичные ореолы:</i> Ag – 0,1–0,5 г/т, Cd – 0,005–0,01%, As – 0,05–0,3%, Bi – 0,003–0,01%, Sb – 0,01–0,05%, Cu – 0,02–0,05%	+	+	0	+	+	+	+

Окончание табл. 6

№	Параметры	Критерии и признаки	Возвыженская	Горнозёрн-туйская	Ивановская	Михайловская	Кадашская	Запокровская	Акагуевская
7.	<b>Геофизические аномалии</b>								
7.1.	Магнитные и гравиметрические	Знакопеременное магнитное и гравитационное поле	+	+	+	+	+	+	+
7.2.	Электроразведка	Наличие аномально высоких значений вызванной поляризации, естественного электромагнитного поля, совпадающих с низким значением кажущегося сопротивления – характеризуют зоны подводящих каналов, а их градиентные зоны – рудную минерализацию стратиформного типа	(+)	(+)	+	+	+	+	+
Итого коэффициент подобия			88%	60%	60%	72%	92%	96%	92%

7. Расчёт коэффициента подобия для рудных узлов

№	Параметры	Критерии и признаки	Кличвинский	Ушмунский	Дулушманский	Урюкманский	Георгиевский
1.	<b>Формация (субформация)</b>						
1.1.	Название	Вулканогенно-карбонатно-терригенная формация (углеродисто-терригенно-карбонатная субформация)	+	+	+	+	+
1.2.	Возраст	Нижний кембрий	+	+	+	+	+
1.3.	Рудоносная часть разреза	Терригенно-карбонатная толща	+	(+)	(+)	+	+
1.3.1.	Мощность, м	450–600	+	+	+	+	+
1.3.2.	Литологические различия и их соотношения, в %	Углеродсодержащие алевролиты – 10–35, известняки – 10–45, рудные тела – 5, доломиты – 10–50, эффузивные породы – 0–5	+	(+)	(+)	(+)	(+)
1.3.3.	Элементы залегания пород (углы падения)	Простирание северо-восточное 20°–40° (угол 50°–70°)	+	+	+	(+)	(+)

№	Параметры	Критерии и признаки	Кличкинский	Ушмульский	Душманский	Урюкманский	Георгиевский
2.	<b>Интрузивные и субвулканические образования</b>						
2.1.	Название	Интрузивные: граниты, гранит-порфиры (PZ <sub>3</sub> ), сиениты, граносиенит-порфиры (I <sub>3</sub> ); субвулканические: андезиты, дациты, диориты (I <sub>3</sub> )	+	+	+	+	+
2.2.	Формы и параметры	Крупный массив PZ гранитов, небольшие штоки юрских интрузий; дайки и штоки субвулканических пород	+	+	+	+	+
2.3.	Ориентировка магматических тел	Секущая под небольшим углом к напластованию	+	+	+	+	+
2.4.	Контактовый метаморфизм	Зоны ороговикования, скарнирование известняков (2–20 м), реж с образованием эпидот-анфиболит-треолитовых скарнов; развитие зон турмалинового состава; серпентинизация и серицитизация (100–200 м); вблизи рудных тел субвулканические породы – карбонатизированы, хлоритизированы, обохрены с вкрапленниками сульфидов	+	(+–)	(+–)	+	+
3.	<b>Структура</b>						
3.1.	Складчатые структуры	Крыло антиклинория, простирающегося в субмеридиональном направлении	+	+	+	+	+
3.1.1.	Типы складок и их параметры	Флексурообразный перегиб, осложняющий крыло антиклинальной складки	+	+	+	+	+
3.2.	Разрывные нарушения	Субмеридионального, северо-западного, субширотного простираения	(+–)	+	+	(+–)	(+–)
3.2.1.	Типы нарушений	Сбросо-сдвиги, взбросо-сдвиги	+	(+–)	(+–)	+	+
3.2.2.	Магматическое и минеральное заполнение	Верхнеюрские интрузии и дайки кислого состава	+	+	+	+	+
3.3.	Консидиментационные и синвулканические структуры и их параметры	Консидиментационные впадины размером 6 км×2,5 км, осложненные впадинами более высокого порядка	+	(+–)	(+–)	(+–)	(+–)

№	Параметры	Критерии и признаки	Кличкинский	Ушмульский	Дулушманский	Урюкманский	Георгиевский
4.		<b>Гидротермально-метасоматические изменения</b>					
4.1.	Состав	По известнякам развиты – серпентинит, кварц; по эффузивным породам – карбонаты, кварц, реже хлорит, серицит, каолин. Кварц-серицитовые метасоматиты развиты вдоль зон подводящих каналов	+	+	+	+	+
4.2.	Морфология и параметры зон изменений	Пластообразная, линзовидная форма по простиранию до 100 м и до 10 м по мощности	+	+	+	+	+
5.		<b>Проявление рудной минерализации</b>					
5.1.	Морфология и параметры	Зоны минерализации линзообразные, трубообразные, жиллообразные тела мощностью от одного до 20 м с раздувами до 35–40 м, вытянутые по простиранию до 400 м, по падению до 300 м	+	0	0	+	+
5.2.	Положение в элементах структуры	Субогласное с вмещающими породами и секущее, вдоль нарушений северо-западного направления	+	0	0	+	+
5.3.	Состав зон минерализации	Свинцово-цинковый; состав рудных минералов: галенит, сфалерит и пирит; в небольших количествах наблюдаются буланжерит, халькопирит, блёклая руда, марказит, станин; к редко встречающимся относятся пирротин, пирартирит, геокронит, менегинит, бурнонит, аргентит, самородные золото и серебро, висмутит, борнит, касситерит	+	0	0	0	0
6.		<b>Первичные и вторичные геохимические ореолы</b>					
6.1.	Аномальные значения основных рудных элементов	<i>Первичные ореолы:</i> Pb – 0,1–0,2%, Zn – 0,2–0,5%; <i>Вторичные ореолы:</i> Pb – 0,05–0,15%, Zn – 0,2–0,8%	(+ –)	0	0	0	0
6.2.	Элементы-индикаторы оруденения и их значения	<i>Первичные ореолы:</i> Ag – 0,3–0,7 г/т, Cd – 0,01–0,03%, As – 0,1–0,5%, Bi – 0,005–0,01%, Sb – 0,02–0,1%, Cu – 0,05–0,1%; <i>Вторичные ореолы:</i> Ag – 0,1–0,5 г/т, Cd – 0,005–0,01%, As – 0,05–0,3%, Bi – 0,003–0,01%, Sb – 0,01–0,05%, Cu – 0,02–0,05%	+	0	0	0	0

№	Параметры	Критерии и признаки	Ключицкий	Ушмульский	Дулушманский	Урюкманский	Георгиевский
7.	<b>Геофизические аномалии</b>						
7.1.	Магнитные и гравиметрические	Знакопеременное магнитное и гравитационное поле	+	+	+	+	+
7.2.	Электроразведка	Наличие аномально высоких значений вызванных поляризации естественного электромагнитного поля, совпадающих с низким значением кажущегося сопротивления – характеризуют зоны подводящих каналов, а их градиентные зоны – рудную минерализацию стратиформного типа	(+ –)	(+ –)	(+ –)	(+ –)	(+ –)
Итого коэффициент подобия			88%	56%	56%	68%	68%

структуры магнитной аномалии от  $-1,0$  до  $+1,0$  нТл, где непосредственно контакт эффузивной и терригенно-эффузивной толщи отмечается в интервале от  $-1,0$  до  $-0,5$  нТл. В восточной части площади отмечаются геохимические аномалии – вторичные ореолы рассеяния свинца и цинка, пространственно совпадающие с мультипликационными ореолами элементов Нойон-Тологойского типа:  $Pb \times Zn \times Ag \times Sb \times As$ . Проведённая здесь геологами ЦНИГРИ профильная литохимическая съёмка ионно-сорбционным методом выявила ряд геохимических аномалий комплексного мультипликативного показателя, которые могут быть отнесены к разряду вторичных ореолов рассеяния полиметаллического оруденения Нойон-Тологойского типа. Сочетание приведённых выше геологических факторов, геофизических и геохимических характеристик, сочетание аномальных зон позволяют определить высокий потенциал площади на выявление промышленных месторождений.

В западной части депрессии также прогнозируется выявление стратифицированных полиметаллических объектов Нойон-Тологойского типа (см. рис. 7).

**Выводы.** Основой развития Забайкальского края на ближайшие десятилетия по-прежнему останется освоение минерально-сырьевой базы как созданной в предшествующие периоды, так и формирующейся в результате переоценки известных месторождений или выявления новых объектов на перспективных площадях. А для юго-восточного Забайкалья – в первую очередь за счёт выявления новых традиционных для этого региона месторождений цинка и свинца с сопутствующим золотом и серебром. Наиболее продуктивной на данный тип оруденения является Приаргунская зона. В её пределах выделены и оценены перспективные на обнаружение свинцово-цинкового оруденения площади, относимые к Приаргунскому и Нойон-Тологойскому типам. Для планирования геологоразведочных работ выделены три группы площадей по степени изученности. Первая группа уже в настоящее время подготовлена для проведения поисковых работ – Мулинская, Маньковская, Воздвиженская. Вторая группа площадей требует проведения комплекса опережающих прогнозно-минерагенических работ (Кадаинская, Михайловская, Калгуканская, Буровская, Чашинская). Третья группа площадей (Акатуевская и Клинская) с прогнозными ресурсами суммы свинца и цинка ниже 500 тыс. т, возможно, будет представлять промышленный интерес в отдалённом будущем.

## 8. Оценка прогнозных ресурсов площадей Приаргунского типа

№ на карте	Названия	S км <sup>2</sup>	УП	ПР <sub>3</sub>	К <sub>под</sub>	Руда	Свинец	Цинк
<b>1</b>	<b>Воздвиженский РУ (итого)</b>	<b>258</b>		<b>4164</b>		<b>2827,7</b>	<b>1242,7</b>	<b>1584,9</b>
1.1.	Воздвиженская	44,9	32,8	1473	0,88	1296,0	648,0	648,0
1.2.	Горнозерентуйская	29,1	32,8	954	0,57	544,1	247,3	296,8
1.3.	Ивановская	36,3	32,8	1191	0,60	714,4	223,2	491,1
	часть РУ за пределами перспективных площадей	147,7	3,7	546	0,5	273,2	124,2	149,0
<b>2</b>	<b>Кадаинско-Михайловский РУ (итого)</b>	<b>101,4</b>		<b>2319</b>		<b>1826,6</b>	<b>884,0</b>	<b>942,5</b>
2.1.	Михайловская	38,6	32,8	1266	0,72	911,6	561,0	350,6
2.2.	Кадаинская	28,2	32,8	925	0,92	851,0	283,7	567,3
	часть РУ за пределами перспективных площадей	34,6	3,7	128	0,50	64,0	39,4	24,6
<b>3</b>	<b>Покровский РУ (итого)</b>	<b>164,2</b>		<b>1929</b>		<b>1649,3</b>	<b>749,7</b>	<b>899,6</b>
3.1.	Запокровский	45,4	32,8	1489	0,96	1429,6	649,8	779,8
	часть РУ за пределами перспективной площади	118,8	3,7	440	0,50	219,8	99,9	119,9
<b>4</b>	<b>Кличкинский РУ</b>	<b>205,5</b>	<b>3,7</b>	<b>760</b>	<b>0,88</b>	<b>669,1</b>	<b>304,1</b>	<b>365,0</b>
<b>5</b>	<b>Акатуйский РУ (итого)</b>	<b>112</b>		<b>636</b>		<b>422,5</b>	<b>140,8</b>	<b>281,7</b>
5.1.	Акатуевская	7,6	32,8	249	0,92	229,3	76,4	152,9
	часть РУ за пределами перспективной площади	104,4	3,7	386	0,50	193,1	64,4	128,8
<b>6</b>	<b>Ушмунский РУ</b>	<b>544</b>	<b>3,7</b>	<b>2012,8</b>	<b>0,56</b>	<b>1127,168</b>	<b>512,3</b>	<b>614,8</b>
<b>7</b>	<b>Дулушманский РУ</b>	<b>345</b>	<b>3,7</b>	<b>1276,5</b>	<b>0,56</b>	<b>714,84</b>	<b>324,9</b>	<b>389,9</b>
<b>8</b>	<b>Урюкманский РУ</b>	<b>232</b>	<b>3,7</b>	<b>858,4</b>	<b>0,68</b>	<b>583,712</b>	<b>265,3</b>	<b>318,4</b>
<b>9</b>	<b>Георгиевский РУ</b>	<b>487</b>	<b>3,7</b>	<b>1801,9</b>	<b>0,68</b>	<b>1225,292</b>	<b>557,0</b>	<b>668,3</b>

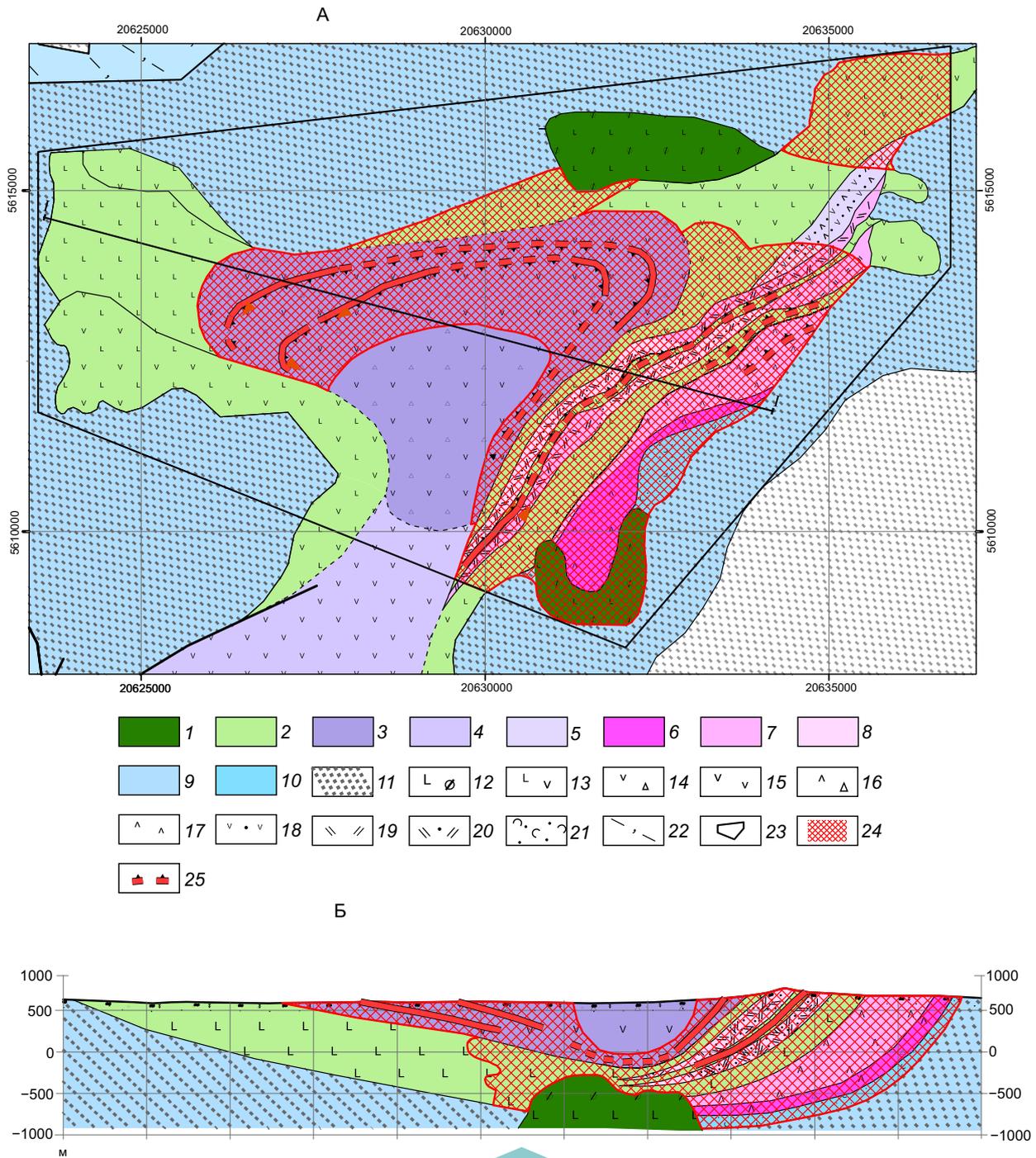


Рис. 7. Прогнозная карта на литолого-фациальной основе перспективной Калгуканской площади (А) и литолого-фациальный разрез по линии I-I с положением предполагаемого рудного горизонта рудной зоны перспективной Калгуканской площади (Б):

1–2 – фаии вулканогенных пород основного состава: 1 – жерловая и 2 – околожерловая зоны; 3–5 – фаии вулканогенных пород среднего состава: 3 – околожерловая и 4–5 – промежуточные зоны; 6–8 – фаии вулканогенных пород кислого состава: 6 – околожерловая и 7–8 – промежуточные зоны; 9–10 – прибрежно-морская фациальная зона; формация: 11 – подрудная терригенная молассовая; 12–22 – литологические разности пород: 12 – базальты, 13 – лавы андезибазальтов, 14 – лавобрекчии андезитов, 15 – лавы андезитов, 16 – лавобрекчии дацитов, 17 – лавы дацитов, 18 – дациты, 19 – лавы риодацитов, 20 – туфы риолитового состава, 21 – туфопесчаники, 22 – алевролиты кремнистые; 23 – контур проектируемой площади; 24 – перспективная площадь с прогнозируемым свинцово-цинковым оруденением в вулканогенно-кремнисто-терригенной формации; 25 – положение рудоносного уровня в пределах выделенных перспективных площадей; стрелка указывает направление падения тела; координаты даны в проекции Гаусса-Крюгера

## 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)

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

Проанализированы возможные механизмы внедрения базитового расплава в многослойную вулканогенно-осадочную толщу верхней части платформенного чехла, приведшие к наблюдаемым особенностям морфологии и внутреннего строения рудоносных трапповых плутонов. Показано, что их форма и положение в геологическом разрезе зависят от термической устойчивости и деформационных свойств вмещающих пород. На нижнем уровне локализации интрузивов главенствующее значение имело «магматическое замещение» (термическая эрозия) карбонатных и солевых пород высокотемпературным сульфидно-силикатным расплавом, что не исключает также их уплотнения в результате пластического «течения» на среднем и верхнем уровнях, где вмещающими являются флишоидные терригенные и вулканогенные породы, – пластические и хрупкие деформации, о чём свидетельствует хонолитоподобная морфология магматических тел в первом и втором случаях и пластинообразная в третьем. Полученные данные могут быть использованы для совершенствования геолого-генетических моделей расслоенных плутонов и связанных с ними Cu-Ni-МПП месторождений, а также построенных на их основе прогнозно-поисковых моделей.

*Ключевые слова:* дифференцированные трапповые плутоны, Cu-Ni-МПП месторождения, механизмы внедрения расплава, термическая устойчивость, деформационные свойства пород, морфология и строение интрузивов.

Звездов Вадим Станиславович  
кандидат геолого-минералогических наук



metallogeny@yandex.ru

## Mechanisms of basite magma injection into the East Siberian platform's multilayer cover and rock deformation properties impact on ore-bearing trappean intrusion location and morphology (an example from Norilsk district)

V.S.ZVEZDOV (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals)

The paper provides an insight into potential mechanisms of basite melt injection into volcanogenic-sedimentary strata of the upper platform cover which led to the observed morphological and structural features of ore-bearing trappean plutons. It is shown that their form and position in a geological section depend on host rock thermal stability and deformation properties. At the lower intrusion localization level, «magmatic replacement» (thermal erosion) of carbonate and saline rocks by high-temperature sulfide-silicate melt prevailed, which does not preclude their consolidation as a result of plastic «flow» at the medium and upper levels with flyschoid terrigenous and volcanogenic rocks as plastic and brittle deformations; this is suggested by chonolith-like morphology of intrusive bodies in the first and second instances and plate-like morphology in the third instance. The data obtained is useful in updating geological-genetic models of layered plutons and associated Cu-Ni-PGM deposits as well as forecasting-prospecting models based on them.

*Key words:* differentiated trappean plutons, Cu-Ni-PGM deposits, melt injection mechanisms, thermal stability, deformation rock properties, intrusion morphology and structure.

За многолетний период изучения сульфидных медно-никелевых с платиноидами (Cu-Ni-МПГ) месторождений Норильского района, связанных с трапповым магматизмом, выдвигались несколько концепций механизмов внедрения магмы и накопления рассеянных и сплошных (массивных) руд. Для расшифровки этих процессов, определяющих положение рудоносных интрузивов и рудных залежей в геологическом пространстве, в ЦНИГРИ в 1980–1990 гг. были проведены научно-исследовательские работы по созданию геолого-генетических, морфометрических, минералого-геохимических, прогнозно-поисковых и других моделей этих объектов, завершившиеся публикацией монографии «Cu-Ni-МПГ месторождения норильского типа» серии «Модели месторождений благородных и цветных металлов» [15]. Однако некоторые материалы, в частности по петрофизической характеристике рудовмещающей толщи и оценке её влияния на положение и морфологию расслоенных сульфидоносных гипербазит-базитовых интрузивов, в силу ряда причин не были опубликованы, но представляют интерес для дальнейшего совершенствования геолого-генетических основ прогнозирования месторождений названного типа.

На первый взгляд, схема формирования рассматриваемых ортомагматических по природе месторождений отвечает простой последовательности событий: зарождение рудоносной магмы в мантии → подъём расплава в верхний слой земной коры с накоплением в промежуточном очаге → дальнейший подъём и внедрение магмы в многослойный разрез платформенного чехла → гравитационное расслоение в интрузивной камере с обособлением сульфидов. Однако упрощённая модель внедрения расплава, его дифференциации и рудоотложения в режиме «спокойного» гравитационного осаждения «не объясняет» ряд наблюдаемых в природе фактов, а именно: «вставленный» во вмещающую толщу облик рудоносных полнодифференцированных интрузивов и специфические черты их морфологии и строения, отличные от безрудных недифференцированных и слаборудоносных, не полностью расслоенных, плутонов; несоразмерно большие ореолы роговиков и скарнов в их экзоконтактах; ритмичное («пошаговое») распределение залежей сплошных сульфидных руд по удлинению продуктивных интрузивов, причём многие из этих залежей выглядят как самостоятельные тела внедрения, и, главное, гигантские запасы руд, не соответствующие объёмам интрузивов, с которыми они сопряжены. Эти противоречия проанализированы и отчасти «сняты» в моделях, созданных в рамках упомянутых работ, одной из задач которых была оценка влияния деформационной природы вмещающих пород на локализацию и морфологию рудоносных плутонов.

**Геологическое строение** Норильского рудного района (НРР), выделенных в его пределах рудных узлов, полей и месторождений описано в работах Н.Н.Урванцева, Б.Н.Рожкова, А.Е.Воронцова, А.А.Кордакова, П.Н.Кабанова, Г.Г.Моора, М.Н.Годлевского, В.К.Котульского, Г.М.Маслова, Г.Б.Роговера, В.Ф.Кравцова, В.А.Люлько, А.Д.Генкина, В.В.Дистлера, Д.А.Додина, О.А.Дюжикова, В.М.Струнина, А.В.Тарасова, А.П.Лихачева, Е.С.Заскинда, В.В.Золотухина, О.М.Конкиной, В.И.Кочнева-Первухова, В.К.Степанова, Д.М.Туровцева, В.А.Федоренко и многих других исследователей.

Рудный район выделен в северо-западной части Сибирской трапповой провинции. Он ограничен крупными глубинными разломами системы триасовых рифтов: на северо-западе и западе – Енисей-Гулинским и Малохетским, отделяющими район от структур Западно-Сибирской платформы и Таймырской складчатой области, на востоке – Кета-Ирбинским, отделяющим район от западного борта Тунгусской синеклизы [12]. Эксплуатируемые Cu-Ni-МПГ месторождения и рудопроявления НРР приурочены к ареалам развития трапповых вулканоплутонических ассоциаций, формирование которых в позднепермское–раннетриасовое время, по общепринятым представлениям, связано с процессами рифтогенеза и тектономагматической активизации окраины Восточно-Сибирской платформы. В структурном отношении эти ареалы представляют собой отчётливо выраженные эллипсоидные вулканотектонические депрессии (ВТД) с амплитудой погружения основания до 4 км, традиционно называемые «мульдами». Выделенные Вологодчанская (ВМ), Хараелахская (ХМ) и Норильская (НМ) ВТД отделены от Тунгусской синеклизы валообразным Хантайско-Рыбинским поднятием СВ простирания, сложенным осадочными толщами палеозоя и погружающимся с юга на север, между собой – Пясинским ответвлением этого поднятия, имеющим СЗ ориентировку, а на западе – Дудинским выступом основания (рис. 1). Все ВТД заложены на мощной (8–10 км) толще платформенных отложений венда–поздней перми Норильско-Хараелахского прогиба, прослеживающегося с ЮЗ на СВ на протяжении более 350 км. Доступная для изучения в районе (по данным бурения) средняя часть его геологического разреза сложена сульфатно-карбонатными и глинисто-карбонатными формациями девонского возраста мощностью до 800–1000 м, а верхняя – с трансгрессивным несогласием залегающей на них лимнопаралической угленосной терригенной формацией – тунгусской серией ( $C_2-P_2$ ), мощность отложений которой убывает по мере приближения к валообразным поднятиям – Дудинскому и Хантайско-Рыбинскому

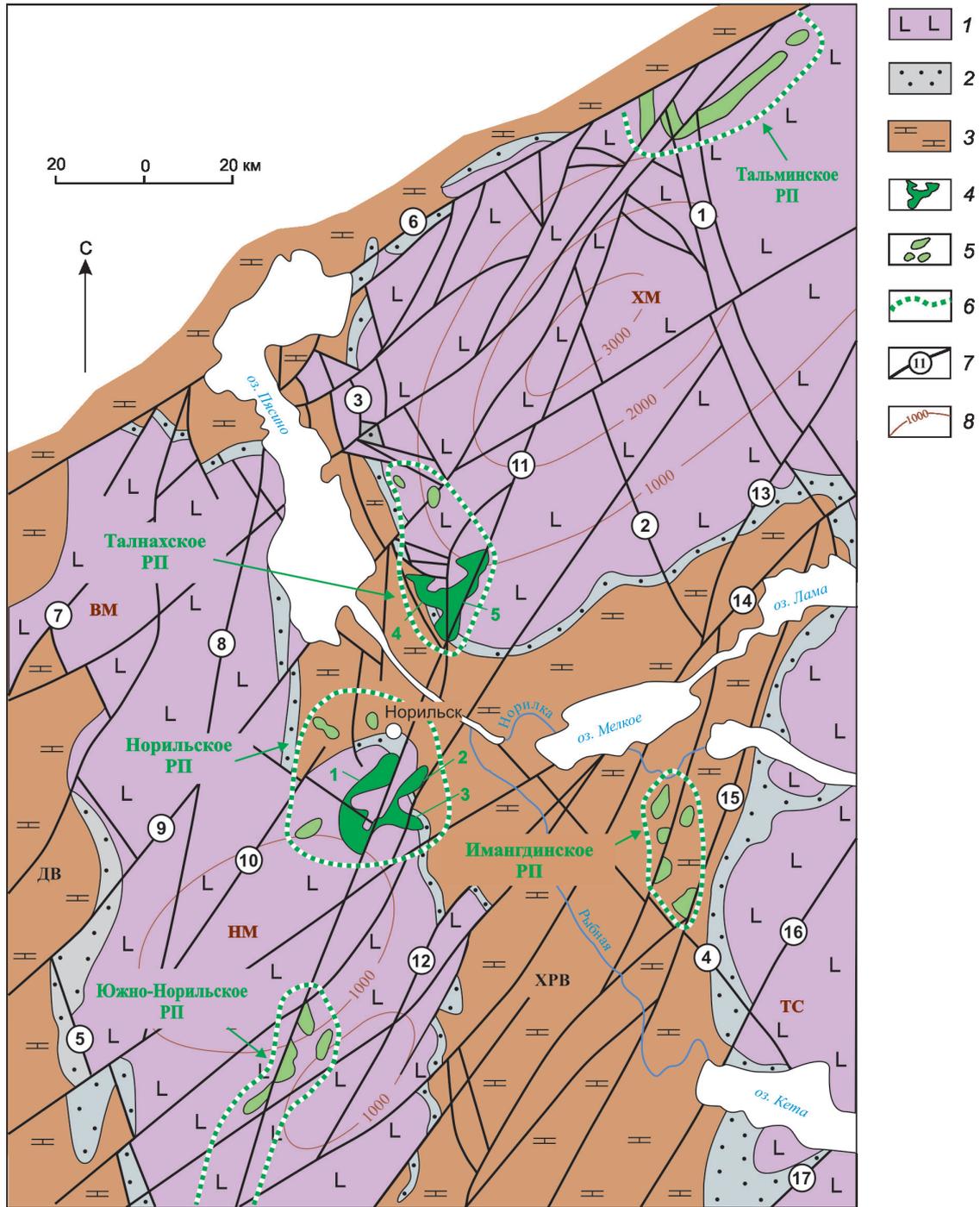


Рис. 1. Геологическая схема центральной части Норильского рудного района. Составлена с использованием [12, 20, 31]:

1 – вулканогенные образования трапповой формации (P<sub>3</sub>-T<sub>2</sub>): Норильской (НМ), Вологодчанской (ВМ) и Хараелахской (ХМ) мульд и Тунгусской синеклизы (ТС); 2 – терригенные угленосные отложения тунгусской серии (C<sub>2</sub>-P<sub>2</sub>); 3 – карбонатные, сульфатно-карбонатные, терригенно-карбонатные отложения (R-D<sub>2</sub>) Хантайско-Рыбинского (ХРВ) и Дудинского (ДВ) валов; 4–5 – проекция сульфидоносных интрузивов норильско-талнахского типа: 4 – Норильского (1 – Норильск I, 2 – Норильск II, 3 – Черногорский), Талнахского (4 – Хараелахский, 5 – Талнахский), 5 – Тальминского, Имангдинского, Южно-Норильского; 6 – границы рудных полей; 7 – разломы: С-СЗ простирания (1 – Кыстыктахский, 2 – Кумгинский, 3 – Водораздельный, 5 – Краевой), 4 – Пясинско-Кетский глубинный разлом, СВ и С-СВ простирания (6 – Северо-Хараелахский, 7 – Дьангы-Боганидский, 8 – Пясинский, 9 – Тангаралахский, 10 – Далдыканско-Хараелахский, 11 – Норильско-Хараелахский, 12 – Кулгатахский, 13 – Хенюляхский, 14 – Микчандинский, 15 – Имангдинский, 16 – Кета-Ирбинский, 17 – Кулимбинский); 8 – изопакиты базальтов, м

с 350–500 м до 70–80 м (на западе до 200 м), а западнее Вологодчанской мульды – до полного выклинивания [10, 15 и др.].

Основной магмавыводящей структурой района, контролирующей положение рудоносных полнодифференцированных трапповых плутонов и связанных с ними крупнейших Cu-Ni-МПП месторождений – Норильского, Талнахского и Октябрьского, является Норильско-Хараелахский глубинный разлом – зона повышенной проницаемости С-СЗ простирания шириной 10–20 км, прослеживающаяся в магнитном поле на 350 км и, по данным глубинного сейсмического зондирования, достигающая мантии. Главный шов этого разлома сбросо-сдвиговой природы в виде зоны милонитов и тектонических брекчий имеет ширину до 100 м. Вертикальное смещение по нему до 400–1000 м, горизонтальное – 4–6 км, иногда до 20 км [7, 27]. На всём протяжении его опирают менее крупные разломы СВ и СЗ простирания, составляя структуру типа «битой тарелки» [31], отдельные блоки которой часто имеют ромбовидные в плане очертания (см. рис. 1).

Вулканогенные и интрузивные породы НРР отнесены к комагмит-толеитовой серии. Выделены 5 фаз (этапов) проявления траппового магматизма: одна позднепермская и четыре раннетриасовых [15, 23, 27 и др.]. По фаціальным, петрологическим и петрохимическим особенностям лав и туфов вулканогенная толща, выполняющая ВТД, разделена на ряд свит (снизу вверх): нижнепермскую ивакинскую и нижнетриасовые сыверминскую, гудчихинскую, хаканчанскую, туклонскую, надеждинскую, моронговскую, мокулаевскую, хараелахскую, кумгинскую и самоедовскую. В нижней части вулканогенного разреза установлены относительно выдержанные вертикальные фаціальные ряды (снизу вверх): щелочные базальты → субщелочные (или пойкилофитовые) базальты → пикриты (возможно, комагматы рудоносных интрузивов). В его верхней части в различных пропорциях и последовательности присутствуют порфиоровые, афировые, олигофиоровые, гломеропорфиоровые и полифиоровые базальты с туфовыми прослоями (см. рисунки 2, 3).

Трапповые интрузивы района в своём распространении подчинены внешним ограничениям ВТД. По степени расслоенности они разделены на три группы: недифференцированные, слабодифференцированные и полнодифференцированные, которые различаются морфологией, размерами, внутренним строением и рудоносностью. Выделяются до 10 типов интрузивов пяти фаз магматизма [12, 15, 23, 27 и др.].

К *первым трём фазам* отнесены мощные (до первых сотен м), протяжённые (десятки–сотни км), часто многоярусные, недифференцированные силлы,

редкие штоки, дайки и секущие тела 4-х типов: трахидолеритов и титан-авгитовых долеритов *ергалахского* и субщелочных габбро-долеритов и долеритов *пясинского* (комагматы мафических базальтов (MgO <8 вес.%) ивакинской свиты); безоливиновых, троктолитоподобных и пикритовых долеритов *фокинского* (комагматы пикритовых лав (MgO – 17–22 вес.%) гудчихинской свиты); кварцевых и оливинсодержащих габбро-долеритов *огонерского*.

*Четвёртая фаза* внедрения представлена мезомафическими (MgO – 10–22 вес.%) плутонами рудоносного семейства, среди которых по степени дифференциации и продуктивности выделены 4 типа.

Не полностью расслоенные, сульфидоносные, но без промышленных руд интрузивы *нижнеталнахского* (*нижненорильско-нижнеталнахского*) типа широко развиты в районе, имеют плитообразную (пластиновидную) форму, прослежены на 20–35 км по простиранию при ширине до 5–10 км и мощности от нескольких десятков до первых сотен метров. В их разрезе (сверху вниз) выделены: призматически-зернистые габбро-диориты и габбродолериты: безоливиновые, оливинсодержащие, оливиновые, пикритоподобные.

Полнодифференцированные интрузивы продуктивного на Cu-Ni-МПП руды *норильско-талнахского* типа Норильского (Норильск I, Норильск II, горы Черной) и Талнахского (Талнахский и Хараелахский) рудных полей (РП)<sup>1</sup>, где сосредоточены все эксплуатируемые месторождения (Норильск I, Талнахское, Октябрьское), а также Имангдинского, Тальминского и Южно-Норильского РП с рудопроявлениями, сопряжёнными с плутонами предположительно того же типа (см. рис. 1), обладают в основном лентовидной формой в плане, линзо- или хонолитообразной в разрезе. Имеют протяжённость до 15–20 км при ширине от 500 м до 2 км, пережимы и раздувы мощности – от 50 до 350 м и характеризуются извилистыми очертаниями, отражающими «рыскание» сформировавшегося их магматического потока по латерали. Они локализованы на трёх литолого-стратиграфических уровнях: в сульфатно-терригенно-карбонатных отложениях (D<sub>1-2</sub>), терригенных породах тунгусской серии (C<sub>2</sub>–P<sub>2</sub>) и в низах вулканогенного разреза – от ивакинской (P<sub>2</sub><sup>iv</sup>) до нижней пачки надеждинской (T<sub>1nd</sub><sup>i</sup>) свит; сопровождаются дайками, магматогенными брекчиями, мощными (от 50 до 200 м и более) ореолами контактовых роговиков и скарнов. Внутреннее строение этих интрузивов с описанием дифференциатов и руд приведено ниже.

Слаборасслоенные плутоны *зубовского* типа – субпластовые, пластинообразные с раздувами (до 250 м)

<sup>1</sup> О.А. Дюжиковым с соавторами [12] и рядом других исследователей рассматриваются как рудные узлы.

и ответвлениями, локализованы в девонской осадочной толще: Зуб-Маркшейдерский в Норильском РП, Верхний Тулак-Тасский в Талнахском, Буркан в Южно-Норильском, Мантуровский в Имангдинском. В их строении выделены (сверху вниз): кварцевые диориты, габбро-диориты, габбро-долериты – безоливиновые, оливиновые, троктолитовые, пикритовые и такситовые (с убогой сульфидной вкрапленностью). Обладающие такой же формой интрузивы *курейского* типа (кварцевые, оливинсодержащие и троктолитовые габбро-долериты) ограниченно распространены на ЮВ района и принадлежат плутоногенному ареалу Летнинско-Имангдинской тектономагматической зоны.

К *пятой (завершающей) фазе траппового магматизма* отнесены слаборасслоенные плутоны *моронговского* и *далдыканского* типов. Субсогласные и пологосекущие пластообразные тела первого типа встречаются практически на всех рудных полях, имеют мощность до 400 м, залегают в девонской сульфатно-карбонатной толще. В их разрезе выделены (сверху вниз): габбро-диориты, оливиновые, троктолитоподобные, троктолитовые и пикритовые габбро-долериты. Нижняя, насыщенная оливином, кумулятивная часть довольно мощная. Безрудные пластовые, иногда многоярусные тела и дайки второго типа также широко развиты в районе. Они секут весь разрез осадочных и вулканических пород и интрузивы предшествующих фаз, сложены призматически-зернистыми габбро-диоритами и габбро-долеритами – безоливиновыми, оливинсодержащими и оливиновыми.

Независимо от положения в разрезе пологосекущие безрудные, слаборудоносные и рудоносные интрузивы «поднимаются» по восстанию (от центров ВТД к их периферии) с нижних стратиграфических уровней на более высокие.

Интрузивы продуктивного норильско-талнахского типа отличаются от безрудных (силлообразных) и слаборудоносных (плитоподобных) отчётливой вытянутостью в одном направлении и специфической морфологией. Их характерной особенностью также является «вставленный» во вмещающие породы облик (см. рисунки 2, 3). Локализованные на нижнем и среднем уровнях Талнахский и Хараелахский плутоны имеют лентовидную форму в плане и хонолитоподобную (с уплощённой кровлей и прогнутой подошвой) морфологию в поперечных сечениях – с крутыми бортами в первом случае (в девонской сульфатнотерригенно-карбонатной толще) и более «заострёнными» во втором (в терригенных породах тунгусской серии). В продольном разрезе они обладают четковидной морфологией из-за чередования максимумов и минимумов мощности. Раздувы мощ-

ностей «контролируются» прогибами подошвы при плоской кровле магматических тел. Для Талнахского интрузива, например, выделены 12 таких ярковыраженных раздувов (до 200 м), расстояния между которыми от 0,5 до 2,0 км. В пережимах мощность убывает до 100–50 м. Осевые линии максимальных мощностей плутонов, фиксирующие «интрузивные русла», характеризуются извилистыми очертаниями, отражающими «килевую» ундуляцию сформировавшего их магматического потока (рис. 4). Рудоносный интрузив Норильск I верхнего уровня, локализованный в низах траппового вулканогенного разреза ( $P_2-T_1$ ), обладает линзовидной формой и острыми боковыми ограничениями. Для него также установлено несколько раздувов мощности, но они менее выражены. (Подобные раздувы отмечаются и для сульфидоносных интрузивов нижнеталнахского и зубовского типов).

В вертикальном сечении от кровли к подошве продуктивных интрузивов фиксируется смена пород с нарастанием основности и магнезиальности, отражающие внутрикамерную дифференциацию. В «полном» разрезе, наблюдаемом в средней части плутонов, О.А. Дюжиковым и др. [12] выделены расслоенные серии. *Верхняя (габбровая)*: контактовые габбро-долериты, лейкократовое габбро, хромитоносное такситовое габбро, габбро-диориты; *главная (основная)*: призматически-зернистые габбро-диориты, габбро и габбро-долериты; безоливиновые, оливинсодержащие, оливиновые, биотит-оливиновые и пикритовые габбро-долериты, троктолиты, клинопироксениты; *нижняя (габбровая)*: такситовые оливиновые, контактовые безоливиновые габбро-долериты. В частных сечениях плутонов отмечаются значительные вариации строения. Некоторые из перечисленных горизонтов могут отсутствовать (чаще всего в пережимах мощностей), меняться местами и даже пересекать друг друга, другие – отличаться повышенной мощностью. Так, в раздувах мощность нижнего горизонта такситовых долеритов как в Талнахском, так и в Хараелахском интрузивах возрастает до 40 м и более, уменьшаясь в пережимах до 10 м, что свидетельствует о том, что эти породы в первую очередь заполняли прогибы их подошвы. Вариации мощностей вышележащих пикритового и других горизонтов менее контрастны.

Фронтальные части рудоносных плутонов обладают силлообразной формой и сложены в основном лейкократовым габбро и такситовыми габбро-диоритами (см. рис. 4). Среди пороодообразующих минералов в них преобладает интрателлурический плагиоклаз анортитового состава. Он кристаллизовался вслед за оливином синхронно с хромшпинелидами, но из-за меньшей плотности выносился

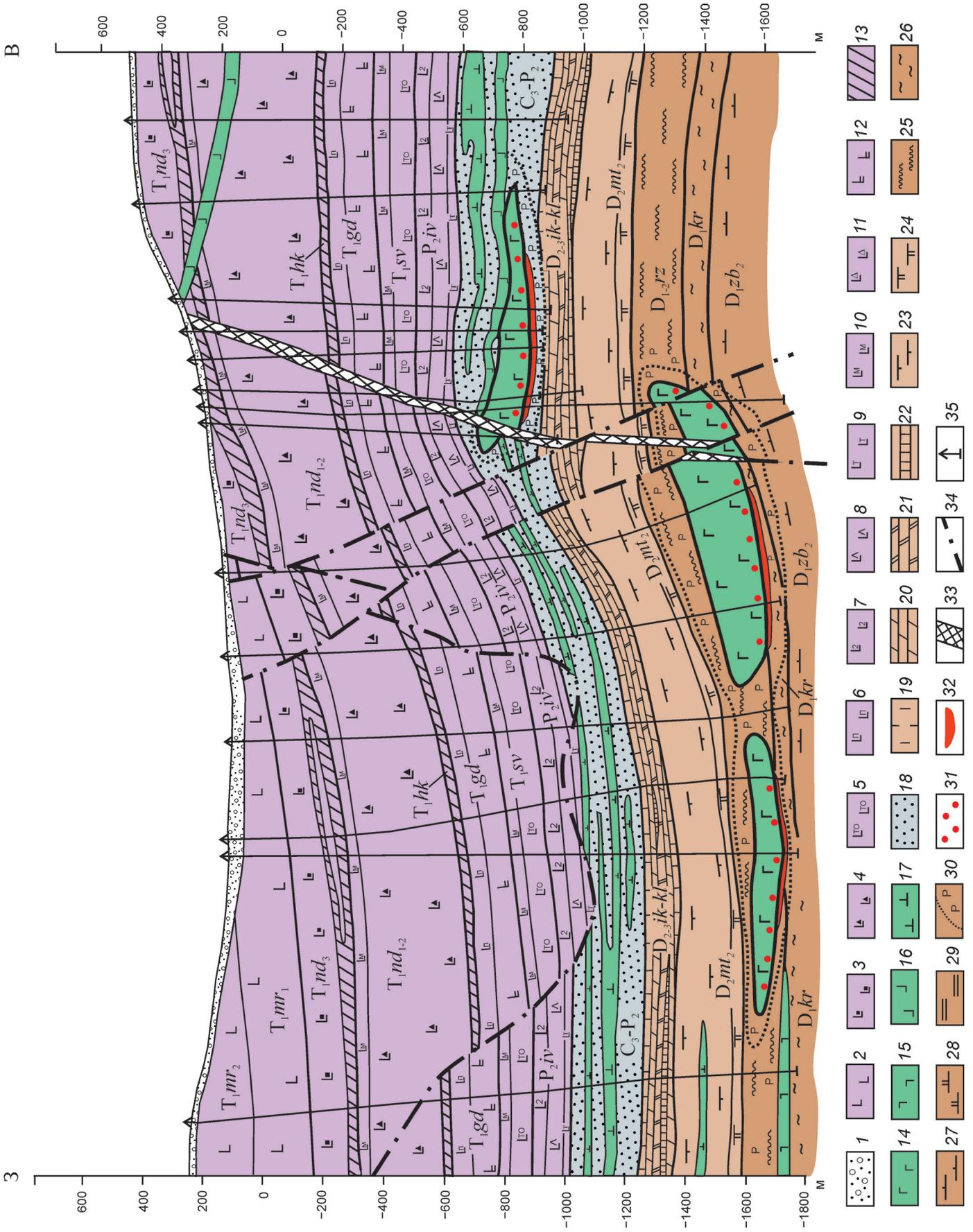


Рис. 2. Геологический разрез Талнахского месторождения по линии 99. Составлен с использованием материалов Норильской ГРЭ:

1 – четвертичные валунные, гравийно-галечные отложения, глины, супеси, пески; 2–11 – породы трапповой формации верхней перми–нижнего триаса: 2–11 – базальты моронговской (верхняя  $T_{1mr_2}$  и нижняя  $T_{1mr_1}$  пачки), надеждинской (верхняя  $T_{1nd_3}$ , средняя  $T_{1nd_2}$  и нижняя  $T_{1nd_1}$ ) пачки), туклонской ( $T_{1tk}$ ), хакачанской ( $T_{1hk}$ ), гудчихинской ( $T_{1gd}$ ), сыверминской ( $T_{1sv}$ ), ивакинской ( $P_{2iv}$ ) свит; 12 – порфирировые, афировые, олигофирировые, 3 – гломеропорфирировые, 4 – полифирировые, 5 – толлеитовые, 6 – пикритовые, 7 – двуплатиооклазовые, 8 – лабрадоровые, 9 – титан-авгитовые, 10 – миндалекаменные, 11 – лавобрекчии, туфолавы; 12 – перемежающиеся маломощные покровные порфирировых, олигофирировых, гломерпорфирировых базальтов с прослоями лавобрекчий и туфолав; 13 – туфы, туфиты; 14–17 – интрузивы: 14 – полинодифференцированные рудоносные норильско-талнахского типа, 15–16 – неполнодифференцированные слабо рудоносные: 15 – нижнеталнахского и 16 – далдыканского типов, 17 – недифференцированные безрудные силлы титаноавгитовых долеритов, трахидолеритов; 18 – тунгусская серия ( $C_2-P_2$ ): аргиллиты, углистые аргиллиты, алевролиты, песчаники, пласты углей; 19–22 – глинисто-верхнедевонская сульфатно-карбонатная толща юхтинской и каларгонской свит ( $D_{2-3}k-kf$ ): 19 – известняки, 20 – доломиты, 21 – мергели, 22 – ангидриты; 23–29 – глинисто-карбонатная толща нижне-среднего девона: 23–24 – мантуровская свита: 23 – мергели пестроцветные, тонкослоистые, ангидриты, доломиты верхней пачки ( $D_2mt_3$ ), 24 – доломитовые мергели нижней пачки ( $D_2mt_1$ ); 25 – аргиллиты пестроцветные с единичными прослоями органических известняков разведочинской свиты ( $D_{1-2}tz$ ); 26 – аргиллиты и пестроцветные мергели массивные и плитчатые курейской свиты ( $D_1kr$ ); 27–28 – зубовская свита: 27 – доломитовые мергели с прослоями ангидритов, гипсов, аргиллитов верхней пачки ( $D_2zb_3$ ), 28 – мергели пестроцветные с прослоями доломитов нижней пачки ( $D_2zb_1$ ); 29 – доломитовые мергели, доломиты, аргиллиты, гипсы, ангидриты хребтовской свиты ( $D_1hr$ ); 30 – околоинтрузивные ореолы ороговивания; 31–32 – медно-никелевые руды: 31 – вкрапленные и гнездово-вкрапленные, 32 – сплошные; 33–34 – дизъюнктивные нарушения: 33 – зона Норильско-Хараелахского глубинного разлома, 34 – второстепенные разломы; 35 – стволы разведочных скважин

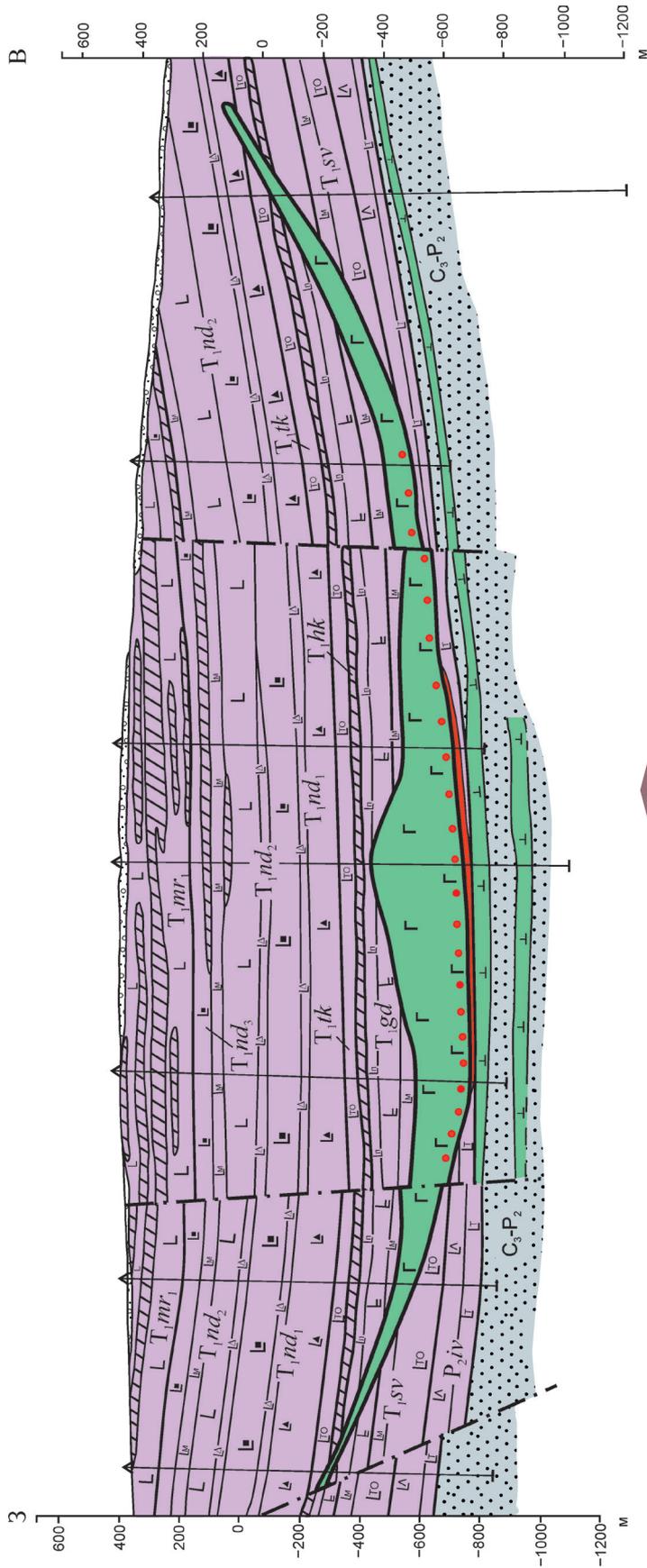


Рис. 3. Геологический разрез Норильского месторождения по линии I. Составлен с использованием материалов Норильской ГРЭ:

см. услов. обозн. к рис. 2

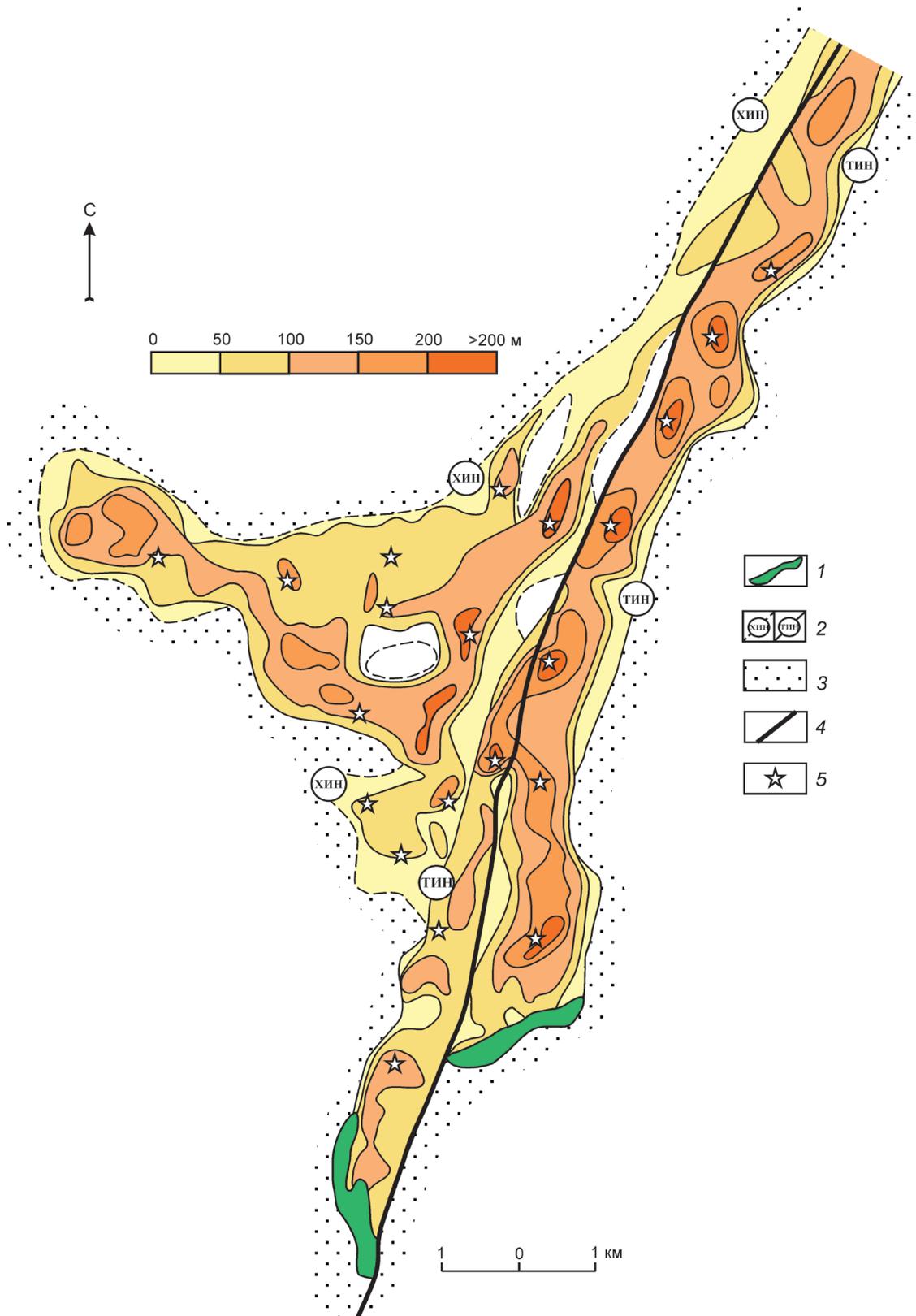


Рис. 4. Распределение мощностей Талнахского и Хараелахского интрузивов и положение залежей массивных медно-никелевых руд. По [15]:

1 – выходы интрузивов под четвертичные отложения; 2 – границы интрузивов на глубине: Хараелахского (ХИН), Талнахского (ТИН); 3 – фланговые силлы лейкократового габбро; 4 – Норильско-Хараелахский разлом; 5 – положение центров залежей сплошных (массивных) руд

магматическим потоком в головные части интрузий. Силлы лейкократового габбро, наиболее приближающиеся к дневной поверхности и иногда наблюдаемые в обнажениях, являются, таким образом, одним из важнейших поисковых признаков периферийных зон продуктивных плутонов. В собственно рудоносной, меланократовой габбро-долеритовой части передовых зон рудоносных интрузивов доля пикритовых габбро-долеритов достигает 55% и более от общей мощности, а оливина в них до 80%, что противоречит модели «спокойного» гравитационного осаждения и может интерпретироваться как накопление кумулятов в результате многооборотной циркуляции движущегося расплава в магматической камере [15, 26].

Сульфидная Cu-Ni-МПГ минерализация располагается на нескольких уровнях (горизонтах) расслоенных интрузивов [12]. Под их подошвой, на участках раздувов, локализованы линзы сплошных Cu-Ni руд, в такситовых габбро-долеритах – вкрапленные, в пикритовых – гнездово-вкрапленные (с овоидными и интерстициальными выделениями сульфидов). Далее вверх по разрезу рудная минерализация постепенно «затухает», полностью исчезая в безоливиновых габбро-долеритах главной серии. Однако в такситовых и лейкократовых габброидах верхней серии вновь появляется в виде вкрапленных малосульфидных руд с повышенными содержаниями платиноидов. В верхнем и нижнем экзоконтактах спорадически отмечаются прожилково-вкрапленные руды. Тела массивных руд, имеющие овальную в плане и линзообразную в разрезе форму, «не выходят» за контуры распространения вкрапленных более высоких уровней, максимальные мощности которых совпадают с раздувами плутонов. На флангах последних с наименьшими мощностями вкрапленные руды отсутствуют. Наиболее рудоносны фронтальные и предфронтальные части интрузивов, где сосредоточены основные запасы норильских месторождений.

Залежи массивных руд Хараелахского и Талнахского плутонов, обеспечивающие львиную долю добычи Норильского ГМК, приурочены к их осевым частям (интрузивным «руслам»), располагаясь с шагом от 0,3 до 1 км и более (до 2 км на северном фланге Талнахского). Центры залежей тяготеют к раздувам интрузивов, но максимумы их мощностей смещены к участкам перехода от пережимов (см. рис. 4). Мощности залежей коррелируют с мощностями придонных пикритовых и особенно такситовых габбро-долеритовых слоёв. Некоторые из залежей локализованы в роговиках лежачего экзоконтакта плутонов, что трактуется одними исследователями [15, 26 и др.] как проникновение («стекание») накапливавшейся сульфидной фазы повышенной плотности в подсти-

лающие породы, а другими [12, 13, 28, 29 и др.] как признак самостоятельного внедрения сульфидного расплава.

Интрузивы всех типов Норильского РР сопровождаются приконтактовыми изменениями, однако масштабы и интенсивность их проявлений, состав новообразованных минеральных ассоциаций у рудоносных плутонов отличаются от безрудных и слаборудоносных. Над Хараелахским интрузивом, например, на участках с мощностью от 50 до 100 м мощность ореола ороговикования и скарнирования составляет 150–200 м, в то время как у локализованного на том же литолого-фациальном уровне слаборудоносного Нижнеталнахского плутона при мощности в 400 м – не более 40 м [21]. Как показано Д.М.Туровцевым [30], ореолы приконтактовых преобразований продуктивных интрузивов отличаются наиболее «полным набором» минеральных фаций роговиков (от мусковитовой до пироксеновой) и более сложным составом скарнов (флогопит-периклаз-форстерит-монтичеллит), занимающих до 30% массы ореола, в то время как в экзоконтактах непродуктивных плутонов роговики представлены лишь низкотемпературной мусковитовой и амфиболовой фациями, а магнезиальные скарны обладают простым флогопитовым составом. На их контактах известняки перекристаллизованы, реже превращены в мраморы. В экзоконтактах же рудоносных интрузивов в этих породах развита высокотемпературная спурит-мервинитовая фация роговиков.

Таким образом, интрузивы продуктивного норильско-талнахского типа отличаются от безрудных и слаборудоносных плутонов «вставленным» во вмещающую толщу обликом, морфологией, параметрами и внутренним строением, размерами и минеральным составом ореолов контактовых роговиков и скарнов, а главное наличием залежей промышленно значимых массивных, вкрапленных, прожилково-вкрапленных и гнездово-вкрапленных руд, что свидетельствует о существенных различиях процессов их формирования. Имеются и другие (минералогическо-геохимические, например никеленосность оливинов, и прочие) различия, описанные в многочисленных публикациях, но находящиеся за рамками обсуждаемой проблемы, основными вопросами которой являются следующие.

*Каковы механизмы внедрения базитовой магмы, приведшие к наблюдаемым формам и строению рудоносных интрузивов?*

*Какое влияние на их морфологию и положение в геологическом разрезе оказывала деформационная природа вмещающих пород?*

В числе возможных механизмов воздействия внедрявшейся базитовой магмы на вмещающие породы

с высвобождением пространства для размещения рудоносных расслоенных плутонов в ряде работ рассматриваются: гидроразрыв; деформации пород с уплотнением и выталкиванием в боковые пространства (по механизму «гидроклина»); раздвигание пластов при превышении их механической устойчивости при давлении магмы либо региональном сжатии; магматическое замещение (термическая эрозия) с расплавлением (диссоциацией) и выносом материала за пределы формирующихся интрузивов.

**Гидроразрыв** – наиболее простое объяснение возникновения полостей для базитгипербазитовых интрузий. Гидравлический разрыв пластов (ГРП, fracking) – один из наиболее применяемых методов в нефтегазовой отрасли для повышения отдачи промысловых скважин. Он заключается в создании проводимых зон трещиноватости в нефте- или газоносных пластах под давлением закачиваемой в них жидкости для обеспечения притока добываемого флюида (нефти, природного газа, газоконденсата) к забоям скважин. Однако считать этот механизм ведущим не позволяют параметры получаемых с использованием ГРП трещин, которые далеки от размеров (мощности и протяжённости) трапповых силлов, а также специфическая морфология рудоносных интрузивов, свидетельствующая о деформационном и термальном воздействии магмы на вмещающие породы.

По мнению В.Ф.Кравцова [13], А.В.Тарасова [28, 29], О.А.Дюжикова с соавторами [12] и других исследователей, внедрение гипербазит-базитовой магмы сопровождалось интенсивным тектоническим преобразованием вмещающей вулканогенно-осадочной толщи – возникновением дизъюнктивных дислокаций, выпахиванием пород в придонной части интрузий, их **уплотнением и выталкиванием в боковые пространства по механизму «гидроклина»**. При этом расплав использовал при внедрении участки растяжения, где приоткрывались полости (крылья ВТД, контакты пород с различными деформационными свойствами), проникая в которые он «испытывал» расщепление на апофизы с резкими изменениями мощностей результирующих плутонов. Пережимы и раздувы мощности Талнахского интрузива, например, совпадают с пликативными структурами и разрывами, сопряжёнными с Норильско-Хараелахским разломом, а осевые (русловые) зоны плутона – с их простираем. Его максимальные мощности в раздувах объясняются самостоятельными каналами поступления магматического расплава.

Подобный структурный контроль отмечается и для других рудоносных интрузивов – Хараелахский, Норильск I. Условия растяжения и межслоевые деформации в крыльях отрицательных складок определяют положение участков, наиболее благоприят-

ных для распределения магматических масс, их расслоения и рудоотложения. Предполагается, что ведущее значение в локализации залежей массивных руд имели доинтрузивные и сининтрузивные разрывы, эндо-экзоконтактные зоны повышенной трещиноватости лежачего бока плутонов, причём последние могли играть экранирующую роль при инъекциях сульфидно-силикатного (сульфидного) расплава, накопившегося в результате последовательного флюидно-магматического фракционирования гипербазит-базитового расплава в системе коровых промежуточных очагов.

Описанная модель, однако, не объясняет «вставленный» характер и причудливую морфологию рудоносных расслоенных интрузивов, ундуляцию осевых линий их максимальных мощностей, несоразмерно большие мощности ореолов контактовых роговиков. Предполагаемые отдельные каналы поступления магматического расплава для раздувов мощностей плутонов не подтверждаются геофизическими данными и бурением. Поэтому механизм «гидроклина» с уплотнением вмещающих пород под давлением нагнетаемой магмы, скорее всего, не являлся основным, хотя и имел место, учитывая присутствие в вулканогенно-осадочном разрезе известняков, доломитов, мергелей и аргиллитов, пластично деформирующихся при высоких температурах и давлении.

Более приемлемым для решения проблемы возникновения в многослойном разрезе пологозалегающей межслоевой полости необходимой протяжённости с волнообразным изменением мощности представляется **механизм изгибания пластов с их раздвигом при превышении их механической устойчивости под воздействием внедрявшейся магмы**. Математическая модель этого процесса разработана В.Н.Шараповым, В.Н.Доровским и С.Л.Марковичем (1990).

Граничные условия постановки задачи численного моделирования развития эйлеровской неустойчивости многослойной системы при внедрении расплава определялись исходя из реальной морфологии и параметров рудоносных интрузивов – их поперечник должен быть близок или несколько больше неоднородностей в вулканогенно-осадочной толще и быть одного порядка с мощностью вскрыши, а горизонтальная протяжённость на 1–2 порядка меньше протяжённости вмещающей толщи в том же направлении.

Для выявления характера деформации слоистой толщи под давлением магмы анализировалась механическая устойчивость сцепленного пакета пластин с разными физико-механическими свойствами, а в пределе – единичной пластины с известными начальными и граничными параметрами. В итоге расчётами было показано, что предложенный механизм

образования камеры заданной протяжённости и конфигурации реально осуществим. При приложении к торцу пластины некоторой статической силы, превышающей порог механической устойчивости, происходит «волновое» изгибание пластов. Образуется пологозалегающая межслоевая полость с числом полуволов, сопоставимых с количеством наблюдаемых раздувов мощности рудоносных плутонов. Возникающий вакуумный эффект способствовал её «мгновенному» (в геологическом смысле) заполнению расплавом с последующим плотностным расслоением. Формирование залежей сплошных руд связывается с «самостоятельным» внедрением «рудной магмы», обладавшей при равных условиях из-за сравнительно низких температуры кристаллизации и вязкости повышенной «способностью» к течению в трещинных каналах, то есть перемещению от очага генерации на значительные расстояния. При этом определённая роль в высвобождении пространства для интрузивов отводится диссоциации вмещающих карбонатных и солевых пород и прежде всего доломитов (до 25% первоначального объёма), наименее термически устойчивых [33] в интервале температур (1025°–625° С) внедрения и становления базитового расплава.

Как и в предшествующей, в данной модели не получили объяснения: наличие у рудоносных интрузивов «извилистого русла» (осевой линии наибольших мощностей); значительные запасы вкрапленных и гнездово-вкрапленных руд в меланократовой кумулятивной части интрузивов и размеры ореолов ороговикования, не сопоставимые с объёмами самих плутонов; присутствие вкрапленных малосульфидных руд с повышенными содержаниями МПГ в такситовых и лейкократовых габброидах верхней серии, что не соответствует «ликвационной» концепции дифференциации расплава и накопления сульфидного вещества в режиме «спокойного» гравитационного осаждения в магматической камере.

По мнению Н.С.Берендеева, Б.П.Некрасова [1] и В.К.Степанова (1991), основной причиной образования полостей при превышении порога механической устойчивости пород в многослойном разрезе могло быть не давление магмы, а *геодинамический фактор*, а именно *региональное сжатие*, в любом варианте трактовки позиции Норильского района (краевая часть платформы, континентальный рифт, зона рассеянного спрединга). Район покрыт густой сетью разломов (см. рис. 1), о чём свидетельствуют дешифрирование аэро- и космоснимков, геологические и геофизические съёмки. Ограниченные ими тектонические блоки имеют ромбовидные в плане очертания, размеры в среднем 40×50 км и могут рассматриваться как ядра устойчивых структур, заложенных ещё в палеозое и окончательно сформировавшихся в триасе

при трапповом магматизме. Каждый из блоков, являясь элементарной геоструктурной ячейкой, испытывал горизонтально направленное давление, что приводило к возникновению вдоль длинной диагонали ромба зоны сжимающих усилий. Под их воздействием в многослойном геологическом разрезе происходила деформация слоёв с многократным «раскрытием» полостей (рис. 5). Внедрение магмы происходило в зоне сжатия в направлении, совпадающем (или близком) с длинной диагональю ячейки. При этом заполнение магмой первой открывшейся полости не снимало напряжений. Продолжавшееся сжатие приводило к «раскрытию» другого горизонта, затем следующего вплоть до окончательной «консолидации» ячейки.

Предполагается, что в первую очередь полости возникали во флексурах, участках изменения мощности или фациального состава слоёв, а их положение и форма определялись распределением этих неоднородностей в пространстве. Последующие раскрытия происходили на соседних горизонтах и в общих чертах повторяли конфигурацию первого, подчёркивая тем самым общий структурный план ячейки. Однако с каждым последующим раскрытием и заполнением возникающих полостей магмой целостность (моноклитность) ячейки всё более нарушалась, что приводило в конечном итоге к взбросо-сдвиговому разрыву её сплошности по большой диагонали. Зона сжимающих напряжений и после этого контролировала размещение последующих интрузий, но формирующиеся при этом магматические камеры имели уже иную, более сложную морфологию.

Наиболее крупные и отчётливо выраженные на грави- и магнитометрических картах тектонические «блоки-ячейки», ограниченные разломами С-СВ и С-СЗ простирания, «совпадают» с мульдообразными прогибами (ВТД) – Норильским, Хараелахским, Зологочанским и др. Каждый из них рассечён по большой диагонали глубинным разломом взбросо-сдвигового характера типа Норильско-Хараелахского. Причём наиболее благоприятными для внедрения магмы являлись угловые участки «элементарных ячеек», где создавались максимальные напряжения. К ним тяготеют все рудные поля Норильского РР (см. рис. 1).

Описанным механизмом объясняется «смена» силло- и плитобразной формы слабурудоносных плутонов нижнеталнахского и крутогоровского типов хонолитовидной, характерной для продуктивных расслоенных интрузивов норильско-талнахского типа (см. рис. 5). Нижнеталнахские плутоны сформировались при выполнении магмой пологих, щелеобразных полостей раскрытия первой очереди. Основная часть ареала их развития занята силлообразной залежью

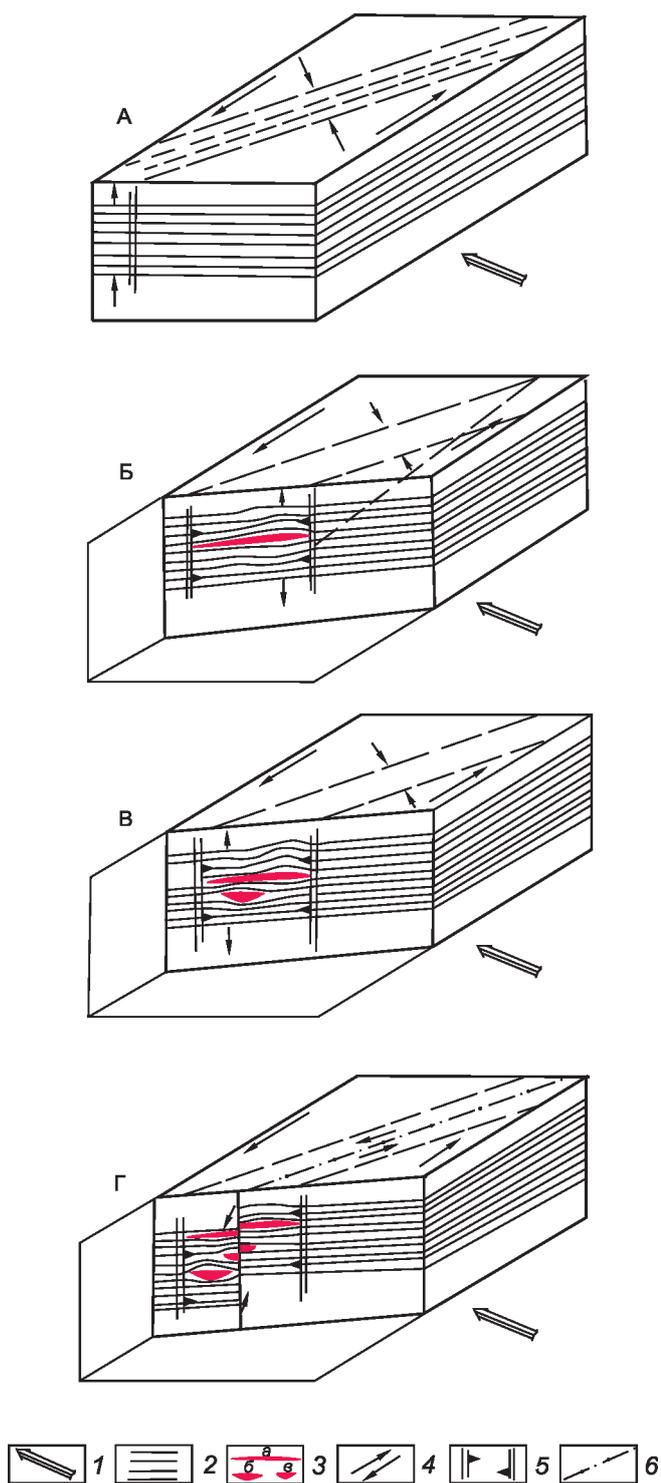


Рис. 5. Модель механизма интрузии в слоистую толщу платформенного чехла. По [1]:

1 – направление регионального давления; 2 – слоистая толща; 3 – трапповые интрузивы: а – силлы, б – пластообразные, в – хонолитоподобные; 4 – векторы напряжений; 5 – зона переуплотнённых пород (зона «сейсмической мутности»); 6 – сбросо-сдвиговая дислокация; А–Г – последовательность событий

малой мощности, и лишь в его центральных частях отмечаются дифференцированные разрезы с раздувом мощности. Силлы лейкократового габбро круглогорского типа, слагающие периферийные участки рудоносных плутонов, образовались ближе к центральной части зоны напряжений (к зоне будущего разлома) при последующем магматическом импульсе в результате заполнения расплавом широкой щелевидной полости второй очереди. В дальнейшем раскрытие полостей происходило в узкой приразломной области. Они и использовались собственно рудоносными интрузиями.

При такой трактовке Норильско-Хараелахский разлом, считающийся главным рудоконтролирующим элементом структуры района, в действительности, как и магматические камеры рудоносных и родственных им интрузий, сформировался при долговременных сжимающих усилиях, деформировавших стабильные (устойчивые) блоки земной коры, и поэтому должен рассматриваться как магмораспределяющий [22].

Два важных следствия, вытекающих из описанной модели, могут быть использованы в прикладных целях. Во-первых, «раскрытие» слоистой толщи с образованием полостей по описанному механизму должно сопровождаться уплотнением пород в выше- и нижележащих слоях на всём протяжении зоны сжатия (по большой диагонали тектонического блока), что должно отразиться в полях силы тяжести и фиксироваться гравиметрической съёмкой. Во-вторых, контрастная плотностная картина, возникавшая в результате всех описанных процессов, должна выявляться в сейсмических разрезах как зона «повышенной мутности» методом МОГТ ОГТ (В.К.Степанов, 1991).

В рассмотренной модели проанализированы геодинамические условия формирования лишь дифференцированных интрузивов рудоносного семейства (нижнеталнахского, крутогорского и норильско-талнахского типов). В ней нет описания механизмов образования дорудных недифференцированных и слаборасслоенных силлов (часто многоярусных), предполагаемая протяжённость которых оценивается в сотни км, что на порядок превосходит размеры выделенных тектонических блоков (элементарных геоструктурных ячеек). Нет объяснения и простым силло-, пласто- и дайкообразным формам пострудных слаборасслоенных плутонов моронговского и далдыканского типов. Казалось бы, с учётом «консолидации» структурных ячеек в результате предшествующего многократного внедрения магматического расплава их морфология должна быть сложнее. Не учтены также «вставленный» облик рудоносных плутонов, диспропорции объёмов (масс)

интрузивов и сопряжённых с ними рудных залежей и роговиков.

Перечисленные вопросы отчасти решены в *динамических моделях внедрения и дифференциации рудоносного базитового расплава, учитывающих плотностную сепарацию его силикатной и рудной составляющих при движении в пологозалегающем канале, а также структурообразующее воздействие магмы на окружающие породы*. Основным граничным условием этих моделей является допущение открытости системы, то есть постоянной связи интрузий с магматическим очагом, что, в принципе, характерно для крупномасштабных, долгоживущих рудно-магматических систем (РМС), с которыми ассоциируют крупные и гигантские месторождения не только медно-никелевого, но и медно-порфирирового, медно-цинково-колчеданного и других геолого-промышленных типов.

В количественной геолого-генетической модели (КГГМ) сульфидно-силикатной системы, созданной А.И.Кривцовым с соавторами [14–17] на основе морфологических, параметрических, концентрационных, градиентно-векторных и других моделей норильских месторождений, возникновение прогибов подошвы интрузий, контролирующих залежи сплошных Cu-Ni руд, связывается с «выпахиванием» пород «русла» магматическим потоком. Отмечено, что рудоносные интрузивы напоминают уплощённые криволинейные трубы переменного сечения. Очевидно, что такая морфология магматического канала влияла на гидродинамические характеристики движущегося расплава. При переходе от суженных участков к раздувам турбулентный характер его течения сменялся ламинарным, о чём свидетельствуют установленная микроструктурным анализом ориентировка оливковых зёрен в пикритовых габбро-долеритах – субгоризонтальная в раздувах и хаотичная в сужениях [19], а также результаты градиентно-векторного анализа плотностной структуры плутонов, показавшие продольные, диагональные и вихревые направления нарастания и убывания плотностей рудоносных дифференциатов. Падение скорости потока на выходе из сужений магматической камеры явилось, по-видимому, основной причиной «выпадения» оливкового кумулуса и частиц (капель) рудного вещества из сульфидносиликатного расплава и отразилось на особенностях внутреннего строения плутонов, положении линз сплошных руд и их наиболее обогащённых участков.

Расчётами баланса вещества и траекторий движения главных породообразующих и рудных минералов в магматическом потоке установлены различия в скоростях перемещения собственно сульфидной, силикатно-сульфидной и остаточной силикатной

фаз рудоносных базитовых интрузий, которые отразились в латеральной и вертикальной зональности рудных залежей. Наблюдаемое несоответствие между мощностями и массами линзовидных тел сплошных руд и вышележающих рудоносных плутонов объяснено интегральным рудонакоплением в результате подтока сульфидно-силикатного расплава из очага. Рассеянные в нём моно- и полиминеральные частицы (капли) сульфидов, оксидов и платиноидов погружались к донной части магматического потока со скоростями, зависящими от их избыточной плотности. Наиболее лёгкие из них уносились потоком, чем можно объяснить обогащение фронтальных частей интрузий халькопиритом, другие, не достигнув дна, кристаллизовались с возникновением залежей вкрапленных руд, третьи (наиболее тяжёлые) в результате гравитационного осаждения и взаимного слияния образовывали на контакте с подстилающими породами высокоплотный сульфидный расплав, из которого формировались залежи Cu-Ni сплошных руд.

Для подтверждения основных положений описанной модели в 2000-х годах в ЦНИГРИ под научным руководством А.И.Кривцова была выполнена серия работ [3–5, 11] по компьютерному моделированию дифференциации рудного вещества в расплаве для варианта его ламинарного течения в пологозалегающем трубообразном канале переменного эллиптического сечения. Движущийся рудно-силикатный расплав (с принятыми температурой – 1250° С, вязкостью – 1000 пуаз, плотностью – 3,0 г/см<sup>3</sup>) рассматривался как однородная вязкая жидкость с диспергированными моно- и полиминеральными частицами (каплями) сульфидов (пирротина, пентландита, халькопирита), оксидов (магнетита, хромита) и платиноидов (изоферроплатина, плумбопалладинит) с плотностями, превосходящими средневзвешенную по потоку плотность расплава. С использованием компьютерно-графических расчётных алгоритмов были оценены расстояния и траектории перемещения частиц разных плотностей и размера, определены участки их пикового и стабильного накопления в зависимости от конфигурации продольного сечения канала и геометрии его дна. Показано влияние «плотины» на интенсивность скопления рудного вещества, возникновение наиболее бедных и богатых по минеральному и элементному составу рудных обособлений. Расчётами также было показано, что обладающее меньшей вязкостью сульфидное вещество, скапливавшееся в подошве интрузий, могло играть роль своеобразной «смазки» для силикатной составляющей расплава, повышая таким образом скорость его течения, а при достаточной мощности «сульфидного слоя» даже опережать её,

формируя «самостоятельные» тела внедрения. В итоге была получена картина теоретически возможной латерально-вертикальной минеральной зональности рудных залежей, не противоречащая реально наблюдаемой на норильских месторождениях.

К сожалению, механизмам внедрения магмы в описанной модели не было уделено достаточно внимания, а компьютерное моделирование плотностной дифференциации сульфидно-силикатного расплава проведено лишь для его ламинарного однонаправленного течения без учёта турбулентных потоков и конвекции, а также зависимости вязкости магмы от температуры и содержания летучих компонентов, что является предметом постановки специальных исследований и требует мощного компьютерного обеспечения.

Конвекция – важный фактор наряду с потенциалом силы тяжести и скоростью течения магмы, определяющий динамику становления интрузий и их результирующее строение. В работах большинства исследователей рассмотрена только тепловая конвекция. Наиболее полно она описана в конвекционно-кумуляционной модели динамики кристаллизационной дифференциации пластового траппового интрузива М.Я.Френкелем и др. [32]. В ней математически описаны условия образования кумулятивных горизонтов, набор которых в целом соответствует реально наблюдаемому в поперечных сечениях рудоносных плутонов. Механизмы внедрения расплава в ней, однако, не рассмотрены, а для реконструкции процессов дифференциации и рудонакопления во всем объёме интрузий применённые в модели расчётные алгоритмы не достаточны.

Наиболее детально структурообразующая роль магматической плотностной конвекции рассмотрена в работах А.П.Лихачева [19–21 и др.], в которых особенности морфологии и строения норильских рудоносных плутонов и связанных с ними платино-медно-никелевых месторождений объясняются «продольной» циркуляцией высокотемпературного (до 1300°С) сульфидно-силикатного расплава в термоградиентном поле от очага (мантийного плюма) к интрузивным телам-апофизам и обратно. Ведущим механизмом высвобождения пространства для размещения продуктивных расслоенных интрузивов считается магматическое замещение (механическое разрушение, плавление и «вымывание») пород (без существенного изменения их залегания) расплавом, при котором вещество диссоциирующих пород уносится возвратным потоком в верхние зоны очага. В доказательство этого явления приводятся результаты микроскопического изучения клино- и крыловидных протокристаллов оливина и плагиоклаза, показавшие их «встречную» ориентировку в ниж-

них (придонных) и верхних слоях рудоносных интрузивов, а также данные лабораторного визуального моделирования термоконвекции водных растворов при нагревании в кварцевых трубках, запаянных в торцах, диаметром до 20 мм и длиной до 1 м.

Главной причиной специфической формы рудоносных плутонов (лентовидной в плане и хонолитоподобной в поперечных разрезах) предполагается существенное превышение плотности тяжёлой сульфидоносной магмы ( $2,8 \div 3,0 \text{ г/см}^3$ ) над плотностью вмещающих пород ( $2,64 \div 2,75 \text{ г/см}^3$ ), приводившее к продавливанию последних и возникновению «магматического» русла. Другая причина – расплавление и вынос материала окружающих толщ движущимся расплавом на фронте магматической колонны (в области замыкания конвектирующего потока) с образованием однонаправленного канала. Характерное четковидное строение продуктивных плутонов с раздувами и пережимами мощности в продольных сечениях интерпретируется как результат импульсного поступления расплава во фронтальную камеру внедрения из-за чередования периодов накопления магмы в питающем очаге с периодами его «разгрузки» при превышении критических значений давления.

Предполагается, что безрудные и слаборудоносные силло- и пластинообразные интрузивы сформировались при одноактном внедрении расплава. Их становление проходило в режиме «спокойного» гравитационного осаждения кумулятивных фаз без продвижения и продольной термоконвекции расплава в магматической камере. Отсюда сравнительно выдержанные мощности и строение недифференцированных и слаборасслоенных интрузивов, а также незначительные размеры ореолов ороговивания, сопоставимые с параметрами самих магматических тел<sup>2</sup>.

В качестве основной причины столь существенного различия выдвигается глубина зарождения расплавов, определяющая их «энергетические возможности». Источником магмы для безрудных и слаборудоносных плутонов, а также их вулканических коагматов являлись верхние зоны головной части мантийного плюма (очага) с температурами от 1150°С до 1300°С и степенью плавления окружающих пород от 1,5 до 38%, а для интрузивов норильско-талнахского типа – его более глубинные зоны с температурами 1300°–1400°С и выше и степенью плавления до 50%. Рудоносная высокотемпе-

<sup>2</sup> В отношении сульфидоносных плутонов нижнеталнахского и зубовского типов, у которых также отмечаются раздувы и пережимы мощности, пусть и не столь многочисленные и ярко выраженные, как у норильско-талнахских, предположение об одноактном внедрении и становлении неочевидно.

ратурная магма состояла из «смеси» поступающего из глубинного канала сульфидсодержащего расплава пикритового состава, толеитового расплава, возникающего за счёт плавления вещества верхней мантии, и зёрен реститовых минералов – оливина и хромита. Она концентрировалась в боковых частях плюма и проникала в земную кору только после «истощения» вышележащих зон магматического очага [34].

Подъём рудоносного расплава сопровождался его плотностной дифференциацией. В головной, наиболее быстро остывающей части магматической колонны вначале кристаллизовался оливин, затем интрателлурический плагиоклаз анортитового состава и хромшпинелиды. Капли нерастворимой сульфидной жидкости при снижении температуры укрупнялись (сливались). Новообразованные оливин и хромшпинелиды вместе с реститовыми зёрнами оливина и сульфидами из-за плотностей более высоких, чем у силикатного расплава, отставали от головной части магматического потока, попадая в более высокотемпературную область, где заново диспергировались и удерживались во взвешенном состоянии, вследствие чего в магматической колонне возникали участки, в различной степени обогащённые кумулятивными фазами и сульфидным веществом. Плагиоклаз, напротив, из-за меньшей плотности скапливался во фронтальной части колонны [9, 20].

При смене субвертикального течения магмы на субгоризонтальное из-за перепада температур возникла её конвекция, которая обеспечивала поступление «свежих» порций высокотемпературного сульфидно-силикатного расплава и приводила к «сгону» лёгкой плагиоклазовой фракции во фронтальные части интрузий, где возникали силлообразные тела крутогоровского типа, сложенные лейкократовым габбро, габбро-диоритами и такситовыми габбро-долеритами. Затем в результате продольной магматической конвекции, игравшей роль своеобразного конвейера, накапливались кумулятивные минералы и сульфиды, оксиды и хромшпинелиды; сформировалась расслоенная, собственно рудоносная, меланократовая (габбро-долеритовая) часть плутонов с рассеянной минерализацией, а в придонной части интрузивов – залежи сплошных медно-никелевых руд. Длительный прогрев вмещающей среды циркулирующей магмой приводил к возникновению мощных ореолов контактовых роговиков и скарнов, значительно превосходящих размерами сами интрузивы.

Наблюдаемое неравномерное распределение рудной минерализации в продольных сечениях норильско-талнахских плутонов – сосредоточение основных запасов руд в их фронтальных и предфронтальных частях, приуроченность массивных (сплошных) Cu-Ni руд к раздувам интрузивов с наибольшими

мощностями придонных пикритовых и такситовых габбро-долеритов с вкрапленными и гнездово-вкрапленными рудами, а максимумов их мощностей к участкам перехода от пережимов к раздувам, наличие вкрапленных малосульфидных руд с платиноидами в такситовых и лейкократовых габброидах верхней расслоенной серии вертикального разреза плутонов – обусловлено сочетанием нескольких факторов. Главными из них являются пульсационное поступление расплава из глубинного очага и соотношение скоростей: продвижения расплава в магматической камере, прямого и возвратного конвективных потоков, переноса и гравитационного осаждения «лёгкой» лейкократовой и «тяжёлой» меланократовой кумулятивной (с сульфидами) фаз.

В динамических конвективно-рециклинговых моделях наиболее полно освещены механизмы и условия формирования гипербазит-базитовых плутонов и медно-никелевых месторождений. В них объяснены причины специфической морфологии и строения рудоносных расслоённых плутонов, а также несоответствия их размеров (масс) параметрам рудных залежей и экзоконтактовых роговиков. Вместе с тем ряд принятых при их создании допущений требует более строгого физического обоснования, в частности, одно из основных положений модели А.П.Лихачева [20, 21 и др.] о выносе материала диссоциирующих пород возвратным потоком из субгоризонтальной магматической камеры в субвертикальную стволую, а затем в верхние зоны очага (мантийного плюма). Приведённые в его доказательство результаты микроскопического изучения ориентировок протокристаллов оливина и плагиоклаза в различных слоях рудоносных плутонов [18] подтверждают «продольную» термоконвекцию расплава в отдельных сегментах пологозалегающего магматического тела, однако интерполяция этих данных на всю его протяжённость (до 15–20 км) при небольшой мощности (до 50 м) в сужениях, а тем более на их более глубокие стволые части и верхние зоны магматического очага, носят гипотетический характер. То же самое можно сказать и о приводимых в качестве доказательства данных визуального моделирования термоконвекции [18, 20], правомерность интерполяции результатов которого на системы несопоставимых масштабов и *PT*-условий не столь очевидна.

Следует также отметить, что механизм «магматического замещения» пород при внедрении базитового расплава приложим прежде всего к ситуации нижнего литологостратиграфического уровня локализации Хараелахского плутона, где вмещающей средой являются девонские терригенно-карбонатные и сульфатно-карбонатные отложения, среди которых присутствуют термически «неустойчивые» мергели,

ангидриты, известняки. На среднем уровне, где расположен Талнахский интрузив, в угленосной флишеидной толще тунгусской серии таких пород нет, но участвующие в её строении аргиллиты способны к пластическим деформациям, а песчаники и алевролиты – к хрупким. На верхнем же уровне породами, вмещающими интрузивы Норильск I и Норильск II, являются лавы (с туфовыми прослоями) базальтов с температурами плавления, близкими к габбро-долеритам, и сравнительно высокими упруго-прочностными свойствами. В двух последних случаях расплавление (диссоциация) пород, по-видимому, не являлось ведущим механизмом высвобождения пространства для внедрявшейся магмы. В качестве основных механизмов здесь, скорее, можно предположить пластические (для глинистых пород) и упруго-хрупкие (для песчаных и базальтов) деформации при превышении критических значений давления магмы либо региональных сжимающих усилий.

Для оценки влияния деформационной природы вмещающей среды на локализацию и морфологию рудоносных плутонов автором настоящей статьи были изучены физико-механические свойства пород по представительным разрезам Норильского (профиль I) и Талнахского (профиля 99 и 102) месторождений. Экспериментальная часть исследований выполнена в лаборатории кафедры полезных ископаемых МГУ им. М.В.Ломоносова по методике В.И.Старостина [2] по образцам керна разведочных скважин (глубиной до 2 км), отобранным при детальной геологической и минералого-петрографической документации. Методом свободного насыщения образцов жидкостью (водой), ультразвуковым просвечиванием и испытанием на шаровом твердомере были определены: плотность ( $\rho$ ); ёмкостные параметры: эффективная пористость ( $P_{эф}$ ), условно-мгновенное насыщение ( $A$ ), постоянная насыщения ( $B$ ); скорости продольных ( $V_p$ ) и поперечных ( $V_s$ ) ультразвуковых волн, по которым рассчитаны модули упругости: Юнга ( $E$ ), сдвига ( $G$ ) и объёмного сжатия ( $K_{сж}$ ); коэффициент Пуассона ( $\mu$ ); температура Дебая ( $\theta$ ); твёрдость по Бринеллю ( $HB$ ). По перечисленным показателям, отражающим фильтрационные и упруго-прочностные свойства пород, вычислены значения комплексного петрофизического коэффициента ( $K_{пк}$ ).

По выбранным профилям отстроены петрофизические разрезы месторождений в изолиниях рядовых параметров и  $K_{пк}$ . В табличной форме разработаны петрофизические модели верхней части платформенного чехла в пределах Норильского и Талнахского рудных полей (рис. 6) и трапповых плутонов – продуктивных на Cu-Ni-МПГ руды полнодифференцированных норильско-талнахского типа, слаборудоносных нижнеталнахского и далдыканского типов, а

также безрудных габбро-долеритовых силлов (рис. 7). Кроме того, построены разрезы месторождений, характеризующие пространственное положение пород с различным деформационным поведением (см. рисунки 8 и 9), позволяющие, по крайней мере, на качественном уровне судить об их реакции на внедряющийся магматический расплав и, соответственно, результирующую морфологию интрузивов. Оценка такого влияния проведена по свойствам наименее изменённых (исходных) разностей пород, не подвергнувшихся существенным метаморфическим или метасоматическим преобразованиям.

По изученным ёмкостным и упруго-прочностным свойствам вулканогенные, вулканогенно-осадочные и осадочные породы разрезов Норильской и Харае-лахской мульды разделены на 5 групп (см. таблицу), каждая из которых может быть отнесена к какому-либо из трёх обоснованных М.В.Гзовским [8] и В.И.Старостиным [25] петрофизических типов сред структурообразования – *упругому*, *упруго-пластичному* или *упруго-вязкому* (*упруго-прочному*). Прежде, чем перейти к их описанию, необходимо отметить, что деформационное поведение разнотипных сред определяется геодинамическими обстановками, главными факторами которых являются температурный режим, давление и время. Так как анализируется задача внедрения базитовой магмы в многослойную платформенную толщу, а этот процесс в геологическом понимании достаточно быстротечен [20], на первый план выдвигаются *PT*-условия – литостатическое давление и геотермический градиент, с одной стороны,

**Рис. 6. Физико-механические свойства пород верхней части платформенного чехла в пределах Норильского рудного района:**

цифры в кружках: 1–38 – литологические разности изученных пород: 1, 3, 21 – мелко-, средне- и грубообломочные туфы; 2 – афировые базальты; 4, 8, 16 – гломерпорфировые базальты, в том числе интенсивно хлоритизированные, серпентинизированные (4); 5, 17 – миндалекаменные базальты; 6, 14 – порфировые, олигофировые базальты; 7, 9, 15, 21 – туфолавы, лавобрекчии, туфобрекчии; 10 – полифировые базальты; 11, 18 – толеитовые базальты; 12 – туффиты тонкослоистые; 13 – пикритовые базальты, идингситизированные; 19 – двуплагиоклазовые базальты; 20 – лабрадоровые базальты; 22 – титан-авгитовые базальты; 23 – песчаники, алевролиты; 24 – ороговикованные алевролиты; 25 – аргиллиты, углистые аргиллиты; 26 – известняки; 27 – мергелистые доломиты; 28 – ангидриты; 29 – мергели пестроцветные, тонкослоистые; 30, 37 – доломитовые мергели; 31 – аргиллиты пестроцветные; 32, 33, 35 – биотит-пироксен-полевошпатовые, пироксен-полевошпатовые, существенно полевошпатовые роговики полосчатой, узорчатой, узловато-пятнистой, пятнистой и массивной текстур; 34 – ороговикованные аргиллиты; 38 – мергели; см. условн. обозн. к рис. 2; названия петрофизических параметров – в таблице

Свита	Лито-логия	<i>n</i>	$\rho$	$\Pi_{\text{ф}}$	A	B	$V_p$	$V_s$	$\mu$	E	G	$K_{\text{сж}}$	$\theta$	HВ	Кпк	Типы пород
$T_1mr_1$	①	1	2,48	10,17	8,86	0,046	2,56	1,70	0,11	1,56	0,70	0,66	227	32	+1,51	
	②	2	2,85	2,27	0,92	0,063	5,65	3,24	0,25	7,36	2,95	4,92	453	170	-0,16	L L
	③	1	2,44	9,45	3,09	0,063	3,28	2,17	0,11	2,50	1,13	1,07	288	88	+1,33	
$T_1nd_3$	④	1	2,72	5,22	0,82	0,070	4,85	2,94	0,21	5,58	2,31	3,20	408	152	+0,35	
$T_1nd_2$	⑤	1	2,56	7,05	2,49	0,098	3,81	2,42	0,16	3,42	1,47	1,69	328	51	+1,12	
	⑥	3	2,84	1,87	0,63	0,055	5,65	3,25	0,25	7,38	2,95	4,97	454	209	-0,31	L L
	⑦	1	2,44	11,47	8,43	0,081	3,27	2,23	0,07	2,54	1,19	0,97	295	44	+1,63	
	⑧	3	2,82	1,37	0,35	0,041	5,78	3,30	0,26	7,60	3,02	5,24	461	216	-0,52	
$T_1nd_1$	⑨	1	2,52	7,78	1,82	0,094	4,04	2,46	0,21	3,60	1,49	2,04	333	67	+1,03	
	⑩	2	2,83	1,66	0,65	0,055	5,62	3,19	0,26	7,16	2,84	4,99	447	199	-0,30	
$T_1tk$	⑪	1	2,76	3,26	0,59	0,066	4,86	2,97	0,20	5,75	2,39	3,21	412	164	+0,18	
$T_1hk$	⑫	2	2,62	4,46	1,03	0,050	3,98	2,56	0,14	3,81	1,68	1,83	348	71	+0,73	
$T_1gd$	⑬	4	2,76	3,88	1,01	0,071	4,77	2,66	0,27	4,93	1,94	3,61	372	84	+0,33	
	⑭	4	2,80	2,09	0,49	0,040	5,35	3,05	0,24	6,36	2,57	4,48	426	184	-0,25	L L
	⑮	2	2,65	4,35	0,92	0,054	4,39	2,61	0,22	4,37	1,80	2,62	361	81	+0,50	
	⑯	1	2,87	1,01	0,24	0,023	5,88	3,26	0,28	7,65	2,99	5,74	457	255	-0,80	
$T_1sv$	⑰	3	2,63	6,69	2,27	0,086	4,57	2,66	0,24	4,54	1,83	2,97	366	95	+0,71	
	⑱	3	2,84	1,37	0,42	0,036	5,66	3,14	0,27	7,02	2,75	5,25	440	203	-0,29	
$P_2iv$	⑲	1	2,66	2,67	1,51	0,051	4,78	2,96	0,19	5,43	2,28	2,91	407	95	+0,42	
	⑳	1	2,84	1,60	0,42	0,051	5,69	3,14	0,28	7,04	2,75	5,36	440	207	-0,39	
	㉑	1	2,40	12,04	3,87	0,103	3,88	2,29	0,23	3,04	1,23	1,90	306	60	+1,32	
	㉒	4	2,82	1,89	0,34	0,034	5,35	3,02	0,27	6,36	2,52	4,58	421	199	-0,37	
$C_3-P_2$	㉓	4	2,60	2,77	0,49	0,053	4,36	2,71	0,17	4,57	1,93	2,51	370	158	+0,35	
	㉔	1	2,95	1,21	0,20	0,019	6,02	3,38	0,27	8,39	3,30	6,07	474	229	-0,93	
	㉕	3	2,60	3,37	0,58	0,099	4,20	2,59	0,18	4,07	1,74	2,22	354	69	+0,68	
$D_{2-3,jk-kl}$	㉖	1	2,68	0,70	0,41	0,085	5,42	2,99	0,28	6,02	2,35	4,59	417	103	-0,07	
	㉗	1	2,75	1,46	0,25	0,091	5,44	3,28	0,21	7,06	2,91	2,12	455	180	-0,13	
	㉘	1	2,92	0,27	0,20	0,057	5,71	3,13	0,29	7,22	2,81	5,60	439	124	-0,73	
$D_2mt$	㉙	4	2,73	1,94	0,45	0,095	5,02	3,05	0,21	6,08	2,52	3,50	423	189	+0,09	
	㉚	4	2,74	1,85	0,44	0,096	5,12	3,21	0,17	6,49	2,04	3,39	443	186	+0,09	
$D_{1-2}r'z$	㉛	2	2,73	1,54	0,33	0,084	4,59	2,87	0,18	5,28	2,25	2,72	397	141	+0,15	
	㉜	10	2,72	1,86	0,49	0,070	4,62	2,71	0,25	4,86	1,98	3,12	376	142	+0,15	
$D_1kr$	㉝	5	2,72	1,43	0,24	0,045	5,32	3,12	0,23	6,45	2,61	4,12	433	182	-0,27	
	㉞	3	2,72	3,36	0,39	0,054	4,94	2,89	0,24	5,53	2,23	3,57	401	161	0,01	
$D_1zb_2$	㉟	1	2,81	0,23	0,10	0,027	6,02	3,40	0,27	8,08	3,19	5,75	475	260	-1,09	
	㊱	1	2,66	0,47	0,96	0,134	4,23	2,50	0,23	4,01	1,63	2,49	345	93	0,70	
$D_1zb_1$	㊲	4	2,75	2,87	0,41	0,091	5,01	3,02	0,21	5,98	2,47	3,54	418	148	0,09	
$D_1hr$	㊳	1	2,86	0,41	0,27	0,075	5,47	2,94	0,30	6,28	2,42	5,15	413	222	-0,58	



магматическое давление и тепловая энергия интрузий, с другой.

По имеющимся оценкам [20, 21 и др.], на горизонте внедрения сульфидоносного расплава давление вышележащих пород составляло около 100–125 МПа, а начальная температура вмещающей среды – от 200 до 400° С. В случае полного заполнения порового пространства пород давление содержащихся в них флюидов могло достигать 230 МПа при 200° С, то есть уже превышать литостатическое. Внедрение рудоносной магмы, примерно на 1000° С превышавшей по температуре окружающую среду, приводило к интенсивному прогреву пород, насыщению их магматическими флюидами. Избыточное флюидное давление (до 1000 МПа и более) приводило к интенсивному разрушению пор пород в околоинтрузивном пространстве и миграции высвобождающейся газовой фазы в удалённые области с менее высокими градиентами температур и давлений. Упругие и упруго-вязкие среды с хрупкой деформационной природой растрескивались с образованием ослабленных зон уплотнения, в то время как упруго-пластичные в результате пластического течения уплотнялись с высвобождением до 1/5 и более своего объёма. Таким образом, помимо соотношения литостатического и магматического давлений важным фактором, влиявшим на характер движения (направленность и скорость) сульфидно-силикатного расплава, являлся объём газовой фазы во вмещающих породах, который зависел от их ёмкостных параметров. В дополнение к этому известно [24], что поровые растворы на несколько порядков снижают пределы прочности пород. Поэтому высокопористые проницаемые толщи (упругий тип сред) в целом более благоприятны для хрупких деформаций, чем малопроницаемые, относящиеся к упруго-вязкому или упруго-пластичному типам сред. Для Норильского района, в вулканогенном разрезе которого широко развиты миндалекаменные фации, лавобрекчии и туфы базальтов, туфовые и туффитовые прослои с повышенными фильтрационными свойствами, это обстоятельство нельзя не учитывать.

Существенное влияние на формирование структур норильских месторождений оказывали тектонические подвижки по зонам Норильско-Хараелакского и оперяющих его разломов, а также контракционные явления, сопровождающие становление трапповых интрузий. Они приводили к формированию зон мелкой трещиноватости, осложняющих общую петрофизическую картину. Поэтому количественная интерпретация деформационной реакции пород платформенного чехла на внедрение рудоносного базитового расплава, равно как и обратная задача – оценка влияния свойств среды на характер

его движения и, соответственно, на результирующую морфологию интрузивов, – сложна и неоднозначна, поскольку на данном уровне разработки проблемы учесть все воздействующие факторы практически невозможно. В связи с этим приведённое описание петрофизических групп (см. таблицу), а главное специфики деформаций включённых в них литологических разновидностей пород, во многом носит качественный характер, хотя и основывается на конкретных количественных показателях физико-механических свойств.

К *упругому типу сред структурообразования* отнесены породы первых двух (из пяти выделенных) петрофизических групп, общей чертой которых является склонность к хрупким деформациям, о чём, в частности, свидетельствуют низкие значения коэффициента Пуассона ( $\mu=0,11\div0,23$ , в среднем 0,18). Различаются породы этих групп прежде всего пористостью и плотностью. Значения  $K_{пк}$  для них всегда больше нуля.

В *группу I* включены миндалекаменные базальты сыверминской и надеждинской свит (для этих свит характерна наиболее значительная мощность миндалекаменных зон лавовых покровов), агломератовые туфы ивакинской, лавобрекчии гудчихинской, туффиты хақанчанской, туфолавы и лавобрекчии надеждинской и грубообломочной туфы оронговской свит. Эти породы отличаются малой плотностью ( $\rho=2,4\div2,6$  г/см<sup>3</sup>), большой пористостью ( $P_{эф}=4\div12\%$ ) и аномально низкими упруго-прочностными характеристиками, что предопределяет хрупкую природу их деформаций в широком интервале температур и давлений. Значения  $K_{пк}=0,50\div1,42$  (в среднем 1,01).

При тепловом воздействии интрузий миндалекаменные базальты и вулканогенные обломочные породы, судя по высоким ёмкостным параметрам, интенсивно растрескивались из-за роста избыточного флюидного давления в их поровом пространстве. Возникавшие пологозалегающие зоны густой мелкой трещиноватости в определённых условиях «использовались» рудоносным базитовым расплавом при субгоризонтальном движении, о чём свидетельствует позиция интрузива Норильск I.

В *группу II* объединены песчаники и алевролиты тунгусской серии, двуплагиоклазовые базальты ивакинской и толеитовые базальты туклонской свит. Это менее пористые ( $P_{эф}=2,67\div3,26\%$ ), более плотные ( $\rho=2,6\div2,78$  г/см<sup>3</sup>) породы со сравнительно низкими показателями упругости и твёрдости. Также, как и породы группы I, они склонны к хрупким деформациям, однако пределы их прочности выше. Значения  $K_{пк}=0,18\div0,42$  (0,32).

К *упруго-пластичному типу сред* отнесены породы групп III и IV, обладающие двойственной

Петрофизические группы верхней части платформенного чехла в пределах Норильского рудного района

Петрофизические типы сред	Петрофизические группы	<i>n</i>	$\rho$	$P_{эф}$	<i>A</i>	<i>B</i>	$V_p$
Упругий	I	13	$\frac{2,40 \div 2,65^*}{2,54}$	$\frac{4,35 \div 12,04}{7,72}$	$\frac{2,92 \div 5,98}{3,10}$	$\frac{0,050 \div 0,103}{0,076}$	$\frac{2,56 \div 4,57}{3,89}$
	II	3	$\frac{2,60 \div 2,75}{2,67}$	$\frac{2,67 \div 3,26}{2,90}$	$\frac{0,49 \div 1,51}{0,86}$	$\frac{0,051 \div 0,066}{0,057}$	$\frac{4,36 \div 4,86}{4,67}$
Упруго-пластичный	III	7	$\frac{2,60 \div 2,75}{2,54}$	$\frac{1,54 \div 4,47}{2,77}$	$\frac{0,33 \div 0,96}{0,51}$	$\frac{0,054 \div 0,134}{0,093}$	$\frac{4,20 \div 5,12}{4,73}$
	IV	3	$\frac{2,68 \div 2,92}{2,78}$	$\frac{0,27 \div 1,46}{0,81}$	$\frac{0,20 \div 0,41}{0,29}$	$\frac{0,057 \div 0,091}{0,078}$	$\frac{5,42 \div 5,71}{5,52}$
Упруго-вязкий (упруго-прочный)	V	23	$\frac{2,80 \div 2,87}{2,83}$	$\frac{1,01 \div 2,27}{1,68}$	$\frac{0,24 \div 0,92}{0,50}$	$\frac{0,023 \div 0,063}{0,044}$	$\frac{5,35 \div 5,88}{5,63}$

Примечание. *n* – число проб; физико-механические параметры:  $\rho$  – плотность (г/см<sup>3</sup>);  $P_{эф}$  – эффективная пористость (%); ультразвуковых волн (км/сек);  $\mu$  – коэффициент Пуассона; модули упругости ( $\times 10^5$  кгс/см<sup>2</sup>): *E* – Юнга, *G* – сдвига,  $K_{сж}$  – зический коэффициент; \* в числителе – интервал вариаций значений петрофизических параметров выделенных групп,

деформационной природой. При низких температурах и давлениях они растрескивались, при средних и высоких (при внедрении магматического расплава) – пластично деформировались вплоть до проявления в околоинтрузивных областях «пластического течения», наиболее характерного для глинисто-карбонатных и сульфатных отложений. Вместе с тем, породы этих групп заметно различаются плотностью и ёмкостными параметрами и не столь значительно упруго-прочностными ( $\mu$  в среднем 0,20 и 0,26). Различия в свойствах отражаются в значениях  $K_{пк}$  – положительных (0,01÷0,70, в среднем 0,26) для группы III и отрицательных (–0,07÷–0,73, в среднем –0,31) для группы IV.

В группу III включены глинистые и глинисто-карбонатные породы: аргиллиты зубовской, курейской и разведочнинской свит, аргиллиты и углистые аргиллиты тунгусской серии, мергели и доломитовые мергели зубовской и мантуровской свит. Они имеют среднюю плотность ( $\rho=2,6 \div 2,75$  г/см<sup>3</sup>), несколько повышенные параметры насыщения в основном за счёт наложенной в постинтрузивный период микротрещиноватости ( $P_{эф}=1,5 \div 4,5\%$ ) и относительно невысокие упругость и твёрдость. Значения  $K_{пк}$  варьируют в широком диапазоне – от 0,35–0,70 для аргиллитов, до 0,01–0,15 для мергелей.

К группе IV отнесены породы сульфатно-карбонатной толщи юктинской, нахохозской и каларгонской свит. Это известняки, доломиты, мергели, ангидриты. Они характеризуются средней и высокой плотностью (от 2,7 г/см<sup>3</sup> у известняков до 2,9 г/см<sup>3</sup> у ангидритов), аномально низкой пористостью (особенно ангидриты, для которых  $P_{эф}=0,27\%$ ), средними показателями упругости и сравнительно небольшой твёрдостью. Значения  $K_{пк}$  – отрицательны ( $K_{пк}=-0,73 \div -0,07$ , в среднем –0,31).

Из экспериментальных работ [6, 33 и др.] известно, что глинистые, глинисто-карбонатные и солевые породы в условиях высоких температур и давлений отличаются повышенной способностью к пластическим деформациям. Учитывая, что внедрявшаяся магма превышала температуру вмещающей среды примерно на 1000° и при этом создавала значительное избыточное давление, можно предположить, что породы III и IV групп испытывали преимущественно пластические деформации с частичным расплавлением (диссоциацией) термически «неустойчивых» мергелей, ангидритов, доломитов и в меньшей степени известняков, и перекристаллизации их в биотит-пироксен-полевошпатовые, пироксен-полевошпатовые и полевошпатовые роговики. Эти процессы, приводившие к уплотнению вмещающих толщ (на 25%

$V_s$	$\mu$	E	G	$K_{ск}$	$\theta$	НВ	Кпк
$\frac{1,70 \div 2,66}{2,40}$	$\frac{0,11 \div 0,23}{0,18}$	$\frac{2,03 \div 4,54}{3,47}$	$\frac{0,92 \div 1,83}{1,47}$	$\frac{0,87 \div 2,97}{1,91}$	$\frac{258 \div 366}{326}$	$\frac{51 \div 95}{68}$	$\frac{0,50 \div 1,42}{1,01}$
$\frac{2,71 \div 2,97}{2,88}$	$\frac{0,17 \div 0,20}{0,18}$	$\frac{4,57 \div 5,75}{5,00}$	$\frac{0,92 \div 1,83}{1,47}$	$\frac{2,51 \div 3,21}{2,88}$	$\frac{370 \div 412}{396}$	$\frac{95 \div 164}{139}$	$\frac{0,18 \div 0,42}{0,32}$
$\frac{2,50 \div 3,21}{2,88}$	$\frac{0,17 \div 0,24}{0,20}$	$\frac{4,01 \div 6,49}{5,34}$	$\frac{1,63 \div 2,52}{2,12}$	$\frac{2,22 \div 3,57}{3,06}$	$\frac{345 \div 443}{397}$	$\frac{69 \div 189}{141}$	$\frac{0,01 \div 0,70}{0,26}$
$\frac{2,99 \div 3,28}{3,13}$	$\frac{0,21 \div 0,29}{0,26}$	$\frac{6,02 \div 7,22}{6,77}$	$\frac{2,35 \div 2,91}{2,69}$	$\frac{4,12 \div 5,60}{4,77}$	$\frac{417 \div 455}{437}$	$\frac{103 \div 180}{136}$	$\frac{-0,07 \div -0,73}{-0,31}$
$\frac{3,02 \div 3,26}{3,18}$	$\frac{0,24 \div 0,28}{0,26}$	$\frac{6,36 \div 7,65}{7,10}$	$\frac{2,52 \div 3,02}{2,82}$	$\frac{4,58 \div 5,74}{5,06}$	$\frac{421 \div 461}{444}$	$\frac{170 \div 255}{205}$	$\frac{-0,16 \div -0,52}{-0,38}$

A – условно-мгновенное насыщение (%); B – постоянная насыщения (час<sup>-1</sup>);  $V_p$  и  $V_s$  – скорость продольных и поперечных объёмного сжатия;  $\theta$  – температура Дебая (°K); НВ – твёрдость по Бринеллю (кГс/мм<sup>2</sup>); Кпк – комплексный петрофизический параметр – средние значения параметров.

и более от первоначального объёма), наиболее интенсивно проявились на нижнем уровне становления рудоносных интрузий – в глинистых и сульфатно-карбонатных породах зубовской, курейской и разведочнинской свит на Талнахском месторождении и мантуровской – на Октябрьском, где ореолы орогования достигают максимальных (сотни м) мощностей, а сами интрузивы в поперечных сечениях имеют «вставленную» в геологический разрез хонолитоподобную форму с плоской кровлей, прогнутой подошвой и крутыми бортами.

На среднем уровне становления рудоносных интрузий во флишеидной толще тунгусской серии тонкое переслаивание «пластичных» аргиллитов с алевролитами и песчаниками, имеющими хрупкую деформационную природу в довольно широком диапазоне температур и давлений (перекристаллизации они подвергались лишь непосредственно у контактов магматических тел), существенно осложнило общую картину. Петрофизическая гетерогенность разреза «отразилась» в более «острых» выклиниваниях Талнахского плутона в поперечных сечениях (см. рис. 2) и сравнительно меньших мощностях ореолов орогования, особенно в лежащих экзоконтактах. Не исключено, однако, что последнее обстоятельство отча-

сти обусловлено экранирующим воздействием Нижнеталнахского интрузива.

К *упруго-вязкому типу* отнесены базальтовые лавы группы V: титан-авгитовые и лабрадорские ивакинской свиты, толеитовые сыверминской, гломерпорфировые, порфировые, олигофировые и полифировые гудчихинской, надеждинской и моронговской свит. В сравнении с вышеописанными вулканогенно-осадочными и осадочными отложениями это более крепкие, плотные ( $\rho=2,8 \div 2,87$  г/см<sup>3</sup>) породы с относительно низкими ёмкостными ( $P\epsilon\phi=1,01 \div 2,27\%$ ) и повышенными упруго-прочностными свойствами;  $K_{пк}=0,16 \div -0,52$ .

При значительных и длительных по времени воздействия напряжений подобные породы могут испытывать пластические деформации [25], однако порог их ползучести достаточно высок (десятки МПа). В обстановке относительно «скоротечного» (тысячи–десятки тысяч лет) внедрения магмы (приложения нагрузок) толща базальтовых лав реагировала, скорее всего, как «упругое тело» по закону Гука, а при превышении механической устойчивости слагающих её слоев (покровов) деформировалась с «волновым» изгибанием пластов и образованием пологозалегающей межслоевой полости и было подтверждено

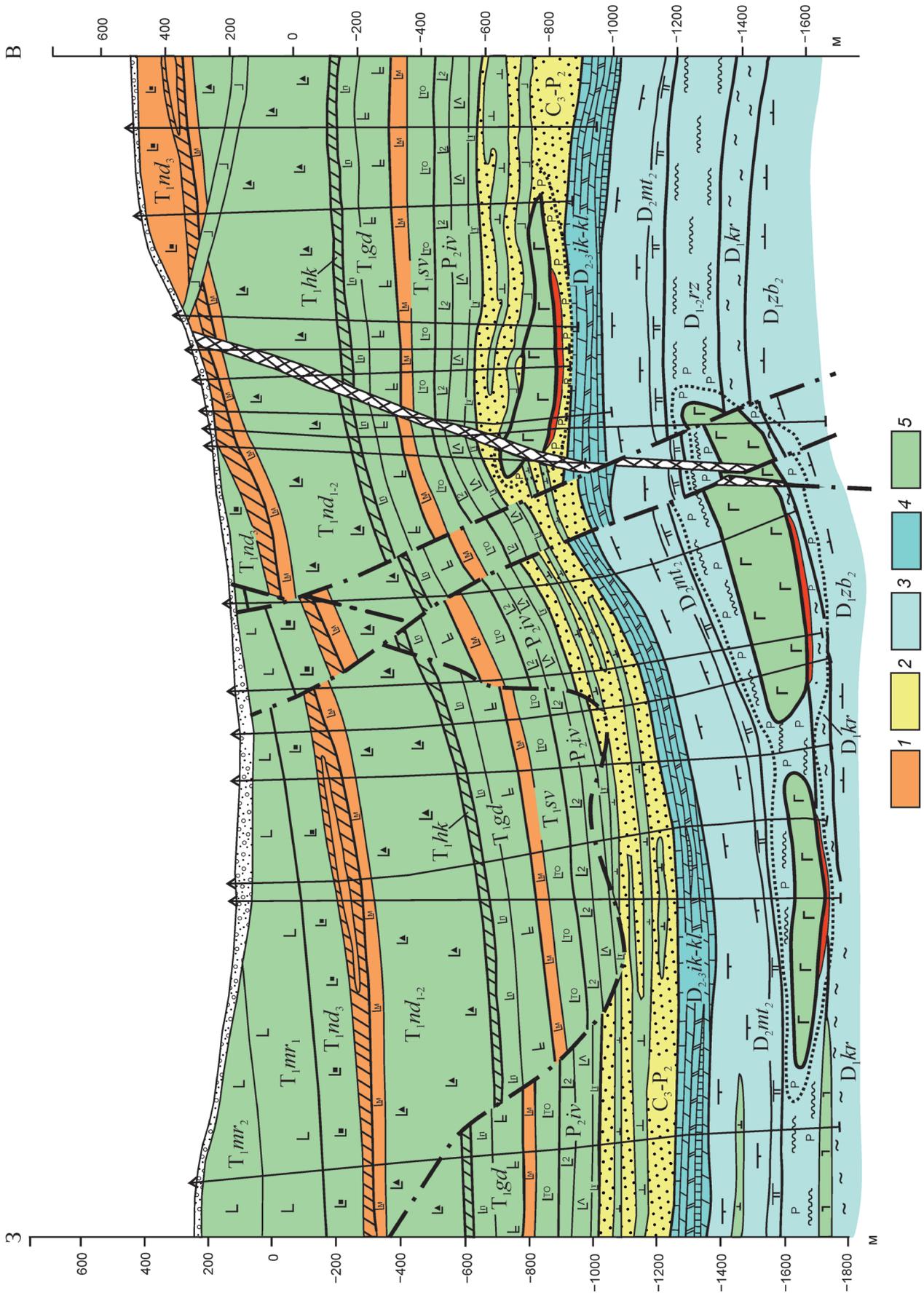


Рис. 8. Петрофизический разрез Талнахского месторождения по линии 99:

1–5 – группы пород, отнесённые по физико-механическим параметрам к различным типам среднеструктурообразования: упругому: первая (1) и вторая (2), упруго-пластичному: третья (3) и четвертая (4), и упруго-вязкому: пятая (5); см. услов. обозн. к рис. 2

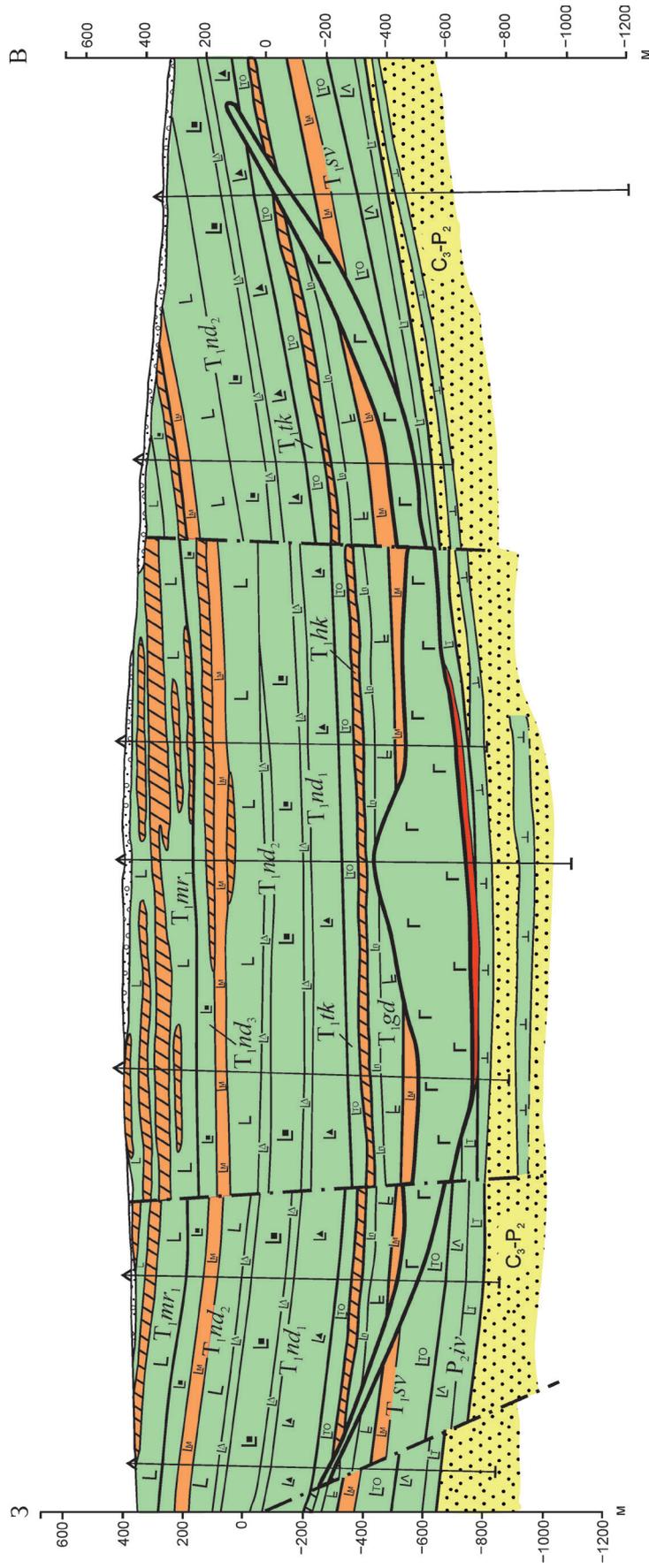


Рис. 9. Петрофизический разрез Норильского месторождения по линии I:

см. услов. обозн. к рисункам 2 и 8

математическим моделированием В.Н.Шараповым с соавторами (1991). Причём наиболее благоприятной областью для возникновения такой полости являлись межформационные границы, то есть контакты сред с различным деформационным поведением, о чём свидетельствует положение центральной, наиболее мощной, части интрузива Норильск I между тунгусской песчано-сланцевой толщей и вышележащими пермско-триасовыми вулканитами.

Таким образом, приведённое петрофизическое описание верхней, доступной для изучения части вулканогенно-осадочного платформенного чехла свидетельствует о различной деформационной природе слагающих его пород. При внедрении магматического расплава песчаники и алевролиты тунгусской серии и вышележащие вулканиты трапповой толщи (петрофизические группы I, II и V), принадлежащие упругому и упруго-вязкому типам сред, испытывали преимущественно упруго-хрупкие деформации. Нижележащая палеозойская осадочная толща, сложенная породами групп III и IV и отнесённая к упруго-пластичному типу сред, реагировала на движущуюся магму в основном пластично. Петрофизическая неравноценность вулканогенной и осадочной частей геологического разреза привела к вышеописанным различиям морфологии продуктивных интрузивов. На верхнем уровне локализации они представляют собой линзовидные тела с изогнутыми вверх, остро выклинивающимися фланговыми частями (северные фланги Норильска I), на нижнем и среднем – лентовидные (в плане) и хонолитоподобные (в поперечных разрезах) тела с плоской кровлей, прогнутой подошвой и тупыми выклиниваниями в первом случае (Хараелахский плутон) и более «заострёнными» во втором (Талнахский интрузив).

Проведённый петрофизический анализ показал, что подавляющее большинство слагающих разрез разностей осадочных и вулканогенных (за исключением массивных лавовых фаций) пород не может служить серьёзным препятствием для прорыва высокотемпературной магмы. Основная причина изменения её субвертикального или наклонно направленного подъёма на субгоризонтальное движение, скорее всего, не петрофизическая. Гипсометрический уровень, на который мог подняться рудоносный базитовый расплав, определялся, по-видимому, соотношением магматического давления в головной части колонны (зависело от флюидонасыщенности) и литостатического давления. При достижении равновесия между ними происходили интенсивная дегазация и кристаллизация расплава, приводившие к «закупориванию» магмавода, что препятствовало дальнейшему подъёму магмы. В какую из толщ, слагающих платформенный чехол, внедрился расплав, уже зависело от их

физико-механических характеристик. В принципе, такой «боковой прорыв» мог произойти ниже кристаллической «пробки». Причём в многослойном разрезе смена субвертикально- или наклонно направленного движения магмы на полого ориентированное осуществлялась, по-видимому, постепенно – в виде небольших последовательных изменений угла её течения по отношению к горизонту при переходе от слоя к слою. При субгоризонтальном внедрении расплава вертикальная петрофизическая контрастность вмещающего разреза в сочетании с разломной тектоникой обуславливала межслоевые и межформационные «переходы» магмы, что можно наблюдать в продольных сечениях интрузива Норильск I и северо-восточной ветви Талнахского интрузива, которые при прослеживании с севера на юг «поднимаются» с нижнего уровня на средний.

Прежде, чем перейти к изложению основных выводов, полученных в итоге проведённых исследований, целесообразно привести краткую петрофизическую характеристику трёх основных групп трапповых интрузивов Норильского района – безрудных недифференцированных, сульфидоносных слабо-расслоенных и рудоносных (продуктивных) полностью дифференцированных. Практически все их дифференциаты отличаются низкими ёмкостными параметрами, большой плотностью, закономерно изменяющейся в зависимости от содержания оливина и других темноцветных минералов, а главное – оксидов и сульфидов, и довольно высокими показателями упругости при средней и несколько повышенной (для непродуктивных интрузивов) твёрдости. Значения  $K_{пк}$  для них обычно не поднимаются выше  $-0,5$  (см. рис. 7). По деформационной природе эти породы принадлежат *упруго-вязкому* типу сред структурообразования. Исключением является лейкократовое габбро, для которого характерны сравнительно меньшие плотности, упругость и твёрдость ( $K_{пк} = -0,14$ ), что позволяет отнести данные породы к *упругому* типу сред.

Сопоставление петрофизических моделей (в поперечном срезе) интрузивов – рудоносного норильско-талнахского, нижнеталнахского и далдынского типов, а также силлов титан-авгитовых долеритов – свидетельствует о том, что первые в сравнении с остальными характеризуются отчётливой петрофизической неоднородностью, отражающей глубокую магматическую дифференциацию, а в целом несколько большими пористостью и податливостью хрупким деформациям. По петрофизическим параметрам, рудоносные интрузивы могут быть разделены на три основные части (см. рис. 7, А): *верхнюю* («лейкократовую»), наиболее «хрупкую», *среднюю* с наименьшими фильтрационными и наиболее вы-

сокими упруго-прочностными параметрами и нижней (кумулятивную) со «средними» их значениями. В слабодиссоцированных интрузивах нижнеталнахского и далдыканского типов (см. рис. 7, Б), а также силлах недифференцированных титан-авгитовых долеритов (см. рис. 7, В) чёткой петрофизической контрастности не установлено. Лишь призматически-зернистые и пегматоидные габбро-диориты и габбро-долериты их прикровельных частей отличаются несколько повышенными ёмкостными параметрами при средних показателях упругости.

Таким образом, вертикальная петрофизическая гетерогенность геологического разреза платформенного чехла могла повлиять на положение и морфологию рудоносных трапповых плутонов. Она, конечно, не определяла гипсометрический уровень подъёма магмы, который зависел, прежде всего, от соотношения магматического и литостатического давлений, но влияла в какую из толщ мог внедриться рудоносный базитовый расплав и на его «межформационные» и «межслоевые» переходы.

Наиболее благоприятными по физико-механическим свойствам горизонтами для полого ориентированного внедрения сульфидоносного расплава являлись девонские сульфатно-глинисто-карбонатные отложения, каменноугольно-пермская флишоидная толща тунгусской серии, а также верхние миндалекаменные части базальтовых покровов и туфовые прослои в низах пермско-триасовой вулканогенной толщи. Названные горизонты соответствуют трём основным литолого-стратиграфическим уровням локализации рудоносных интрузивов – Хараелахского, Талнахского и Норильска I.

Разнотипная реакция вмещающих пород на внедрявшийся магматический расплав – пластическое течение (с частичным расплавлением и ассимиляцией) сульфатно-карбонатных отложений на нижнем уровне, «смешанная» (упруго-хрупкая и пластическая) флишоидной толщи на среднем уровне и упруго-хрупкая миндалекаменная и туфовая фации вулканитов на верхнем – отразилась в морфологии продуктивных плутонов. В первом и втором случаях это лентовидные хонолитоподобные тела с крутыми и более «заострёнными» бортами; в третьем – линзовидные интрузивы с «острыми» выклиниваниями. Часто внедрение магмы происходило по контакту сред с различной деформационной природой, о чём свидетельствует положение центральной, наиболее мощной, части интрузива Норильск I между тунгусской песчано-сланцевой толщей и вышележащими пермско-триасовыми вулканитами. На флангах этот плутон «поднимается» вверх по вулканогенному разрезу, «используя» его наиболее благоприятные для хрупких деформаций части – миндалекаменные

зоны базальтовых покровов и прослои обломочных пород.

Рудоносные норильско-талнахские плутоны в сравнении с интрузивами других типов отличаются отчётливой петрофизической неоднородностью. По физико-механическим параметрам они могут быть условно разделены на 3 части, по границам которых иногда отмечаются тектонические срывы.

Представленная петрофизическая модель строения верхней части платформенного чехла и сделанные на её основе выводы требуют дальнейшей разработки с привлечением более обширных материалов экспериментальных исследований, в частности по изменению деформационного поведения пород при тепловом и химическом взаимодействии магматического расплава, а также в зависимости от содержания поровых растворов.

**Выводы.** Ни одна из существующих концепций внедрения и становления базитового расплава «не способна» всесторонне описать процессы формирования уникальных по форме трапповых интрузивов и генетически связанных с ними гигантских Cu-Ni-МПГ месторождений Норильского рудного района. Наиболее полное объяснение эти процессы получают в динамических моделях тепломассообмена, в которых «вложенный характер» рудоносных расслоенных плутонов, их специфическая морфология (лентовидная в плане, хонолитоподобная в поперечных сечениях и четковидная в продольных), а также дисбаланс объёмов (масс) интрузивов, руд и контактовых роговиков, связываются с многооборотной циркуляцией магматического расплава (с подтоком его «свежих» порций из очага) и сопряженными с нею длительным прогревом вмещающих пород (с их частичной диссоциацией) и интегральным рудонакоплением. Наблюдаемые вариации во внутреннем строении фронтальных, средних и тыловых частей плутонов объясняются разными соотношениями скоростей: продвижения расплава в пологозалегающей камере, прямого и возвратного конвективных потоков, переноса и гравитационного осаждения «лёгкой» лейкократовой и «тяжёлой» меланократовой кумулятивной (с сульфидами) фаз, а также пульсационным поступлением магмы из очага. Однако, в этих моделях недостаточно учтено структурообразующее значение давления внедрявшейся магмы, региональные тектонические напряжения, а также деформационная реакция на них пород платформенного чехла, которыми могут быть обусловлены наблюдаемые различия морфологии рудоносных плутонов верхнего, среднего и нижнего уровней локализации, а также «межформационные» и «межслоевые» их переходы с уровня на уровень.

Механизм «магматического замещения» (термической эрозии) пород высокотемпературным расплавом, привлекаемый для объяснения возникновения пространства, необходимого для размещения рудоносных расслоенных интрузивов, приложим, прежде всего, к ситуации нижнего литолого-стратиграфического уровня, где локализован Хараелахский плутон, а среди вмещающих девонских терригенно-сульфатно-карбонатных отложений присутствуют термически «неустойчивые» мергели, ангидриты, доломиты, известняки. При высоких температурах и давлении эти породы также благоприятны для пластического «течения» (с уплотнением до 20%), что необходимо учитывать.

На среднем и верхнем уровнях расположения интрузивов – Талнахского и Норильск I, где вмещающими средами являются петрофизически неоднородная флишеидная толща тунгусской серии и вышележащая толща базальтов с температурами плавления, близкими к габбро-долеритам и «упруго-вязкой» (для лавовых фаций) и «упруго-хрупкой» (для миндалекаменных и туфовых фаций) деформационной природой, в качестве ведущих механизмов, скорее, можно предположить пластические (для аргиллитов) и хрупкие (для песчаников и базальтов) деформации пород при достижении закритических нагрузок в результате магматического давления или регионального сжатия. Об этом свидетельствуют описанные различия в морфологии продуктивных плутонов различных уровней локализации, результаты изучения физико-механических свойств вмещающих пород, а также данные математического моделирования развития эйлеровской неустойчивости многослойной среды при внедрении магмы.

Таким образом, среди механизмов интрузии базитового расплава в многослойную толщу платформенного чехла следует назвать практически все из вышеупомянутых, однако, их роль в формировании полостей (магматических камер) в разных частях геологического разреза неравноценна. На нижнем уровне локализации интрузивов главенствующее значение, по-видимому, имело «магматическое замещение» пород, что не исключает также их уплотнения в результате пластического «течения», на среднем и верхнем – пластические и упруго-хрупкие деформации.

Приведённые в статье материалы могут быть использованы для совершенствования геолого-генетических и построенных на их основе прогнозно-поисковых моделей Cu-Ni-МПГ месторождений норильского типа, что необходимо для поисков новых объектов.

Автор выражает благодарность Татьяне Александровне Чуриловой и Анастасии Дмитриевне Юргиной, оказавшим помощь в оформлении иллюстраций.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берендеев Н.С., Некрасов Б.П. Геологическая позиция и глубинное строение Норильского рудного района. – М.: ВИЭМС, 1990. – 71 с.
2. Бородаев Ю.С., Еремин Н.И., Мельников Ф.П. и др. Лабораторные методы исследования минералов, руд и пород. – М.: МГУ, 1988. – 296 с.
3. Вахрушев А.М. Компьютерная модель формирования массивных сульфидных медно-никелевых руд Норильского месторождения // Руды и металлы. – 2012. – № 4. – С. 36–41.
4. Вахрушев А.М. Компьютерные модели обособления рудных масс при субгоризонтальном движении сульфидно-силикатных расплавов // Руды и металлы. – 2010. – № 6. – С. 58–64.
5. Вахрушев А.М. Обособление рудных компонентов в динамике перемещения рудно-силикатных расплавов по горизонтали (абстрактная модель) // Руды и металлы. – 2008. – № 5. – С. 74–82.
6. Волярович М.П., Баюк Е.И., Ефимова Г.А. Упругие свойства минералов при высоких давлениях. – М.: Наука, 1973. – 131 с.
7. Геологическая карта Норильского рудного района. 1:200000 // Под ред. М.Л.Шермана. – СПб.: ВСЕГЕИ, 1995.
8. Гзовский Я.В. Основы тектонофизики. – М.: Наука, 1975. – 536 с.
9. Годлевский М.Н., Лихачев А.П. Условия зарождения и кристаллизации рудоносных магм, формирующих медно-никелевые месторождения // Основные параметры природных процессов эндогенного рудообразования. – Новосибирск: Наука, 1997. – С. 109–118.
10. Додин Д.А. Металлогения Таймыро-Норильского региона. – СПб.: Наука, 2002. – 822 с.
11. Дубов Н.В., Звездов В.С. Компьютерная модель переноса сульфидных капель рудоносным силикатным расплавом в трубообразном канале эллиптического сечения // Отечественная геология. – 2002. – № 5–6. – С. 27–32.
12. Дюжиков О.А., Дистлер В.В., Струнин Б.М. и др. Геология и рудоносность Норильского района. – М.: Наука, 1988. – 279 с.
13. Кравцов В.Ф. Некоторые вопросы геологической структуры Талнахского рудного узла // Северо-Сибирский никеленосный регион и его промышленные перспективы. – Л.: НИИГА, 1973. – С. 17–24.
14. Кривцов А.И. Методические основы моделирования рудонакопления в сульфидно-силикатных расплавах // Руды и металлы. – 2008. – № 5. – С. 69–73.
15. Кривцов А.И., Кочнев-Первухов В.И., Конкина О.М. и др. Cu-Ni-МПГ месторождения норильского типа (серия «Модели месторождений благородных и цветных металлов»). – М.: ЦНИГРИ, 2001. – 180 с.
16. Кривцов А.И., Чижова И.М., Егорова И.В. Баланс масс и содержаний в магматогенных сульфидно-силикатных рудообразующих системах // Отечественная геология. – 1996. – № 1. – С. 3–8.
17. Кривцов А.И., Чижова И.М., Евстигнеева Т.Л. Количественные характеристики рудонакопления в сульфидно-силикатных расплавах // Руды и металлы. – 1995. – № 2. – С. 55–66.

## REFERENCES

18. *Лихачев А.П.* К вопросам образования, поведения и фракционирования химических элементов, их изотопов и минералов в природных процессах // Отечественная геология. – 2017. – № 6. – С. 80–93.
19. *Лихачев А.П.* К динамике становления талнахских рудоносных интрузий и связанных с ними платино-медно-никелевых месторождений // Отечественная геология. – 1996. – № 8. – С. 20–26.
20. *Лихачев А.П.* Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. – М.: Эслан, 2006. – 496 с.
21. *Лихачев А.П.* Специфические особенности норильских рудоносных интрузий, их природа и определяющее значение в открытии Pt-Cu-Ni месторождений // Отечественная геология. – 2019. – № 5. – С. 36–52.
22. *Люлько В.А.* Геолого-структурные условия формирования дифференцированных никеленосных интрузий // Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – М.: ЦНИГРИ, 1975. – 11 с.
23. *Радько В.А.* Фации интрузивного и эффузивного магматизма Норильского района. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. – 226 с.
24. *Старостин В.Н.* Геодинамика и петрофизика рудных полей и месторождений. – М.: Недра, 1984. – 205 с.
25. *Старостин В.И.* Палеотектонические режимы и механизмы формирования структур рудных месторождений. – М.: Недра, 1988. – 256 с.
26. *Степанов В.К.* Динамическая модель внедрения, кристаллизации и рудоотложения рудоносных интрузий Норильска (северо-запад Сибирской платформы) // Тр. ЦНИГРИ. Вып. 162. – М., 1981. – С. 13–19.
27. *Струнин Б.М., Дюжиков О.А., Бармина О.А.* и др. Геологическая карта Норильского рудного района. Объяснительная записка. – М.: Геоинформмарк, 1994. – 118 с.
28. *Тарасов А.В.* О механизмах формирования Норильской интрузии и связанных с ней сульфидных тел // Замещение и вторжение при магматизме и рудообразовании. – Новосибирск: Наука, 1976. – С. 123–217.
29. *Тарасов А.В.* Структурно-геологические условия локализации базит-гипербазитовых интрузивов в промышленных медно-никелевых рудных полях севера Сибирской платформы // Петрологические особенности и прогнозное районирование никеленосных трапповых полей севера Красноярского края. – Л.: Недра, 1983. – С. 81–115.
30. *Туровцев Д.М.* Контактный метаморфизм норильских интрузий. – М.: Научный мир, 2002. – 319 с.
31. *Федоренко В.А.* Тектонический контроль магматизма и закономерности размещения никеленосных площадей на северо-западе Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 1991. – № 3. – С. 48–56.
32. *Френкель М.Я., Ярошевский А.А., Арискин А.А.* и др. Динамика внутрикамерной дифференциации базитовых магм. – М.: Наука, 1988. – 213 с.
33. *Физические свойства горных пород и полезных ископаемых.* – М.: Недра, 1984. – 448 с.
34. *Griffiths R.W., Campbell I.H.* On the dynamics of long-lived plume conduits in the convecting mantle // Earth Planet: Sci. Letters. – 1991. – Vol. 3. – P. 214–227.
1. *Berendeyev N.S., Nekrasov B.P.* Geologicheskaya pozitsiya i glubinnoye stroyeniye Noril'skogo rudnogo rayona [Geological position and deep structure of the Norilsk ore district]. Moscow, VIEMS publ. 1990. 71 p.
2. *Borodayev Yu.S., Yeregin N.I., Mel'nikov F.P.* et. al. Laboratornyye metody issledovaniya mineralov, rud i porody [Laboratory methods for the study of minerals, ores and rocks]. Moscow, MGU publ. 1988. 296 p.
3. *Vakhrushev A.M.* Komp'yuternaya model' formirovaniya massivnykh sul'fidnykh medno-nikelevykh rud noril'skogo mestorozhdeniya [A computer model for the formation of massive sulfide copper-nickel ores of the Norilsk deposit]. Rudy i metally. 2012. No. 4. P. 36–41.
4. *Vakhrushev A.M.* Komp'yuternyye modeli obosobleniya rudnykh mass pri subgorizontal'nom dvizhenii sul'fidno-silikatnykh rasplavov [Computer models of ore mass separation during subhorizontal motion of sulfide-silicate melts]. Rudy i metally. 2010. No. 6. P. 58–64.
5. *Vakhrushev A.M.* Obosobleniye rudnykh komponentov v dinamike peremeshcheniya rudno-silikatnykh rasplavov po gorizontali (abstraktnaya model') [Separation of ore components in the dynamics of horizontal movement of ore-silicate melts (abstract model)]. Rudy i metally. 2008. No. 5. P. 74–82.
6. *Volarovich M.P., Bayuk Ye.I., Yefimova G.A.* Uprugiyе svoystva mineralov pri vysokikh davleniyakh [Elastic properties of minerals at high pressures]. Moscow, Nauka publ. 1973. 131 p.
7. *Geologicheskaya karta Noril'skogo rudnogo rayona* [geological map of the Norilsk ore district]. 1:200 000. Ed. M.L.Sherman. VSEGEI publ. 1995.
8. *Gzovskiy Ya.V.* Osnovy tektonofiziki [Fundamentals of tectonophysics]. Moscow, Nauka publ. 1975. 536 p.
9. *Godlevskiy M.N., Likhachev A.P.* Usloviya zarozhdeniya i kristallizatsii rudonosnykh magm, formiruyushchikh medno-nikelevyye mestorozhdeniya. Osnovnyye parametry prirodnykh protsessov endogennogo rudoobrazovaniya [The conditions of nucleation and crystallization of ore-bearing magmas forming copper-nickel deposits. Basic parameters of natural processes of endogenous ore formation]. Novosibirsk, Nauka publ. 1997. P. 109–118.
10. *Dodin D.A.* Metallogeniya Taymyro-Noril'skogo regiona [Metallogeny of the Taimyr-Norilsk region]. Saint Petersburg, Nauka publ. 2002. 822 p.
11. *Dubov N.V., Zvezdov V.S.* Komp'yuternaya model' perenosa sul'fidnykh kapel' rudonosnym silikatnym rasplavom v tuboobraznom kanale ellipticheskogo secheniya [A computer model for the transfer of sulfide droplets by an ore-bearing silicate melt in a pipe-shaped channel of elliptical cross section]. Otechestvennaya geologiya. 2002. No. 5–6. P. 27–32.
12. *Dyuzhikov O.A., Distler V.V., Strunin B.M.* et. al. Geologiya i rudonosnost' Noril'skogo rayona [Geology and ore content of the Norilsk region]. Moscow, Nauka publ. 1988. 279 p.

13. *Kravtsov V.F.* Nekotoryye voprosy geologicheskoy struktury Talnakhskogo rudnogo uzla. Severo-Sibirskiy nikelosnyy region i yego promyshlennyye perspektivy [Some questions of the geological structure of the Talnakh ore cluster]. Leningrad, NIIGA publ. 1973. P. 17–24.
14. *Krivtsov A.I.* Metodicheskiye osnovy modelirovaniya rudonakopleniya v sul'fidno-silikatnykh rasplavakh [Methodological foundations for modeling ore accumulation in sulfide-silicate melts]. Rudy i metally. 2008. No. 5. P. 69–73.
15. *Krivtsov A.I., Kochnev-Pervukhov V.I., Konkina O.M.* et. al. Cu-Ni-MPG mestorozhdeniya noril'skogo tipa (seriya «Modeli mestorozhdeniy blagorodnykh i tsvetnykh metallov») [Cu-Ni-MP deposits of the Norilsk type (series «Models of deposits of noble and non-ferrous metals»)]. Moscow, TSNIGRI publ. 2001. 180 p.
16. *Krivtsov A.I., Chizhova I.M., Yegorova I.V.* Balans mass i sodержaniy v magmatogennykh sul'fidno-silikatnykh rudoobrazuyushchikh sistemakh [The balance of masses and contents in magmatogenic sulfide-silicate ore-forming systems]. Otechestvennaya geologiya. 1996, No. 1. P. 3–8.
17. *Krivtsov A.I., Chizhova I.M., Yevstigneyeva T.L.* Kolichestvennyye kharakteristiki rudonakopleniya v sul'fidno-silikatnykh rasplavakh [Quantitative characteristics of ore accumulation in sulfide-silicate melts]. Rudy i metally. 1995. No. 2. P. 55–66.
18. *Likhachev A.P.* K voprosam obrazovaniya, povedeniya i fraktsionirovaniya khimicheskikh elementov, ikh izotopov i mineralov v prirodnykh protsessakh [On the issues of formation, behavior and fractionation of chemical elements, their isotopes and minerals in natural processes]. Otechestvennaya geologiya. 2017. No. 6. P. 80–93.
19. *Likhachev A.P.* K dinamike stanovleniya talnakhskikh rudonosnykh intruziy i svyazannykh s nimi platino-medno-nikelevykh mestorozhdeniy [On the dynamics of the formation of Talnakh ore-bearing intrusions and related platinum-copper-nickel deposits]. Otechestvennaya geologiya. 1996. No. 8. P. 20–26.
20. *Likhachev A.P.* Platino-medno-nikelevyye i platinovyye mestorozhdeniya [Platinum-copper-nickel and platinum deposits]. Moscow, Eslan publ. 2006. 496 p.
21. *Likhachev A.P.* Spetsificheskiye osobennosti noril'skikh rudonosnykh intruziy, ikh priroda i opredelyayushcheye znachenie v otkrytii Pt-Cu-Ni mestorozhdeniy [Specific features of the Norilsk ore-bearing intrusions, their nature and decisive importance in the discovery of Pt-Cu-Ni deposits]. Otechestvennaya geologiya. 2019. No. 5. P. 36–52.
22. *Lyul'ko V.A.* Geologo-strukturnyye usloviya formirovaniya differentsirovannykh nikelosnykh intruziy [Geological and structural conditions for the formation of differentiated nickel-bearing intrusions]. Avtoref. kand. dis. Moscow, TSNIGRI publ. 1975. 11 p.
23. *Rad'ko V.A.* Fatsii intruzivnogo i effuzivnogo magmatizma Noril'skogo rayona [Facies of intrusive and effusive magmatism of the Norilsk region]. Saint Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI publ. 2016. 226 p.
24. *Starostin V.N.* Geodinamika i petrofizika rudnykh poley i mestorozhdeniy [Geodynamics and petrophysics of ore fields and deposits]. Moscow, Nedra publ. 1984. 205 p.
25. *Starostin V.I.* Paleotektonicheskiye rezhimy i mekhanizmy formirovaniya struktur rudnykh mestorozhdeniy [Paleotectonic regimes and mechanisms of formation of ore deposit structures]. Moscow, Nedra publ. 1988. 256 p.
26. *Stepanov V.K.* Dinamicheskaya model' vnedreniya, kristallizatsii i rudootlozheniya rudonosnykh intruziy Noril'ska (severo-zapad Sibirskoy platformy) [A dynamic model of the introduction, crystallization and ore deposition of ore-bearing intrusions of Norilsk (north-west of the Siberian platform)]. Tr. TSNIGRI, Moscow. 1981. Is.162, p. 13–19.
- Strunin B.M., Dyuzhikov O.A., Barmina O.A., Komarov V.V.* et. al. Geologicheskaya karta Noril'skogo rudnogo rayona [Geological map of the Norilsk ore district]. Ob'yasnitel'naya zapiska. – Moscow, Geoinformmark publ. 1994. – 118 p.
27. *Tarasov A.V.* O mekhanizmax formirovaniya Noril'skoy intruzii i svyazannykh s ney sul'fidnykh tel. Zameshcheniye i vtorzheniye pri magmatizme i rudoobrazovanii [On the mechanisms of formation of the Norilsk intrusion and associated sulfide bodies. Substitution and intrusion during magmatism and ore formation]. Novosibirsk, Nauka publ. 1976. P. 123–217.
28. *Tarasov A.V.* Strukturno-geologicheskiye usloviya lokalizatsii bazit-giperbazitovykh intruziyov v promyshlennykh medno-nikelevykh rudnykh polyakh severa Sibirskoy platformy. Petrologicheskiye osobennosti i prognoznoye rayonirovaniye nikelosnykh trappovykh poley severa Krasnoyarskogo kraya [Structural and geological conditions for the localization of base-hyperbasite intrusions in industrial copper-nickel ore fields in the north of the Siberian Platform. Petrological features and forecast zoning of nickel-bearing trap fields in the north of the Krasnoyarsk Territory]. Leningrad, Nedra publ. 1983. P. 81–115.
29. *Turovtsev D.M.* Kontaktovyy metamorfizm noril'skikh intruziy [Contact metamorphism of Norilsk intrusions]. – Moscow, Nauchnyy mir publ. 2002. 319 p.
30. *Fedorenko V.A.* Tektonicheskiy kontrol' magmatizma i zakonomernosti razmeshcheniya nikelosnykh ploshchadey na severo-zapade Sibirskoy platformy [Tectonic control of magmatism and patterns of distribution of nickel-bearing areas in the northwest of the Siberian platform]. Geologiya i geofizika. 1991. no. 3. P. 48–56.
31. *Frenkel' M.Ya., Yaroshevskiy A.A., Ariskin A.A.* et. al. Dinamika vnutrikamernoy differentsiatsii bazitovykh magm [Dynamics of intracamer differentiation of basic magmas]. Moscow, Nauka publ. 1988. 213 p.
32. *Fizicheskiye svoystva gornykh porod i poleznykh iskopayemykh* [Physical properties of rocks and minerals]. Moscow, Nedra publ. 1984. 448 p.
33. *Griffiths R.W., Campbell I.H.* On the dynamics of long-lived plume conduits in the convecting mantle. Earth Planet. Sci. Letters, 1991. V. 3. P. 214–227.

## Особенности алмазов из древних осадочных толщ на площадях влияния кристаллических массивов

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

Дана характеристика алмазов верхнепалеозойских и мезозойских осадочных толщ Сибирской платформы на основе обобщения огромного фактического материала по комплексу их изучению. Особое внимание уделено Лено-Анабарской алмазоносной субпровинции, где показано, что область развития отдельных макроассоциаций алмаза ограничивается конкретным алмазоносным районом, в пределах которого развиты комплексы разновозрастных терригенных и прибрежно-морских верхнепалеозойских и мезозойских отложений, и рядом находится Анабарский кристаллический массив. Отмечена полигенность минералогических ассоциаций алмазов из разновозрастных россыпей в пределах отдельных алмазоносных районов, что можно успешно использовать при прогнозировании и поисках коренных источников минерала.

*Ключевые слова:* верхнепалеозойские и мезозойские отложения, Сибирская платформа, алмаз и алмазоносные россыпи.

Зинчук Николай Николаевич  
доктор геолого-минералогических наук

nnzinchuk@rambler.ru

Коптиль Василий Иванович  
кандидат геолого-минералогических наук



nnzinchuk@rambler.ru

## Specific features of diamonds from ancient sedimentary thick layers within crystalline massif influence areas

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

Based on generalization of large actual material on complex investigation of diamonds, their characteristic in Upper Paleozoic and Mesozoic sedimentary thick layers of the Siberian platform is provided. Special attention is paid to the Central-Siberian sub-province; there, the development area of individual diamond macro-associations is limited by a specific diamondiferous region where complexes of noncoeval terrigenous and coastal Upper Paleozoic and Mesozoic sediments are developed. Polygeny of mineralogical associations of diamonds from noncoeval placers within some diamondiferous regions was noted, which may be successfully used when forecasting and prospecting for primary mineral sources.

*Key words:* Upper Paleozoic and Mesozoic sediments, Siberian platform, diamond and diamondiferous placers.

Проблема россыпной алмазоносности включает два неразрывно связанных аспекта – геологический и минералогический [1–3, 15]. Россыпи алмазов широко распространены на территории древних платформ в разновозрастных отложениях (от докембрия до современных) в различных фациях (континентальных и прибрежно-морских) и располагаются как на окраинах, так и во внутренних частях кра-

тонов. В минералогическом плане также выделяется два основных типа россыпей (континентальный и прибрежно-морской), различающихся по вещественному составу, вызванному условиями образования. Россыпи континентального (аллювиального или делювиально-пролювиального) типа формируются за счёт размыва коренных источников (кимберлитов, лампроитов или метаморфогенных образований)

и пространственно с ними связаны. Коренной источник при этом должен обеспечить достаточное для образования россыпи количество алмазов, для чего необходимо оптимальное сочетание трёх факторов: содержания алмазов в породах, размеров коренного источника и величины эрозионного среза конкретной территории [3, 8–12]. Низкоалмазоносные (хотя и большие по размерам) и высокоалмазоносные (но очень малые) тела обычно россыпей не образуют. Сравнительно редко образуются россыпи алмазов, что объясняется небольшим эрозионным срезом верхних частей диатрем (типа Далдыно-Алакитского алмазоносного района – ДААР). В отличие от этого активное россыпеобразование характерно для Малоботуобинского района (МБАР) Сибирской платформы (СП) со значительным (до 400 м) эрозионным срезом. Россыпи прибрежно-морского типа формируются за счёт материала, сносимого с суши (обычно из множественных коренных источников), который накапливается в береговой зоне конечного бассейна стока. При образовании россыпей этого типа совсем не обязательно наличие в качестве коренных источников высокопродуктивных диатрем, поскольку они могут формироваться за счёт большого количества мелких и слабоалмазоносных объектов. Расположение таких россыпей определяется местонахождением береговой линии и не всегда зависит от удалённости коренных источников. В зоне действия морских волн индикаторные минералы кимберлитов (ИМК) и алмазы подвергаются значительным изменениям. За счёт постоянного взмучивания под действием волн минералы получают возможность максимально реализовывать свои гидравлические свойства. Под воздействием таких процессов ассоциация минералов разделяется по гранулометрии и плотности, в результате чего более тяжёлые (пикроильменит) и крупные минералы осаждаются в верхней части пляжа, более тонкие и лёгкие сносятся ниже, до зоны гидравлического равновесия [2, 9, 12]. Если при этом пироп и алмаз достигают предельной степени окатывания, микроильменит может полностью уничтожиться. Россыпи данного типа обычно вытянуты вдоль береговой линии бассейна и обладают чёткой поперечной высокоградиальной зональностью. Однако древние прибрежно-морские россыпи в большинстве случаев распространены на обширных площадях, практически безградиентны и имеют почти однообразный алмаз-пироповый состав минеральных ассоциаций с незначительной примесью других ИМК. Такие россыпи характерны для Приленья, Кютюнгинского грабена и других участков северо-востока Сибирской платформы. Их формирование можно представить как следы древней трансгрессии, в процессе которой перерабатывался

морскими волнами сносимый с суши материал (в том числе и алмазоносный).

Всесторонние комплексные исследования алмазов *Лено-Анабарской алмазоносной субпровинции* (ЛААСП) Сибирской платформы с использованием различных минералогических классификаций позволили авторам [1–7, 13–17] выработать систему анализа их типоморфных особенностей, и на этой основе провести минерагеническое районирование платформы в целом с выделением типов первоисточников алмазов, ответив тем самым на вопрос: можно ли ожидать открытия высокоалмазоносных кимберлитов на севере и северо-востоке платформы (включая Анабарский и Кютюнгинский алмазоносные районы). Следует отметить, что при изучении типоморфных особенностей алмазов авторы [9–12] использовали их минералогическую классификацию по комплексу взаимосвязанных признаков и свойств, предложенную Ю.Л.Орловым [16], которая в значительной степени базируется на физических свойствах алмазов [4–7]. Согласно этой классификации, выделяются 11 генетических разновидностей алмазов с дополнительным разделением по габитусу и морфологическим типам, отражающим специфику условий их образования (формы роста, растворения и коррозии). ЛААСП охватывает северо-восточную часть Сибирской платформы и совпадает с полем развития докембрийских и главным образом нижнепалеозойских пород Анабарской антеклизы и Оленёкского поднятия, обрамлённых выходами пермских, триасовых, юрских и меловых отложений. *Анабарский алмазоносный район* (ААР) включает (см. рисунки 1 и 2) Эбеляхскую алмазоносную площадь (с Нижне- и Верхне-Эбеляхским россыпными полями) и прилегающие территории. Эбеляхская площадь характеризуется максимальными масштабами россыпной алмазоносности на СП [9], что объясняется сочетанием многих благоприятных факторов россыпеобразования. К югу от этого региона наиболее древним вторичным коллектором являются (см. рисунки 3 и 4) верхнетриасовые отложения Нижне-Ленского алмазоносного района [12]. Для алмазов характерно высокое (31,7%) содержание двойников, сростков и кристаллов с признаками природного травления (67,4%). Алмазы в основном прозрачные при значительном (42,0%) содержании окрашенных камней и относительно невысоком количестве ожелезнённых индивидов (42,2%). По фотолюминесцентным особенностям, преобладают (34,5%) алмазы с сине-голубым свечением. Содержание алмазов с твёрдыми включениями составляет более половины (53,6%) от общего количества кристаллов. Алмазы характеризуются очень высокой степенью сохранности (целостности) и сравнительно

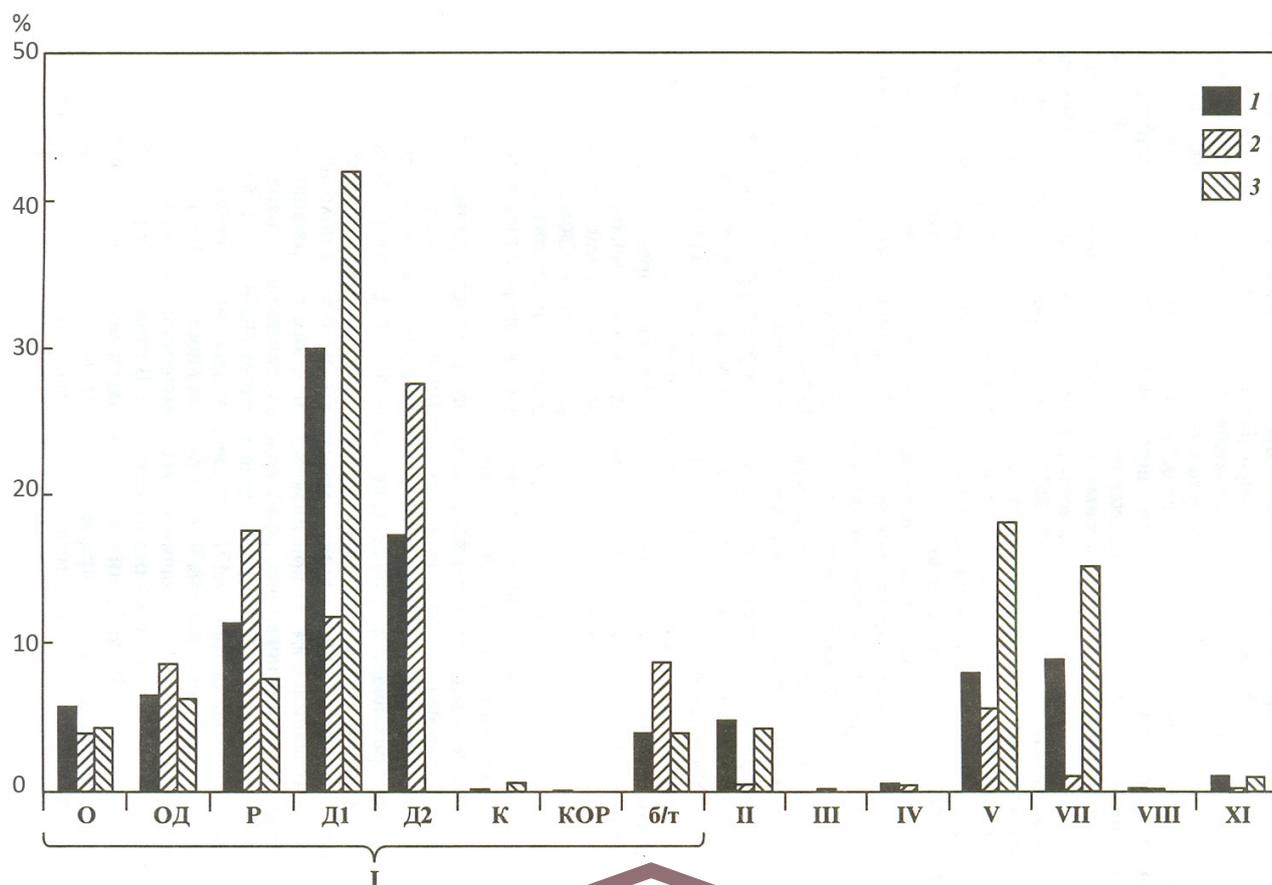


Рис. 1. Типоморфные особенности алмазов из россыпей Анабарского алмазоносного района:

I–V, VII, VIII, XI – разновидности алмазов, по Ю.Л.Орлову (О – октаэдр, ОД – переходные формы, Р – ламинарные ромбо-додекаэдр, Д1 – додекаэдр скрытослоистые, Д2 – додекаэдр с шагренью, К – кубы, КОР – куборомбододекаэдр, б/т – осколки); 1–3 – поля: 1 – Верхнеуджинское, 2 – Маспакы-Делингдинское, 3 – Анабаро-Попагайское



Рис. 2. Алмазы р. Большая Куонапка (Анабарский алмазоносный район)

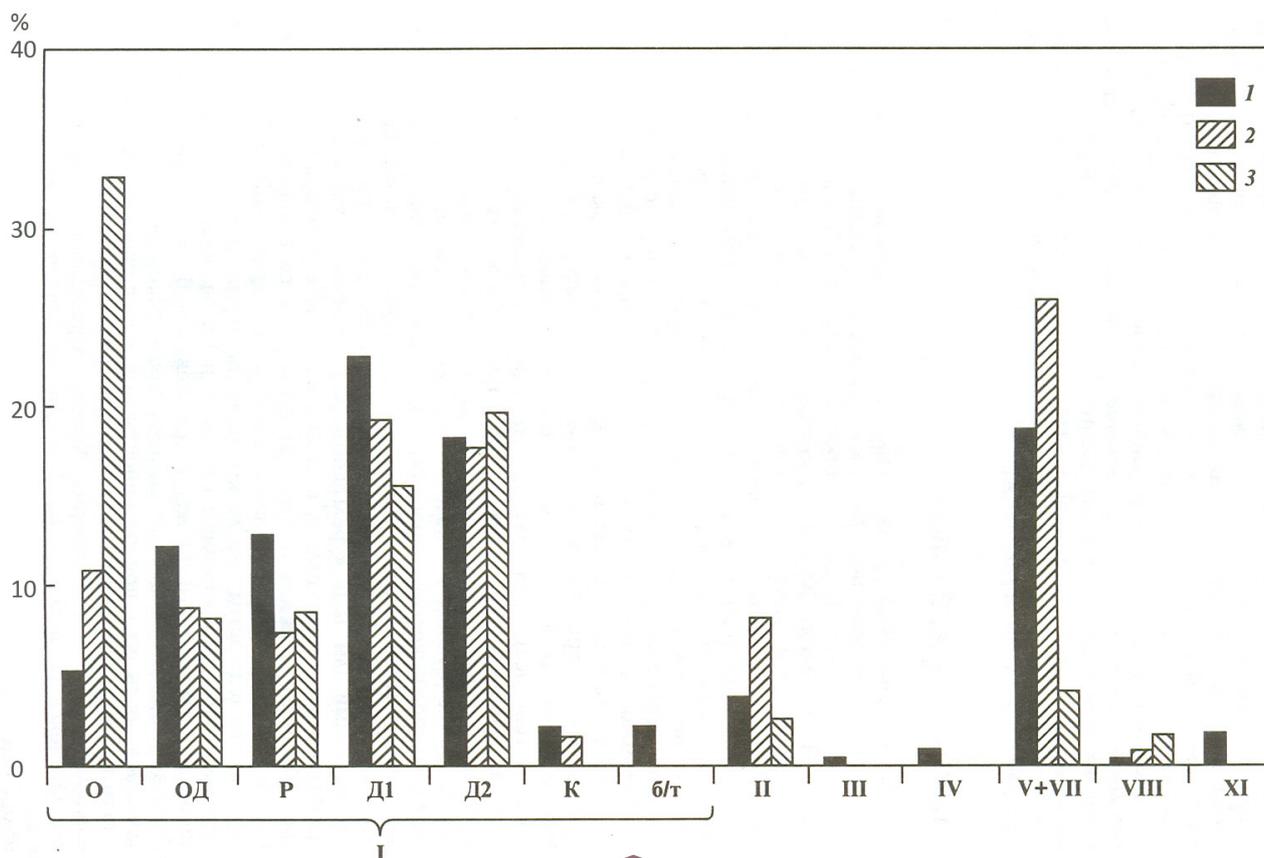


Рис. 3. Типоморфные особенности алмазов из россыпей Нижнеолёнского и Среднеолёнского алмазоносных районов:

I–IV, V+VII, VIII, XI – разновидности алмазов, по Ю.Л.Орлову (О – октаэдры, ОД – переходные формы, Р – ламинарные ромбододекаэдры, Д1 – додекаэдры скрытослоистые, Д2 – додекаэдры с шагренью, К – кубы, б/т – осколки); 1–2 – Нижнеолёнский и Среднеолёнский районы, соответственно, 3 – р. Омонос



Рис. 4. Алмазы из верхнетриасовых отложений участка Булкур (Нижнеолёнский алмазоносный район)

невысокой трещиноватостью. На долю индивидов с механическим износом истирания приходится 14,3% от общего количества кристаллов. Алмазы преимущественно средне- и высокоазотные.

Кютюнгинское поле включает россыпи района Кютюнгинского грабена и прилегающей к нему с юго-запада территории с нижнекарбонowymi отложениями участка Угюс-Юрюе. Для алмазов характерно (см. рисунки 5 и 6) резкое (94,1%) преобладание индивидов I разновидности, представленных преимущественно ламинарными кристаллами ряда октаэдр-ромбододекаэдр-октаэдрического (23,3%), ромбододекаэдрического (23,4%) и переходного между ними (27,8%) габитусов, составляющих в сумме 71,0%. Это характерно для богатых кимберлитовых тел фанерозойского возраста центральной части Сибирской платформы. Среди них велика (29,0%) доля полукруглых кристаллов с блоковой скульптурой. Содержание такого рода кристаллов является ано-

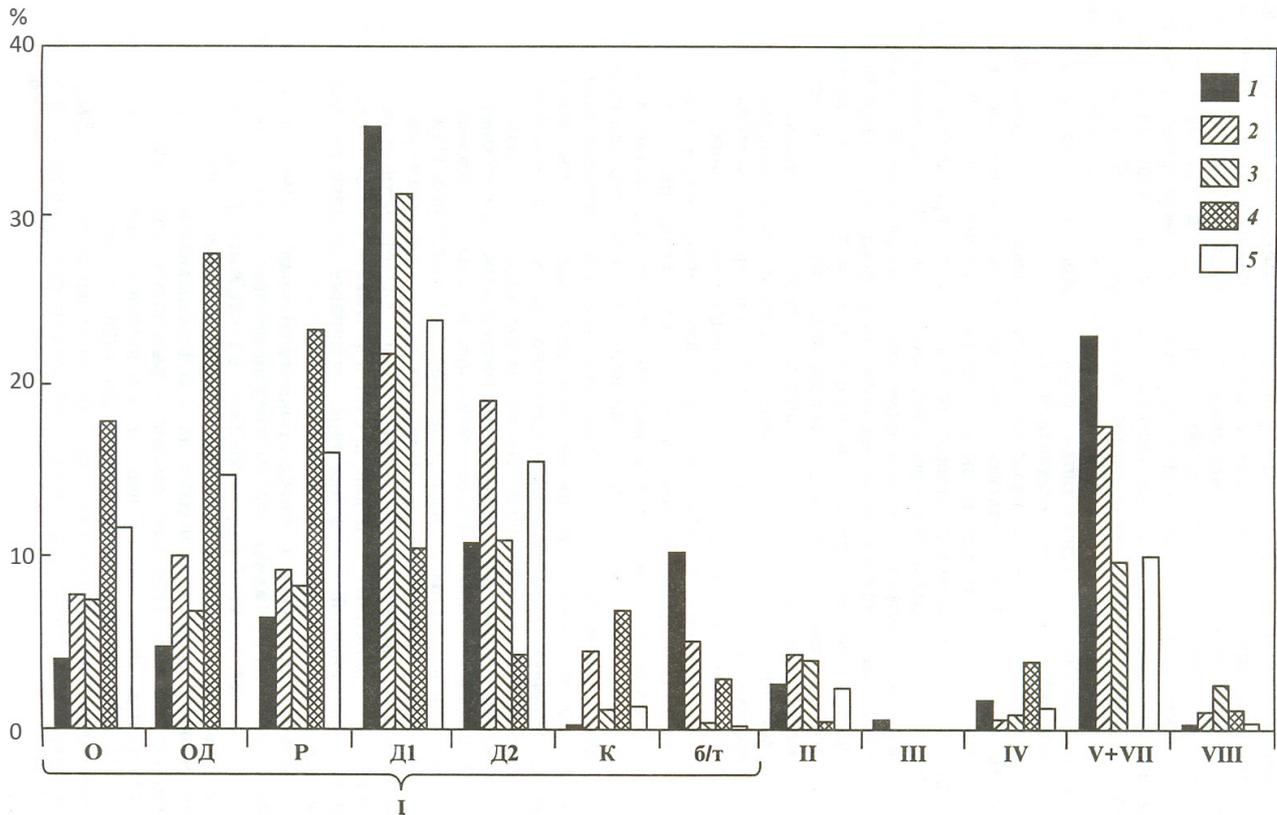


Рис. 5. Типоморфные особенности алмазов из россыпей Приленского алмазоносного района:

I–IV, V+VII, VIII – разновидности алмазов, по Ю.Л.Орлову (О – октаэдры, OD – переходные формы, P – ламинарные ромбо-додекаэдры, D1 – додекаэдры скрытослоистые, D2 – додекаэдры с шагренью, K – кубы, б/т – осколки); 1–5 – поля: 1 – Нижнеприленское, 2 – Среднеприленское, 3 – Верхнеприленское, 4 – Кютюнгинское, 5 – Молодо-Далдыньское



Рис. 6. Алмазы из россыпи Усупку-Юрэх (Приленский алмазоносный район)

мально высоким среди россыпей северо-востока Сибирской платформы. Для Кютюнгинского поля также характерно очень низкое содержание типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа (10,3%) и додекаэдроидов с шагренью и полосами пластической деформации (всего 4,4%) при присутствии значительного (6,9%) количества бесцветных кубовидов I разновидности. Среди алмазов россыпей северо-востока СП присутствует максимальное (4,0%) количество индивидов с оболочкой жёлто-зелёного ряда, в значительных количествах встреченных в уникально-алмазоносных трубках Ботубинская и Нюрбинская (Накынское поле), а также Айхал и Юбилейная (Алакит-Мархинское поле). Алмазы V и VII разновидностей, типоморфные для остальных россыпей северо-востока СП, полностью отсутствуют. Обращает на себя внимание присутствие значительного количества (3,0%) типичных тригонтриоктаэдроидов, отмеченных в россыпи Новинка в районе

трубки Интернациональная в МБАР [9]. Присутствуют также (1,1%) поликристаллические агрегаты VIII разновидности. Алмазы характеризуются очень низким (17,6%) содержанием двойников, сростков и высоким (77,5%) количеством кристаллов с признаками природного травления. Алмазы в основном прозрачные при низком (26,5%) содержании окрашенных и ожелезнённых (32,4%) камней. Характерная особенность алмазов – высокое (8,6%) количество кристаллов с зелёными пятнами пигментации радиационного происхождения, являющееся одним из максимальных среди россыпей северо-востока Сибирской платформы, за исключением россыпей рек Далдын и Ырас (Молодо-Далдынское поле). Алмазы характеризуются преобладающей (45,0%) сине-голубой фотолюминесценцией и пониженным (45,0%) количеством кристаллов с твёрдыми включениями. Типоморфной особенностью алмазов Кютюнгинского россыпного поля является аномально высокое (9,9%) содержание кристаллов с сингенетическими включениями, представленных (90,0%) минералами-узниками ультраосновной ассоциации (оливин и реже хромит, а также пироп малиновый), а из включений эклогитового генезиса установлены гранат оранжевого цвета и омфацил. Близкий характер распределения твёрдых включений из россыпей северо-востока СП наблюдается только в нижнекарбонных отложениях участка Угюс-Юрюе. Сопоставимое аномально высокое содержание алмазов с твёрдыми включениями установлено авторами только в некоторых кимберлитовых телах ДААР с промышленной алмазоносностью (трубки Удачная, Сытыканская и Комсомольская). Кристаллы отличаются высокой степенью сохранности (целостности) с преобладанием камней без трещин. Характерной особенностью изученных алмазов является иной тип их механического износа, отличающийся от такового всех других россыпей северо-востока Сибирской платформы. Среди них полностью отсутствует механический износ «истирания». Однако общее содержание изношенных алмазов является высоким (43,6%). Преобладает износ «выкрашивания» на обломках (15,4%) и фигуры удара в виде насечки на ребрах целых кристаллов (20,1%), а также серповидные трещины и ромбический узор трещин (8,1%). Среди алмазов преобладают низко- и среднеазотные кристаллы.

*Молодо-Далдынское поле* включает территорию Молодо-Далдынского междуречья, где установлены находки алмазов в верхнекаменноугольных и нижнепермских отложениях, близкие по типоморфным особенностям к кристаллам кютюнгинского типа. В этом же направлении закономерно снижается содержание кристаллов ассоциации кютюнгинского

типа с одновременным увеличением содержания типичных округлых алмазов I разновидности и дефектных кристаллов V и VII разновидностей, типоморфных для других россыпей северо-востока СП, коренные источники которых до настоящего времени не установлены [13, 17–20]. Для россыпи р. Далдын характерна минералогическая ассоциация кютюнгинского типа [14] с преобладанием ламинарных кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов, а также ламинарных ромбододекаэдров с блоковой скульптурой (в сумме 52,4%), преобладающих над типичными округлыми алмазами во всех классах крупности (особенно в классе –8+4 мм). Содержание типоморфных для россыпей северо-востока СП индивидов V и VII разновидностей низкое (учитывая повышенную крупность кристаллов), присутствуют жёлто-оранжевые кубы II разновидности (2,7%), бесцветные кубоиды I разновидности (3,1%), и полностью отсутствуют импактные алмазы XI разновидности. Кристаллы характеризуются низким (21,0%) содержанием двойников и сростков, а также высоким (77,0%) количеством кристаллов с признаками природного травления. Алмазы в основном прозрачные при сравнительно малом (41,1%) количестве окрашенных камней, а также ожелезнённых кристаллов (42,0%). Следует отметить повышенное (4,2%) по сравнению с другими россыпями северо-востока СП содержание камней с соломенно-жёлтой окраской, а также максимальное (14,7%) количество кристаллов с зелёными пятнами пигментации и позеленением по трещинам (радиационного происхождения). Алмазы характеризуются доминирующей (42,2%) сине-голубой фотолюминесценцией и пониженным (48,3%) содержанием индивидов с твёрдыми включениями. Для алмазов характерна высокая степень сохранности (целостность) и пониженная трещиноватость. Среди них очень низкое (всего 0,8%) содержание камней с механическим износом истирания прибрежно-морского генезиса, но немало (29,2%) индивидов с механическим износом выкрашивания, который обычно характерен для россыпей среднего сноса с преобладанием кристаллов октаэдрического габитуса, присущих классическим высокоалмазоносным кимберлитам среднепалеозойского возраста Сибирской платформы. Такого рода изношенные алмазы в количестве до 20–30% присутствуют в верхнепалеозойских и мезозойских терригенных отложениях в МБАР. Следует отметить небольшое (3%) содержание кристаллов с ромбическим узором и серповидными трещинами, образование которых можно связывать как с особыми прибрежно-морскими условиями формирования, так и с термальным воздействием траппов на древний

коллектор каменноугольно-пермского возраста. Весь комплекс типоморфных особенностей алмазов россыпи р. Далдын свидетельствует об их наиболее высоком качестве по сравнению с другими россыпями северо-востока СП, не ниже россыпи Большая Куонапка. В пределах россыпи р. Молодо (ниже устья р. Далдын) наблюдается закономерная трансформация типоморфных особенностей алмазов путём снижения (в сумме 27,9%) доли ламинарных кристаллов октаэдрического, переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому и ромбододекаэдрического габитусов и повышения количества типичных округлых алмазов (45,6%), а также камней V и VII разновидностей (12,7%). При этом присутствуют жёлто-оранжевые кубы II разновидности (3,2%), бесцветные кубоиды I разновидности (1,8%), кристаллы с оболочкой IV разновидности (1,8%), и отсутствуют импактные алмазы XI разновидности (молодинская минералогическая ассоциация). Содержание ламинарных кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов в 1,5 раза увеличивается с их крупностью. Одновременно резко (в 2–2,5 раза) уменьшается количество типичных округлых алмазов. Отмечается заметное (около 25%) содержание дефектных кристаллов V и VII разновидностей в наиболее продуктивных классах. Это является одной из причин понижения качества камней россыпи р. Молодо по сравнению с таковыми р. Далдын при сопоставимой гранулометрии и среднем весе (26,2 мг) кристаллов. Для алмазов характерно низкое (19,8%) содержание двойников и сростков и высокое (66,6%) количество кристаллов с признаками природного травления. Кристаллы характеризуются высокой степенью прозрачности, низким (31,2%) содержанием окрашенных, а также ожелезненных алмазов (45,7%). Среди алмазов превалируют (38,4%) кристаллы с сине-голубой фотолуминесценцией. Число алмазов с твёрдыми включениями является наиболее низким среди россыпей северо-востока Сибирской платформы и равно всего 42,3%. Содержание индивидов с сингенетическими включениями составляет 2,9% от общего количества кристаллов, что является одной из наиболее высоких цифр для россыпей северо-востока СП (за исключением россыпи р. Далдын). Алмазы характеризуются высокой сохранностью и низкой трещиноватостью. Содержание индивидов с механическим износом истирания прибрежно-морского генезиса одно из наиболее низких (1,5%) среди россыпей северо-востока Сибирской платформы и практически не зависит от крупности кристаллов. Необходимо отметить повышенное (6,7%) количество индивидов с серповидными трещинами и ромбическим узором, что сближает

их с таковыми россыпи р. Далдын. Большинство алмазов высокоазотные. Для алмазов из россыпей Молодо-Далдынского поля в целом характерно повышенное содержание ламинарных кристаллов октаэдрического, переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому и ромбододекаэдрическому габитусов с блоковой скульптурой I разновидности и присутствие в повышенном количестве индивидов с оболочкой IV разновидности, что сближает их с алмазами кютюнгинского типа, характерными для нижнекарбонных отложений, при низком содержании типичных округлых камней уральского (бразильского) типа. Наблюдается значительная трансформация типоморфных особенностей алмазов в системе рек Далдын–Молодо с понижением содержания октаэдров и повышением количества типичных округлых камней, а также индивидов V и VII разновидностей, в том числе и в наиболее продуктивных классах крупности, что приводит к некоторому снижению качества алмазного сырья. Максимальное количество алмазов V и VII разновидностей отмечается по р. Молодо (ниже устья р. Сянгюдэ), в зоне размыва мезозойских вторичных коллекторов. Другие типоморфные особенности кристаллов россыпей рек Далдын и Молодо достаточно близки, что позволяет комплексом методов охарактеризовать молодинскую минералогическую ассоциацию алмазов, являющуюся полигенной вследствие смешения ассоциации кютюнгинского типа с зырянской ассоциацией, характерной для древнечетвертичных образований региона.

*Муно-Тюнгский алмазоносный район* (МТАР) расположен в пределах юго-восточной части Анабарской антеклизы. В его пределах выделяется три россыпных поля (Средне-Мунское, Верхне-Тюнгское и Верхне-Мунское), заметно различающиеся (см. рисунки 7 и 8) по типоморфным особенностям алмазов. *Средне-Мунское россыпное поле* характеризуется резким (92,8%) преобладанием алмазов I разновидности, представленных преимущественно типичными округлыми кристаллами уральского (бразильского) типа (37,9%) и додекаэдроидами с шагренью и полосами пластической деформации. Соотношение двух групп округлых алмазов обратное по сравнению с кимберлитовыми телами Верхне-Мунского поля и россыпью Уулаах-Муна. Общее содержание ламинарных кристаллов октаэдрического, ромбододекаэдрического и переходного между ними габитусов сравнительно невысокое (27,9%). Низким является и содержание типоморфных для россыпей северо-востока СП алмазов V–VII (3,7%) и II (3,2%) разновидностей. Кристаллы характеризуются значительным содержанием двойников и сростков (33,8%), а также кристаллов с признаками природного травления

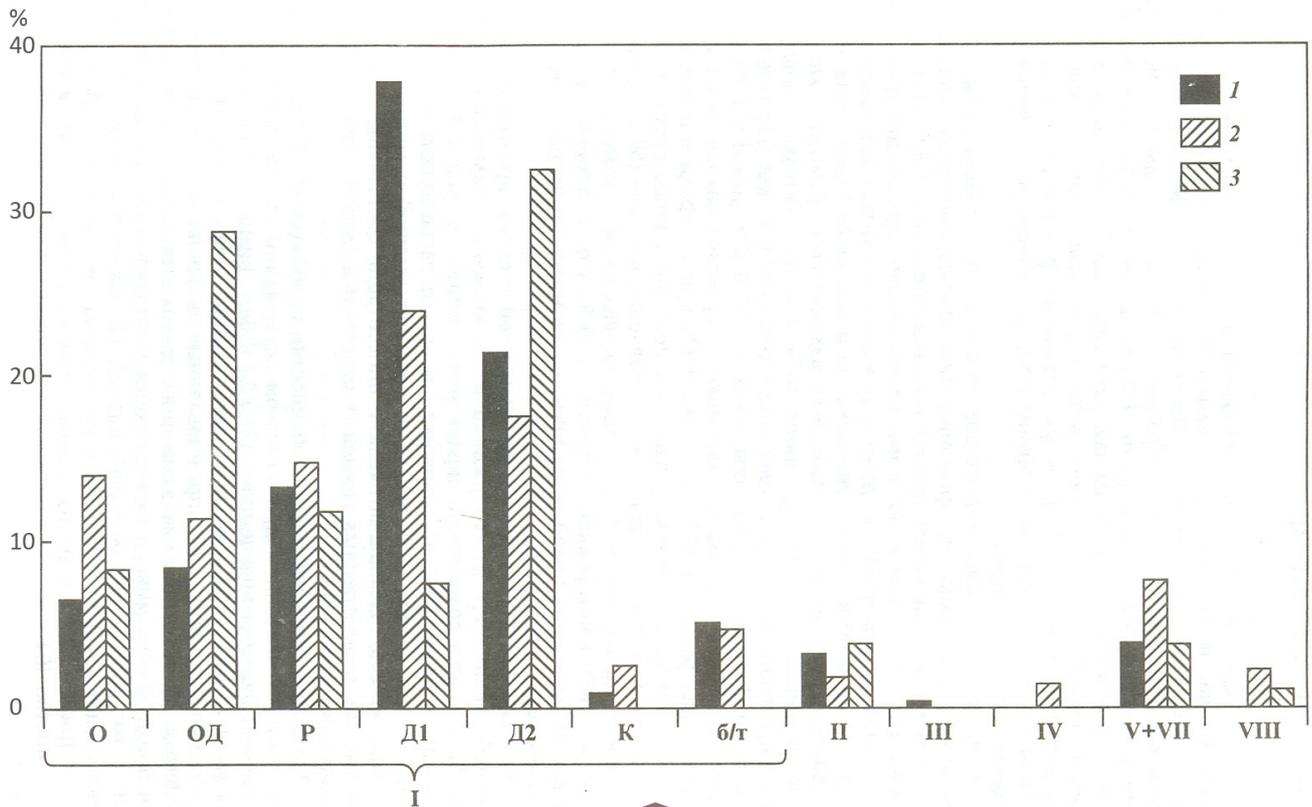


Рис. 7. Типоморфные особенности алмазов из россыпей Муно-Тюнгского алмазоносного района:

I–IV, V+VII, VIII – разновидности алмазов, по Ю.Л. Орлову (О – октаэдры, ОД – переходные формы, Р – ламинарные ромбо-додекаэдры, Д1 – додекаэдры скрытослоистые, Д2 – додекаэдры с шагренью, К – кубы, б/т – осколки); 1–3 – поля: 1 – Средне-мунское, 2 – Верхнетюнгское, 3 – Верхнемунское



Рис. 8. Алмазы р. Тюнг (Муно-Тюнгский алмазоносный район)

(59,6%). Алмазы в основном прозрачные, при низком (34,8%) содержании окрашенных, а также ожелезнённых (40,8%) камней. По фотолюминесцентным особенностям преобладают (39,1%) алмазы с синеголубым свечением. Большинство (71,3%) индивидов содержат твёрдые включения. Алмазы характеризуются высокой степенью сохранности и значительной трещиноватостью. Общее содержание с механическим износом истирания является сравнительно невысоким (8,9%). Кристаллы преимущественно средне- и высокоазотные. В целом типоморфные особенности алмазов Средне-Мунского поля близки к кристаллам из современных россыпей Верхне- и Средне-Приленского алмазоносных полей, а также к индивидам из древних вторичных коллекторов верхнеюрского (нижеволжского) возраста, опробованных на междуречье Молодо–Сюнгюдэ–Лена, и отличаются от кимберлитовых тел Верхне-Мунского поля и россыпи р. Уулаах-Муна, сформированной в основном за счёт размыва этих трубок. *Верхне-Тюнгское поле* характеризуется комплексом типоморфных особенностей алмазов, позволяющих отличать их от индивидов из близлежащих участков коренной и россыпной алмазоносности. В первую очередь это повышенное (39,7%) суммарное содержание ламинарных кристаллов ряда октаэдр–ромбододекаэдр октаэдрического, ромбододекаэдрического и переходного между ними габитусов, которое является одним из наиболее высоких среди россыпей северо-востока СП (после Кютюнгдинского и Молодо-Далдынского полей). Суммарное содержание типичных округлых алмазов сравнительно низкое (41,2%), среди них типичные округлые уральского (бразильского) типа (23,9%) преобладают над додекаэдроидами с шагренью и полосами пластической деформации (17,3%), чем и отличаются от кимберлитовых тел Верхне-Мунского поля с их обратным соотношением. Среди последних на значительном количестве додекаэдроидов с шагренью развиты каверны, для которых характерна зелёная фотолюминесценция. Такого рода алмазы полностью отсутствуют в россыпях Верхне-Тюнгского поля, что указывает на отсутствие сноса в южном направлении от верхнемунских трубок. Кроме того, в россыпях Верхне-Тюнгского поля в сравнительно небольших количествах встречены кристаллы V–VII (7,4%) и II разновидностей, характерные и для других россыпей северо-востока Сибирской платформы, что свидетельствует о полигенности ассоциации. Реже (1,2–2,0%) встречены алмазы IV и VIII разновидностей. Кристаллы характеризуются низким (21,3%) содержанием двойников и сростков и невысоким (51,7%) количеством индивидов с признаками природного травления. Среди них преобладают прозрачные кри-

сталлы при низком (23,4%) содержании окрашенных и ожелезнённых (46,2%) камней. Алмазы характеризуются преобладающей (45,0%) розово-сиреневой фотолюминесценцией и низким (50,9%) содержанием кристаллов с твёрдыми включениями. Для алмазов характерны сравнительно невысокая степень сохранности и пониженная трещиноватость камней. Количество камней с механическим износом «истирания» прибрежно-морского генезиса является одним из наиболее низких (1,6%) среди россыпей северо-востока Сибирской платформы. Алмазы в основном средне- и высокоазотные. Муно-Тюнгский алмазоносный район характеризуется различием типов первоисточников алмазов в отдельных россыпных полях. Следует обратить внимание на повышенное содержание ламинарных кристаллов ряда октаэдр–ромбододекаэдр, характерных для кимберлитовых тел с продуктивной алмазоносностью в россыпях Верхне-Тюнгского поля, что может свидетельствовать о присутствии в этом регионе нового кимберлитового поля. Этот прогноз данной территории подтверждается приуроченностью к северо-восточному ограничению Виллойско-Мархинской зоны глубинных разломов и нахождением в пределах Тюнгского ортократона [13, 18–20]. Приведённые примеры свидетельствуют об эффективности разбраковки отдельных участков по типам первоисточников алмазов, а также качеству алмазного сырья, об уверенном прогнозе новых коренных источников по присутствию в россыпях кристаллов кимберлитового генезиса, об оценке уровня потенциальной алмазоносности ещё не открытых коренных источников по находкам алмазов в россыпях, а также выделению участков с повышенным качеством алмазного сырья. В целом «спектр» алмазов из россыпей Лено-Анабарской области сравнительно однообразен и близок к кристаллам из окаймляющих с востока и севера Анабарскую антеклизу вторичных коллекторов позднеюрского и ранневолжского возрастов (кряжи Чекановского, Прончищева, хребет Хараулах и др.). Для них характерно низкое содержание алмазов из кимберлитового типа первоисточника, составляющих не более 10–15% от общего количества кристаллов, при несколько различном в отдельных районах соотношении типичных округлых камней уральского (бразильского) типа, алмазов V разновидности, сложно деформированных двойников и сростков додекаэдроидов с «облегчённым» изотопным составом углерода VII разновидности, жёлто-оранжевых кубоидов с изотопным составом углерода «промежуточного» состава II разновидности, отсутствующих в известных коренных месторождениях провинции, а также присутствием в ряде регионов (Анабарский, Средне-Оленёкский и Нижне-Оленёкский районы)

поликристаллов алмаза типа «карбонадо» с примесью лонсдейлита из импактного типа первоисточника. Общим для них является повышенный механический износ, увеличивающийся от краевых частей Анабарской антеклизы в сторону Анабарского кристаллического массива, что совпадает с направлением трансгрессии при формировании данной структуры в истории геологического развития СП.

На Сибирской платформе алмазы также установлены во вторичных коллекторах раннекаменноугольного (Байкитская алмазоносная область), позднекаменноугольного и раннеюрского (МБАР), позднекаменноугольного (Моркокинский алмазоносный район), раннекаменноугольного, поздне триасового, раннемелового, раннеюрского, позднеюрского и неоген-нижнечетвертичного возрастов (северо-восток СП), поздне триасового и раннеюрского (СМАР) возрастов. Масштабы этой алмазоносности заметно ниже по сравнению с современными россыпями. Среди них выделяются россыпи ближнего и дальнего сноса различного генезиса. Алмазы из разновозрастных вторичных коллекторов раннемелового и раннеюрского возрастов Эбеляхского алмазоносного поля близки по своим типоморфным особенностям. Среди них встречены одни и те же разновидности кристаллов при несколько различных их соотношениях, связанных с крупностью. В алмазах из континентальных древних вторичных коллекторов встречены кристаллы с механическим износом «истирания» прибрежно-морского генезиса. Это свидетельствует об их сложной экзогенной истории и перемыве из более древних вторичных коллекторов прибрежно-морского генезиса, которыми могли быть верхнетриасовые отложения, близкие к осадкам Нижне-Ленского алмазоносного района (НЛАР), и, вполне вероятно, еще более древние коллекторы, в том числе и докембрийского возраста с неустановленными коренными источниками невыясненного генезиса. В целом, по типоморфным особенностям, наиболее древним вторичным коллектором на северо-востоке СП с близкими типоморфными особенностями кристаллов являются верхнетриасовые отложения НЛАР с алмазами нижнеленского типа с неустановленными коренными источниками, которые составляют основную часть кристаллов из разновозрастных вторичных коллекторов Эбеляхского алмазоносного поля.

В Приленском алмазоносном районе алмазы Кютюнгинского грабена нижнекарбонатового возраста резко отличаются от кристаллов из россыпей окружающих территорий за пределами Кютюнгинского прогиба. Типоморфными особенностями алмазов из отложений нижнекарбонатового возраста являются: низкий средний вес кристаллов, преобладание ха-

рактерных для богатых кимберлитовых тел ламинарных индивидов ряда октаэдр (в основном с блоковой скульптурой I разновидности), содержание камней с окрашенной оболочкой IV разновидности при низком содержании типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа. Присутствуют здесь типичные тригонтриоктаэдры травления и большое количество кристаллов с «леденцовой» скульптурой. Мало двойников и сростков, отсутствуют алмазы V и VII разновидностей, характерные для других разновозрастных россыпей северо-востока СП. Типичны высокая степень прозрачности, отсутствие камней с признаками ожелезнения, заметное содержание алмазов с зелёными пятнами пигментации. Много кристаллов с твёрдыми включениями ультраосновной ассоциации, что характерно для известных богатых кимберлитовых тел. Сохранность алмазов в целом плохая, содержание камней с механическим износом «выкрашивание» и «аллювиальными» сколами высокое. Качество алмазного сырья сравнительно невысокое. Комплекс типоморфных особенностей кристаллов из нижнекарбонатовых отложений Кютюнгинского грабена позволяет выделить так называемые алмазы «кютюнгинского» типа и проследить их в близлежащих районах россыпной алмазоносности, где они пользуются значительным распространением (бассейны рек Кютюндэ, Толуопка, Далдын и среднее–верхнее течение р. Молодо).

В Нижне-Ленском алмазоносном районе в верхнетриасовых отложениях в пределах Предверхоанского прогиба алмазы изучены по шести пространственно-разобшённым участкам, причём часть находок – из отложений в пределах складчатой области. Верхнетриасовые отложения НЛАР – наиболее древние из известных вторичных коллекторов с неустановленными коренными источниками невыясненного генезиса. Величина изученных алмазов наиболее низкая для россыпей северо-востока Сибирской платформы, при этом средний вес кристаллов уменьшается с запада (участок Булкур) на восток (участок Ольховый) с 17,0 до 2,4 мг, а также почти в два раза уменьшается с севера на юг по участку Булкур, что, по-видимому, связано с различием литолого-фациального состава алмазоносных отложений этого региона и крупностью алмазов. Для данного района характерно высокое содержание кристаллов класса  $-1+0,5$  мм, а также мелких камней класса  $-2+1$  мм, которые составляют 3/4 от общей массы добываемых камней. По мнению авторов, пониженная крупность кристаллов характерна для краевых частей СП и связана с историей геологического развития Анабарской антеклизы, а также литолого-фациальными условиями формирования

алмазоносных отложений в удалённых от береговой линии фациях.

По кристалломорфологическим особенностям алмазов, отмечается высокое содержание серых, переполненных включениями графита ромбододекаэдров V разновидности, сложных двойников и сростков додекаэдров VII разновидности, составляющих до половины и более от общего количества кристаллов, и присутствие жёлто-оранжевых кубоидов II разновидности, что сближает их с индивидами из россыпей Эбеляхской алмазоносной площади. Сокращаются крупность и количество алмазов V и VII разновидностей с запада на восток района. Среди кристаллов I разновидности преобладают типичные округлые алмазы уральского (бразильского) типа при заметном содержании додекаэдров с шагренью и полосами пластической деформации, а также бесцветных кубоидов при очень низком суммарном количестве ламинарных кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов, в том числе, в отличие от Эбеляхских россыпей, и в мелком классе крупности  $-1+0,5$  мм. Особенностью изученных алмазов является также высокое содержание сложнодвойникованных по шпинелевому закону индивидов и различных незакономерных сростков, составляющих до 1/2 от общего количества кристаллов, причём их роль заметно увеличивается с уменьшением крупности. Широко распространены скульптуры с признаками травления, представленные в основном «шрамами». Среди изученных алмазов не встречены камни с механическим износом «истирания» прибрежно-морского генезиса, но наблюдается (до 42,0%) механический износ «выкрашивания», что может свидетельствовать об удалении их коренных источников, учитывая площадной характер распространения верхнетриасового коллектора. Внешний облик алмазов заметно «свежее», чем у кристаллов из других россыпей северо-востока СП, что предполагает вероятное нахождение их первоисточников в районе Чукуровского выступа фундамента или Сололийского поднятия на северо-востоке Анабарской антеклизы.

В результате комплексного исследования алмазов в верхнетриасовых отложениях НЛАР можно выделить нижнеленский тип их первоисточника невыясненного, предположительно эклогитового генезиса, послужившего основным источником этих алмазов из разновозрастных россыпей Эбеляхского алмазоносного поля, и высказать предположение о его местонахождении в краевых частях СП. Обращает на себя внимание факт относительной «свежести» алмазов нижнеленского типа (отсутствие механического износа «истирания» и слабое ожелез-

нение камней), что является отличительным признаком для россыпей северо-востока СП и может указывать на относительную близость их коренных источников. Типоморфизм алмазов нижнеленского типа, преобладание среди них разновидностей, отсутствующих в известных кимберлитовых телах, облегчённый изотопный состав углерода V и VII разновидностей ( $\delta^{13}\text{C}=-23,0\%$ ), составляющих не менее половины всех кристаллов, преобладающих эклогитовый парагенезис твёрдых включений в алмазах могут служить указанием на то, что их коренным источником могут быть не классические кимберлиты, а эклогиты или другие породы корового происхождения с неклассическими минералами-спутниками по этим породам.

Таким образом, результаты комплексного исследования типоморфных особенностей алмазов из россыпей СП позволяют выделять алмазоносные субпровинции, области, районы и поля, для которых можно прогнозировать тип первоисточников, уровень их потенциальной алмазоносности, а также качество алмазного сырья. Россыпи алмазов континентального типа отличают линейное, потоковое распределение ИМК и алмазов, а также градиентный характер свойств их ассоциаций. Последние могут быть как высоко- (концентрация ИМК), так и низкоградиентными (степень механического износа или особенности их гидравлической сортировки). Основными чертами алмазоносных россыпей континентального типа являются: 1) формирование за счёт крупных и высокоалмазоносных кимберлитовых (лампроитовых) тел при достаточной величине эрозионного среза; 2) тесная пространственная связь с коренными источниками; 3) слабый механический износ ИМК; 4) низкая степень гидравлической сортировки ИМК по гранулометрии и плотности, а также их линейное, потоковое распределение. Обычно минеральная ассоциация россыпей этого типа, несмотря на некоторые изменения, близка к исходной в коренном источнике. В отличие от этого, основными чертами прибрежно-морских россыпей алмазов являются: а) независимость от местоположения коренных источников; б) максимальная степень гидравлической сортировки ИМК по гранулометрии и плотности, а также по механическому их износу; в) преимущественно алмазо-пироповый состав ассоциации ИМК и нередко повышенные их концентрации. Однако перечисленные особенности строения и формирования россыпей континентального и прибрежно-морского типов присущи им при первичном состоянии и существенно меняются при неоднократном перемыве, что часто встречается на древних платформах мира. При неоднократном перемыве россыпей на протяжении длительной истории

их существования, россыпеобразующие минералы могут оказаться в разной геолого-тектонической ситуации. Однако минералогический характер россыпей, определяемый начальным периодом их формирования, в основных чертах сохраняется, поскольку изменения, неизбежно связанные с развитием геологических процессов, лишь накладываются на минералы и их ассоциации, но не изменяют их исходные особенности. Поэтому минерагенический фактор (как более консервативный) несёт основную информацию об условиях формирования и истории развития алмазоносных россыпей.

Типоморфные особенности алмазов из россыпей Кютюнгинского поля являются аномальными среди известных месторождений, что позволило выделить ассоциацию кютюнгинского типа с преобладанием ламинарных кристаллов ряда октаэдр–ромбододекаэдр преимущественно с блоковой скульптурой, низким содержанием типичных округлых алмазов и с присутствием индивидов с оболочкой жёлто-зелёного ряда, аномально высоким содержанием твёрдых включений, преимущественно ультраосновной ассоциации и преобладанием камней с сине-голубой фотолюминесценцией. Однако алмазы характеризуются высоким содержанием камней со своеобразным механическим износом (фигуры удара и серповидные трещины), что свидетельствует об их сложной экзогенной истории. Близкие типоморфные особенности алмазов характерны для нижнекаменноугольных отложений участка Угюс-Юрюе, что убедительно свидетельствует о верхнепалеозойском (докаменноугольном) возрасте их коренных источников, поиски которых в значительной мере усложнены геологическим строением территории Молодо-Далдыно-Толуопского междуречья, перекрытой толщами траппов. Приленская алмазоносная область по типоморфным особенностям алмазов подразделяется на две группы россыпных полей (соответственно, Приленской и Кютюнгинской), характеризующихся полигенезом их коренных источников. В первой преобладают типичные округлые индивиды уральского (бразильского) типа I разновидности в ассоциации с кристаллами V, VII и II разновидностей, характерные для периферийных частей древних платформ. Для Кютюнгинской области характерно преобладание ламинарных кристаллов ряда октаэдр–ромбододекаэдр I разновидности в основном с блоковой скульптурой при низком содержании типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа и при заметном содержании алмазов с оболочкой IV разновидности жёлто-зелёного ряда, а также здесь отмечается аномально высокая ультраосновная ассоциация твёрдых включений в кристаллах, что свидетельствует

о гетерогенности строения верхней мантии в этом регионе Сибирской платформы. Преобладание кимберлитовых алмазов и специфика их морфологии наряду с наличием комплекса гранатов алмазной ассоциации являются надёжным свидетельством существования в этом районе высокоалмазоносных кимберлитов среднепалеозойского возраста. Дифференциация алмазов из отдельных россыпей в пределах Верхне-Тюнгского поля небольшая, что может свидетельствовать об их поступлении в современный аллювий за счёт размыва древнего вторичного коллектора, носящего площадной характер распространения. Ими могут быть отложения нижнеюрского возраста, опробованные на водоразделе рек Тюнг–Тюнгкэн. Среди них, по предварительным данным, также преобладают (60%) ламинарные кристаллы ряда октаэдр–ромбододекаэдр I разновидности, чем они отличаются от таковых из верхнеюрских (нижневолжских) отложений междуречья Молодо–Сюнгюдэ–Лена. Это позволяет прогнозировать собственные богатые коренные источники алмазов в бассейне р. Тюнг с повышенным содержанием ламинарных кристаллов ряда октаэдр–ромбододекаэдр, несмотря на полигенный характер алмазов верхнетюнгской минералогической ассоциации, отличающийся от хакчанской. Приведённые сведения по минералогической характеристике алмазов из разновозрастных вторичных коллекторов северо-востока СП ещё раз доказывают, что это крупнейший район россыпной алмазоносности, на отдельных территориях которого возможно выделить типоморфные особенности и типы первоисточников. Это позволяет использовать приведённые данные для целей регионального и локального прогноза их коренных источников.

Сравнение типоморфизма алмазов с привлечением данных детального исследования твёрдых включений и изотопного состава углерода позволило на северо-востоке Сибирской платформы оконтурить район Кютюнгинского грабена и прилегающих к нему с юго-запада территорий Далдыно-Толуопского междуречья (Кютюнгинская область), перспективный на открытие богатых кимберлитовых тел с алмазами кютюнгинского типа, сопровождаемыми пиропами алмазной ассоциации с высоким содержанием кноррингитового компонента. Важное значение имеет использование типоморфных особенностей алмазов для восстановления экзогенной истории алмазов на пути от коренных источников до мест современного нахождения в россыпях, для палеогеографических реконструкций распространения древних продуктивных отложений и выяснения направлений сноса. Проведённое на примере СП минералогическое районирование территорий россыпной

алмазности по типоморфным особенностям алмазов показывает возможности проведения локализации перспективных площадей и поиска коренных источников этого минерала, который является значительно более устойчивым в экзогенных условиях по сравнению с другими мантийными образованиями. Однако при проведении поисковых работ на этой территории шлихоминералогическим методом следует учитывать существенное влияние на ассоциации минералов размываемого и переотложенного материала из находящегося рядом Анабарского кристаллического массива.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В.П., Елисеев А.П., Надолинный В.А.* и др. Минералогия и некоторые вопросы генезиса алмазов V и VII разновидности (по классификации Ю.Л. Орлова) // Вестник Воронежского ун-та. Геология. – 2000. – № 5 (10). – С. 79–96.
2. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н.* Минералогия древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. – 1987. – № 1. – С. 90–96.
3. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н.* Основные литодинамические типы ореолов индикаторных минералов кимберлитов и обстановки их формирования // Геология рудных месторождений. – 1999. – Т. 41. – № 3. – С. 281–288.
4. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.* Полигенез алмазов в связи с проблемой коренных россыпей северо-востока Сибирской платформы // Доклады Академии наук. – 1998. – Т. 361. – № 3. – С. 366–369.
5. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Логинова А.Н.* Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // Записки Российского минералогического общества. – 2009. – Т. 138. – № 2. – С. 1–13.
6. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Тычков С.А.* Проблема алмазности Сибирской платформы // Вестник Воронежского госуниверситета. Геология. – 2002. – № 1. – С. 19–36.
7. *Василенко В.Б., Зинчук Н.Н., Кузнецова Л.Г.* Геодинамический контроль размещения кимберлитовых полей центральной и северной частей Якутской кимберлитовой провинции (петрохимический аспект) // Вестник Воронежского госуниверситета. Геология. – 2000. – № 3 (9). – С. 37–55.
8. *Василенко В.Б., Толстов А.В., Кузнецова Л.Г., Минин В.А.* Петрохимические критерии алмазности кимберлитовых месторождений Якутии // Геохимия. – 2010. – № 4. – С. 366–376.
9. *Зинчук Н.Н.* Сравнительная характеристика вещественного состава коры выветривания кимберлитовых пород Сибирской и Восточно-Европейской платформ // Геология и геофизика. – 1992. – № 7. – С. 99–109.
10. *Зинчук Н.Н., Борис Е.И., Яныгин Ю.Б.* Особенности минерогенеза алмаза в древних осадочных толщах (на примере верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы). – М.: МГТ, 2004. – 172 с.
11. *Зинчук Н.Н., Зуев В.М., Коптиль В.И., Чёрный С.Д.* Стратегия ведения и результаты алмазописковых работ // Горный вестник. – 1997. – № 3. – С. 53–57.
12. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Борис Е.И., Липашиова А.Н.* Типоморфизм алмазов из россыпей Сибирской платформы как основа поисков алмазных месторождений // Руды и металлы. – 1999. – № 3. – С. 18–30.
13. *Зинчук Н.Н., Мельник Ю.М., Серенко В.П.* Апокимберлитовые породы // Геология и геофизика. – 1987. – № 10. – С. 66–72.
14. *Зинчук Н.Н., Савко А.Д., Крайнов А.В.* Кимберлиты в истории Земли // Труды НИИ геологии ВГУ. Вып. 68. – Воронеж: ВГУ, 2013. – 99 с.
15. *Мальцев М.В., Толстов А.В., Фомин В.М., Старкова Т.С.* Новое кимберлитовое поле в Якутии и типоморфные особенности его минералов-индикаторов // Вестник Воронежского государственного университета. Геология. – 2016. – № 3. – С. 86–94.
16. *Орлов Ю.Л.* Минералогия алмаза. 2-е изд. – М.: Наука, 1984. – 264 с.
17. *Симоненко В.И., Толстов А.В., Васильева В.И.* Новый подход к геохимическим поискам кимберлитов на закрытых территориях // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 4–5. – С. 108–112.
18. *Хитров В.Г., Зинчук Н.Н., Котельников Д.Д.* Применение кластер-анализа для выяснения закономерностей выветривания пород различного состава // Доклады АН СССР. – 1987. – Т. 296. – № 5. – С. 1228–1233.
19. *Grachanov S.A., Zinchuk N.N., Sobolev N.V.* The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Siberian platform // Doklady Earth Sciences. – 2015. – Vol. 465. – № 2. – P. 1297–1301.
20. *Serov I.V., Garanin V.K., Zinchuk N.N., Rotman A.Ya.* Mantle Sources of the kimberlite Volcanism of the Siberian Platform // Petrology. – 2001. – Vol. 9. – № 6. – P. 576–588.

REFERENCES

1. *Afanas'yev V.P., Yeliseyev A.P., Nadolinnyy V.A. et. al.* Mineralogiya i nekotoryye voprosy genezisa almazov V i VII raznovidnosti (po klassifikatsii YU.L. Orlova) [Mineralogy and some questions of the genesis of diamonds of the V and VII varieties (according to the classification of Yu. L. Orlov)]. Vestnik Voronezhskogo un-ta. Geologiya. 2000, No.5 (10), P.79–96.
2. *Afanas'yev V.P., Zinchuk N.N.* Mineralogiya drevnikh rossypey almazov vostochnogo borta Tunguskskoy sineklizy [Mineralogy of ancient placers of diamonds on the eastern side of the Tunguska syncline]. Geologiya i geofizika. 1987, No.1, P.90–96.
3. *Afanas'yev V.P., Zinchuk N.N.* Osnovnyye litodinamicheskiye tipy oreolov indikatornykh mineralov kimberlitov i obstanovki ikh formirovaniya [The main lithodynamic types of halos of indicator kimberlite minerals and the conditions of their formation]. Geologiya rudnykh mestorozhdeniy. 1999, V.41, No.3, P.281–288.
4. *Afanas'yev V.P., Zinchuk N.N., Koptil' V.I.* Poligenez almazov v svyazi s problemoy korennykh rossypey severovostoka Sibirskoy platformy [Polygenesis of diamonds in connection with the problem of primary placers of the northeast of the Siberian platform]. Doklady Akademii nauk. 1998, V.361, No.3, P.366–369.
5. *Afanas'yev V.P., Zinchuk N.N., Loginova A.N.* Osobennosti raspredeleniya rossypnykh almazov, svyazannykh s dokembriyskimi istochnikami [Features of the distribution of placer diamonds associated with Precambrian sources]. Zapiski Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva. 2009, T.138, No.2, P.1–13.
6. *Afanas'yev V.P., Zinchuk N.N., Tychkov P.A.* Problema almazonosnosti Sibirskoy platformy [The problem of diamond content of the Siberian platform]. Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Geologiya. 2002, No.1, P.19–36.
7. *Vasilenko V.B., Zinchuk N.N., Kuznetsova L.G.* Geodinamicheskiy kontrol' razmeshcheniya kimberlitovykh poley tsentral'noy i severnoy chastey Yakutskoy kimberlitovoy provintsii (petrokhimicheskiy aspekt) [Geodynamic control of the placement of kimberlite fields in the central and northern parts of the Yakut kimberlite province (petrochemical aspect)]. Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Geologiya. 2000, No.3 (9), P.37–55.
8. *Vasilenko V.B., Tolstov A.V., Kuznetsova L.G., Minin V.A.* Petrokhimicheskiye kriterii almazonosnosti kimberlitovykh mestorozhdeniy Yakutii [Petrochemical criteria for the diamond content of kimberlite deposits in Yakutia]. Geokhimiya. 2010, No.4, P. 366–376.
9. *Zinchuk N.N.* Sravnitel'naya kharakteristika veshchestvennogo sostava kory vyvetrivaniya kimberlitovykh porod Sibirskoy i Vostochno-Yevropeyskoy platformy [Comparative characteristics of the material composition of the weathering crust of kimberlite rocks of the Siberian and East European platforms]. Geologiya i geofizika. 1992, No.7, P.99–109.
10. *Zinchuk N.N., Boris Ye. I., Yanygin Yu. B.* Osobennosti mineragenii almaza v drevnikh osadochnykh tolshchakh (na primere verkhnepaleozoyskikh otlozheniy Sibirskoy platformy) [Peculiarities of diamond mineralogeny in ancient sedimentary strata (on the example of the Upper Paleozoic sediments of the Siberian platform)]. Moscow, MGT publ. 2004, 172 P.
11. *Zinchuk N.N., Zuyev V.M., Koptil' V.I., Chornyy P.D.* Strategiya vedeniya i rezul'taty almazoposkovykh rabot [The strategy of conducting and results of diamond prospecting works]. Gornyy vestnik. 1997, No.3, P.53–57.
12. *Zinchuk N.N., Koptil' V.I., Boris Ye. I., Lipashova A.N.* Tipomorfizm almazov iz rossypey Sibirskoy platformy kak osnova poiskov almaznykh mestorozhdeniy [Typomorphism of diamonds from placers of the Siberian platform as the basis for the search for diamond deposits]. Rudy i metally. 1999, No.3, P.18–30.
13. *Zinchuk N.N., Mel'nik Yu. M., Serenko V.P.* Apokimberlitovyye porody [Apokimberlite rocks]. Geologiya i geofizika. 1987, No.10, P.66–72.
14. *Zinchuk N.N., Savko A.D., Kraynov A.V.* Kimberlity v istorii Zemli [Kimberlites in the history of the Earth]. Trudy NII geologii VGU. Issue 68. Voronezh, VGU publ. 2013, 99 P.
15. *Mal'tsev M.V., Tolstov A.V., Fomin V.M., Starkova T.P.* Novoye kimberlitovoye pole v Yakutii i tipomorfnyye osobennosti yego mineralov-indikatorov [A new kimberlite field in Yakutia and typomorphic features of its indicator minerals]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geologiya. 2016, No.3, P. 86–94.
16. *Orlov Yu. L.* Mineralogy of diamond [Mineralogy of diamond]. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Science publ. 1984, 264 p.
17. *Simonenko V.I., Tolstov A.V., Vasil'yeva V.I.* Novyy podkhod k geokhimicheskim poiskam kimberlitov na zakrytykh territoriyakh [A new approach to the geochemical prospecting of kimberlites in closed territories]. Razvedka i okhrana nedr. 2008, No.4–5, P. 108–112.
18. *Khitrov V.G., Zinchuk N.N., Kotel'nikov D.D.* Primeniye klasteranaliza dlya vyyasneniya zakonomernostey vyvetrivaniya porod razlichnogo sostava [The use of cluster analysis to elucidate the patterns of weathering of rocks of various compositions]. Doklady AN SSSR. 1987, V.296, No.5, P.1228–1233.
19. *Grachanov P.A., Zinchuk N.N., Sobolev N.V.* The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Siberian platform // Doklady Earth Science. 2015, V.465, No.2, P.1297–1301.
20. *Serov I.V., Garanin V.K., Zinchuk N.N., Rotman A.Ya.* Mantle Sources of the kimberlite Volcanism of the Siberian Platform // Petrology. 2001, V.9, No.6, P.576–588.

## Роль оледенений и морских трансгрессий в эволюции подземной гидросферы прибрежной арктической территории (на примере Юго-Восточного Беломорья)

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

Выполнена реконструкция геохимических процессов и климатических изменений в плейстоцен-голоцене по изменениям изотопно-химического состава подземных вод за последние 400 тыс. лет на восточном склоне Балтийского щита. Дана оценка степени участия талых ледниковых, морских и метеорных вод и рассолов в формировании подземных вод. Установлено, что в результате таяния ледниковых покровов 400–130 тыс. лет назад пресные воды проникли в осадочный чехол Мезенской синеклизы на глубину до 600 м. Трансгрессия моря 130–115 тыс. лет назад привела к засолению подземных вод в верхней части осадочного чехла. Последующее таяние ледника 13–12 тыс. лет назад и инфильтрация атмосферных осадков в последние 12 тыс. лет привели к формированию пресных вод до глубин 100–200 м.

*Ключевые слова:* подземные воды, стабильные изотопы, ледниковые талые воды, морская вода, смешение, датирование.

Малов Александр Иванович  
доктор геолого-минералогических наук



malovai@yandex.ru

## The role of glaciations and marine transgressions in the evolution of the underground hydrosphere of the coastal Arctic territory

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

Geochemical processes and climatic changes in the Pleistocene-Holocene were reconstructed from changes in the isotope-chemical composition of groundwater on the eastern slope of the Baltic Shield over the past 400,000 years. The contributions of melt glacier, sea and meteoric waters and brines in groundwater formation is estimated. It was established that fresh water penetrated the sedimentary cover of the Mezen syncline to a depth of 600 m as a result of the ice sheets melting 400–130 ka. The sea transgression (130–115 ka) led to groundwater salinization in the upper part of the sedimentary cover. The subsequent glacier melting (13–12 ka) and precipitate infiltration in the past 12 ka led to fresh water formation to depths of 100–200 m.

*Key words:* groundwater, stable isotopes, glacial meltwater, seawater, mixing, dating.

Крупномасштабные климатические и географические изменения на Земле происходили регулярно. Часто они имели катастрофические последствия для земных обитателей. В настоящее время перспектива возможного глобального потепления также вызывает беспокойство. Поэтому климатические и географические палеореконструкции активно разрабатываются исследователями различных научных направлений. Гидрогеологи также не остаются в стороне. Их особенно интересуют крупномасштабные изменения в плейстоцене и голоцене на прибрежных

арктических и субарктических территориях. Здесь наиболее активно проявился эффект многократного чередования континентальных оледенений и морских трансгрессий с амплитудой колебаний уровня воды в море до 130 метров, что привело к большому разнообразию химического состава подземных вод и пространственному распределению данных изменений. Это следует учитывать в отношении политики управления и регулирования водными ресурсами. Например, оценки глубины проникновения талой воды ледника очень важны для окончательного проек-

тирования хранилищ радиоактивных отходов и их безопасности после закрытия. Не менее важна оценка возможности стабильного снабжения качественной питьевой водой крупных городов. С экологической точки зрения представляет интерес количественный прогноз опасности сброса солёных дренажных вод и рассолов из эксплуатируемых месторождений полезных ископаемых в поверхностные водотоки.

Использование стабильных изотопов обеспечивает существенную поддержку в палеогидрогеологических реконструкциях. Стабильные изотопы интенсивно изучались в осадочном Балтийском артезианском бассейне (БАБ), расположенном к югу от Балтийского щита (БЩ). Особенно пристальный интерес проявлялся к оценке степени участия талых ледниковых вод в процессах формирования изотопно-химического состава подземных вод и рассолов во время повторяющихся четвертичных оледенений [8, 14, 16, 19, 22]. Тремя компонентами смешения были талые воды ледников, метеорные воды и рассолы. Показано, что доля ледниковых вод в составе подземных достигала 38%, а доля рассолов – 98%. По результатам С-14 и Кг-81 датирования, предполагается, что процессы смешения рассолов с талыми водами ледников фиксируются в диапазоне от 12 тыс. до 1,3 и более млн. лет [8, 16].

В осадочном Северо-Двинском артезианском бассейне, расположенном восточнее БЩ, в Мезенской синеклизе, стабильные изотопы наименее исследованы. В 2006 г. И.В.Токаревым были отобраны 17 проб воды на Бобровском участке месторождения йодных вод и на прилегающих площадях с целью реконструкции условий формирования этого месторождения. В результате было подтверждено, что йодные воды происходят от внутреннего моря микулинского межледниковья, однако их изотопный состав, по-видимому, изменялся в период оледенения и последующего разбавления региональным потоком пресных вод [3]. Вместе с тем гидрогеологические условия и эволюция химического состава подземных вод на качественной основе изучены достаточно детально [4, 5]. Поэтому целью данного исследования были количественная оценка степени участия талых ледниковых, метеорных и морских вод и рассолов в процессах формирования состава подземных вод по изотопно-геохимическим данным и использование стабильных изотопов для уточнения ранее выполненного датирования различных типов подземных вод [10].

**Материал и методы.** Пробы подземных вод были отобраны в районе юго-восточного побережья Белого моря, на водосборной площади р. Северная Двина

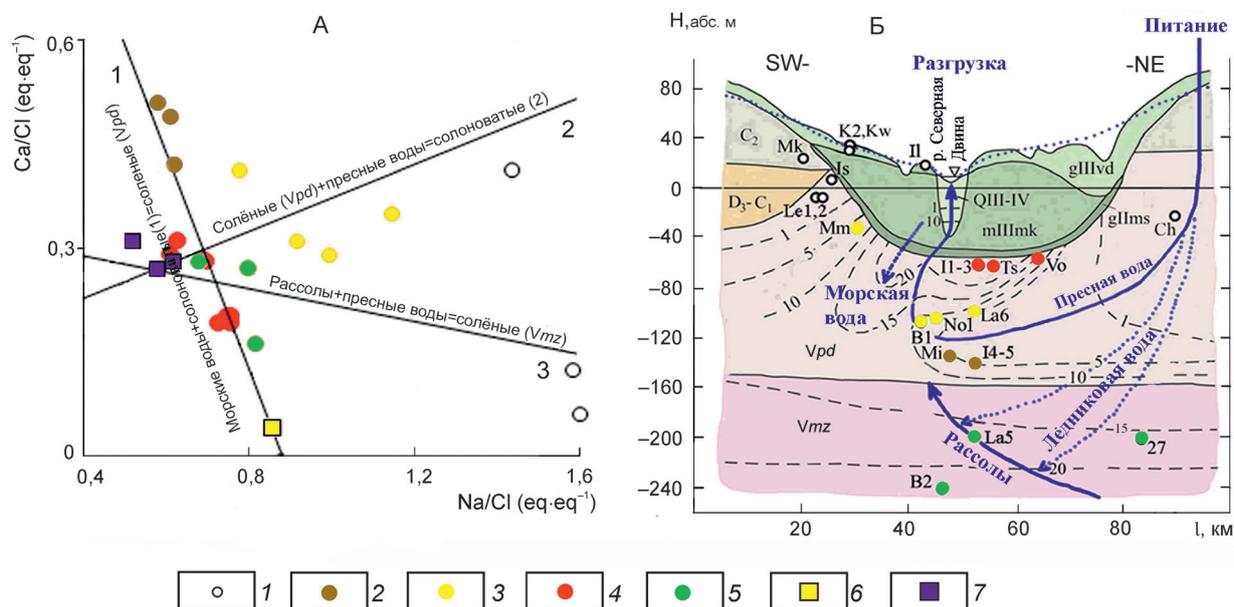


Рис. 1. Схемы смешения подземных вод:

А – смешение: I – морской воды с «солёноватыми1» водами с образованием «солёных Vpd», II – «солёных Vpd» с пресными водами с образованием «солёноватых2», III – смешение рассолов с талыми ледниковыми водами с образованием «солёных Vmz»; Б – концептуальная модель смешения основных потоков подземных вод и рассолов; воды: 1 – пресные, 2 – солёноватые (1), 3 – солёноватые (2), 4 – солёные (Vpd), 5 – солёные (Vmz), 6 – морские; 7 – рассолы

1. Главные компоненты химического и изотопного составов и возраст подземных вод

Проба	Год опробования	СГ (мг/л)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$	$^{14}\text{C}^a$ (pmc)	$\delta^{13}\text{C}^a$ (‰)	$^{14}\text{C}^a$ возраст (calBP, тыс. лет)	$^{234}\text{U}$ - $^{238}\text{U}^a$ возраст (тыс. лет)
Пресные воды в трубках взрыва (М 320–596 мг/л)								
Ае	2013	19,2	-13,0	-95	Н.о.	Н.о.	Н.о.	6,5±1,0
Ас	2013	117	-13,0	-94	Н.о.	Н.о.	Н.о.	5,5±0,8
Пресные воды в отложениях падунской свиты венда (М 23–939 мг/л)								
Br	2013	19,3	-14,4	-105	Н.о.	Н.о.	Н.о.	2,5±0,4
28	2013	5,44	-13,8	-101	Н.о.	Н.о.	Н.о.	2,2±0,3
Le	2014	2,26	-13,8	-101	51,67±0,63	-11,5	Современные	0,27±0,04
28	2014	3,25	-14,1	-102	58,40±0,89	-11,0	Современные	2,4±0,4
26	2013	28,5	-13,7	-98	Н.о.	Н.о.	Н.о.	2,9±0,4
26	2013	34,4	-13,2	-97	Н.о.	Н.о.	Н.о.	2,7±0,4
36	2013	27,5	-13,8	-99	Н.о.	Н.о.	Н.о.	3,4±0,2
36	2014	19,1	-13,3	-97	25,01±0,47	-11,7	5,84±0,36	4,5±0,7
10	2013	51,7	-14,3	-103	Н.о.	Н.о.	Н.о.	11,7±1,6
22	2014	41,6	-13,6	-98	24,86±0,43	-10,1	4,65±0,39	2,4±0,4
10	2013	48,3	-13,8	-101	Н.о.	Н.о.	Н.о.	9,1±1,2
22	2013	72,7	-13,6	-98	Н.о.	Н.о.	Н.о.	3,4±0,5
Is	2013	106	-13,5	-99	Н.о.	Н.о.	Н.о.	NC
4	2013	129	-14,1	-102	Н.о.	Н.о.	Н.о.	10,2±1,4
21	2013	172	-14,0	-101	Н.о.	Н.о.	Н.о.	5,7±0,8
4	2013	150	-13,4	-98	Н.о.	Н.о.	Н.о.	11,8±1,6
21	2014	174	-13,5	-98	Н.о.	Н.о.	Н.о.	5,2±0,8
6	2014	190	-13,7	-100	25,3±0,64	-9,6	4,02±0,28	5,7±0,9
Lo	2014	201	-13,9	-100	37,03±0,67	-11,2	1,39±0,3	5,2±0,8
16	2013	272	-13,8	-101	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,56±0,1
Слабосоленоватые воды в четвертичных отложениях (М 3239–3930 мг/л)								
Kw	2012	935	-13,4	-96	24,03±0,23	-17,4	7,53±0,18	Н.о.
K2	2012	1331	-14,0	-102	14,68±0,24	-19,8	16,2±0,26	Н.о.
Слабосоленоватые воды, опробованные на Приполярном Урале (Malovetal., 2015) (М 1836–2057 мг/л)								
tI-1	2011	960	-15,4	-114	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
tI-2	2011	967	-15,5	-114	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
tI-3	2011	980	-15,3	-113	19,29±0,37	-10,7	7,33±0,31	Н.о.
tII-1	2011	956	-15,3	-113	18,97±0,9	-9,8	6,78±0,78	Н.о.
tII-2	2011	969	-15,5	-114	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
tII-3	2011	897	-15,5	-114	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
tII-4	2011	881	-15,8	-115	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
tIII-1	2011	874	-15,8	-114	16±1,52	-9,6	8,03±1,71	Н.о.

Проба	Год опробования	СГ (мг/л)	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$\delta^2\text{H}$	$^{14}\text{C}^a(\text{pmc})$	$\delta^{13}\text{C}^a(\text{‰})$	$^{14}\text{C}^a$ возраст (calBP, тыс. лет)	$^{234}\text{U}\text{-}^{238}\text{U}^a$ возраст (тыс. лет)
Слабосоленоватые воды в отложениях падунской свиты венда («солончатые1») (M 4968–6011 мг/л)								
I5	2006	2294	-14,2	-110	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
I4	2006	2486	-14,9	-114	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Mi	2014	2607	-13,6	-101	1,7±0,26	-14,6	32,96±2,3	26,2±3,9
Mi	2016	2594	-13,8	-102	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Солончатые воды в отложениях падунской свиты венда («солончатые2») (M 2523–10088 мг/л)								
14h	2012	1009	-12,5	-92	Н.о.	Н.о.	Н.о.	3,5±0,7
Mm	2013	2234	-12,9	-96	Н.о.	Н.о.	Н.о.	39,2±6,3
B1	2012	3034	-11,9	-89	5,78±0,24	-16,6	27,28±0,63	25,1±0,7 <sup>b</sup>
B1	2016	3047	-11,9	-89	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
La6	2012	3524	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
No1	2014	4057	-12,6	-97	0	Н.о.	Н.о.	Н.о.
No1	2016	3989	-13,2	-102	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Сильно солончатые и солёные воды в отложениях падунской свиты венда («солёные Vpd») (M 12725–27552 мг/л)								
Vo <sub>2013</sub>	2013	7327	-9,3	-72	Н.о.	Н.о.	Н.о.	130 <sup>e</sup>
Vo <sub>2006</sub>	2006	19170	-10,1	-69	Н.о.	Н.о.	Н.о.	130 <sup>e</sup>
I3	2006	21012	-7,1	-59	Н.о.	Н.о.	Н.о.	130 <sup>e</sup>
I3	2006	21080	-7,9	-64	Н.о.	Н.о.	Н.о.	130 <sup>e</sup>
I2	2006	21288	-9,4	-66	Н.о.	Н.о.	Н.о.	130 <sup>e</sup>
I1	2006	26781	-5,7	-48	Н.о.	Н.о.	Н.о.	130 <sup>e</sup>
I1	2006	27136	-5,7	-44	Н.о.	Н.о.	Н.о.	130 <sup>e</sup>
I1	2006	27180	-5,2	-38	Н.о.	Н.о.	Н.о.	130 <sup>e</sup>
Ts	2006	27552	-8,7	-65	Н.о.	Н.о.	Н.о.	130 <sup>e</sup>
Сильно солончатые и солёные воды в отложениях мезенской свиты венда («солёные Vmz») (M 15640–27482 мг/л)								
8mz	2014	7857	Н.о.	Н.о.	0	Н.о.	Н.о.	307±115 <sup>d</sup>
27	2013	8497	-13,4	-102	Н.о.	Н.о.	Н.о.	74±74 <sup>d</sup>
La5	2013	8551	-12,3	-96	Н.о.	Н.о.	Н.о.	65±65 <sup>d</sup>
B2	2014	15147	-11,3	-89	0	Н.о.	Н.о.	Н.о.
B2	2016	15016	-11,7	-90,4	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Рассолы усть-пинежской свиты венда (M 50117–168345 мг/л)								
Se	1984	31230	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
No2	1983	45020	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
B3	1983	42710	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Nen	1947	68480	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
UP	1955	93800	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Lom	1984	102300	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.

Проба	Год опробования	СГ (мг/л)	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$\delta^2\text{H}$	$^{14}\text{C}^a$ (рмс)	$\delta^{13}\text{C}^a$ (‰)	$^{14}\text{C}^a$ возраст (calBP, тыс. лет)	$^{234}\text{U}\text{-}^{238}\text{U}^a$ возраст (тыс. лет)
Подземные воды и рассолы из водоносной системы кембрия–венда БАБ (Gerber et al., 2017) (M 5127–143 765 мг/л)								
1ВAB	2012	11109	–12,63	–92,8	5,1±0,5	Н.о.	Н.о.	541±28 <sup>с</sup>
2ВAB	2012	3087	–13,61	–100,7	2,8±0,1	Н.о.	Н.о.	407±27 <sup>с</sup>
3ВAB	2012	64632	–4,79	–42,7	Н.о.	Н.о.	Н.о.	821±89 <sup>с</sup>
4ВAB	2012	63996	–4,44	–40,6	11,8±0,4	Н.о.	Н.о.	>1227 <sup>с</sup>
5ВAB	2012	25531	–7,23	–55,2	Н.о.	Н.о.	Н.о.	293±21 <sup>с</sup>
6ВAB	2012	89664	–5,03	–37,2	Н.о.	Н.о.	Н.о.	>1174 <sup>с</sup>
7ВAB	2012	53907	–4,46	–34,7	Н.о.	Н.о.	Н.о.	1067±195 <sup>с</sup>

*Примечание.* Н.о. – не определялось; М – общая минерализация подземных вод и рассолов; а – по [10]; б – скорректированное значение возраста метеорных вод, с исключением примеси морских вод; с – возраст седиментационных вод микулинского моря; d – скорректированное значение возраста подземных вод, с исключением примеси рассолов; е –  $^{81}\text{Kr}$  возраст метеорной составляющей, по [8].

(рис. 1, Б) и Белого моря (табл. 1). Основные коллекторы подземных вод представлены четвертичными (Q), каменноугольными (С) и вендскими (падунская (*Vpd*) и мезенская (*Vmz*) свиты) отложениями. Для венда характерно хаотичное переслаивание песчаников и алевролитов, для карбона – последовательное чередование терригенно-карбонатных пород каширского и карбонатных – подольского и мячковского горизонтов.

Для водоносного комплекса *Vpd* в центральной части водосбора характерна обратная гидрохимическая зональность со снижением минерализации подземных вод с 28 до 5 г/л. Эта закономерность в первую очередь вызвана опреснением подземных вод ввиду длительного существования континентальных условий в плейстоцене. Опреснение прекратилось после микулинской трансгрессии ~130 тыс. лет назад. Впоследствии в водоносный комплекс *Vpd* стала поступать сверху солёная поровая вода, отжимаемая под нагрузкой валдайского ледника из морских глин. В процессе формирования долины р. Северная Двина вследствие эрозионной активности воды, вытекающей из тающего ледника, долина прорезала толщу микулинских глин почти до основания. Солёная вода из *Vpd* начала перетекать в долину реки и была частично замещена пресной водой из областей питания (см. рис. 1, Б). Одновременно происходил подток рассолов из более глубоких частей вендского осадочного чехла. Поэтому химический состав подземных вод можно объяснить смешением солёной морской воды и рассолов с талыми водами древних лед-

ников и современной пресной водой атмосферного происхождения (см. рис. 1, А).

Постледниковые морские трансгрессии оказали значительное влияние только на засоление подземных вод в песчано-глинистых отложениях мощного долинного комплекса р. Северная Двина (см. рис 1, Б, QIII–IV) и в данной статье не рассматриваются.

Тридцать пять проб подземных вод было отобрано в 2012–2014 гг. Также были использованы результаты определений по восьми пробам термальных вод, собранным в 2011 г. на Приполярном Урале [11], и десяти пробам И.В.Токарева 2006 г. [3]. Одна проба слабосоленоватых вод в четвертичных отложениях была взята из холодного источника. Остальные пробы, представляющие собой подземные воды из Q, *Vpd*, *Vmz* водоносных горизонтов и «трубок взрыва», отобраны из скважин. Все образцы воды отфильтрованы через 0,45 мкм фильтр в полевых условиях. Измерения  $\delta^2\text{H}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  проводились И.В.Токаревым в Ресурсном центре геоэкологических исследований и моделирования Санкт-Петербургского государственного университета. Четыре пробы, собранные в 2016 г., были проанализированы в МАГАТЭ. Для сравнительных интерпретаций использовались результаты по семи пробам из работы [8].

**Результаты и обсуждение. Смешение подземных вод.** На основе анализа общих гидрогеологических условий и соотношений ионов (см. таблицу в работе [5]) установлено, что происходят следующие основные процессы смешения подземных вод (см. рис. 1, А):

1) смешение плейстоценовой морской воды и подземных вод «солончатые1» с образованием «солёнаяVpd» вода в верхней части вендских водоносных горизонтов;

2) смешение пресной воды и вышеупомянутой воды «солёнаяVpd» с образованием «солончатая2» воды;

3) смешение пресной воды и рассолов с образованием воды «солёнаяVtz» в нижней части вендских водоносных горизонтов.

Формулы смешения различных типов воды выглядят следующим образом:

$$Cl_{\text{ледниковая}} \cdot x + Cl_{\text{метеорная}} \cdot y + Cl_{\text{рассол (море)}} = Cl_{\text{смесь}} (1-x-y)$$

$$^{18}O_{\text{ледниковая}} \cdot x + ^{18}O_{\text{метеорная}} \cdot y + ^{18}O_{\text{рассол (море)}} (1-x-y) = ^{18}O_{\text{смесь}}$$

где  $Cl_{\text{смесь}}$  (мг/л) и  $^{18}O_{\text{смесь}}$  (‰) – содержания хлора и значения  $\delta^{18}O$ , принятые по табл. 1 для проб воды, указанных в табл. 2. Конечные элементы смешения показаны на рис. 2.

Конечный член рассола представляет собой  $Cl^-$  – 90 000 мг/л и  $\delta^{18}O$  – 0‰ (см. UP, P, Lom, 6 БАБ в табл. 1). Формирование рассолов происходило в палеозое [1, 2, 6]. Конечный член морской воды составляет  $Cl^-$  – 19 354 мг/л<sup>-1</sup> [18] и  $\delta^{18}O$  – 0‰ (SMOW). Возраст источника конечного члена ледниковой талой воды предположительно средний плейстоценоголоценовый [8, 10]. В настоящее время значения  $\delta^{18}O$  в снежном покрове Антарктиды составляют на побережье от –18 до –30‰, в центральных частях континента до –55‰ [12, 21]. Значения  $\delta^{18}O$  плейстоценовых континентальных ледниковых щитов были оценены в –30‰ и менее [7]. Для ледниковых талых вод Лаврентийского покрова в Северной Америке и Скандинавского щита в Северной Европе значения  $\delta^{18}O$  были определены в диапазоне от –17 до –25‰ [15, 17] и от –19 до –25‰ [13], соответственно. Подземные воды в системе водоносных комплексов кембрия–венда, сформировавшиеся

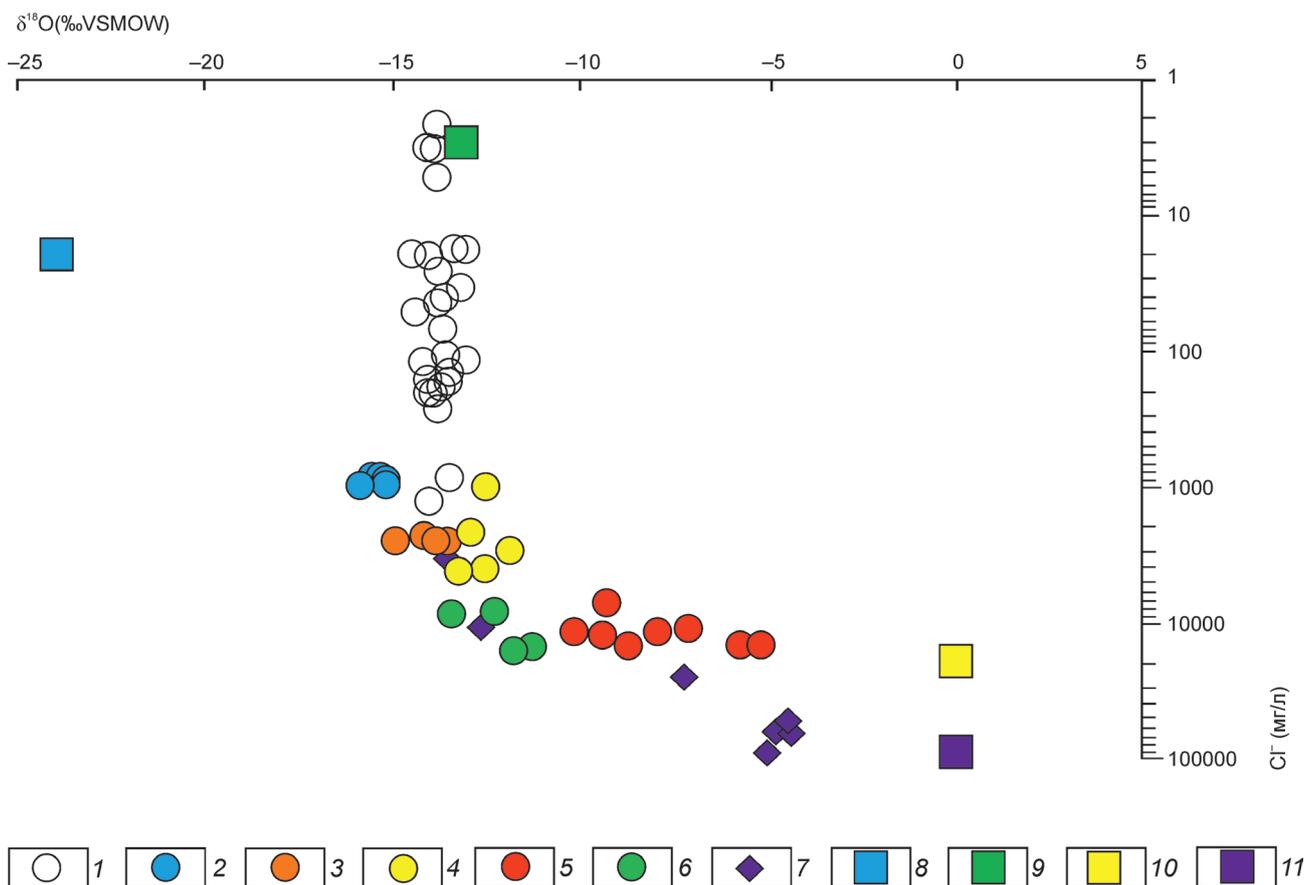


Рис. 2. Связь между  $Cl^-$  и  $\delta^{18}O$ , позволяющая идентифицировать концевые элементы на основе модели смешения:

типы вод: 1 – пресные, 2 – термальные, 3 – солончатые (1), 4 – солончатые (2), 5 – солёные(Vpd), 6 – солёные (Vtz), 7 – из (Gerber et al., 2017); конечные элементы смешения: 8–10 – воды: 8 – талые ледниковые, 9 – метеорные (межледниковые), 10 – морские; 11 – рассолы

**2. Пропорции смешения метеорных, ледниковых, морских вод и рассолов в подземных водах, вычисленные по модели смешения**

ID Проб	tIII-1	I5	I4	Mi	2 БАБ	27	La5	B2	1 БАБ	B1	No1	Mm
Тип воды	Термальная	«Солоноватая1»				«Солёная Vmz»				«Солоноватая2»		
Метеорная	74	84	78	89	71	77	87	80	63	76	53	78
Ледниковая	25	13	19	8	25	13	3	3	25	8	26	11
Рассол	1	3	3	3	3	10	10	17	12	16	21	11

ID Проб	Ts	I1	I3	Vo <sub>2006</sub>	Vo <sub>2013</sub>	Kw	K2	10d	4d	16h
Тип воды	«Солёная Vpd»					Слабосоленоватая вода Q		Пресная вода Vpd		
Метеорная	0	0	22	0	16	87	78	84	98	91
Ледниковая	51	24	19	46	46	8	15	16	1	7
Морская	49	76	59	54	38	5	7	0	1	2

*Примечание.* Пробы 1–2 БАБ представляют результаты, полученные на южном склоне Балтийского щита в подземных водах Балтийского артезианского бассейна [8].

за счёт пополнения изотопно-лёгкой подледной тающей водой из Скандинавского ледникового щита, характеризуются значениями  $\delta^{18}\text{O}$  от  $-18,5$  до  $-23\text{‰}$  [16, 20]. Учитывая все обстоятельства, выбранный конечной элемент ледниковой воды характеризуется средними значениями  $\delta^{18}\text{O}$   $-24\text{‰}$ , а  $\text{Cl}^-$  – 20 мг/л [16]. Четвёртый компонент (пресная вода) мог участвовать в формировании состава подземных вод также в среднем плейстоцене–голоцене.  $\delta^{18}\text{O}$  четвертого компонента составляет  $-13,2\text{‰}$ , что принимается в соответствии со средневзвешенным значением для станции GNIP (Глобальная сеть изотопов в осадках) Архангельск [9], а  $\text{Cl}^-$  – 3 мг/л.

Пропорции смешения четырёх конечных элементов, рассчитанные по  $\text{Cl}^-$  и  $\delta^{18}\text{O}$  для каждого типа подземных вод, приведены в табл. 2.

Пресные воды в водоносных горизонтах *Vpd* и в трубках взрыва образовались в результате инфильтрации атмосферных осадков в областях питания (см. рис. 1, Б). В составе старейших пресных вод присутствует таяя вода последнего ледникового периода. Около речных долин они увеличивали солёность, смешиваясь с реликтовыми водами микулинской трансгрессии. Пропорции смешения (см. табл. 2) составляют (в %): морской воды до 2, ледниковой воды до 16 и пресной межледниковой воды – 84–98.  $^{14}\text{C}$  и  $^{234}\text{U}$ – $^{238}\text{U}$  возраст этой воды колеблется от современного до  $11,8 \pm 1,6$  тыс. лет (голоцен).

Слабосоленоватая вода в четвертичном водоносном горизонте (Q) образуется аналогичным образом.

Эти воды заключены в слое песчано-гравийных отложений последнего ледникового периода, лежащем на глинистых отложениях микулинского моря и перекрытом моренными валунными суглинками. Они представляют собой смесь (в %): морской воды – 5–7, ледниковой воды – 8–15 и пресной межледниковой воды – 78–87.  $^{14}\text{C}$  возраст этой воды колеблется от  $7,53 \pm 0,18$  до  $16,2 \pm 0,26$  тыс. лет (голоцен–поздний плейстоцен).

Источником слабосоленоватых термальных вод, отобранных на Приполярном Урале, были метеорные пресные воды, протекавшие через глубокие части системы водоносных горизонтов, где они смешивались с рассолами и впоследствии разгружались на земную поверхность. Пропорции смешения (см. табл. 2) соответствуют полученным по гидрохимическим данным: рассол 1% и пресная вода 99% [11]. Кроме того, по изотопным данным установлено, что пресная вода образуется путём смешения 74% метеорной воды и 25% ледниковой воды, связанной с таянием вечной мерзлоты.  $^{14}\text{C}$  возраст термальной воды колеблется от  $5,44 \pm 0,48$  до  $6,97 \pm 0,9$  тыс. лет.

Максимальная доля ледниковой воды характерна для «солёной *Vpd*» – 19–51%. В этом типе вод метеорная составляющая отсутствует в большинстве проб. Доля морской воды составляет 49–76% (скважина  $\text{Vo}_{2013}$  фонтанирует с 2006 г., с этим связано опреснение её воды). Кроме того, следует отметить, что если «солёная *Vpd*» представляет собой смесь морской воды микулинского моря и «солончатой1», то отсутствие метеорного компонента в ней указывает на то, что

этот компонент также отсутствовал и в «солонатовой», а ледниковый компонент в последней составлял 97%. В то же время, согласно табл. 2, «солонатовая» содержит (в %): рассолов – 3, ледниковых – 8–19 и межледниковых вод – 78–89. Это свидетельствует о том, что «солёная Vpd» смешивалась с более древней «ледниковой солонатовой», аналогичной по составу современной «метеорной солонатовой». Возраст этой более древней воды должен быть больше возраста воды микулинского моря, то есть относиться к среднему плейстоцену. В пробе 1 БАБ, аналогичной по изотопно-химическому составу, Gerber с соавторами [8] определили его по  $^{81}\text{Kr}$  в  $07 \pm 27$  тыс. лет. Возраст же пресноводного компонента в современной «метеорной солонатовой» воде определён по  $^{14}\text{C}$  и  $^{234}\text{U}$ – $^{238}\text{U}$  и составил от  $26,2 \pm 3,9$  до  $32,96 \pm 2,3$  тыс. лет [10].

Вода «солёная Vmz» образуется путём разбавления пресной водой рассолов, вытекающих из нижележащих водоносных горизонтов (см. рис. 1, Б). Её состав формируется путём смешивания 10–17% рассола, 3–13% ледниковой воды и 77–87% межледниковой воды. И похож на состав воды из скважины 1ВAB [8] по солёности и изотопному составу.  $^{234}\text{U}$ – $^{238}\text{U}$  возраст пресноводного компонента «солёной Vmz» воды может составлять до  $307 \pm 115$  тыс. лет [10] (см. табл. 1), что сопоставимо с датированием ледниково-метеорного компонента воды в скважине 1ВAB –  $541 \pm 28$  тыс. лет [8]. Таким образом, разубоживание рассолов с формированием состава «солёной Vmz» воды в опробованной автором в интервале от –160 до –240 абс. метров верхней части мезенской свиты венда происходило начиная со среднего плейстоцена. Более того, в работе [4] установлено, что солонатовые и солёные воды с общей минерализацией менее 35 г/л прослеживаются до глубины –600 абс. метров в западной части Мезенской синеклизы. Вышеприведённые датировки позволяют связывать образование столь мощной зоны опреснения осадочной толщи в первую очередь с проникновением ледниковых талых вод среднего плейстоцена.

Вода «солонатовая2» представляет собой смесь «солёной Vpd» и пресной воды. Поэтому она содержит воды (в %): морской – 11–21, ледниковой – 8–26 и межледниковой – 53–78. Возраст формирования наблюдаемого современного состава этих вод составляет от  $25,1 \pm 0,7$  до  $39,2 \pm 6,3$  тыс. лет.

В заключение следует ещё раз отметить, что полученные результаты отражают эволюцию подземных вод в период от среднего плейстоцена до наших дней. В течение среднего плейстоцена из-за таяния ледниковых покровов ледниковые талые воды проникли на глубину до 600 м в западной части Мезенской синеклизы. В это время рассолы разбавлялись прес-

ной водой в нижней части вендской толщи, а талая ледниковая вода доминировала в верхней части. Трансгрессия микулинского моря произошла в начале верхнего плейстоцена. Подземные воды в верхней части вендских отложений под толщей микулинских глин в настоящее время содержат солёную воду с максимальным обогащением тяжёлыми изотопами. Талая вода последнего ледникового периода видна в пресной и слегка солонатовой воде водоносных горизонтов венда и четвертичного периода.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 20–05–00045\_А, 18–05–60151\_Арктика и 18–0501041\_А), УрО РАН (проект АААА-А18–118012390242–5) и Министерства образования и науки России (проект АААА-А19–119011890018–3).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гатальский М.А. Подземные воды и газы палеозоя северной половины Русской платформы. – Л.: Гостоптехиздат, 1954.
2. Коротков А.И. Гидрогеохимический анализ при региональных геологических и гидрогеологических исследованиях. – Л.: Недра, 1983.
3. Коротков А.И., Потанов А.А., Румынин В.Г. Редкие типы минеральных вод Среднерусского артезианского бассейна. – СПб.: Наука, 2013.
4. Малов А.И. Взаимодействие вода–порода в песчано-глинистых отложениях венда Мезенской синеклизы // Литология и полезные ископаемые. – 2004. – № 4. – С. 401–413.
5. Малов А.И. Геохимические индикаторы формирования подземных вод Юго-Восточного Беломорья // Отечественная геология. – 2019. – № 4. – С. 75–83.
6. Малов А.И. Формирование рассолов в Мезенской синеклизе // Водные ресурсы. – 2001. – № 6. – С. 677–683.
7. Dansgaard W., Tauber H. Glacier oxygen-18 content and Pleistocene ocean temperatures // Science. – 1969. – Vol. 166. – P. 499–502.
8. Gerber C., Vaikmäe R., Aeschbach W. et al. Using  $^{81}\text{Kr}$  and noble gases to characterize and date groundwater and brines in the Baltic Artesian Basin on the one-million-year timescale // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2017. – Vol. 205. – P. 187–210.
9. IAEA/WMO. Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. 2019. Accessible at: <https://nucleus.iaea.org/wiser>
10. Malov A.I. Estimation of uranium migration parameters in sandstone aquifers // Journal of Environmental Radioactivity. – 2016. – Vol. 153. – P. 61–67.
11. Malov A. I., Bolotov I.N., Pokrovsky O.S. et al. Modeling past and present activity of a subarctic hydrothermal system using O, H, C, U and Th isotopes // Applied Geochemistry. – 2015. – Vol. 63. – P. 93–104.

12. *Masson-Delmotte V. et al.* A review of Antarctic surface snow isotopic composition: Observations, atmospheric circulation, and isotopic modeling // *Journal of Climate*. – 2008. – Vol. 21. – P. 3359–3387.
13. *Olausson E.* 1982. Stable isotopes / The Pleistocene / Holocene Boundary in South-western Sweden. – Uppsala: Sveriges geologiska undersökning 794E.– 1982.– P. 82–92.
14. *Pärn J., Raidla V., Rein V., Martma T. et al.* The recharge of glacial meltwater and its influence on the geochemical evolution of groundwater in the Ordovician-Cambrian aquifer system, northern part of the Baltic Artesian Basin // *Applied Geochemistry*. – 2016. – Vol.72. – P. 125–135.
15. *Person M., McIntosh J.C., Remenda V., Bense V.* Pleistocene hydrology of North America: the role of ice sheets in reorganizing groundwater systems // *Reviews of Geophysics*. – 2007. – Vol. 45. – No. 3007. – P. 1–28.
16. *Raidla V., Kirsimäe K., Vaikmäe R., et al.* Geochemical evolution of groundwater in the Cambrian–Vendian aquifer system of the Baltic Basin // *Chemical Geology*. – 2009. – Vol. 258. – P. 219–231.
17. *Remenda V.H., Cherry J.A., Edwards T.W.D.* Isotopic composition of old ground water from Lake Agassiz: implications for late Pleistocene climate // *Science*. – 1994. – Vol. 266. – P. 1975–1978.
18. *Riley J.P., Skirrow G.* *Chemical Oceanography*. – London: Academic Press, 1965.
19. *Saks T., Sennikovs J., Timuhins A. et al.* Groundwater flow beneath the Scandinavian ice sheet in the Baltic Basin / High lights of Groundwater Research in the Baltic Artesian Basin. – Riga, 2012. – P. 75–90.
20. *Vaikmäe R., Kaup E., Marand A. et al.* The Cambrian Vendian aquifer, Estonia / *The Natural Baseline Quality of Groundwater*. – Blackwell Publishing, 2008. – P. 353–371.
21. *Werner M., Jouzel J., Masson-Delmotte V. et al.* Reconciling glacial Antarctic water stable isotopes with ice sheet topography and the isotopic paleothermometer // *Nature Communication*. – 2010. – Vol. 9. – No. 3537. – P. 1–10.
22. *Zuzevicius A.* The groundwater dynamics in the southern part of the Baltic Artesian Basin during the Late Pleistocene // *Baltica*. – 2010. – Vol. 23. – P. 1–12.

## REFERENCES

1. *Gatal'skiy M.A.* Podzemnyye vody i gazy paleozoya severnoy poloviny Russkoy platformy [Underground waters and Paleozoic gases of the northern half of the Russian platform]. Leningrad, Gostoptekhizdat publ. 1954.
2. *Korotkov A.I.* Gidrogeokhimicheskiy analiz pri regional'nykh geologicheskikh i gidrogeologicheskikh issledovaniyakh [Hydrogeochemical analysis in regional geological and hydrogeological studies]. Leningrad, Nedra publ. 1983.
3. *Korotkov A.I., Potapov A.A., Rumynin V.G.* Redkiye tipy mineral'nykh vod Srednerusskogo artezianskogo basseyna [Rare types of mineral waters of the Central Russian artesian basin]. Saint Petersburg, Nauka publ. 2013.
4. *Malov A.I.* Vzaimodeystviye voda-poroda v peschanoglinistykh otlozheniyakh venda Mezenskoy sineklizy [Water-rock interaction in sandy-clay deposits of the Vendian of the Mezen syncline]. *Litologiya i poleznyye iskopyemye*. 2004. no. 4. P. 401–413.
5. *Malov A.I.* Geokhimicheskiye indikatory formirovaniya podzemnykh vod Yugo-Vostochnogo Belomor'ya [Geochemical indicators of the formation of groundwater in the South-East White Sea]. *Otechestvennaya geologiya*. 2019. no. 4. P. 75–83.
6. *Malov A.I.* Formirovaniye rassolov v Mezenskoy sineklize [The formation of brines in the Mezen syncline]. *Vodnyye resursy*. 2001. no. 6, P. 677–683.
7. *Dansgaard W., Tauber H.* Glacier oxygen-18 content and Pleistocene ocean temperatures. *Science*. 1969. Vol. 166. P. 499–502.
8. *Gerber C., Vaikmäe R., Aeschbach W., et al.* Using <sup>81</sup>Kr and noble gases to characterize and date groundwater and brines in the Baltic Artesian Basin on the one-million-year timescale. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2017. Vol. 205. P. 187–210.
9. *IAEA/WMO.* Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. 2019. Accessible at: <https://nucleus.iaea.org/wiser>
10. *Malov A.I.* Estimation of uranium migration parameters in sandstone aquifers. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2016. Vol. 153. P. 61–67.
11. *Malov A.I., Bolotov I.N., Pokrovsky O.S., et al.* Modeling past and present activity of a subarctic hydrothermal system using O, H, C, U and Th isotopes. *Applied Geochemistry*. 2015. Vol. 63. P. 93–104.
12. *Masson-Delmotte V. et al.* A review of Antarctic surface snow isotopic composition: Observations, atmospheric circulation, and isotopic modeling. *Journal of Climate*. 2008. Vol. 21. P. 3359–3387.
13. *Olausson E.* 1982. Stable isotopes. The Pleistocene Holocene Boundary in South-western Sweden. Uppsala: Sveriges geologiska undersökning 794E, 1982. P. 82–92.
14. *Pärn J., Raidla V., Rein V., Martma T., Ivask J., Mokrik R., Erg K.* The recharge of glacial meltwater and its influence on the geochemical evolution of groundwater in the Ordovician-Cambrian aquifer system, northern part of the Baltic Artesian Basin // *Applied Geochemistry*. 2016. Vol. 72. P. 125–135.
15. *Person M., McIntosh J.C., Remenda V., Bense V.* 2007. Pleistocene hydrology of North America: the role of ice sheets in reorganizing groundwater systems. *Reviews of Geophysics*. Vol. 45. No. 3007. P. 1–28.
16. *Raidla V., Kirsimäe K., Vaikmäe R., Jõeht A., Karro E., Marandi A., Savitskaja L.* Geochemical evolution of groundwater in the Cambrian–Vendian aquifer system of the Baltic Basin. *Chemical Geology*. 2009. Vol. 258. P. 219–231.

17. *Remenda V.H., Cherry J.A., Edwards T.W.D.* Isotopic composition of old ground water from Lake Agassiz: implications for late Pleistocene climate. *Science*. 1994. Vol. 266. P. 1975–1978.
18. *Riley J.P., Skirrow G.* *Chemical Oceanography*. London: Academic Press, 1965.
19. *Saks T., Sennikovs J., Timuhins A., et al.* Groundwater flow beneath the Scandinavian ice sheet in the Baltic Basin. *Highlights of Groundwater Research in the Baltic Artesian Basin*. Riga, 2012. P. 75–90.
20. *Vaikmäe R., Kaup E., Marand A., et al.* The Cambrian Vendian aquifer, Estonia. *The Natural Baseline Quality of Groundwater*. Blackwell Publishing, 2008. P. 353–371.
21. *Werner M., Jouzel J., Masson-Delmotte V. et al.* Reconciling glacial Antarctic water stable isotopes with ice sheet topography and the isotopic paleothermometer. *Nature Communication*. 2010. Vol.9. No. 3537. P. 1–10.
22. *Zuzevicius A.* The groundwater dynamics in the southern part of the Baltic Artesian Basin during the Late Pleistocene. *Baltica*. 2010. Vol. 23. P. 1–12.

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.

## Вклад учёных ЦНИГРИ в изучение геологии и рудоносности Мирового океана

Е.Г.МИРЛИН (Государственный геологический музей имени В.И.Вернадского РАН; 125009, г. Москва, Моховая ул., д. 11, стр. 11)

Мирлин Евгений Гилельевич  
доктор геолого-минералогических наук



egmmir@gmail.com

## TsNIGRI researcher contribution to the World ocean geology and ore potential study

E.G.MIRLIN (V.I.Vernadsky state geological Museum of the Russian Academy of Sciences)

Первые сведения о рудоносности Мирового океана были получены в конце XIX в. в экспедиции «Челленджера» (1872–1876 гг.). Тогда впервые со дна океана были подняты железо-марганцевые и фосфоритовые конкреции. Однако в то время эти находки не привлекли внимание геологов, что, впрочем, вполне объяснимо в силу ограниченности сведений о строении дна океана и океанской земной коры, а также отсутствия у человечества мотивации к расширению минерально-сырьевой базы. Ситуация кардинально стала меняться во второй половине XX в. Во-первых, многие государства мира столкнулись с ограниченностью минерально-сырьевых ресурсов, и во-вторых, благодаря успехам морской геологии и геофизики настал период пересмотра общепланетарных геотектонических моделей. Результатом широкого разворота исследований по изучению дна Мирового океана и глубинного строения его коры было создание новой глобальной геодинамической парадигмы – тектоники литосферных плит. Помимо этого, интенсификация исследований дна Мирового океана сопровождалась обнаружением многочисленных скоплений ряда металлических полезных ископаемых. Они представлены железо-марганцевыми конкрециями (ЖМК), кобальтоносными марганцевыми корками (КМК) и глубоководными полиметаллическими сульфидами (ГПС). Большинство скоплений океанских руд располагается в пределах международных вод Мирового океана, они объявлены общечеловеческим достоянием. Стало очевидным, что по мере отработки запасов и ресурсов на континентах настанет

эпоха освоения руд Мирового океана, причём тенденция эта будет иметь общепланетарный характер. Однако не менее очевидно, что её реализация на практике потребует решения совершенно новых задач с привлечением специалистов по различным научным дисциплинам и их тесного взаимодействия.

ЦНИГРИ как ведущий в стране институт в области рудогенеза не мог остаться в стороне от проблемы металлогении Мирового океана. Исходя из этого, в 1986 г. были начаты систематические исследования по геологии и твёрдым полезным ископаемым дна океана. Цель настоящей статьи – охарактеризовать вклад учёных института в рассматриваемую проблему и полученные ими научные результаты в рамках направлений, в которых проводились исследования. Эти направления охватывают все главные аспекты проблемы, то есть относятся к наиболее актуальным.

**Изучение строения земной коры и литосферы океанов.** Природу твёрдых полезных ископаемых океана невозможно понять вне знания о строении его земной коры и литосферы. В связи с этим отечественные специалисты объединений «Севморгеология» и «Южморгеология» в 1979–1994 гг. выполняли регулярные работы на трансокеанских геотраверзах, охватывающих основные структурные элементы дна океана. Учёные ЦНИГРИ в течение многих лет осуществляли комплексную интерпретацию полученных материалов (батиметрия, магнитометрия, гравиметрия, геологический пробоотбор). Под руководством Б.Д.Углова была разработана методология

количественной обработки огромного материала, полученного в океанских экспедициях и представленного в цифровой форме [19], причём в дальнейшем в анализ были включены данные спутниковой альтиметрии, что существенно расширило диапазон его возможностей. Прогрессивный комплексный подход к анализу разнообразных первичных данных позволил впервые в отечественной и мировой практике выделить разноранговые структурные элементы океанского дна, охарактеризовать строение их земной коры и оценить их геодинамическую значимость. Анализ карт и схем, построенных на основе количественного анализа, позволил выделить морфоструктурные элементы самого разного масштаба: от небольших по высоте подводных гор до крупных поднятий и обширных депрессий, от локальных тектонических нарушений до грандиозных по протяжённости трансформных разломов. В итоге получены результаты, чрезвычайно важные для познания структурной геологии глобальной системы срединно-океанских хребтов. В частности, было установлено, что тектоносфере Срединно-Атлантического хребта свойственна чётко выраженная асимметрия [4]. Последняя проявляется не только в рельефе дна и в геофизических полях, но и в глубинном строении земной коры, что, в свою очередь, указывает на асимметрию глубинной геодинамики этой глобальной морфоструктуры. Важнейший геодинамический параметр срединно-океанских хребтов – скорость спрединга, именно от него зависит морфотектонический облик этих глобальных структур литосферы. Благодаря детальному анализу материалов, полученных в рамках программы работ на океанских геотраверзах, и качественной интерпретации этих материалов было впервые показано, что интенсивность структурообразования нелинейным образом зависит от скорости разрастания дна [8, 9, 11]. Другой важной особенностью строения литосферы срединно-океанских хребтов является её разноранговая сегментация. На основе комплексного анализа морфотектонических и геофизических данных был выявлен феномен зональности в распределении разнопорядковых сегментов вдоль простирания срединно-океанских хребтов, и рассмотрено его геодинамическое значение [12, 14]. Все вновь полученные данные о строении и геодинамике срединно-океанских хребтов сыграли весьма важную роль для понимания условий возникновения гидротермальной циркуляции на их гребнях и связанного с ней рудогенеза.

Важнейшим результатом анализа геолого-геофизических данных в пределах Маскарено-Австралийского геотраверза в северной части Индийского океана явился вывод о широком развитии внутриплитных деформаций и внутриплитной тектономагмати-

ческой деятельности в пределах глубоководных котловин [10, 13, 15]. Тем самым было опровергнуто ранее существовавшее представление о тектономагматической пассивности океанской литосферы за пределами гребней срединно-океанских хребтов. Этот вывод имеет важное теоретическое значение для оценки выноса глубинного корового и мантийного вещества в воды океана, что, в свою очередь, служит своего рода отправной точкой для понимания природы скоплений кобальтоносных марганцевых корок и железо-марганцевых конкреций.

**Геологическое строение и эволюция активной зоны сочленения океан–континент западной части Тихого океана.** Возникновение большинства рифтогенных структур переходной зоны западной части Тихого океана связано с растяжением в тылу зон субдукции и расщеплением энсиматических, реже энсиалических островных дуг. При этом геолого-геофизические характеристики и морфотектонический облик рифтов существенно меняются по мере их эволюции. Весьма значимым итогом исследований геодинамики этого региона, выполненных в ЦНИГРИ, являются выделение разновозрастных рифтовых поясов, выявление особенностей развития рифтовых зон, а также закономерностей размещения гидротермальных рудопроявлений и углеводородов [8, 17]. Это стало возможным благодаря синтезу огромного объёма первичных данных в форме палеогеографических карт и их последующего анализа [2, 3]. Было показано, что по мере увеличения степени раскрытия и, соответственно, удаления областей магмаобразования от зоны субдукции внутридуговые рифты преобразуются в зоны задугового спрединга с новообразованной океанской корой. К иной группе относятся отдельные рифтогенные структуры или системы разнонаправленных рифтов, развивающиеся глубоко в тылу островных дуг, автономно от последних [1]. Сравнительный анализ раскрытия задуговых спрединговых и океанских бассейнов позволил выявить специфические черты отличия в их кинематике и геодинамике [8]. Важно подчеркнуть при этом, что для индикации тектонической и геодинамической обстановки широко привлекались данные по геохимии вулканогенных пород [17, 18].

**Сравнительное изучение рудогенеза современных и древних океанов.** Научным руководителем этого направления являлся А.И.Кривцов. Проведённая им сравнительная типизация обстановок современного океанского и древнего колчеданообразования показала, что большинство традиционно выделяемых типов месторождений формируется во вполне определённых геодинамических обстановках [5]. Однако в некоторых случаях с одной и той же обстановкой могут быть связаны рудные образования, значительно

отличающиеся друг от друга составом, размером и характером локализации [7, 16]. Кроме того, в океанских рифтах наблюдается отчётливая цикличность формирования рудных скоплений [17, 18]. По мере накопления новых данных о процессах океанского гидротермального и гидротермально-осадочного рудогенеза стало очевидным, что его изучение, сравнительные исследования современных и их древних аналогов составляют в совокупности крупную проблему современной геологии, имеющую как прикладной, так и фундаментальный аспекты. Прикладной аспект заключается в определении ресурсов глубоководных полиметаллических сульфидов в океанах и в выявлении критериев поисков новых колчеданных месторождений на континентах, а фундаментальный – в оценке теплового баланса планеты, изучении обмена веществом между тремя оболочками Земли (гидросферой, литосферой и биосферой). Учитывая масштаб проблемы, специалисты ЦНИГРИ выступили с инициативой издания специального сборника работ, посвящённых её различным аспектам. Он был издан в 1992 г. [6]. В сборнике приняли участие ведущие специалисты как Российской Академии наук, так и отраслевых институтов. Статьи охватывают все основные аспекты проблемы генезиса гидротермального рудогенеза в океанах и континентальных колчеданных руд. Время показало, что публикация сборника была полезной для широкого круга специалистов, интересующихся данной проблемой в целом либо одной из многих её сторон.

**Геолого-экономическая оценка различных видов твёрдых полезных ископаемых Мирового океана.** С момента открытия указанных трёх типов твёрдых полезных ископаемых Мирового океана стало очевидным, что они представляют весьма значительный научный интерес. Однако насколько целесообразно их экономическое освоение? Разумеется, полноценный ответ на этот вопрос может быть получен, когда станет возможным прояснить многие технико-технологические аспекты: подъём с больших глубин ЖМК, КМК, ГПС, их транспортировка, переработка, сохранение биоценозов пелагиали в процессе добычи и др. В связи с этим в исследованиях по экономическому аспекту освоения ЖМК, КМК и ГПС основной акцент был сделан на оценках прогнозных ресурсов этих трёх типов ТПИ [1, 20]. Разумеется, по мере поступления новых данных эти оценки, скорее всего, будут меняться. Что касается ЖМК, то коммерческий интерес связан с конкрециями, содержащими в сумме никеля, меди и кобальта не менее 1,8% в никелевом эквиваленте (1 часть никеля+0,5 части меди+1 часть кобальта) при минимальной весовой концентрации ЖМК 10 кг/м<sup>2</sup>. Поля конкреций с такими концентрациями сосре-

доточены преимущественно в зоне Кларион-Клиппертон (Тихий океан). Общие прогнозныe ресурсы этой рудной провинции составляют 9224 млн. т руды (кобальт 20,7, никель 120,3, марганец 2566,8, медь 95,5 млн. т). Именно в пределах этой провинции Российской Федерации выделен район распространения ЖМК площадью 75 тыс. км<sup>2</sup>. Прогнозные ресурсы руды в его пределах оцениваются в 472 млн. т.

В отличие от ЖМК, практически все скопления кобальтоносных марганцевых корок (толщина рудной составляющей более 1 см) сосредоточены на подводных горах вулканической природы, многие из которых расположены в экономических зонах ряда государств. Интересы России в области освоения КМК можно связать, в первую очередь, с вулканическими поднятиями в западном и северо-западном секторах Тихого океана. Общие прогнозныe ресурсы КМК, сопряжённых с Магеллановыми горами, поднятиями Маркус-Уэйк и Уэйк-Неккер, а также с Маршалловыми островами, составляют 1842 млн. т сухой руды, в том числе 10036 кобальта. В то же время проведение поисково-разведочных работ, скорее всего, будет сосредоточено лишь на ограниченном числе подводных гор.

Прогнозные ресурсы ГПС в рифтовых зонах Тихого океана (северный сектор Восточно-Тихоокеанского поднятия) могут составлять около 360 млн. т руды. Примерно 140 млн. т может быть выявлено в пределах Южно-Тихоокеанского поднятия, которое, тем не менее, весьма мало изучено. Согласно ограниченному числу анализов, глубоководные сульфиды Тихого океана имеют преимущественно медноцинковую специализацию. В рифтах Атлантического океана количество выявленных рудопроявлений меньше, по этой причине самые предварительные подсчёты прогнозных ресурсов ГПС дают величину около 530 млн. т. В то же время подчёркивается ограниченный характер проведённых оценок, поскольку значительное количество рудных скоплений может быть обнаружено при более детальных исследованиях гребня хребта.

В качестве заключения упомянем следующее весьма важное событие, произошедшее в 2001 г., когда Россия получила от Международного органа по морскому дну (МОМД) контракт на проведение в течение 15 лет геологоразведочных работ на железомарганцевые конкреции в разведочном районе в пределах обширной рудной провинции Кларион-Клиппертон (центральная часть Тихого океана). Кроме того, наша страна имеет контрактное право на проведение работ по рудным скоплениям кобальт-марганцевых корок и глубоководных сульфидных руд. Несомненно, что подача заявки в Международный орган и её одобрение были невозможны без той работы,

которую проделало отечественное научное сообщество, включая как отраслевые институты, так и институты РАН. Даже краткое изложение научных результатов, полученных учёными ЦНИГРИ в рамках данной проблемы, убедительно показывает, что их вклад в осуществление указанного события весьма значителен.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зорина Ю.Г., Востоков Е.Н., Ельянова Е.А., Родникова Р.Д. Нефтегазосность и гидротермальные рудопроявления рифтовых систем юго-западной части Тихого океана. – М.: ВИЭМС, 1989.
2. Зорина Ю.Г., Марков Ю.Д., Николаева Н.А., Родникова Р.Д. Моря Южно-Китайское, Восточно-Китайское и Желтое // Атлас палеогеографических карт. Шельфы Евразии в мезозое и кайнозое. – Лондон, 1991. – Т. 17. – С. 6.1–6.12.
3. Зорина Ю.Г., Родникова Р.Д. Южно-Китайское море и шельф Юго-Восточной Азии // Атлас палеогеографических карт. Шельфы Евразии в мезозое и кайнозое. – Лондон, 1991. – Т. 2. – С. 6.1–6.5.
4. Комарова О.И., Мирлин Е.Г., Углов Б.Д. Асимметрия тектоносферы Срединно-Атлантического хребта в пределах Анголо-Бразильского геотраверза // Доклады АН СССР. – 1993. – Т. 333. – № 5. – С. 638–641.
5. Кривцов А.И. Обстановки и условия древнего и современного колчеданообразования // Геология рудных месторождений. – 1987. – № 3. – С. 3–17.
6. Металлогения современных и древних океанов // Под ред. Е.Г.Мирлина. – М.: НТК «ГЕОЭКСПЕРТ», 1992. – 202 с.
7. Мирлин Е.Г., Ельянова Е.А. Океанский рудогенез // Советская геология. – 1990. – № 6. – С. 15–21.
8. Мирлин Е.Г., Зорина Ю.Г. Раскрытие океанских и окраинных спрединговых бассейнов: сравнительный анализ // Геотектоника. – 1992. – № 1. – С. 21–33.
9. Мирлин Е.Г., Комарова О.И. Цикличность океанского рудогенеза // Советская геология. – 1991. – № 10. – С. 58–67.
10. Мирлин Е.Г., Лейбов М.Б., Углов Б.Д. Внутриплитная тектономагматическая активность в Западно-Австралийской котловине Индийского океана // Доклады АН СССР. – 1992. – Т. 334. – № 5. – С. 1064–1068.
11. Мирлин Е.Г., Пшенина И.А. О нелинейной зависимости интенсивности структурообразования от скорости спрединга в рифтовых зонах океана // Доклады АН СССР. – 1989. – Т. 304. – № 6. – С. 1423–1427.
12. Мирлин Е.Г., Пшенина И.А. Опыт количественной оценки интенсивности вулканизма и структурообразования в зонах спрединга // Геотектоника. – 1989. – № 3. – С. 26–36.
13. Мирлин Е.Г., Пшенина И.А., Сивуха Н.М. Внутриплитовые деформации литосферы в Западно-Австралийской котловине Индийского океана // Доклады АН СССР. – 1990. – Т. 310. – № 2. – С. 414–418.
14. Мирлин Е.Г., Синева Е.М. Зональность сегментации срединно-океанических хребтов и ее геодинамическое значение // Доклады АН СССР. – 1990. – Т. 313. – № 3. – С. 665–670.
15. Мирлин Е.Г., Углов Б.Д., Лейбов М.Б. Плотностные и магнитные неоднородности литосферы в зоне внутриплитных деформаций Индийского океана // Руды и металлы. – 1992. – С. 19–24.
16. Миронов Ю.В. Соотношение титана и калия в базальтах как индикатор тектонической обстановки // Доклады АН СССР. – 1990. – Т. 314. – № 6. – С. 1484–1487.
17. Миронов Ю.В., Зорина Ю.Г. Эволюция вулканизма рифтогенных структур окраинных морей Западно-Тихоокеанской переходной зоны // Геотектоника. – 1994. – № 4. – С. 15–26.
18. Миронов Ю.В., Зорина Ю.Г., Панеско Т.М. Эволюционные ряды колчеданосных вулканогенных формаций // Руды и металлы. – 1994. – № 3–5. – С. 9–18.
19. Углов Б.Д., Болотов Л.А., Былинский Е.Н. и др. Изучение геологии и рудоносности Мирового океана – вклад ЦНИГРИ // Отечественная геология. – 1995. – № 3. – С. 66–76.
20. Улицкий Ю.А., Былинский Е.Н. Предварительная оценка прогнозных ресурсов кобальтоносных корок Мирового океана // Научно-технические достижения и передовой опыт в области геологии и разведки недр. – М., 1993. – № 5. – С. 57–67.

### REFERENCES

1. Zorina Yu.G., Vostokov Ye.N., Yel'yanova Ye.A., Rodnikova R.D. Neftegazonosnost' i gidrotermal'nyye rudoproyavleniya riftovykh sistem yugo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana [Oil and gas potential and hydrothermal ore occurrences of rift systems in the southwestern Pacific Ocean]. Moskva, VIEMS publ. 1989.
2. Zorina Yu.G., Markov YU.D., Nikolayeva N.A., Rodnikova R.D. Morya Yuzhno-Kitayskoye, Vostochno-Kitayskoye i Zheltoye [Seas South China, East China and Yellow]. Atlas paleogeograficheskikh kart. Shel'fy Yevrazii v mezozoye i kaynozoye. London. 1991. V. 17. P. 6.1–6.12.
3. Zorina Yu.G., Rodnikova R.D. Yuzhno-Kitayskoye more i shel'f Yugo-Vostochnoy Azii [The South China Sea and the shelf of Southeast Asia]. Atlas paleogeograficheskikh kart. Shel'fy Yevrazii v mezozoye i kaynozoye. London. 1991. V. 2. P. 6.1–6.5.

4. Komarova O.I., Mirlin Ye.G., Uglov B.D. Asimetriya tektonosfery Sredinno-Atlanticheskogo khrebta v predelakh Angolo-Brazil'skogo geotraverza [Asymmetry of the tectonosphere of the Mid-Atlantic Range within the Angola-Brazilian geotraverse]. Doklady AN SSSR. 1993. V. 333. No. 5, P. 638–641.
5. Krivtsov A.I. Obstanovki i usloviya drevnego i sovremenogo kolchedanoobrazovaniya [Situation and conditions of ancient and modern pyritic formation]. Geologiya rudnykh mestorozhdeniy. 1987. No. 3. P. 3–17.
6. Metallogeniya sovremennykh i drevnykh okeanov [Metallogeny of modern and ancient oceans]. Pod red. Ye.G.Mirlina. Moscow, NTK GEOEKSPERT publ. 1992. 202 P.
7. Mirlin Ye.G., Yel'yanova Ye.A. Okeanskiy rudogenez [Ocean ore genesis]. Sovetskaya geologiya. 1990. No. 6. P. 15–21.
8. Mirlin Ye.G., Zorina Yu.G. Raskrytiye okeanskikh i okrainnykh spredingovykh basseynov: sravnitel'nyy analiz [Disclosure of oceanic and marginal spreading basins: a comparative analysis]. Geotektonika. 1992. No. 1. P. 21–33.
9. Mirlin Ye.G., Komarova O.I. Tsiklichnost' okeanskogo rudogeneza [Cyclic Ocean Ore Genesis]. Sovetskaya geologiya. 1991. No. 10. P. 58–67.
10. Mirlin Ye.G., Leybov M.B., Uglov B.D. Vnutriplitnaya tektonomagmaticheskaya aktivnost' v Zapadno-Avstraliyskoy kotlovine Indiyaskogo okeana [Intraplate tectonomagmatic activity in the West Australian basin of the Indian Ocean]. Doklady AN SSSR. 1992. V. 334, No. 5, P. 1064–1068.
11. Mirlin Ye.G., Pshenina I.A. O nelineynoy zavisimosti intensivnosti strukturoobrazovaniya ot skorosti spredinga v riftovykh zonakh okeana [On the nonlinear dependence of the intensity of structure formation on the spreading rate in the rift zones of the ocean]. Doklady AN SSSR. 1989. V. 304, No. 6, P. 1423–1427.
12. Mirlin Ye.G., Pshenina I.A. Opyt kolichestvennoy otsenki intensivnosti vulkanizma i strukturoobrazovaniya v zonakh spredinga [The experience of quantifying the intensity of volcanism and structure formation in spreading zones]. Geotektonika. 1989. No. 3. P. 26–36.
13. Mirlin Ye.G., Pshenina I.A., Sivukha N.M. Vnutriplitnyye deformatsii litosfery v Zapadno-Avstraliyskoy kotlovine Indiyaskogo okeana [Intraplate deformations of the lithosphere in the West Australian Basin of the Indian Ocean]. Doklady AN SSSR, 1990. V. 310, No. 2, P. 414–418.
14. Mirlin Ye.G., Sineva Ye.M. Zonal'nost' segmentatsii sredinno-okeanicheskikh khrebtov i yeye geodinamicheskoye znachenie [The zoning of segmentation of mid-ocean ridges and its geodynamic significance]. Doklady AN SSSR, 1990. V. 313, No. 3, P. 665–670.
15. Mirlin Ye.G., Uglov B.D., Leybov M.B. Plotnostnyye i magnitnyye neodnorodnosti litosfery v zone vnutriplitnykh deformatsiy Indiyaskogo okeana [Density and magnetic heterogeneities of the lithosphere in the zone of intraplate deformations of the Indian Ocean]. Rudy i metally. 1992. P. 19–24.
16. Mironov Yu.V. Sootnosheniye titana i kaliya v bazal'takh kak indikator tektonicheskoy obstanovki [The ratio of titanium and potassium in basalts as an indicator of tectonic conditions]. Doklady AN SSSR. 1990. V. 314. No. 6. P. 1484–1487.
17. Mironov Yu.V., Zorina Yu.G. Evolyutsiya vulkanizma riftogennykh struktur okrainnykh morey Zapadno-Tikhookeanskoj perekhodnoy zony [Volcanism evolution of riftogenic structures of marginal seas of the West Pacific transition zone]. Geotektonika. 1994. No. 4. P. 15–26.
18. Mironov Yu.V., Zorina Yu.G., Papesko T.M. Evolyutsionnyye ryady kolchedanonosnykh vulkanogennykh formatsiy [Evolutionary series of pyritiferous volcanogenic formations]. Rudy i metally. 1994. No. 3–5. P. 9–18.
19. Uglov B.D., Bolotov L.A., Bylinskiy Ye.N. et. al. Izucheniye geologii i rudonosnosti Mirovogo okeana - vklad TSNIGRI [The study of the geology and ore content of the oceans – the contribution of TsNIGRI]. Otechestvennaya geologiya. 1995. No. 3. P. 66–76.
20. Ulitskiy Yu.A., Bylinskiy Ye.N. Predvaritel'naya otsenka prognoznykh resursov kobal'tonosnykh korok Mirovogo okeana [A preliminary assessment of the forecast resources of cobalt-rich crusts of the oceans]. Nauchno-tekhn. Dostizheniya i peredovoy opyt v oblasti geologii i razvedki nedr. M. 1993. No. 5. P. 57–67.

**Лидия Александровна Николаева:  
«Я жила в Ленинграде в декабре 41-го года...»**



**(1926–2020)**

11 мая 2020 г. ушла из жизни **Лидия Александровна Николаева** – заслуженный деятель науки Российской Федерации, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, доктор геолого-минералогических наук, основавшая известную во всем мире школу прикладных исследований типоморфных признаков золота.

Лидия Александровна Николаева носила ещё одно высокое звание – Житель блокадного Ленинграда. Как и все ленинградцы, разделившие её судьбу, Лидия Александровна не могла забыть дни, проведённые в осаждённом городе. Мысленно вновь и вновь возвращалась к пережитому. О том времени она написала стихи, похожие на исповедь. В созданном ею поэтическом цикле «Блокада» всего несколько стихотворений: «Хлеб», «Вода», «Тепло», «Как это было», «Сон», «Память».

Долгое время говорить всю правду о блокаде было не принято.

*«... О ней и теперь боятся слушать,  
И стоит лишь вспомнить о 41-м:  
“Зачем травмировать детские души?  
У них и так расшатаны нервы”...»*

Но огромное число людей, конечно, не согласится с подобной точкой зрения. У нас, ныне живущих,

есть долг памяти, мы храним как святыню свидетельства участников военных событий. И осознаём реальную опасность забвения: незнание трагедии Ленинграда и других страшных страниц Второй Мировой войны многократно повышает вероятность разжигания новых войн.

*«Предавать забвенью – предать  
Так спокойно и бессердечно  
И меня спасавшую мать,  
И отца, ушедшего в вечность.*

*Всех, кто в братских могилах лёг,  
Тех детей, что хлеба хотели,  
Кто со льда подняться не смог,  
Кто остался в мёрзлой постели...»*

Ленинград – родной город Лидии Александровны Николаевой. Она родилась 24 февраля 1926 г. в потомственной семье геологов. Когда началась Великая Отечественная война, ей было всего шестнадцать лет. Девятиклассница Лида мечтала о том, как через два года поступит в Ленинградский горный институт, пойдёт по стопам отца. Александр Васильевич Николаев работал старшим научным сотрудником в аналитической лаборатории Всесоюзного научно-исследовательского геологического института (ВСЕГЕИ), вёл совместные исследования с В.Е.Ферсманом, был хорошо знаком с В.И.Вернадским. Лидии Александровне запомнились дружеские встречи коллег отца в их доме, оживлённые разговоры о науке, о литературе – счастливые картины довоенного времени.

После первых налётов немецкой авиации в школе Лидии организовали пожарную дружину, и в 1941–1942 гг. старшеклассники выходили по ночам на дежурство, тушили зажигательные бомбы на крышах, защищая школу и окружающие здания. Николаева была заместителем командира дружины.

*«Я бомбежек тогда с замиранием сердца боялась,  
Но не так, чтоб в убежище вдруг по тревоге уйти:  
От ночного дежурства такая косила усталость,  
Что могла бы я где-то спокойно уснуть по пути...»*

В осаждённом городе таяли запасы продовольствия и топлива. Наступили дни блокады. Страшную зиму 1941–1942 гг. семья Николаевых пережила

в Ленинграде. Весной их эвакуировали в город Будён-новск Ставропольского края. В пути отец умер. Александру Васильевичу не довелось узнать, что дочь окончит Московский Геологоразведочный институт и станет всемирно известным минералогом.



В 1950 г. выпускница МГРИ Л.А. Николаева получила распределение в Научно-исследовательский геологоразведочный институт золота (НИГРИЗолото), переименованный в 1957 г. в Центральный научно-исследовательский институт цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ), где она проработала 60 лет. 11 мая 2020 года Лидии Александровны не стало.

*«Это и больно, это и просто:  
Порвана нить...  
Я не вернусь на Васильевский остров  
Ни умирать, ни жить...»*

Стихи-воспоминания Лидии Александровны Николаевой о Ленинграде впервые увидели свет на страницах её авторского сборника «Цнигриада», который был издан в ЦНИГРИ в 2000 году. В год 75-летия окончания Великой Отечественной войны многие читатели впервые прочтут поэтический цикл «Блокада». Это живая память о безмерной цене, которой оплачена Победа нашего народа в войне с нацистской Германией.

## КАК ЭТО БЫЛО

Я верю – люди договорятся,  
Вырваться ядерный вихрь не посмеет!  
Не будет долго всемирного братства –  
Всеобщий мир наступит скорее.

Меж миллиардов людей живущих,  
Среди всей информационной клады,  
Осядут в забытой печатной гуще  
Несколько книг об одной блокаде.

О ней и теперь боятся слушать,  
И стоит лишь вспомнить о 41-м:  
«Зачем травмировать детские души?  
У них и так расшатаны нервы!»

Узнаете вы из фраз расхожих  
О стойкости, мужестве и страданиях,  
И все это правдою будет. Но всё же  
Полной, живую правдой не станет.

Лучшие летописцы блокады,  
Познав все величье тех дней тревожных,  
Решили, что вслух говорить не надо  
Того, что вынести невозможно.

## ПАМЯТЬ

Безопасно, сытно, тепло ...  
Что же душу гложет как голод?  
Значит, время не истекло  
Предавать забвенью те годы.

Предавать забвенью – предать  
Так спокойно и бессердечно  
И меня спасавшую мать,  
И отца, ушедшего в вечность.

Всех, кто в братских могилах лёг,  
Тех детей, что хлеба хотели,  
Кто со льда подняться не смог,  
Кто остался в мёрзлой постели.

С каждым годом яснее мы  
(Кто отрекшивается – не верьте!)  
Понимаем – из той зимы  
Не уйти нам до самой смерти.

В двух мирах сегодня живу  
И не знаю, который ближе –  
Голод чувствую наяву,  
Ледяные сумерки вижу ...



**ХЛЕБ**

Он в музее лежит. Кусок.  
Хлеб насущный надежды нашей.  
Почернел и слипся. Усох.  
Так он мал, что представить страшно.

Как поддерживал день за днём  
Этот ломтик и дух, и силы.  
Посмотрите – ведь мы живем,  
Мы не все остались в могилах!

Доведётся потом узнать  
Из журнальных статей и книжек –  
Надо силы не сохранять,  
Нужно тратить их, чтобы выжить.

Где копилась силы мои?  
Крышу школьную охраняла,  
Выкупала хлеб для семьи.  
Много этого или мало?

Если вдруг по карточке всем  
Выдавали ячменное пиво,  
Многовёрстный хвост в темноте  
Я выстаивала терпеливо.

Приносила воду я в дом,  
Путь короткий и тоже страшный,  
Но об этом потом, потом,  
А сначала о хлебе нашем.

Комендантский час – до пяти.  
Ноги гнутся в коленях туго ...  
Чтоб до булочной мне дойти,  
Пять домов и ещё за угол.

Каждой спичкою дорожа,  
По пролётам скользя широким,  
Надо с пятого этажа  
В тьме крошечной спуститься к сроку.

Обрастает ступени лед  
Коркой толстою на морозе,  
Значит – рядом кто-то живет,  
Воду невшую в санках возит.

И, расплёскивая, несёт,  
Из последних сил напрягаясь,  
А затем ведро нечистот  
Тащит вниз, на лёд проливая ...

Это было, когда разучилась смеяться и плакать,  
Но, как помнится, радость умела пока ощущать:  
Например, доставая махорку со старого шкафа,  
Где к поездке в деревню её заготовила мать.

Все война отменила. Махорка же стала валютой.  
Посчастливилось клей мне столярный еще отыскать –  
Можно так сососать, можно студень сварить (почему-то  
На рассказ о еде я сбиваюсь опять и опять!).

Я бомбёжек тогда с замиранием сердца боялась,  
Но не так, чтоб в убежище вдруг по тревоге уйти:  
От ночного дежурства такая косила усталость,  
Что могла бы я где-то спокойно уснуть по пути.

От удара снаряда душа опускалась пониже;  
Если близко взрывался, я падала даже на снег,  
Но среди мёртвых ходила, как будто бы их и не вижу,  
Словно это сугроб, а не павший лежит человек ...

И по утрам, за хлебом в поход отправляясь привычно,  
В темноте проверяя ногой осторожно ступень,  
Поняла, что наткнулась на труп. И потратила спичку,  
Чтоб, увидев однажды, не тратить на будущий день.

Он лежал, словно мальчик, с разбитой седой головою,  
Очень маленький, согнутый, будто в прыжке, пополам.  
Кровь застыла. И я аккуратно ступила ногою,  
Чтоб его не задев, без задержки пробраться к дверям.

Был он немцем, прожившим всю долгую жизнь в Ленинграде,  
На заводе работал, как все не щадя своих сил,  
Но считал он себя виноватым в войне и блокаде,  
Словно с родиной предков он все преступления делил.

Дал он клятву жене до войны, после гибели сына,  
Что её никогда не оставит он в горе одну.  
И сдержал своё слово, но сразу же землю покинул  
После смерти жены, не сумев пересилить вину.

Хорошо положение тела при вспышке запомнив:  
Чуть коснешься ногой – и полметра направо отмерь, –  
В темноте я отныне ходила за хлебом спокойно.  
Он неделю лежал, заслоняя набухшую дверь.

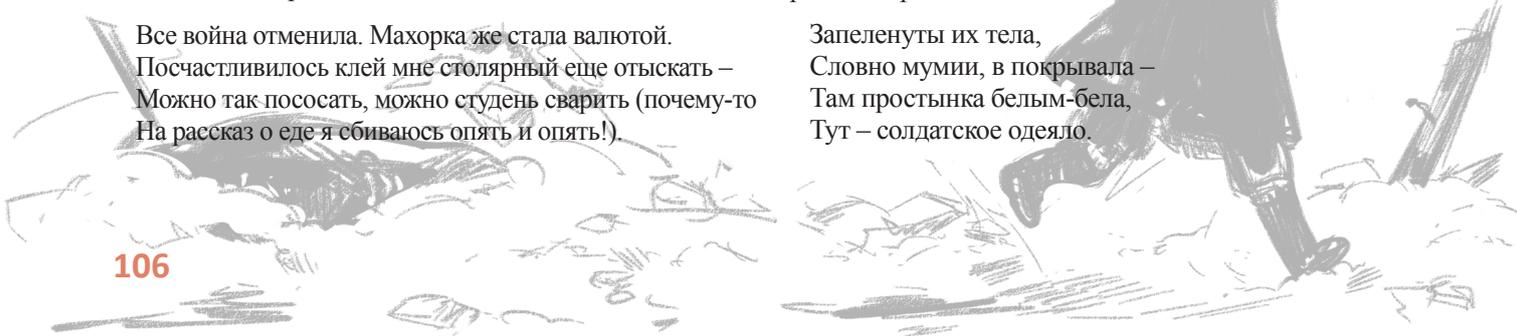
Это было, когда разучилась смеяться и плакать,  
Чью-то смерть принимать, как возможную долю свою.  
Чувство долга осталось да чувство холодного страха:  
Не достать нынче хлеба. Оставить без хлеба семью.

Комендантский час до пяти.  
В подворотнях маячат тени,  
Чтобы к булочной поползти,  
Если ноги тебе не изменят ...

Мне казалось тогда – бегом,  
А, наверное, тихо шла я:  
Бесконечно тянется дом  
И мороз под кожу вползает.

Подворотни открыли зев,  
Изрыгнув спеленутых туго  
Тех, кто в землю лечь не успеет,  
Обречён погребенью вьюгой.

Запеленуты их тела,  
Словно мумии, в покрывала –  
Там простынка белым-бела,  
Тут – солдатское одеяло.



Но развёрнуты сплошь почти  
До засохших ягодиц трупы.  
Только глаз скошу по пути –  
Мышцы мёрзлые кормят скупо.

Икры срезаны с тощих ног,  
Снят до пояса ломоть тонкий.  
Не суди: может быть, помог  
Этот мертвый спасти ребенка.

А на срезах застыл узор  
Белых плёнок и сухожилий.  
Отвернулся от мёртвых двор,  
Где они до кончины жили.

Протрясётся здесь грузовик,  
Подберут за день, что успеют,  
И направятся напрямик  
К бесконечным братским траншеям.

Далеко ещё до угла,  
Но чернее зимнего неба  
Встала очередь. Приросла.  
Тихо ждут насущного хлеба.

Привезут ли – нет до восьми,  
Хватит всем, неостанет многим?  
Стылый пар стоит над людьми,  
Стылый снег разминают ноги.

Чтоб своим землякам помочь,  
Выпечь хлеб – наш блокадный воздух,  
Где-то там комсомольцы в ночь  
По цепочке носили воду ...

Поредел над крышами мрак.  
Хлеба первый кусок отмерян,  
И продвинулись мы на шаг  
Ближе к самой заветной двери.

Но не все. Кто-то тихо сполз,  
Распахнув глаза изумлённо ...  
Провожали тогда без слёз,  
Умирали тогда без стопа.

Тонкий штрих онемевших губ ...  
Смерть проходит частым гребнем:  
Огибает очередь труп –  
И не первый, и не последний.

Наконец, уже за углом,  
Чуть живей от надежды позы.  
Запах хлеба чую нутром.  
Кто сказал, что он с целлюлозой?

Вот и втиснулись мы за дверь.  
Впереди коптилка мигает:  
Раз отрежь, десять раз отмерь,  
Гирьки мелкие добавляя.

От весов не отводят глаз,  
Слюни сглатывая упрямо.  
Сколько карточек – столько раз  
Будет вывешен хлеб до грамма.

Здесь немного легче терпеть –  
Ветра нет и буханки видим,  
В хлебом пахнущей темноте,  
В тесноте и порой – в обиде:

Не хватило ... бреда опять  
(Тёмный город ветром исхлёстан)  
Нераспроданный хлеб искать  
За реку по Тучкову мосту.

Может, выдадут горсть муки –  
Кипятком завари да жуй-ка,  
Разводи в воде и пеки,  
Сковородку ладь на буржуйку.

Жаль, что вычислили припёк,  
И мучицы совсем немного.  
Глеет в булочной фитилек,  
Освещающая путь до порога.

Прижимая к себе муку,  
Колеёй былого трамвая  
Я бегу (все же я – бегу!),  
Комендантский час обгоняя.

Ночь смыкается в двух шагах  
И «Спасите!» как крик в пустыне.  
За расчётливый этот страх  
Жжёт меня стыдом и доньне.

Что могла я в 15 лет,  
В темноте былинкой шатаюсь?  
Всё равно – оправдания нет.  
Я жива. А другой – не знаю.

Голос, кажется, был мужской  
И такой далёкий, далёкий ...  
Не выпрашиваю покоя,  
Наказанию нету срока.

Этот крик до скончания дней  
В тишине и вихре событий  
Бьётся болью в душе моей,  
Упрекает меня: «Спасите!»

Трупы убраны. До утра  
Отливает снег белизною ...  
Я у дома. Пришла пора  
Брать подъём с ледяной корою.

## ВОДА

«Мосты нависли над водами»...  
Но воду как достать из вод?  
Гранитных набережных камень  
Закован в первозданный лед.

И на речной с него спуститься,  
Воды прозрачной зачерпнуть –  
Как будто перейти границу,  
Назад не обеспечив путь.

Над лункой конусом вулкана  
Бугрится, замерзая, лёд,  
И вереница детских санок  
С бачками, вёдрами ползёт...

Под гору медленно слезая,  
И оступаясь, и кренясь,  
Цепочка тянется живая  
Как муравьиной тропки вязь.

С ладоней обдирая кожу,  
На ледяной бугор ползу  
И нету в этот миг дорожке  
Воды, что плещется внизу.

Её мы, помнится, вначале,  
Покуда доставало сил,  
Ведром из проруби таскали,  
А ветер брызги относил.

Потом, когда не стало мочи  
И у черты береговой,  
Пролитою водою смочен,  
Разросся конус ледяной.

То в прорубь стали на верёвке  
Спускать кастрюлю и бидон.  
Руками слабыми неловко  
Вытаскивали их на склон.

Расплёскивая половину,  
С заклятием «Не оступись!»,  
Порою падая на спину,  
Скользили по откосу вниз.

Прольёшь – и лишний раз придется  
Карабкаться на тот бугор...  
Ах, деревенские колодцы,  
Соседок бойкий разговор.

Вся довоенная деревня  
В неиссякаемом труде  
Была сродни ты с миром древним,  
Причастным к хлебу и воде...

Здесь в тишине и напряженьи  
(вползти, поднять, не расплескать)  
Маячат в очереди тени,  
Срываются, ползут опять.

Но это всё ещё полгоря,  
А вдвое – крестный путь начать,  
С обледеневшим камнем споря,  
На берег сани волоча.

Наверх вскарабкаться с водою,  
А через день идти опять.  
Так, может лучше снеговойю  
Пустую жажду утолять?

По долгой лестнице взбираясь,  
Поднимешься десяток раз  
И сляжешь. Значит снеговая,  
Хоть безопасней, не для нас.

Мы с мамой по воду ходили,  
Вдвоём и горе – не беда,  
Но не всегда таких усилий,  
Я помню, стоила вода.

Не знаю, что вначале было –  
Тот невольский ледяной бугор,  
Куда в морозы мы ходили,  
Или тропа на задний двор.

Там в старой прачечной из крана,  
Во тьме укрытого от глаз,  
Вода сочилась неустанно,  
Как будто бы жалела нас.

И это было несомненно  
Большой удачей. Только вот  
Лежали штабелем вдоль стенок  
Те, кто воды не наберет...

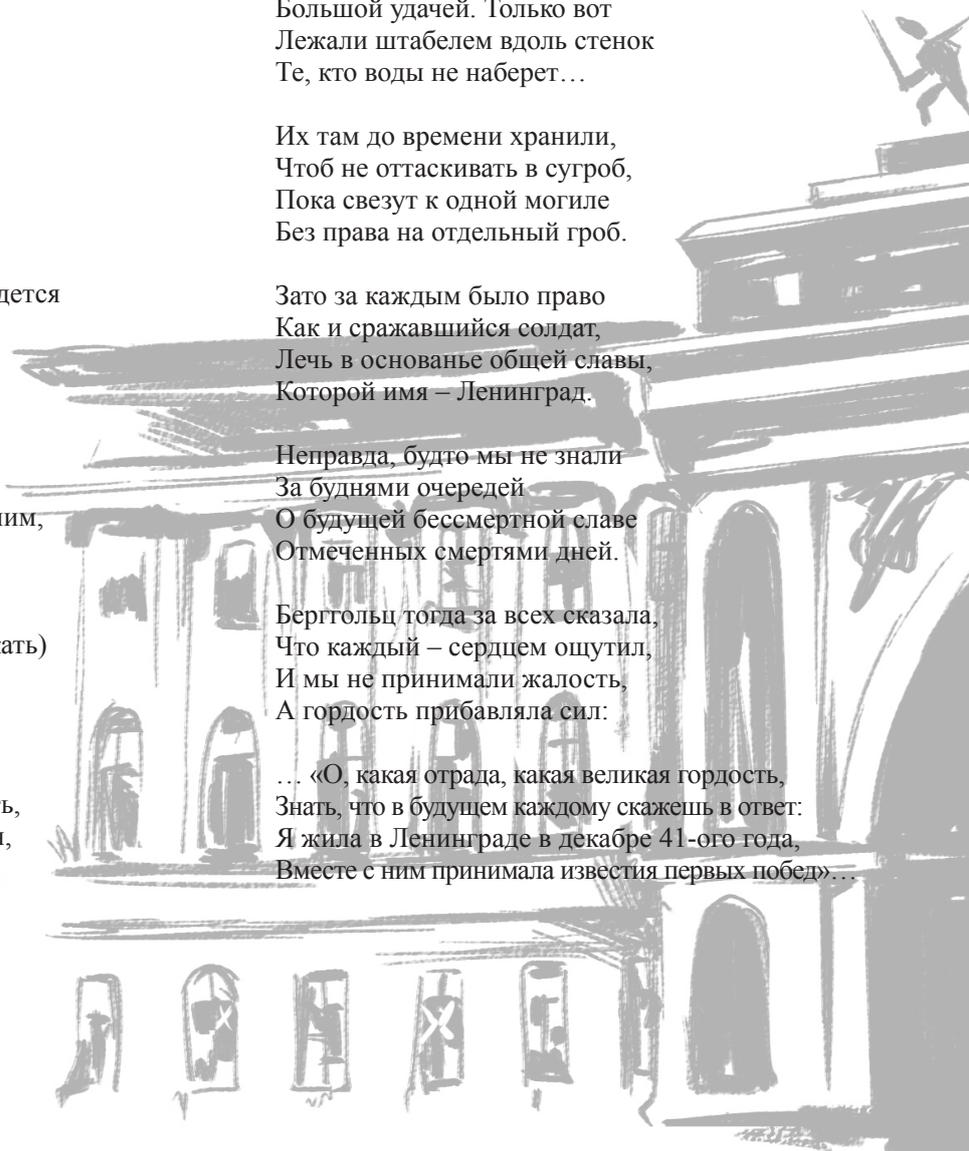
Их там до времени хранили,  
Чтоб не оттаскивать в сугроб,  
Пока свезут к одной могиле  
Без права на отдельный гроб.

Зато за каждым было право  
Как и сражавшийся солдат,  
Лечь в основание общей славы,  
Которой имя – Ленинград.

Неправда, будто мы не знали  
За буднями очередей  
О будущей бессмертной славе  
Отмеченных смертями дней.

Берггольц тогда за всех сказала,  
Что каждый – сердцем ощутил,  
И мы не принимали жалость,  
А гордость прибавляла сил:

... «О, какая отрада, какая великая гордость,  
Знать, что в будущем каждому скажешь в ответ:  
Я жила в Ленинграде в декабре 41-ого года,  
Вместе с ним принимала известия первых побед»...



Стоял декабрь. Тех, кто не дожил,  
Убрали временно во двор,  
И штабель был из трупов сложен,  
А сбоку – узкий коридор.

Впервые пробираясь к крану,  
Прижалась к каменной стене;  
Тогда ещё (скрывать не стану)  
Холодный страх подполз ко мне...

Затем уже вошло в привычку,  
Рукой нащупывая путь,  
Не зажигать пугливо спичку,  
Боясь по сторонам взглянуть.

Нет, я не становилась смелой,  
Но день за днём, за пядью пядь  
Внутри спасительно тупело  
Всё, что могло ещё страдать.

Потом носили снег и лёд мы,  
(А ноги всё носили нас),  
Срезая слой за слоем плотный,  
Я снегом набивала таз.

Отец крушил какой-то столик  
И в печь подкидывал дрова.  
Водой, горячею до боли,  
Усердно мылась голова.

Мои распухшие суставы  
Вода от боли берегла.  
Как мы ценили, Боже правый,  
Те крохи влаги и тепла!

Незримо заматают годы  
Покровы снежной целины,  
И позабыла я про воду,  
Которой не было цены.

Лишь возвращаясь в эту пору,  
Ползу с ведром я без конца  
По ледяному косогору  
Под белым взглядом мертвеца...

### ТЕПЛО

Как тянуло к себе, расслабляло, влекло,  
Завораживало тепло...  
Как вливалось оно уходящие силы,  
Загораживало от могилы!

Ледяные, заиндевелые дома,  
Заколочены окна фанерой.  
Свирепеет безжалостная зима –  
Испытанье надежды и веры.

Тёмным айсбергом каждая крыша встаёт,  
Тянут невские проруби паром...  
Тихо-тихо (разрывы снарядов не в счёт).  
Всё застыло (не в счёт и пожары).

Но на мёртвых фасадах дыханием губ  
Клубы пара морозного тают:  
Окружённые в крике отверстия труб  
И дымков голубиные стаи.

Это – печки-буржуйки. Из давней поры,  
Из гражданской, казалось забытой.  
Кто как мог доставал, покупал, мастерил  
Средоточие жизни – не быта.

Чтобы не был огонь умирающе скуп,  
Не скупились на корм ему люди.  
Здесь из крошек варили питательный суп  
И из клея столярного – студень.

Печка – это глоток кипятка, это жизнь  
И возможность помыться немного.  
Без тепла, как без хлеба – покорно ложись  
В ледяные кровати-сугробы.

Всё сначала казалось нестрашным – дрова  
Запасали и раньше для кухонь,  
А у многих и печи топили. Сперва  
У буржоек воспрянули духом.

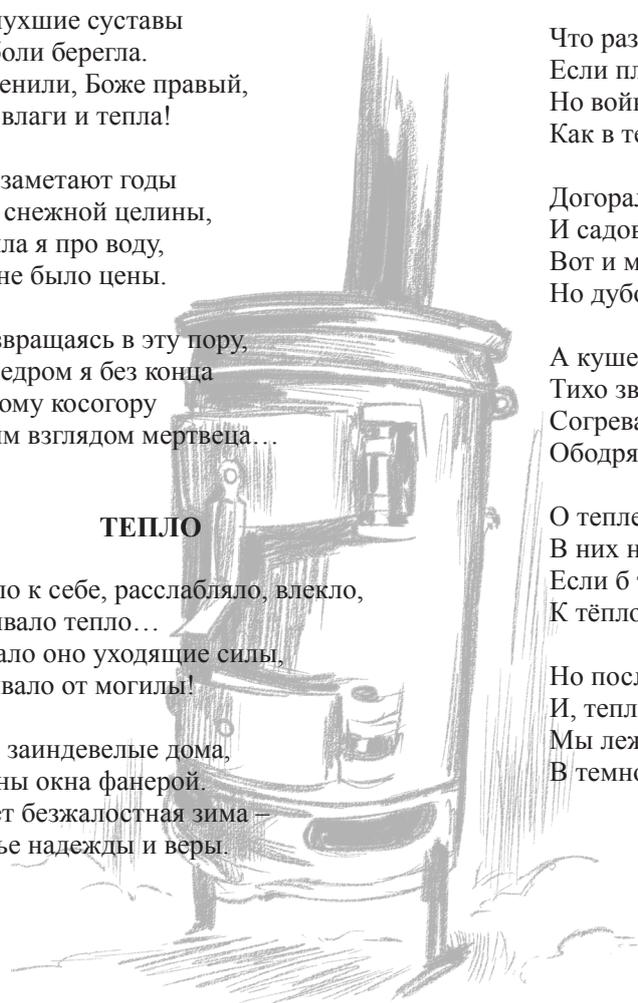
Что разбитые стёкла и лютый мороз,  
Если пламя гудит как живое!  
Но война продолжалась. И выполз вопрос –  
Как в тепле продержаться зимою?

Догорали дрова; не хватало досок  
И садовых скамеек не стало,  
Вот и мебели вышел положенный срок,  
Но дубовая – насмерть стояла.

А кушетки, козетки и вся дребедень,  
Тихо звякнув пружинным звоночком,  
Согревала в короткий и хмурый нас день,  
Ободряли в блокадные ночи.

О тепле тосковали мы в очередях –  
В них не стало бы силы стоять мне,  
Если б только не знала, что к ночи придя,  
К тёплой печке прильну я в объятья.

Но последнюю щепку огонь пожирал,  
И, тепло до утра экономя,  
Мы лежали под целой горой одеял  
В темноте, в остывающем доме.



Напряжённно и мерно стучал метроном,  
Отбивая секунды покоя.  
Если вдруг на разрыв резонировал дом –  
Это, думалось, там, за рекою.

А когда метроном, запинаясь, частил,  
Мы все также недвижно лежали:  
Очень страшно с теплом расставаться в ночи,  
Брешь проделать в норе – одеяле.

Знали только, что если меняется ритм,  
Значит, город бомбят. Но не смели  
Мы остатки тепла растерять до зари  
И вернуться к холодной постели.

Занимался дровами и топкой отец.  
С глянцевиною кожей, отёчный,  
Мог он двигаться тихо, с трудом (не жилец!),  
Но сидел у буржуйки до ночи.

Неподвижно и молча следя за огнём,  
Сохраняя гудящее пламя,  
Словно видел далекое прошлое в нём,  
Прозревая, что станется с нами...

Что вставало, когда поправлял кочергой  
В потухающей печке полено?  
Гибель преданной крепости в той мировой,  
Унижение германского плена?

Как в открытых вагонах везли за Берлин  
Полумёртвых, заеденных вшами,  
И мочились на головы бюргеры им  
Прямо с арок мостов над путями?

Жил не месяцы – годы на брюкве гнилой,  
Дважды бегал – и дважды ловили...  
После брестского мира вернулся домой  
Воевать на гражданской. О тыле

В эти годы помыслить он просто не мог.  
И достало и духа, и силы!  
Чуть мерцает, как в давнем костре, уголёк...  
Стужа, голод, обстрелы – всё было.

Снова пламя взметнулось, и искры летят,  
И ничто нам сердца не остудит –  
Не умрёт Ленинград, устоит Ленинград,  
Этой верою держатся люди!

#### ИЗ РАЗДЕЛА «ЭВАКУАЦИЯ»

По радио песню поют о войне –  
Снеге кровавом, снеге горячем ...  
И снег той зимы припомнился мне,  
Но только был он окрашен иначе:

На каждом разъезде – загаженный снег,  
Бурая корка в крови и слизи,  
Но это значило – жив человек,  
Сегодня сам из теплушки вылез.

Прошёл он с эваколистом на вокзал  
Хлеб получил и ещё приварок,  
А, может, назавтра уже лежал  
В своих нечистотах, примёрзший к нарам ...

Весной, под откосы сбегая ручьем,  
Истаял пласт и смешался с пылью ...  
Про этот снег никогда не поём,  
Мы даже о нём почти забыли.

#### НОЯБРЬ 1941–НОЯБРЬ 1944 гг.

Всегда в ноябре одно и то же –  
Ранний закат, поздний рассвет,  
Но этот пришёл и старше, и строже  
На целую сотню суровых лет ...

Прожекторы небо рвали на части,  
В полёте таяли сотни ракет,  
И было большое тревожное счастье,  
Которого в тихие ночи – нет.

Счастье, что смерть не подходит ближе,  
Счастье, что вижу внизу Неву,  
Счастье, что гордый мой город вижу,  
Счастье, что с ним борюсь и живу ...

Ушли в легенду осадные ночи,  
Счастье победной песней поёт,  
Но в этот праздник смеяться не хочет,  
Если не я, то сердце моё.

Хотелось бы маршем пройти суровым,  
А рядом – друзья из чердачных отсеков,  
И видеть израненный город снова,  
И видеть нового человека,

Который жизнь удержал, как знамя,  
И может с гордостью называться  
Словом весомейшим меж словами –  
Достойным именем Ленинградца.

Иллюстрации В.Ю.Козловой

Я знаю, это случится не скоро,  
Поступью лет, через горе и жалость,  
Но я вернусь в свой любимый город,  
Где сердце моё навсегда осталось.

Проспекты в детстве казались шире,  
Родимый дом не найду, может статься,  
Но будет радость, с которой в мире  
Наверно ничто не может сравниться!

### СОН

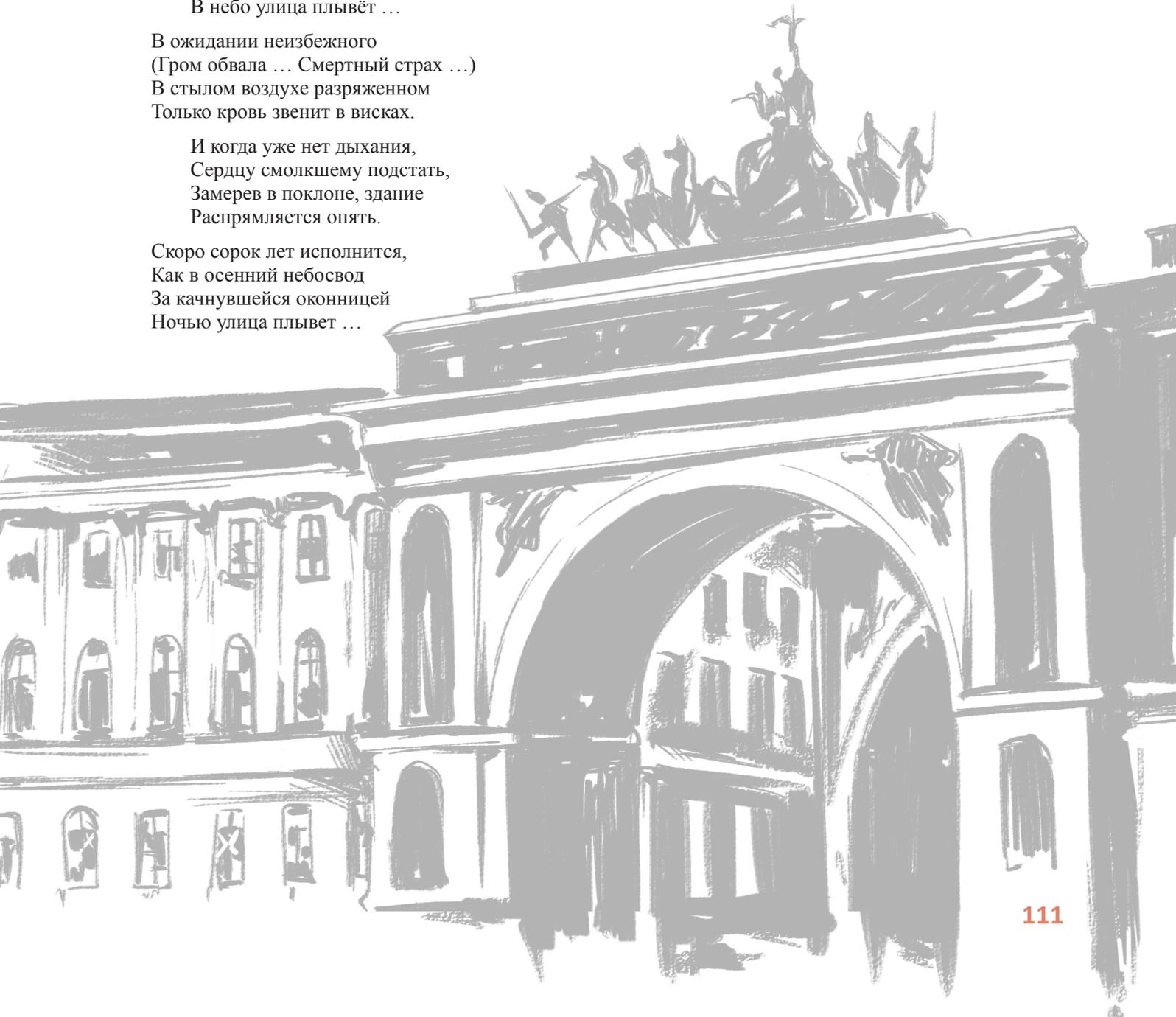
Небо серое, осеннее,  
Грозный гул – и тишина ...  
Что это? Землетрясение,  
Мирный взрыв или война?

Дом к земле всё ниже клонится ...  
Убыстряя плавный ход,  
За качнувшейся оконницей  
В небо улица плывёт ...

В ожидании неизбежного  
(Гром обвала ... Смертный страх ...)  
В стылом воздухе разряженном  
Только кровь звенит в висках.

И когда уже нет дыхания,  
Сердцу смолкшему подстать,  
Замерев в поклоне, здание  
Распрямляется опять.

Скоро сорок лет исполнится,  
Как в осенний небосвод  
За качнувшейся оконницей  
Ночью улица плывет ...



## Борис Константинович Михайлов. К 70-летию со дня рождения. Воспоминания о замечательном геологе и неординарном человеке



**05.08.1950–21.05.2020**

**Борис Константинович Михайлов** – специалист в сфере экономических механизмов модернизации минерально-сырьевого сектора России, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники (2007), Заслуженный геолог РФ, Почётный разведчик недр.

Авторы этого посвящения видному российскому геологу готовились чествовать Бориса Константиновича Михайлова в день его юбилея. Но судьба распорядилась иначе: жизнь Бориса Константиновича трагически оборвалась. В воспоминаниях коллег о годах совместной и плодотворной работы – высокая оценка его человеческих качеств и слова безусловного признания большого личного вклада Бориса Константиновича в осуществление проектов, направленных на укрепление минерально-сырьевого могущества России. Человек высокопрофессиональный, многогранный, творческий, он работал с полной самоотдачей. Круг вопросов, требовавших его внимания в последние годы, очень широк – свидетельство тому аналитические статьи, написанные Борисом Константиновичем вместе с соратниками в последние годы. Он был предан своему делу и тревожился за будущее отечественной геолого-разведочной отрасли.

Анализируя комплекс задач, выдвигаемых временем, Борис Константинович Михайлов всегда искал конструктивный подход к их решению. Являясь одним из ведущих экспертов в вопросах развития отечественной минерально-сырьевой базы, он понимал, какие шаги необходимо предпринимать. Его профессионализм – результат огромного, почти полувекового опыта работы в геологической отрасли и столь свойственного ему стремления расширять горизонты своих знаний.

### Начало

#### *Из воспоминаний Ольги Кондратьевой, сестры Б.К.Михайлова:*

*«Борис родился в г. Уфа 5 августа 1950 г. Детство его прошло в г. Октябрьский и посёлке Приютово (Башкирия). С 1 по 7 класс учился в Приютовской средней школе № 5 (1957–1964 гг.), с 8 по 10 класс – в средней школе № 10 в г. Ишимбай. 10 класс закончил с серебряной медалью. В обеих школах работали высококлассные педагоги, которые помогли определиться с выбором профессии. В детстве и юности Борис коллекционировал марки, старинные монеты, занимался выжиганием по дереву, выпиливанием лобзиком, пробовал себя в рисовании, спорте (лыжи, лёгкая атлетика), музыке. Отец хорошо играл на баяне, научился немного и Борис. Позже в школе учитель пения организовал оркестр, в котором Борис играл на трубе и кларнете. В университете Борис освоил в совершенстве игру на гитаре, очень хорошо пел, голос у него густой, проникновенный, геологический какой-то. Борис всегда много читал, в юности ставил перед собой цели и упорно добивался их. Однажды, например, поспорил с другом, что доедет на велосипеде от Ишимбая до Уфы (150 км) и обратно. Доехал, выиграл килограмм конфет. Отец встретил его всего промокшего от дождя уже на подъезде к Ишимбаю.*

*Отец был геофизиком-нефтяником, занимался поисками нефти на территории Башкирии, на стареньком газике постоянно колесил между многочисленными скважинами, часто брал с собой сына. Ещё до школы Борис научился водить этот газик и даже неоднократно катал отца и его приятелей по лесным дорогам. Борис мог стать музыкантом, писателем, спортсменом..., всё у него как-то получалось. Судьба привела*

его в геологию, и он стал хорошим геологом – практиком, теоретиком, руководителем, внёсшим значительный вклад в развитие советской и современной геологии.

После первой практики Борис привёз матери образцы минералов. Они до сих пор хранятся в серванте на видном месте. Родители и сестры очень гордились сыном и братом.

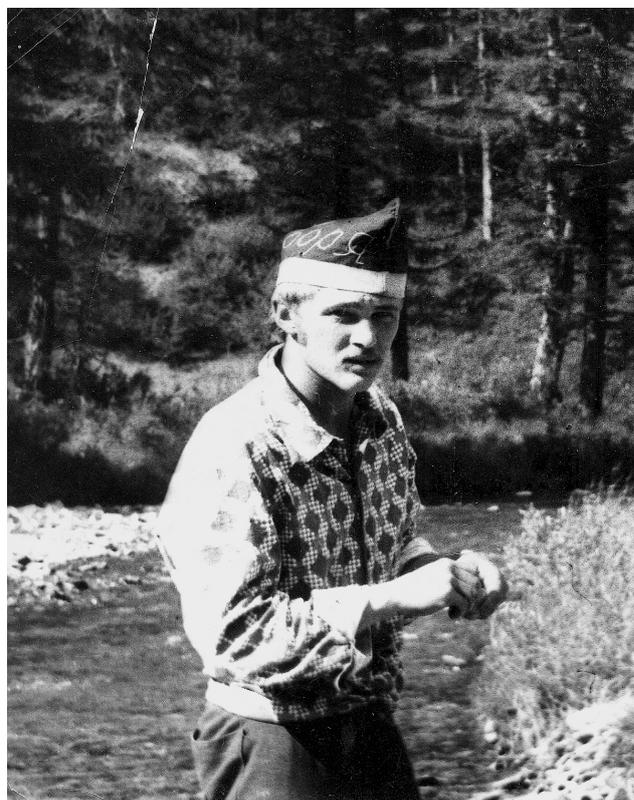
В 1968 году Борис поступил в Новосибирский Государственный университет в Академгородке на геолого-геофизический факультет (ГГФ). Научный центр Академгородка тогда был очень молод. В университете царила благодатная атмосфера взаимопонимания преподавателя и студента. Студенты ГГФ жили обособленным мирком от студенческого городка НГУ – на Детском проезде, 1. Это особенный период в жизни всех студентов ГГФ. Мы очень любили своё общежитие, сами устанавливали правила проживания, жили дружно, весело и интересно. Здесь у Бориса появились закадычные друзья – Петька Аноров и Олег Бабайцев. Студенты ГГФ тоже в те времена были передовой молодёжью. Они стремились работать в трудных интересных местах страны. На первую производственную практику Борис поехал в Магадан, в Северо-Восточное Производственное Геологическое Объединение (СВПГО). Бориса направили в посёлок Хасын, в Центральную геолого-геофизическую экспедицию (ЦГГЭ). Там он попал в комплексную геолого-съёмочную партию (КГСП), в групповой геолого-съёмочный отряд (ГГСО), где начальником был Владимир Александрович Кожуховский, который стал для Бориса в дальнейшем добрым другом.

**Из воспоминаний д-ра геол.-минер. наук, академика РАН Н.П.Похиленко, научного руководителя ИГМ СО РАН:**

Впервые я увидел Бориса Михайлова в сентябре 1967 года, вернувшись в общежитие геолого-геофизического факультета Новосибирского госуниверситета, в котором я готовился продолжать обучение на третьем курсе после полевых работ в бассейне Иртыша в составе экспедиционного отряда Института геологии и геофизики СО АН СССР. Общежитие геофака НГУ, где я жил, размещалось тогда в Новосибирском Академгородке в двухподъездном четырёхэтажном жилом доме по адресу Детский проезд. Мы с товарищами делили четырёхкомнатную квартиру во втором подъезде на четвёртом этаже: старшекурсники жили по двое в комнате, а первокурсники – вчетвером в большой проходной гостиной. Одним из них оказался Борис Михайлов.

Компания первокурсников была дружная, весёлая и временами шумная. Эта первая эйфория свободы поначалу создала проблемы для Бориса: он завалил экзамен на второй весенней сессии и даже собирался перейти на учёбу в военное училище, но мы с Сашей Борисенко, ныне известным геологом, профессором НГУ и главным научным сотрудником ИГМ СО РАН, а тогда моим одногруппником, вмешались в эту ситуацию, помогли Боре решить проблемы с учёбой – уже тогда мы видели в нём очень хорошие задатки.

Борис Константинович всей своей дальнейшей судьбой показал, что мы в нём не ошиблись, он прочно вошёл



в группу выпускников геолого-геофизического факультета НГУ, составляющих гордость факультета. Он прошёл долгий, сложный и весьма успешный путь на Северо-Востоке страны от позиции рядового геолога до крупного руководителя, определявшего направления и пути функционирования геологической отрасли в этом сложном во всех отношениях, но крайне важном для всей страны сырьевом регионе, где он работал до 2003 года.

### Полевые исследования в системе геологической службы Северо-Востока страны

#### *Из воспоминаний Сергея Михайлова, сына Б.К.Михайлова:*

*В 1972 году отец окончил Новосибирский государственный университет, получил диплом инженера-геолога и уехал по распределению в тот самый Хасын. Посёлок Хасын – легендарная база геологов и геофизиков Северо-Востока Советского Союза.*

*Стихи Сергея Сегалья, геофизика Рудной партии:*

*Где сонное солнце касается сопок,  
Где налита в наледь небесная синь,  
Стоит у Палатки геолог-посёлок,  
Которому имя Хасын.*

*Здесь все имена ещё помнятся в лицах,  
Такого забыть не дано никому.  
Он дедушка партий, отец экспедиций,  
Открывших Чукотку, Охотск, Колыму.*

*И где бы ты ни был, ты сердцем привязан,  
В какие б тебя не позвало края,  
Хасын – это дом, это главная база  
И труд твой и юность твоя.*

На счету Хасынской Центральной геолого-геофизической экспедиции многочисленные открытия месторождений полезных ископаемых в Магаданской области, Чукотке, Хабаровском крае. Посёлок состоял из личностей. Владимир Кожуховский, Владимир Огородов, Борис Михайлов, Пётр Аноров, Виталька Писарев, Славка Моисеев, Вовка Гурин, Серёга Крестьянинов, Сергей Сегаль, Юрий Старников и много ещё геологов и геофизиков. Все работали в поле, писали отчёты, ругались на техсоветах, творили советскую геологию. Хотелось бы добавить, что эти личности никогда не стремились к диссертациям, их диссертациями были отчёты, которые, согласно плану, сдавались в геологические фонды. На базе этих отчётов многие научные сотрудники известных научных институтов страны делали свои диссертации.



Г.С.Скирпичников, Б.К.Михайлов. Центральная геофизическая экспедиция (ЦГЭ), п. Хасын, Магаданская область, 1976 г.

Это была комплексная экспедиция, в составе которой работало несколько партий – геофизическая, аэромагнитная, гравийно-полевая, а с 1976 года и геохимическая. Сотрудники вели геологическую съёмку масштаба 1:50 000 с общими поисками, поисковые работы, гравиметрическую и комплексную аэрогеофизическую съёмки. Коллектив принял нового геолога прекрасно: умный, начитанный, вежливый Борис Михайлов понравился коллегам, таким же молодым, энергичным, талантливым. По воспоминаниям коллег из ЦГЭ СВТГУ (с 1980 г. ПГО «Севостгеология»), Борис Михайлов находил общий язык со всеми людьми

и по мере необходимости принимал участие в работе разных партий, накапливая ценный опыт, становясь универсалом. Он был в высшей степени надёжным партнёром в работе. Когда же приходило время готовить капустник для придуманного молодёжью ЦГЭ праздника «День полевика» или Нового года, Михайлов присоединялся к творческой группе. Праздновали весело, и дружественная атмосфера скрашивала бытовые трудности жизни в Магадане 1970-х. Вскоре Бориса Константиновича назначили старшим геологом геолого-съёмочной партии, затем – главным геологом спецпартии. При этом окружающие видели, что Михайлов не стремился к начальственным постам и, разумеется, не кичился своим карьерным ростом, сохраняя демократичную манеру общения. Об этом помнят все, кто знал Бориса Константиновича в разные периоды жизни.



Районы исследований ЦГЭ СВТГУ, проводимых с участием и под руководством Б.К.Михайлова, охватывали значительный отрезок Охотско-Чукотского вулканогенного пояса и прилегающих к нему структур: от северных отрогов хребта Джугджур на севере Хабаровского края до Центральной Чукотки. Михайлов занимался изучением и опосредованием ряда золото-серебряных и золотрудных месторождений Северо-Востока: Сопка Рудная, Карамкен, Наявленга, Хаканджа, Кубака, Майское, Каральвеем. Его научные интересы были связаны с рудно-металлогеническими исследованиями и локальным прогнозированием на основе комплексного использования материалов геохимических, геолого-геофизических, аэрофото- и космосъёмки.

***Из воспоминаний Сергея Михайлова, сына Б.К.Михайлова:***

*В начале своей производственной деятельности Борис работал старшим геологом в геолого-съёмочных отрядах (партиях), которые включали комплекс работ по геологической съёмке масштаба 1: 50 000, поиски, проходку канав. Замечательный человек, честный, добрый, знающий геолог, любящий свою работу, его уважали начальство и сотрудники экспедиции. С ним хотели работать, стремились попасть в его отряд. Борис очень скромный человек. Он никогда не стремился выслужиться. Он просто любил свою работу, очень любил, умел работать, и всё у него получалось само собой. Позже Борис работал с геофизиками спецпартии № 5 (гравитки), где им были сделаны интересные выводы по Велиткенайскому массиву.*

*В 1973 году родители поженились, в 1974 родился я. Семье дали комнату в бараке на 6 комнат. Все так жили, никто не жаловался. В 1982 году получили отдельную квартиру в новом двухэтажном деревянном доме площадью 26 кв. м. На вечной мерзлоте*





дом постоянно перекашивало, и по два раза в год приходилось заделывать трещины на потолке. Но какие это всё-таки мелочи. Отец очень меня любил. Всегда неразрывно мы были вместе. С 10 лет я часто ездил с ним в поле. Ходил в маршруты. Учился играть на гитаре как папа.

В конце 1989 г. Бориса Константиновича Михайлова по итогам конкурса перевели в центральный аппарат СВШГО, где он приступил к работе в должности ведущего геолога по госкартированию. Одновременно его включили в состав Дальневосточного филиала НРС Министерства геологии СССР (при Дальневосточном институте минерального сырья). В течение двух лет – до реорганизации геологической отрасли страны – он координировал проведение региональных геолого-съёмочных работ масштаба 1:200 000 и 1:50 000 и общих поисков в Магаданской области и Чукотском автономном округе. В 1992 г. Б.К.Михайлов стал начальником отдела региональных геолого-геофизических, гидрогеологических и геоэкологических работ Севвостгеолкома.

### ***Из воспоминаний Заслуженного геолога РФ Ю.Ю.Воробьёва, заместителя начальника управления геологии твёрдых полезных ископаемых Роснедр в 2004–2012 гг.:***

*Впервые я услышал о Борисе Константиновиче Михайлове 7 августа 1975 года в кабинете главного геолога Центральной геофизической экспедиции в посёлке Хасын в 80 км от Магадана. «Приехал молодой специалист из Москвы, просится на съёмку, у тебя есть, кажется, вакансия?», – спросил хозяин кабинета у начальника комплексной геолого-съёмочной партии. «Да. Борис Михайлов уехал, могу взять на его место», – ответил тот. Через два дня меня высадили с вертолётной базы Хуренского отряда. Встречавший геолог показал палатку: «Располагайся, здесь свободно. Тут Михайлов жил, да вот уехал».*

*Потом мы ходили в маршруты на участке и «сбивались» при этом с прошлогодними маршрутами Михайлова на соседних водоразделах... В камералке мне попался очень аккуратный, даже красивый набросок какой-то схемы, и на мой вопрос очень уважительно ответили, что это палеовулканическая карта, которую рисовал Борис Михайлов. «Он же ученик самого Лучицкого!»*

*Михайлова постоянно упоминали и геологи, и техники, и завхоз – всегда очень по-доброму. Однажды я не вытерпел:*

*– Михайлов, по вашим разговорам, такой умный, а что же уехал-то?*

*– Да с начальством не поладил и «сдёрнул» – сказали мне в ответ, – но он вернётся, вот увидишь.*

*И он вернулся через год! Правда, не в нашу съёмочную партию, а к геофизикам-гравикам. Посёлок наш был небольшой, геологический, почти все друг друга знали, все были свои. И отношения между людьми и на работе были совершенно иные, чем в городах.*

*Я подошёл к нему на улице и просто сказал:*

*– Привет, я знаю: ты – Михайлов. А я Воробьёв. Я работал на твоём месте и спал в твоей палатке, и мне о тебе много рассказывали. И я думаю, у нас есть много, о чём поговорить.*

*Он засмеялся немного удивлённо и с лёгкой иронией:*

*– Ну, конечно, поговорим, обязательно...*

*Он мне тогда сразу внушил доверие и лёгкую зависть, и мне захотелось тоже стать таким умным, таким независимым, таким уверенным. Но я не мог и представить тогда, какую роль этот, вполне обычный, парень будет играть в моей жизни и жизни моей семьи на протяжении более сорока лет.*

Конечно, тогда мы ни о чём особо и не поговорили. Михайлов был уже кондовый полевик, а я «птенчик», хотя и всего на два года моложе. Крайний Север сам по себе, а тем более северные полевые сезоны заставляют человека быстро взрослеть.

Михайлов работал сначала у гравиков, покорял чукотские сопки и реки, затем вернулся на геологическую съёмку-пятидесятку старшим геологом отряда. Мы здоровались, встречались в курилке или в весёлых компаниях, но по работе особенно не пересекались.

Это было время расцвета геолого-съёмки-пятидесятки с общими поисками на Северо-Востоке. Одновременно велись площадные геохимические и различные геофизические исследования в огромных объёмах. Регион интереснейший в геологическом отношении. Финансирование по сравнению с нынешним немереное. Транспорт разнообразный: кони, лодки, вездеходы, вертолётчики... В воздухе ещё витал дух первопроходцев, дух куваевской «Территории», дух песенной романтики... А ещё были молодость, энтузиазм, уверенность в важности нашей работы и безмерное желание выполнить её как можно лучше.

В 1982 году меня сделали старшим геологом группового геолого-съёмочного отряда и ответственным исполнителем отчёта. А Бориса – главным геологом комплексной геолого-съёмочной партии, то есть моим непосредственным руководителем. Вот теперь мы и наговорились; он всерьёз взялся за моё геологическое воспитание: учил широкому, обзорному мышлению, структурному подходу, привлечению и грамотному использованию геофизических материалов. Он всегда стремился сам и требовал от других найти что-то новое, какую-то изюминку в отображении и осмыслении структуры, минерации района... И ещё – умению работать с людьми: он не приказывал, он советовал, и так, что было невозможно это не выполнить. Рабочего времени не хватало для решения проблем, я являлся в выходные дни к нему домой с «пол-литрой», и мы в сигаретном дыму продолжали обсуждать геологию, производство, ругать начальство или просто говорить «за жизнь». Вот так и началась наша дружба, так и продолжалась многие годы.

Геологическая судьба на протяжении следующих двадцати с лишним лет то разводила нас в разные стороны, то вновь сводила в разных качествах – то эпизодически, то надолго.

В 1989 г. мы расстались надолго. Михайлова взяли на повышение в Магадан, меня послали почти в глухомань в пос. Усть-Омчуг.

Году, по-моему, в 1993-м мы вместе с Борисом оказались участниками какого-то всероссийского семинара или совещания в Иркутске, проводимого Комитетом по геологии РФ. Михайлов был тогда главным по региональным работам в Севвостгеолкоме, я работал в руководстве крупной поисково-съёмочной экспедиции. Речь шла о резком сокращении финансирования геологоразведочных работ и прочих гадостях, нам грозящих. А мы были рады встрече, рады тому, что из холодного Магадана попали в жаркий Иркутск, и, несмотря на то, что уже перевалило обоим за 40, впали, что называется, в детство. Мы завалили свой двухместный номер гостиницы «Ангара» накупленными на городском рынке овощами, зеленью, байкальским омулем в разном виде и прочими вкусностями, которых в те времена в Магадане отродясь не видели, либо они были страшно дороги. Борис познакомил меня с приехавшим из Новосибирска своим другом детства и юности, замечательным человеком и известным ныне геологом. Мы катались по Ангаре, посетили Байкал и выпили по стакану чистой озёрной воды. На набережной Ангары на сцене-временке красиво пела молодая актриса, и нам очень захотелось подарить ей цветы.



*Однако, купив букет, мы уже не обнаружили певицу, и в результате торжественно вручили букетик гвоздик немного ошалевшей от неожиданности и нашего напора бабушке-смотрителю краеведческого музея...*

*Никогда после мы не были так беззаботны и веселы, а в те дни нам ещё верилось, что трудности временны, всё скоро наладится, эйфория перестроечных лет ещё не покинула нас.*



*Но потом стало совсем плохо. От великой геологии Северо-Востока осталось не более 10 процентов. Мы были в этом остатке.*

*В конце 1994 года я переехал в Магадан, и мы с Борисом снова оказались рядом. Мы жили в одном доме, наши собаки были родственники, с той поры его сын, давно уже ставший взрослым, и сейчас называет меня «дядей Юрой», а для моей дочери он остался навсегда «дядей Борей».*

### Поиски и оценка крупнообъёмных золоторудных месторождений

В 1997 г. крупная горнодобывающая компания ВНР готовилась к реализации в Магаданской области ряда геолого-разведочных проектов и искала специалиста на должность руководителя работ. Б.К.Михайлов был приглашён занять этот пост, дал согласие и приступил к исследованиям золоторудных объектов Дегдекан, Малый Ат-Юрях, Глухариный, а также медно-порфировых – Уптар и нескольких рудопроявлений

к западу от Магадана. Как отмечено в биографии Бориса Константиновича в книге Ю.В.Прусса «Геологическая служба Северо-Востока России», в ходе этой работы Михайлов приобрёл необходимый опыт поисков и оценки золоторудных месторождений в черносланцевых толщах. А впоследствии (став геологом проекта Представительства фирмы ВНР Minerals International Exploration Inc.) получил возможность повысить квалификацию при посещении месторождений твёрдых полезных ископаемых США, Австралии, Великобритании.

В конце 1999 г. Б.К.Михайлов занял пост заместителя председателя Комитета природных ресурсов Магаданской области и в течение двух лет отвечал за координацию геологических исследований и решение вопросов воспроизводства минерально-сырьевой базы региона. В этот период по его инициативе разработана целевая программа поисков крупнообъёмных золоторудных месторождений Магаданской области.

Включённые в программу объекты были изучены в 2002–2012 гг., и на основании проведённой оценки ресурсный потенциал Яно-Колымской золоторудной провинции (запасы и прогнозные ресурсы высоких категорий) вырос десятикратно – до 7 тыс. т. Потенциал годовой добычи золотодобывающего района на Северо-Востоке России, согласно проведённым расчётам, составил 100–120 т, если разработка коренных месторождений будет вестись на протяжении примерно пятидесяти лет.

В мае 2001 г. Б.К.Михайлова пригласили работать в центральном аппарате Министерства природных ресурсов РФ. Первоначально он возглавлял отдел геолого-экономических и стоимостных оценок, а с октября 2001 г. – управление минерально-сырьевых ресурсов.



**Из воспоминаний Заслуженного геолога РФ Ю.Ю.Воробьёва, заместителя начальника управления геологии твёрдых полезных ископаемых Роснедр в 2004–2012 гг.:**

*В 1997 году Борис Константинович вытащил меня на своё место начальника отдела Севвостгеолкома, а сам ушёл работать в филиал компании Би-Эйч-Пи.*

*В 1999 году Михайлов вернулся на госслужбу, уже в КПП по Магаданской области в ранге заместителя руководителя. Пришёл, обогащённый опытом организации и проведения работ в одной из крупнейших зарубежных компаний. Его главной стала теперь идея о коренном пересмотре золоторудного потенциала Северо-Востока России с точки зрения выявления большеобъёмных месторождений золота, в том числе и за счёт переоценки ранее известных. Реализация таковой программы могла бы, по его мнению, превратить Магаданскую область в крупнейшую золотодобывающую провинцию мира. Он подготовил проект соответствующей программы и поехал с ним в Москву.*

*В 2001 г. Бориса Михайлова пригласили в Министерство природных ресурсов.*

*Через несколько месяцев он приехал в Магадан забирать вещи, мы долго разговаривали, в основном о его новой работе; он делился своими планами.*

*«Знаешь, Юрка – сказал он, – я понял, что все эти годы на Севере мы жили не в России. Там всё иначе: и жизненные ценности, и отношения между людьми. Мне там нужны единомышленники. Я хочу тебя забрать, ты мне нужен там. Поедешь?», – и я поехал. Так он снова стал моим начальником, уже в 4-й раз.*



### **Создание системы методического сопровождения геологоразведочных работ в РФ**

Для геологической отрасли России начало XXI века стало переломным моментом: смена поколений привела к снижению профессионального уровня коллективов производственных геологоразведочных организаций. Молодым специалистам, начинавшим накапливать опыт практической работы, было крайне важно познакомиться с методическими подходами отраслевых геологоразведочных институтов. Между тем, работавшая в СССР система взаимодействия экспертного сообщества и ПГО при координирующей роли специалистов министерства разрушилась в силу полной реорганизации геологической службы страны, и чиновники Министерства природных ресурсов РФ должны были незамедлительно предложить новую схему сотрудничества. Вот в это непростое время управление минерально-сырьевых ресурсов Минприроды РФ возглавил Борис Константинович Михайлов. В его лице отрасль получила очень компетентного, думающего специалиста и опытного руководителя, который объединил профессиональное сообщество и нашёл решение наболевших вопросов. В 2001 г. благодаря инициативе и всесторонней поддержке Б.К.Михайлова и его коллег из министерства и отраслевых институтов Государственная геологическая служба России приняла решение об обязательном научно-методическом обеспечении и сопровождении геологоразведочных работ на твёрдые полезные ископаемые, выполняемых за счёт федерального бюджета. В марте 2004 г. в ведении Минприроды РФ было создано Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра), в котором начальником управления геологии твёрдых полезных ископаемых стал Б.К.Михайлов. В общей сложности он курировал вопросы, связанные с методическим сопровождением геологоразведочных работ на протяжении восьми лет.

Несмотря на напряжённый график работы в управлении твёрдых полезных ископаемых Роснедр, Борис Константинович занимался научными исследованиями. Он сумел проанализировать и обобщить огромный материал по отечественной минерально-сырьевой базе твёрдых полезных ископаемых, сложившейся в начале XXI века, и в 2010 г. успешно защитил диссертацию «Развитие экономических механизмов модернизации минерально-сырьевого сектора России на инновационной основе».

***Из воспоминаний канд. геол.-минер. наук А.Г.Волчкова, заведующего методическим отделением ЦНИГРИ:***

*Я прекрасно помню нашу первую встречу с Борисом Константиновичем Михайловым, состоявшуюся в 2001 году: он тогда только начал работать в Минприроды РФ и приехал в ЦНИГРИ обсудить проблематику исследований золоторудных месторождений Полярного Урала (которыми я руководил в 1997–2002 гг.) и построения прогнозной карты на золото этого региона. Предварительно он позвонил мне из министерства, представился, объяснил, что его интересует, и договорился о времени своего визита. Очень приятное впечатление произвела его подчёркнуто вежливая манера разговора, и было совершенно очевидно, что это профессиональный человек, хорошо понимающий наши задачи.*

*В начале 2000-х в отрасли было очень много объектов госзаказа, но отсутствовала чёткая система их выбора и контроля за выполнением ГРР. Как следствие, участились случаи «нулевых» результатов исследований, проведённых на государственные средства. Наконец, в 2002 г. Минприроды РФ поддержало проект научно-методического сопровождения отечественных геологоразведочных работ на твёрдые полезные ископаемые. Конечно, сама идея такого сопровождения, восстанавливающего взаимодействие всех звеньев отрасли, сформировалась в экспертном сообществе, но реализовалась она именно при Борисе Константиновиче Михайлове и в значительной мере по его инициативе. Он координировал деятельность научных институтов, а разработку проекта научно-методического сопровождения ГРР поручил ЦНИГРИ, так как основной объём бюджетного финансирования был связан с месторождениями алмазов, благородных и цветных металлов. Кроме того, наш институт считался самым мощным из отраслевых организаций. Руководил подготовкой проекта Сергей Серопович Вартамян (в тот период заместитель директора ЦНИГРИ).*

*Помимо нашего института (головной организации), Борис Константинович Михайлов привлёк к участию в реализации проекта научно-методического сопровождения геологоразведочных работ ещё девять отраслевых НИИ, и в их числе ВИМС, ИМГРЭ, ЦНИИгеолнеруд, ВСЕГЕИ им. А.П.Карпинского и ряд региональных институтов. Постепенно складывалась структура взаимодействия названных организаций. ЦНИГРИ отвечал за координирование действий участников проекта, готовил сводный отчёт. На ежегодное рассмотрение результатов ГРР Борис Константинович приглашал представителей заказчиков и исполнителей геологоразведочных работ, а также экспертов отраслевых институтов, выполнявших научно-методическое сопровождение на объектах госзаказа. После рассмотрения вопросов по существу принимались решения о необходимости корректировки проведения работ на конкретных объектах, о включении новых объектов в перечень ГРР на следующий год. Чувствовалось, что Борису Константиновичу очень интересно участвовать в рассмотрении: эрудированный геолог с богатым опытом работы в отрасли, он мог реализовать свой потенциал в этой деятельности. При выборе новых объектов особенно важным он считал качество и надёжность подготовленного обоснования. Многим памятна его традиционная реплика: «Подумай и скажи честно, если бы у тебя в кармане лежали эти 200 миллионов, ты бы их отдал на этот объект?»*

*Я хотел бы подчеркнуть важный момент: Борис Константинович придавал большое значение разработке бюджетных тем, связанных с научными задачами. Он просил институты предлагать новые проекты, нацеленные на выделение площадей для геологоразведочных работ, и всячески поддерживал связанные с решением этой задачи предварительные научные исследования за счёт средств федерального бюджета. Б.К.Михайлов был сторонником работ на ранее хорошо изученных крупных территориях со сложившейся историей минерально-сырьевой базы – на Урале, Алтае, в Забайкалье и т.д. И, надо сказать, из исследований, проведённых благодаря его поддержке, родились интересные новые объекты.*

*В вопросах перспективных исследований Борис Константинович проявлял завидное чутьё. Он поддержал серию проектов, направленных на решение поисковых задач и связанных с необходимостью анализа ранее накопленной информации (космических*



Рассмотрение результатов ГРП по объектам госзаказа на секции НТС Роснедр в ЦНИГРИ, 2019 г.

снимков, данных геологоразведочных работ, результатов геофизических исследований), характеризующей большие площади – по несколько тысяч. кв. км. Например, он поддержал ряд разработок ЦНИГРИ по прогнозу медно-цинково-колчеданного и медно-порфирового оруденения на Южном Урале, по прогнозу полиметаллического оруденения в хорошо изученных нашими специалистами районах Рудного Алтая, на Салаире, в Забайкалье и Северном Прибайкалье. По итогам этих исследований были локализованы десятки новых перспективных площадей для проведения ГРП, и уже получены очень хорошие результаты. На ряде объектов работы продолжают в настоящее время.

Можно сказать, что Борис Константинович Михайлов дал всем этим перспективным объектам путёвку в жизнь. Наступили новые времена, однако научно-методическое сопровождение, которому Борис Константинович посвятил часть своей жизни, до сих пор играет ключевую роль в повышении эффективности ГРП, проводимых за счёт средств федерального бюджета.

**Из воспоминаний д-ра геол.-минер. наук И.Ф.Мигачёва, главного научного сотрудника ЦНИГРИ, директора института в 1989–2012 гг.:**

В 2004 году Федеральное агентство по недропользованию начало выделять достаточно приличные деньги на производство геологоразведочных работ на участках. И эти позитивные перемены связаны с именем Бориса Константиновича Михайлова, начальника управления твёрдых полезных ископаемых Роснедр. Отрасли был нужен именно такой человек в руководящем звене.

Работая в Магадане, Борис Константинович Михайлов занимался региональными вопросами, прежде всего геологической съёмкой с общими поисками, но, перейдя в Минприроды, а затем в Роснедра, он очень быстро вошёл в курс дел, которыми занималось управление твёрдых полезных ископаемых. Тем более, что он обладал большим кругозором благодаря разнообразному опыту работы, в том числе в зарубежной компании. Главной его задачей был отсев неперспективных и выбор наиболее значимых объектов для постановки более детальных поисковых и поисково-оценочных работ за счёт средств федерального бюджета. Выбор осуществлялся на основании тех данных, которые давали геологи из местных производственных организаций и специалисты отраслевых институтов, в том числе ЦНИГРИ. Михайлов поднял на достойную высоту научно-методическое сопровождение геологоразведочных работ. Соответствующий отдел в ЦНИГРИ был

создан в период работы Бориса Константиновича, и сейчас это, по существу, ведущее подразделение института.

Борис Константинович интенсивно работал с недропользователями, при необходимости изыскивая средства для частичного финансирования их работы.

Начиная с 2002 года при поддержке Бориса Константиновича было реализовано немало важных госбюджетных научных исследований с применением разработок отраслевых НИИ к конкретным объектам и районам. Он прислушивался к экспертам и в большинстве случаев принимал правильные решения. Так, я предложил Борису Константиновичу Михайлову провести поиски на Ковроленовской площади на Чукотке, для которой местными геологами была составлена карта масштаба 1:1 500 000 с контурами довольно обширной зоны медно-порфирового оруденения. Это было перспективно, и, несмотря на трудности с выделением средств, мы получили государственную поддержку. Три года вели поиски. Для того, чтобы искать медно-порфировые месторождения нужен большой объём буровых работ, который в то время был нам недоступен, тем не менее, мы выявили несколько потенциально рудоносных участков, на одном из них с 2019 года идут геологоразведочные работы. Корякия и Чукотка (в том числе Ковроленовская площадь) – территории с неразвитой инфраструктурой, экологическими проблемами, и с точки зрения развития минерально-сырьевой базы меди они интересны пока только в долгосрочной перспективе. Но Борис Константинович, понимая риски, связанные с вложением средств в поисковые работы сегодня и сейчас, был готов работать на будущее, на перспективу.

В 2008 году наш научный коллектив, и в том числе Борис Константинович Михайлов, был удостоен Премии Правительства РФ в области науки и техники за научное обоснование, создание и реализацию системы прогноза и воспроизводства минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов Российской Федерации. Роль Бориса Константиновича в этой работе очень весомая: он не только участвовал в разработке идей, но как руководитель в системе Роснедр продвигал наши методики, объяснял их научную основу. Без такой реализации идеи умирают, всё новое необходимо поддерживать, и он это хорошо понимал.

Одним из крупных проектов, осуществлённых ЦНИГРИ уже в период работы Бориса Константиновича Михайлова директором нашего института, стали поисковые работы с оценкой перспектив выявления промышленных месторождений медно-порфирового типа в вулканоплутонических поясах Южного Урала. Ещё одна наша с ним совместная работа, уже методическая, – проект положения о порядке проведения (этапах и стадиях) геологоразведочных работ на твёрдые полезные ископаемые. Без поисковых работ в масштабе 1:50 000 мы не сможем находить новые перспективные месторождения – вот основная идея того новаторского проекта. К сожалению, предложенный нами методический подход пока так и не внедрён в практику, хотя Борис Константинович, придя работать в АО «Росгеология», приложил усилия, чтобы донести до руководства важность постановки такой задачи.

Борис Константинович был, несомненно, склонен к аналитической, научной работе. Именно поэтому я предложил ему стать моим преемником на посту директора ЦНИГРИ в 2012 году. Его научные интересы в период службы в Роснедрах расширились и охватывали не только геологические проблемы, но и вопросы экономического регулирования развития минерально-сырьевой базы. Он увлёкся этой проблематикой, так как работал с обширнейшим материалом и знал минерально-сырьевую базу всей страны. У него появилось много интересных идей относительно механизмов развития геологоразведочной отрасли. Когда Борис Константинович защищал кандидатскую диссертацию, было ясно, что он мог бы продолжить исследования и вскоре выйти на защиту докторской диссертации. Впоследствии он написал ряд хороших статей, выступал на слушаниях в Государственной Думе РФ, в Совете Федерации для того, чтобы конкретные предложения экспертного сообщества были услышаны на высоком уровне и приняты конструктивно.

Я думаю, что годы, посвящённые научной работе, были у Бориса Константиновича Михайлова очень продуктивными.

## Организационная и аналитическая работа в 2012–2020 гг.

В 2012 году геолог с сорокалетним стажем, опытный руководитель, кандидат экономических наук Борис Константинович Михайлов принял руководство над Центральным научно-исследовательским геологоразведочным институтом цветных и благородных металлов. Это был трудный период для института. Нужно было поддерживать традиционно сильные направления научных исследований ЦНИГРИ. Состоялось несколько проектов поисковых работ, основы которых были заложены совместно с Б.К. Михайловым в период его работы в Роснедрах: поисковые работы с оценкой перспектив выявления промышленных месторождений медно-порфирового типа в вулcano-плутонических поясах южного Урала, исследования на Алтае. Были предприняты и другие шаги. В частности, Борис Константинович способствовал росту международной известности уникальной научной школы применения типоморфных признаков золота для широкого круга геологических задач: в 2015 г. вышло новое, переработанное издание атласа «Самородное золото рудных и россыпных месторождений России» Л.А. Николаевой с соавторами, а затем на международных конференциях за рубежом сотрудники института выступили с научными докладами, посвящёнными этому направлению работы ЦНИГРИ.

### ***Из воспоминаний канд. геол.-минер. наук А.И. Черных, генерального директора ФГБУ «ЦНИГРИ»:***

*Я познакомился с Борисом Константиновичем Михайловым в 2006 году, когда, как и многие другие немосковские геологи, приехал в Роснедра на ежегодные рассмотрения результатов и планов ГРР. При наличии многочисленных исполнителей работ по Госзаказу обсуждение текущих результатов позволяло обмениваться опытом и учиться. Я сразу обратил внимание на то, что, несмотря на простоту в общении, Бориса Константиновича все участники совещания воспринимали как неоспоримый авторитет. Затем мы многократно встречались во время его работы в Управлении геологии ТПИ Роснедра, и он всегда готов был выслушать геологов, которые приезжали со всех уголков страны. Однажды в его небольшой приемной я попал в очередь из геологов, приехавших из Сибири и Дальнего Востока.*

*В Борисе Константиновиче совсем не просматривался образ «московского начальника». Наверное, ему с его жестким характером и крайне острым переживанием за Геологию нашей страны было очень непросто на административной работе. Борис Константинович всегда с удовольствием вспоминал свои годы, проведённые на магаданской земле, и мог долго и в деталях рассказывать об истории открытия и изучения почти любого рудопроявления золота. Сразу бросилось в глаза, что он был человеком, который при широком кругозоре видел суть и глубину геологических проблем. Окончательно я убедился, что Борис Константинович в первую очередь геолог, а не чиновник, в 2009 году. Мне нужно было отстаивать необходимость продолжения работ по одному из поисковых объектов, на котором я работал всего месяц. За полтора года на объекте не было сделано ничего из того, что должно было быть сделано, и для Заказчика спокойнее было проект закрыть, чем продолжать работы. Михайлов потратил два часа своего времени на довольно жесткое обсуждение ситуации, но дал возможность работать дальше, потому что увидел геологические перспективы. После изменения методики и переутверждения проектно-сметной документации работы были выполнены, а на поисковом участке выявлены новые проявления, и апробированы ресурсы золота.*

*Широкая эрудиция, знания рудной геологии, экономики и огромный опыт работы в органах управления недрами в регионе и в Москве позволяли Борису Константиновичу находить эффективные решения проблем нашей отрасли. Именно при его активном участии возобновилась практика научно-методического сопровождения ГРР на ТПИ подведомственными институтами. Он повысил значимость использования геолого-экономических алгоритмов оценки ресурсов на начальных стадиях ГРР. Развивал принципы программно-целевого планирования. Инициировал широкомасштабную переоценку ресурсного золоторудного потенциала Магаданской области на основе изучения большеобъёмных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах и многие другие проекты.*

*Борис Константинович пользовался огромным уважением, потому что все видели, как он переживает за геологическую службу страны, за восполнение МСБ и судьбу новых объектов ГРР. Для моего поколения геологов Б.К.Михайлов был человеком Государственного масштаба. Мы все понимали, что те управленческие решения, которые он принимал, были направлены на пользу дела, на укрепление МСБ России на многие годы вперед.*

*Судьба распорядилась так, что теперь я работаю в ЦНИГРИ – в институте, который Б.К.Михайлов возглавлял в 2012–2015 годах. В этот сложный период он смог усилить практическую значимость работ института. Борис Константинович часто бывал у нас, и мне кажется, приезжал в ЦНИГРИ с удовольствием. Я благодарен ему за то время и внимание, которое он уделял нам, несмотря на свою постоянную занятость. Уверен, что все геологи нашей страны будут помнить тот неоценимый вклад, который он внес в развитие нашей отрасли.*

*В последние четыре года мы намного чаще общались с Борисом Константиновичем. Обсуждали проблемы развития геологии и на разных совещаниях, и в неформальной обстановке. Он делился планами по празднованию своего 70-летия и был полон энергии как всегда. У него было множество проектов, идей, предложений по направлениям ГРР. Борис Константинович работал от души и жил полной жизнью. Думал о работе до последнего дня и умер в работе.*

### **Из воспоминаний д-ра геол.-минер. наук А.И.Иванова, научного руководителя ЦНИГРИ, директора института в 2015–2018 гг.:**

*Я знаком с Борисом Константиновичем с 2004 г., когда он занял должность начальника Управления твёрдых полезных ископаемых. Он восемь лет возглавлял управление, и это были «золотые годы», когда были открыты многие промышленные и потенциально промышленные объекты, а ряду давно известных месторождений дана «вторая жизнь» – переоценка с новых геологических, технологических и экономических позиций позволила значительно увеличить их масштаб. Огромная заслуга в этом была Михайлова – он возглавлял процесс тщательного рассмотрения материалов по новым объектам, предлагаемым для геологического изучения за средства федерального бюджета, и результатов уже проводимых работ. Он отличался способностью «просеивать» информацию и отбирать для постановки работ те участки, которые в результате давали прирост прогнозных ресурсов, а в ряде случаев –*



Совещание по работам на Аройском объекте, Иркутск, 2006 г.

и запасов. При этом важно подчеркнуть, что он очень внимательно относился к мнению других специалистов, большая роль при принятии решений им отводилась отраслевым институтам.

Решив сменить род деятельности и перейти в ЦНИГРИ в качестве директора, он предложил мне стать его первым заместителем. Почти три года мы проработали в ЦНИГРИ вместе, и за это время нам удалось усилить работу института по ряду направлений. Работать с Борисом Константиновичем было комфортно как из-за его высоких профессиональных качеств, так и человеческих. Честность, порядочность, целеустремлённость, постоянная жажда нового, высокая работоспособность привлекали в нём всех его коллег.

После перехода Бориса Константиновича в Росгеологию мы регулярно встречались вплоть до его последнего дня.

Для меня лично это огромная потеря. После известия о его смерти, прозвучавшего действительно «как гром среди ясного неба», постоянно всплывают в памяти строчки из песни Высоцкого «Он вчера не вернулся из боя» ...

**Из воспоминаний д-ра геол.-минер. наук, академика РАН Н.П.Похиленко, научного руководителя ИГМ СО РАН:**

После окончания НГУ мои полевые научные и прикладные работы, проводившиеся в нашей стране и за её пределами до 2006 года, не пересекались с районами работ Бориса Константиновича. Снова встретились мы уже в Москве в МПР РФ в 2008 году, где Борис Константинович занимал должность начальника Управления геологии твёрдых полезных ископаемых Федерального агентства по недропользованию. Годом ранее я был избран на должность директора Института геологии и минералогии СО РАН и, следуя заветам своего учителя академика Владимира Степановича Соболева, был твёрдо уверен во взаимной пользе от профессионального сотрудничества геологов-практиков и геологов-учёных при проведении региональных, тематических и прогнозно-поисковых работ. В Борисе Константиновиче я нашёл опытного, знающего и доброжелательного единомышленника и союзника. Я бесконечно благодарен ему за очень важное содействие в вовлечение нашего академического института в весьма непростой для него путь и за полученный опыт работы в качестве головного исполнителя двух весьма крупных для нас госконтрактов, связанных с региональными и тематическими исследованиями по оценке



На Байкале, 2006 г.



На Байкале, 2006 г.

*перспектив алмазоносности территории Сибирской платформы. Три года работы Бориса Константиновича Михайлова в должности директора ЦНИГРИ помогли наладить творческое взаимодействие между возглавляемой им головной исследовательской организацией по алмазам и благородным металлам с профильными академическими институтами Сибирского отделения РАН. Весной 2013 года в дополнение к позиции директора ИГМ СО РАН я был избран заместителем председателя Сибирского отделения, и в сферу моих новых обязанностей вошла координация программ работ геологических институтов СО РАН, ведущих, в частности, исследования в области геологии алмазов и благородных металлов. Борис Константинович и здесь оказался надёжным, опытным и весьма полезным союзником, но это не было основанием для смягчения его очень жёстких и временами даже неоправданно категоричных требований к содержанию, объёму и качеству выполняемых организациями СО РАН субподрядных работ.*

*Следующий, и, к моему глубокому горю, последний этап нашего сотрудничества и многолетней дружбы был связан с его работой в холдинге АО Росгеология. Весной 2016 года я получил приглашение Генерального директора АО «Росгеология» Р.С.Панова войти в состав Научно-технического совета холдинга в качестве заместителя председателя НТС по направлению твёрдых полезных ископаемых. Борис Константинович занимал в холдинге в это время позицию помощника Генерального директора и учёного секретаря НТС, а назначенный в апреле 2019 года на пост руководителя АО «Росгеология» С.Н.Горьков предложил ему занять позицию заместителя Генерального директора холдинга по твёрдым полезным ископаемым. Всё время работы в АО «Росгеология» Борис Константинович отстаивал необходимость реорганизации геологоразведочных работ в новых для страны условиях. Он указывал на острейшую необходимость резкого увеличения объёмов опережающих этапов первых стадий всего цикла геологических работ, связанных с региональными и тематическими исследованиями слабоизученных территорий, в первую очередь арктических территорий Сибири и Дальнего Востока. Обладая весьма высокими компетенциями в области экономической геологии, он указывал на необходимость срочной переоценки «бумажных» и реальных запасов и ресурсов сырья по целому ряду стратегических видов полезных ископаемых и введения необходимых корректив в планы и объёмы необходимых для исправления сложившейся ситуации работ...*

*У него были сформулированы масштабные задачи по программе развития и повышения эффективности работ геологической отрасли страны и глубоко продуманные варианты их решения, но жизнь жестоко и несправедливо распорядилась так, что решать их нам всем придётся уже без него....*

В 2015 г. Б.К.Михайлов приступил к работе в АО «Росгеология» в должности директора по геологоразведочным работам на твёрдые полезные ископаемые. До 2019 г. он являлся советником Генерального директора этого крупнейшего геологического холдинга России. А с августа 2019 г. и до последних дней Борис Константинович работал заместителем Генерального директора – руководителем блока геологии ТПИ АО «Росгеология».

***Из воспоминаний заместителя Генерального директора – руководителя блока геологии и развития А.А.Узюнкояна о работе с Б.К.Михайловым в АО «Росгео»:***

*С лета 2015 г. у Б.К.Михайлова начался новый этап его многообразной жизни. Желая принять участие в развитии и становлении АО «Росгеология», он принял приглашение Генерального директора АО «Росгеология» Р.С.Панова стать советником по геологии Генерального директора Холдинга. Таким образом Б.К.Михайлов через многие годы опять вернулся на производство с огромным опытом и багажом знаний, с целью воплотить на практике все наработанные им методы, принципы и подходы ведения геологоразведочных работ.*

*При принятии решения о переходе в АО «Росгеология» из АО «Якутскгеология» с начала 2016 г. я в первую очередь опирался на мнение самых уважаемых мною в отрасли людей – Б.К.Михайлова и Е.А.Киселева. Полная поддержка и одобрение Б.К.Михайлова, который был моим наставником и учителем последние 15 лет, обещанная им всемерная*

*помощь на новой должности директора Дирекции по геологии ТПИ оказалась решающей при принятии решения о переходе на работу в АО «Росгеология».*

*Кроме курирования работ Холдинга по геологоразведочным работам на ТПИ и региональным работам, как в качестве постоянного советника (всегда доброжелательно, со свойственным ему юмором), так и в качестве заместителя председателя НТС АО «Росгеология» Б.К.Михайлов опубликовал множество статей по актуальным вопросам геологической отрасли, являлся членом многочисленных Рабочих групп, участником совещаний в министерствах и ведомствах, с руководителями регионов России выступал с докладами в Государственной думе и Совете Федерации.*

*Данный период оказался для Б.К.Михайлова одним из самых плодотворных для разработки новых, глубоко продуманных, альтернативных вариантов федерального закона о ВИПР, новой редакции Стратегии развития отрасли до 2025 г., новых принципов и методов организации и ведения региональных геологических исследований, реорганизации АО «Росгеология».*

*Огромный опыт и знания Б.К.Михайлова, глубокий аналитический ум, оригинальные идеи и предложения были оценены новым руководством АО «Росгеология», в результате чего Генеральный директор Холдинга С.Н.Горьков летом 2019 г. предложил Б.К.Михайлову перейти на должность заместителя Генерального директора – руководителя блока геологии ТПИ, на что Б.К.Михайлов мужественно согласился, понимая все имеющиеся трудности и проблемы, требующие решения.*

*21 мая 2020 г. Б.К.Михайлов приехал около полудня из Роснедра с рабочей встречи с Е.А.Киселевым, был в хорошем настроении и доволен проведенными переговорами, зашел ко мне в кабинет, узнал как идут дела, поделился новостями и заторопился в офис на Херсонской. На мое предложение выпить кофе, уже в дверях обернулся и сказал: «Я что навсегда ухожу, сейчас вернусь и попьем». А оказалось, что навсегда...*

Написанные в этот период аналитические статьи свидетельствуют о направленности работы Бориса Константиновича, вырабатывавшего совместно с коллегами план конструктивных действий для поддержания высокого потенциала минерально-сырьевой базы страны.

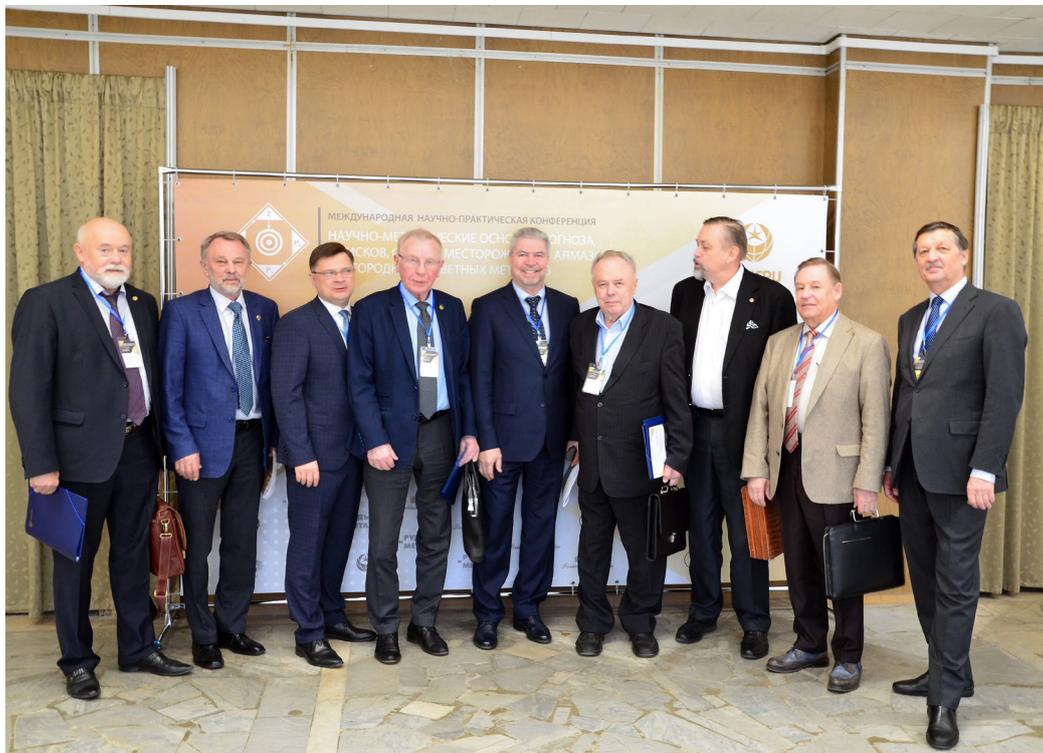
Из статьи Б.К.Михайлова «Создание цифровых основ недропользования – перспективный вид региональных геологических исследований», опубликованной в соавторстве с А.П.Ставским и Г.А.Яловицом в журнале «Минеральные ресурсы России. Экономика и управление» (2019, № 1): «Основной проблемой российского недропользования сегодня является исчерпание «поискового задела». По этому вопросу в экспертном сообществе достигнут определённый консенсус, так что доказывать очевидное нам представляется излишним. Главное сейчас – это понять, что делать в сложившейся непростой ситуации? На наш взгляд, в условиях дефицита времени и финансовых ресурсов существенно пополнить «поисковый задел» и придать новый импульс отечественному недропользованию можно путём подготовки специализированных цифровых информационных массивов, которые будут исчерпывающе характеризовать перспективные рудные районы (для твёрдых полезных ископаемых) и нефтегазоносные области (для углеводородного сырья) России. Нам представляется вполне посильной задачей собрать, разбраковать, оцифровать и структурировать всю имеющуюся на ограниченную территорию геологическую информацию, в том числе отсутствующую в сводных отчётах и базах данных. Но при этом можно добиться перехода информации в новое качество: сделать её более доступной для потенциальных пользователей и переоценить изученность перспективных территорий страны и качество работ предшественников, что позволит наметить программу дальнейших ГРП».

Большое значение Борис Константинович Михайлов придавал вопросам укрепления кадрового состава отрасли. Он понимал, что необходимо постоянно привлекать в геологию талантливую молодёжь и стараться передавать новому поколению специалистов те знания, которыми обладают опытные сотрудники отраслевых и академических институтов, производственных организаций.

Из статьи А.П.Ставского, Б.К.Михайлова «Основные задачи государства в сфере производства минерально-сырьевой базы твёрдых полезных ископаемых» в журнале «Минеральные ресурсы России. Экономика и управление» (2019, № 5): «Без кардинального изменения отношения к образованию и отраслевой науке решить проблему поискового задела в России невозможно. Не помогут ни снятие административных барьеров, ни бюджетные вливания, ни участие в экономических форумах. К сожалению, сегодня не видно никаких признаков понимания этого ни на уровне руководства отрасли, ни на высшем государствен-

ном уровне. Значит надо подождать, когда такое понимание придёт, а потом ждать ещё годы, пока появятся первые результаты...»

Ещё одна проблема, занимавшая Бориса Константиновича, – недостаточная государственная поддержка исследовательских работ.



Участники IX Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов», ЦНИГРИ, 2019 г.

Из статьи Б.К.Михайлова, А.Ф.Карпузова «Направления совершенствования отношений государства и бизнеса в системе геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы» в журнале «Минеральные ресурсы России. Экономика и управление» (2018, № 6): «Крупномасштабные геологические исследования с общими поисками являются важнейшей составляющей стратегической системы государственного геологического изучения недр. Их более чем 25-летнее отсутствие на территории России привело к нарушению оптимального баланса воспроизводства МСБ твёрдых полезных ископаемых за счёт сокращения поискового задела объектов, передаваемых в поисковую стадию, о чём говорится в вышеупомянутом обращении компаний-недропользователей в Правительство РФ. Восстановление этих работ должно учитывать многоцелевой комплексный характер исследований и их высокую наукоёмкость, что, исходя из целей и возможностей компаний, не отвечает их стратегическим установкам и имеющемуся опыту. Все эти годы их основные усилия были направлены на оценку и разведку (доразведку) объектов ранга месторождений, известных с советских времён, тогда как исследование рудных узлов и рудных полей требует принципиально иных подходов, в основе которых лежат глубоко проработанные и научно обоснованные идеи, реализованные в комплексных моделях рудных систем соответствующего ранга и прогнозно-поисковых комплексах. Опыт таких исследований частично сохранился только на предприятиях государственной собственности, объединённых в холдинг АО «Росгеология», и в отраслевых профильных ФГБУ...»

Борис Константинович делал всё, от него зависящее, для того, чтобы назревшие проблемы были замечены на самом высоком уровне и решены.

Борис Константинович Михайлов был прекрасным специалистом, организатором, аналитиком, исследователем. Его труд высоко оценён: он награждён медалью ордена «За заслуги перед Отечеством»

II степени, удостоен других правительственных наград. Государственный советник Российской Федерации 2 класса, менеджер крупнейшей российской геологоразведочной компании, автор более 110 научных публикаций и докладов, в том числе семи монографий, Борис Константинович оставался человеком скромным и демократичным. Его уважали, любили и будут всегда помнить коллеги в нашей стране и за рубежом.

### Штрихи к портрету

*Из воспоминаний Л.С.Суцинского, сотрудника управления твёрдых полезных ископаемых Федерального агентства по недропользованию в 2005–2011 гг.:*

*Невозможно осознать, что вот уже месяц минул с того дня, как Борис Константинович ушёл от нас в свой последний маршрут. Навсегда. Внезапно. Ушёл... и всё. Последнее моё общение с ним было утром 21 мая по телефону. Я слышал его бодрый голос. И вдруг как гром с ясного неба – Бориса Константиновича не стало! Потерян прекрасный и благороднейший человек, интеллектуальный собеседник, геолог милостью Божией.*

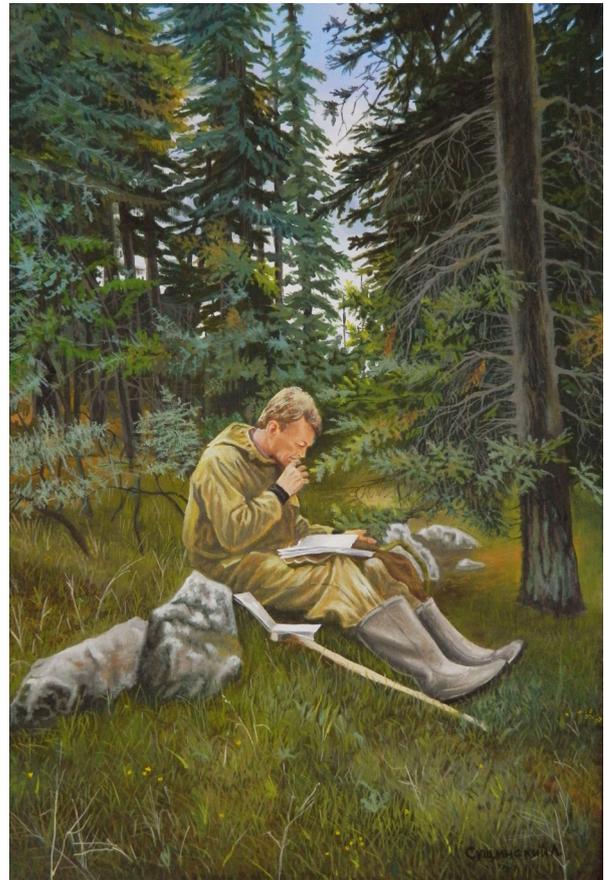
*Моя первая встреча с Борисом Константиновичем состоялась в 2002 году в Москве. В то время я работал в ГУПР по Рязанской области и приезжал в министерство согласовывать программу геологоразведочных работ. После мимолётной беседы (вопрос–ответ, вопрос–ответ) сложилось впечатление: нормальный мужик, без «прибамбасов».*

*2005 год. Борис Константинович пригласил меня поговорить о возможной работе. Я явился строго в назначенное время. Дверь в кабинет начальника управления открыта настежь. Секретарь Людмила Липаритовна доложила о моём приходе, и я вошёл. С этого дня началась наша совместная работа в управлении геологии твёрдых полезных ископаемых Федерального агентства по недропользованию. Навсегда запомнились произнесённые Борисом Константиновичем слова: «работа очень ответственная».*

*Он отличался почти исчезнувшими в наше время качествами – искренностью и простотой в общении. Не любил вычурность в одежде (занимая высокий пост, редко носил галстук – только если надо было принимать участие в коллегиях, каких-нибудь крупных мероприятиях).*

*Он не относился к числу везунчиков и карьеристов, которые умеют воспользоваться подвернувшимся шансом и перепрыгнуть очередную служебную ступеньку. Он был человеком, умеющим давать шанс другим. Все, с кем общался Борис Константинович, отмечают его способность организовывать вокруг себя народ. Выдумщик, инициатор и организатор самых разнообразных программ и проектов.*

*Бориса Константиновича отличала внутренняя собранность – создавалось впечатление, что он всегда готов ответить на любой вопрос. С каждым сотрудником он мог поговорить «накоротке», ему до всего было дело – от проблем Управления до частных дел коллег. «Чужих проблем не бывает», – таким был девиз его жизни, он открыто и бескорыстно помогал любому человеку. Был и ещё один девиз: «не ошибается лишь тот, кто ничего не делает». Действительно, он никогда не утруждал нахлобучек за промахи в работе. Помогал*



Картина Л.С.Суцинского «По нехоженным тропам», 2005 г.

разобраться и правильно решать задачи, поставленные перед сотрудниками. Как руководитель, умеющий брать на себя ответственность за результат деятельности, он вникал во все процессы, при этом делегируя полномочия своим заместителям.

Как-то в кабинет, в котором я работал, зашла представительная делегация во главе с министром Ю.П.Трутневым. Его сопровождали А.А.Ледовских, С.Е.Донской, Б.К.Михайлов. Трутнев попросил доложить о состоянии дел, порученных для выполнения отделу геологии твёрдых полезных ископаемых. Моим докладом-экспромтом министр остался доволен, а Борис Константинович после всего поблагодарил меня за то, что я его не подвёл. И эти слова были для меня как награда. Я старался никогда и ни в чём его не подводить. Такого человека подводить нельзя.

Когда Борис Константинович стал директором ЦНИГРИ и предложил мне перейти вслед за ним в институт, я немедленно дал согласие, считал за честь продолжать работать с ним. Мы не теряли связь и в период его работы в АО «Росгеология». При встречах он угощал обязательно чаем с чем-нибудь сладким (очень любил сладкое), расспрашивал о работе, про личные дела, иногда довольно язвительно шутил, а в глазах проскакивали искорки.

Мне очень хотелось ответить Борису Константиновичу взаимностью за всё, что он для меня сделал, поэтому на его 65-летие я подарил ему картину, которая называется «По нехоженным тропам». На ней изображён Борис Константинович, занятый описанием маршрута в бытность работы на Аляске. И вот смотрю я на эту картину, и комок подступает к горлу... Я буду помнить Бориса Константиновича до конца своих дней.

Как много хорошего и полезного он мог ещё сделать!

**Из воспоминаний Заслуженного геолога РФ Ю.Ю.Воробьёва, заместителя начальника управления геологии твёрдых полезных ископаемых Роснедр в 2004–2012 гг.:**

Восемь лет я проработал одним из заместителей Б.К.Михайлова в Роснедрах. Он собрал замечательное Управление. Михайлов был не просто начальником, а душой коллектива, он не отдавал строгих приказов, он не устраивал громких разносов, но всё вертелось, крутилось, потому что казалось просто невыносимым, стыдным не выполнить поручение в срок и расстроить начальника или подвести его. Его уважали все, кто с ним пообщался хоть один раз. А что уж говорить о его подчинённых, общавшихся с ним ежедневно.

Меня поражала память Бориса. Он до зрелого возраста сохранил присущую детям способность воспринимать огромные объёмы новой информации. Почти в 50 он освоил английский. Из узкого магаданского специалиста по золоту (ну и чуть-чуть по меди) он, став в одночасье фактическим руководителем всех государственных работ на твёрдые полезные ископаемые, в кратчайшие сроки стал знатоком минерально-сырьевой базы страны с её достоинствами и недостатками, перспективами и проблемами.

Он был великим оптимистом в душе, и его не пугали эти проблемы. Он искал пути решения с помощью самых лучших специалистов, умея найти их и привлечь к конкретной работе, сделав своими единомышленниками и соратниками, заражая их своим энтузиазмом. Он повернул институты лицом к производству, а затем и вообще влил их в общий производственный процесс.

Даже нудные ежегодные доклады на отчётных коллегиях он делал каждый раз с новым подходом, с «изюминкой»; он всегда писал их сам, но потом мы садились вдвоём или втроём и обсуждали, спорили, правили по нескольку раз. Он всегда был готов к дискуссии, спору, он принимал возражения, не обижался на критику.

Он одинаково легко находил общий язык с геологом-производственником и зарекомендовался службистом-бюрократам, виднейшим учёным и прожжённым магаданским канавщиком Витей Огурцом.

Он не любил рутины, с удовольствием ездил в командировки по всей стране и везде находил новых друзей. Он был добр и отзывчив к людям. Его кабинет почти не закрывался, у него всегда кто-то был, к нему приходило много коллег, приехавших из регионов, он всех выслушивал и по возможности старался помочь.

*Он не терпел пошлости. Человек, обманувший его или подставивший однажды, просто не интересовал его более. Он быстро распознавал фальшь в человеке.*

*Он любил камни и собирал красивые образцы, отдавая особое предпочтение необработанным кристаллам.*

*Он всегда был душой компании, её центром, искрился юмором. Он имел в запасе массу забавных историй из полевой (и не только) жизни и часто вставлял их даже в серьёзный производственный разговор, когда он (разговор) заходил в тупик или наоборот становился излишне эмоциональным.*

*Он не чурался рюмки, но не любил и избегал по возможности шумных застолий, предпочитая тихие дружеские посиделки. Он «сбегал» от своих дней рождения в отпуск или командировку.*

*Он был отзывчив к чужим бедам и всегда готов помочь.*

*Я не знаю, верил ли он в бога, но рассказывал, что был крещён своим дедом по старому обряду и, по-моему, гордился этим. И прожил он очень правильную жизнь...*

*Последние восемь лет мы не встречались. Регулярно созванивались на Новый год, День геолога, а также на дни рождения... С середины прошлого года он был весел, заряжен энергией. «Есть проблемы, но ничего, всё у нас получится, я же упрямый как носорог». Последний наш разговор состоялся в апреле на День геолога, после обычного разговора он сказал: «Ну, бывай, Юра, если что – сразу звони мне, всегда помни, что у тебя есть я...»*

#### **Из воспоминаний Лены Кондратьевой, племянницы Б.К.Михайлова:**

*Помню с детства, как дядя Боря присылал нам приветы то из Австралии, то из Африки, Америки, Европы, где бывал на научных конференциях. На детский вопрос, кем работает, шутил: «Главный человек по золоту в России.»*

*Дядя был и есть рядом с нами – добрый, заботливый, настоящий. Для меня в какой-то мере и как отец, и как идеал мужчины – с тонким чувством юмора, интеллигентный, порядочный, образованный. А самое главное, что всего в своей жизни добился сам. Без блата, без «мохнатой руки».*

*Не раз дяде присваивали высокие государственные награды, к которым он относился тоже очень просто: «Ну, медаль и медаль! И что теперь – повесить и на нее смотреть?» Стоит ли говорить, что мы очень гордились тем, что Борис Константинович Михайлов наш сын, брат, дядя.*

*В последний раз мы виделись в Москве, я приезжала к дяде в гости из Питера. Побывали не только в столице, но и на даче в Ногинске. Гуляли с семьей по Ногинску, и дядя очень интересно рассказывал историю подмосковного городка. Именно такие тихие и уютные уголки России были ему по душе.*

*Для меня он навсегда останется живым...*

## Памяти Бориса Александровича Яцкевича



**07.01.1948–12.06.2020**

**Борис Александрович Яцкевич** – член Общественного совета Роснедр, Министр природных ресурсов в 1999–2001 гг.

Б.А.Яцкевич родился в 1948 году. В 1972 году окончил геологический факультет Воронежского государственного университета. В том же году был направлен в качестве молодого специалиста в Ухтинскую геологоразведочную экспедицию Ухтинского территориального геологического управления Коми АССР, где прошёл трудовой путь от старшего техника до главного геолога Полярно-Уральского производственного геологического объединения.

Основная часть производственной и научной деятельности Б.А.Яцкевича была связана с поисками и разведкой бокситов Варыквинской группы месторождений Среднего Тимана в Республике Коми. При его непосредственном участии было открыто Восточное месторождение бокситов. Разработанная Б.А.Яцкевичем модель геологического строения самого сложного в группе Верхне-Щугорского месторождения бокситов была положена в основу под-

счёта запасов, которые были в дальнейшем успешно защищены в Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых.

В 1985 году во Всесоюзном научно-исследовательском геологическом институте имени А.П.Карпинского (ВСЕГЕИ) Б.А.Яцкевич защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук «Условия формирования и критерии прогнозирования девонской сублатеритной формации Среднего Тимана». Разработанные в ней научные положения определили стратегию работ на бокситы в регионе конца 80–начала 90 гг. При непосредственном участии Б.А.Яцкевича в 1986–1987 годах было открыто Парнокское месторождения марганца на Приполярном Урале.

В 1990 году Б.А.Яцкевич был приглашён на работу в Государственный комитет РСФСР по геологии и использованию топливно-энергетических и минерально-сырьевых ресурсов на должность начальника отдела геологии твёрдых полезных ископаемых и региональных работ. С 1992 Борис Александрович занимал должность заместителя председателя Комитета по геологии и природным ресурсам РФ, преобразованного в последующем в Комитет РФ по геологии и использованию недр Министерства экологии и природных ресурсов РФ.

В 1996 году Борис Александрович был назначен статс-секретарём – первым заместителем Министра во вновь образованном Министерстве природных ресурсов Российской Федерации. В качестве статс-секретаря Минприроды России участвовал в разработке основополагающих нормативных правовых актов Российской Федерации, регулирующих отношения в сфере недропользования и воспроизводства минерально-сырьевой базы России, в том числе Закона о недрах и Положения о порядке лицензирования пользования недрами.

В 1999 году Борис Александрович был назначен Министром природных ресурсов Российской Федерации.

В 2000 году под руководством Б.А.Яцкевича была разработана и утверждена Правительством Российской Федерации Государственная программа геологического изучения арктического шельфа Российской Федерации, реализация которой завершилась заявкой России в комиссию ООН по расширению шельфа в Арктике более чем на 1,5 млн. кв. км.

В 2000–2001 годах, по инициативе Б.А.Яцкевича, было проведено беспрецедентное техническое перевооружение геологоразведочных предприятий государственной геологической службы. В результате многие направления геологоразведочных работ в России стремительно нарастили эффективность и компетенции и заняли передовые позиции в мире. В это же время, к празднованию 300-летия горно-геологической службы России, по инициативе Бориса Александровича и с участием практически всех геологических предприятий России была осуществлена глубокая реконструкция здания Геолкома России на Васильевском острове в Санкт-Петербурге – предмета гордости и символа российской геологической службы.

В должности первого заместителя Министра и Министра природных ресурсов Российской Федерации в соответствии с принятой в то время практикой Б.А.Яцкевич возглавлял Совет директоров ОАО «Лензолото». Добыча золота обществом в этот период выросла с 1,5 до 11 тонн золота в год.

За годы трудовой деятельности Б.А.Яцкевич был отмечен различными наградами: в 1996 г. – Благодарностью Правительства Российской Федерации, в 1997 г. – званием «Почётный разведчик недр», в 1999 г. – знаком «Шахтёрская слава» 3 степени, в 2000 г. – памятным нагрудным знаком «За заслуги в изучении недр Республики Коми», юбилейной медалью «За заслуги в разведке недр Приморского края», знаком «Шахтёрская слава» 2 степени, медалью «300 лет немецко-русского сотрудничества в горном деле», в 2001 г. – почётным знаком им. В.Н.Татищева «За пользу отечеству» и премией Правительства Российской Федерации. В 2001 году за работу (в соавторстве) «Экзогенная золотоносность и платиноносность Российской Федерации – комплект карт» Б.А.Яцкевичу присуждена премия Правительства Российской Федерации в области науки и техники. В 1995 году Б.А.Яцкевич избран действительным членом (академиком) Международной академии минеральных ресурсов. С 1998 года Б.А.Яцкевич – действительный член Академии горных наук. В 2020 году награждён памятным знаком Роснедр в честь семидесятилетия Победы в Великой Отечественной войне

**Федеральное агентство по недропользованию выражает глубокое соболезнование родным, друзьям, коллегам и близким покойного. Мы помним его как блестящего геолога, эрудита, неуёмного, конструктивного реформатора, внимательного и заботливого Человека. Светлая Память!**

## Памяти Аллы Георгиевны Воларович



**13.01.1939–05.07.2020**

**Алла Георгиевна Воларович** – признанный высококвалифицированный специалист в области разработки эффективных методов регистрации геологических данных с целью повышения качества объективности и производительности документационных работ в процессе изучения и разведки рудных месторождений.

Комплексной программы по созданию единой системы работы с керном и руководила фотодокументационными работами на Мурунтауской глубокой скважине и её спутниках. А.Г.Воларович – автор монографии «Методика геологической фотодокументации золоторудных месторождений».

Любовь к камню привела Аллу Георгиевну в 1993 г. к возрождению музея ЦНИГРИ «Руды благородных, цветных металлов и алмазов». Успешную миссию организатора музея во многом определила неуёмная энергия Аллы Георгиевны. В музее собрана богатая коллекция пород, руд и минералов, графический и демонстрационный материал почти по 500 месторождениям благородных, цветных металлов и алмазов. Постоянное пополнение его фонда новыми поступлениями, деятельное участие в многочисленных выставках разного ранга – всё это большой труд талантливого, любящего геологию человека.

Алла Георгиевна Воларович обладала прекрасными человеческими качествами, которые в сочетании с высоким профессионализмом принесли ей заслуженное уважение и любовь коллег по работе.

Память об Алле Георгиевне Воларович всегда будет жить в наших сердцах.

На 82 году после продолжительной болезни ушла из жизни ветеран ЦНИГРИ Алла Георгиевна Воларович.

Свою трудовую деятельность в институте А.Г.Воларович начала в 1957 г. Она обосновала принципиальные теоретические предпосылки практического использования крупномасштабных геологических фотоснимков с учётом их разрешающей возможности, которые легли в основу кандидатской диссертации. Ею проведена фотодокументация важнейших месторождений России, Казахстана, Киргизии. Использование дистанционных способов получения геологической информации непосредственно из скважин с помощью фотографической и телевизионной аппаратуры побудило Аллу Георгиевну к созданию скважинной съёмочной фотокамеры для употребления в различных видах буровых скважин и комплексирования с традиционными геофизическими методами и ядерным опробованием. Результаты исследований по использованию фотометода при предварительной и детальной разведке золоторудных месторождений различных промышленных типов легли в основу Методических рекомендаций, утверждённых Мингео СССР и внедрённых в производственных геологических организациях. С 1984 г. Алла Георгиевна участвовала в разработке

*Дирекция  
Учёный совет  
Профком  
Коллектив ФГБУ «ЦНИГРИ»*