РУДЫ и МЕТАЛЛЫ

научно-технический журнал

№ 4 ноябрь – декабрь 2020

Учредитель

ФГБУ Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов Роснедра Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации

Свидетельство о регистрации средства массовой информации № 01919 от 21 декабря 1992 г.

Решением Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и 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»

Москва ЦНИГРИ 2020

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Иванов Анатолий Иннокентьевич
главный редактор
доктор геолого-минералогических наук,
научный руководитель ЦНИГРИ

Черных Александр Иванович
заместитель главного редактора
кандидат геолого-минералогических наук,
генеральный директор ЦНИГРИ

Жаркова Вера Сергеевна
заместитель главного редактора
заведующая редакционно-оформительским отделом ЦНИГРИ

Волчков Алексей Гордеевич
кандидат геолого-минералогических наук,
заведующий научно-методическим отделением ЦНИГРИ

Голубев Юрий Конкордьевич
кандидат геолого-минералогических наук,
заведующий отделом алмазов ЦНИГРИ

Горячев Николай Анатольевич
доктор геолого-минералогических наук, член-корр. РАН,
главный научный сотрудник Северо-Восточного Комплексного научно-исследовательского института (СВКНИИ) ДВО РАН

Звездов Вадим Станиславович
кандидат геолого-минералогических наук,
заведующий отделом металлогении ЦНИГРИ

Кременецкий Александр Александрович
доктор геолого-минералогических наук,
советник генерального директора Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ)

Кряжев Сергей Гаврилович
доктор геолого-минералогических наук,
заведующий отделом минералогии
и изотопной геохимии ЦНИГРИ

Кузнецов Владимир Вениаминович
кандидат геолого-минералогических наук,
заведующий отделом цветных металлов ЦНИГРИ

Наумов Евгений Анатольевич
кандидат геолого-минералогических наук,
заместитель генерального директора по научной работе ЦНИГРИ

Похиленко Николай Петрович
доктор геолого-минералогических наук, академик РАН,
главный научный сотрудник Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева (ИГМ) СО РАН

Проскурнин Василий Фёдорович
доктор геолого-минералогических наук,
заведующий отделом Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ)

Седельникова Галина Васильевна
доктор технических наук,
директор геолого-технологического центра АО «Росгео»

Толстов Александр Васильевич
доктор геолого-минералогических наук,
директор Научно-исследовательского геологического предприятия (НИГП) АК «АЛРОСА» (ПАО)

Фридовский Валерий Юрьевич
доктор геолого-минералогических наук, профессор,
директор Института геологии алмаза
и благородных металлов (ИГАБМ) СО РАН

СОДЕРЖАНИЕ
CONTENTS

ПРИКЛАДНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЯ

Масловский А. П.
Золоторудные месторождения Гвианского щита

04

APPLIED METALLOGENY

Maslovsky A. P.
Gold deposits ot the Guiana shield

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Рогизный В. Ф., Куликов Д. А., Мигачёв И. Ф., Донец А. И.
Вскрытие и отработка платино-палладиево-медно-никелевых руд участка Ниттис-Кумужья-Травяная

11

PROGNOSIS, PROSPECTING AND EXPLORATION: TECHNIQUES AND METHODS

Rogizny V. F., Kulikov D. A., Migachev I. F., Donets A. I.
Opening and mining of Pt-Pd-Cu-Ni ores, Nittis-Kumuzhiya-Travyanaya area

Язиков Е. Г., Филимоненко Е. А., Мишанькин А. Ю., Собянин Ю. П., Карпенко Ю. А.
Опытные работы по совершенствованию биогеохимического метода поисков золота в условиях криолитозоны (на примере территории Вьюнского рудного поля, Республика Саха (Якутия))

22

Yazikov E. G., Filimonenko E. A., Mishankin A. Yu., Sobyanin Yu. P., Karpenko Yu. A.
Testwork to improve biochemical gold prospecting method within a cryolite zone (example from Vyunskoye ore field, Republic of Sakha, Yakutia)

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Толстов А. В., Черенков В. Г., Баранов Л. Н.
Генезис и возраст рудной толщи Томторского месторождения ниобия и редких земель, северо-восток Сибирской платформы

32

GEOLOGY OF ORE DEPOSITS

Tolstov A. V., Cherenkov V. G., Baranov L. N.
Genesis and age of the Tomtor Nb and rare-earth deposit ore sequence, Northeastern Siberian platform

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И СВОЙСТВА ПОРОД И РУД

Специус З. В., Лисковая Л. В., Иванов А. С., Богуш И. Н.
Особенности граната и клинопироксена в алмазосодержащих эклогитах из кимберлитовой трубки Удачная, Якутия: свидетельство метасоматоза — 45

Юричев А. Н.
Акцессорные сульфиды из хромититов Харчерузского ультрамафитового массива, Полярный Урал — 54

ГЕОЛОГИ О ВОЙНЕ

Фрагменты рукописи Сергея Дмитриевича Шера «В военные годы» — 65

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

А. А. Константиновский. «Был уверен, что стану художником…» — 78

Тридцать лет спустя. История публикации книги С. Д. Шера «Моя геологическая жизнь» — 85

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ

А. Н. Барышева
Н. А. Леонову — 90

ПОСВЯЩАЕТСЯ ПАМЯТИ

И. А. Карпенко
О. С. Набровенкова — 92

Список статей, опубликованных в журнале «Руды и металлы» в 2020 году — 95

COMPOSITION AND PROPERTIES OF ROCKS AND ORES

Spetsius Z. V., Liskovaya L. V., Ivanov A. S., Bogush I. N.
Features of garnet and clinopyroxene in diamondiferous eclogites from the Udachnaya kimberlite pipe, Yakutia: metasomatosis evidence

Yurichev A. N.
Accessory sulphides and arsenides from chromytites of Kharcheruz ultramafic massif, the Polar Urals

GEOLOGISTS ABOUT THE WAR

Fragments of S. D. Sher manuscript, «The War Years»

PAGES OF HISTORY

A. A. Konstantinovsky. «I was sure I will become an artist…»

Thirty years later. Publication background of S. D. Sher book «My geological life»

OUR CONGRATULATIONS

A. N. Barishev
N. A. Leonova

IN MEMORIUM

I. A. Karpenko
O. S. Nabrovenkov

«Ores and Metals» list of publications 2020

ЗОЛОТОРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГВИАНСКОГО ЩИТА

Проводится сравнительный анализ наиболее интересных крупных месторождений Гайаны и Венесуэлы с рудным полем Кварцстоун (Гайана). В направлении с северо-запада на юго-восток на территории от Венесуэлы до Бразилии в настоящее время известно более 10 рудных полей – месторождений золота, суммарные выявленные ресурсы которых (включая уже добытые) составляют более 2600 т золота (без учёта месторождений Амапари и Саламангони в Бразилии). Практически все месторождения Гайаны и Венесуэлы, выявленные и разведанные за последние 15–20 лет, приурочены к зеленокаменным поясам нижнепротерозойского возраста Гвианского щита. Приводятся геологические особенности наиболее крупных месторождений: Лас-Кристинас-Брисас, Омай, Аврора, Торопару, Тассавини и Моноси.

Ключевые слова: золото, рудное поле, месторождения, Гвианский щит, зеленокаменный пояс, нижний протерозой, зоны рассланцевания, батолит, шток, рудные жилы, вулканогенно-осадочные породы, граниты.

Практически все коренные месторождения Гайаны (рис. 1) приурочены к зеленокаменным поясам нижнепротерозойского возраста, входящим в структуру Гвианского щита. Они образуют в регионе два субпараллельных зеленокаменных пояса общей протяжённостью около 2000 км северо-западного простирания, разделяющихся Центрально-Гайанской региональной зоной рассланцевания [8]. Основные коренные месторождения золота в пределах этой зоны выявлены и разведаны за последние 15–20 лет, хотя кустарные разработки на большинстве из них имеют более длительную историю – не менее 100–150 лет. В направлении с северо-запада на юго-восток на территории от Венесуэлы до Бразилии в настоящее время известно более 10 рудных полей – месторождений золота, суммарные выявленные ресурсы которых (включая уже добытые) составляют более 2600 т золота (без учёта месторождений Амапари и Саламангони в Бразилии): Лас-Кристинас-Брисас (Венесуэла) – 995 т; Чоко-Инкрибль (Венесуэла) – 310 т; Аврора (Гайана) – 218 т; Торопару (Гайана) – 260 т; Омай (Гайана) – 170 т; Грос-Роузбелл (Суринам) – 435 т; Нассау (Суринам) – 93 т; Яау-Дорлин (Французская Гвиана) – 31 т; Кэмп-Кайман (Французская Гвиана) – 93 т.

Чтобы провести предварительный сравнительный анализ наиболее крупных месторождений Гайаны и Венесуэлы между собой и рудным полем Кварцстоун (автор ведёт работы на рудном поле с 2009 г.), приведём их основные геологические особенности.

Месторождение Лас-Кристинас-Брисас расположено в юго-восточной части Венесуэлы, близ границы с Гайаной. Вмещающие породы – андезиты, туфы, прорванные дайками и штоками диорит-порфиров. Развита мощная кора выветривания сапролитового типа. Суммарная протяжённость рудоносной зоны в суб-

Масловский Алексей Павлович
директор по бизнес-развитию
maslovsky-a@pokrmine.ru

АО «Покровский рудник»,
г. Москва

УДК: 553.411 (881)
© Масловский А. П. , 2020
DOI: 10.47765/0869-5997-2020-10023

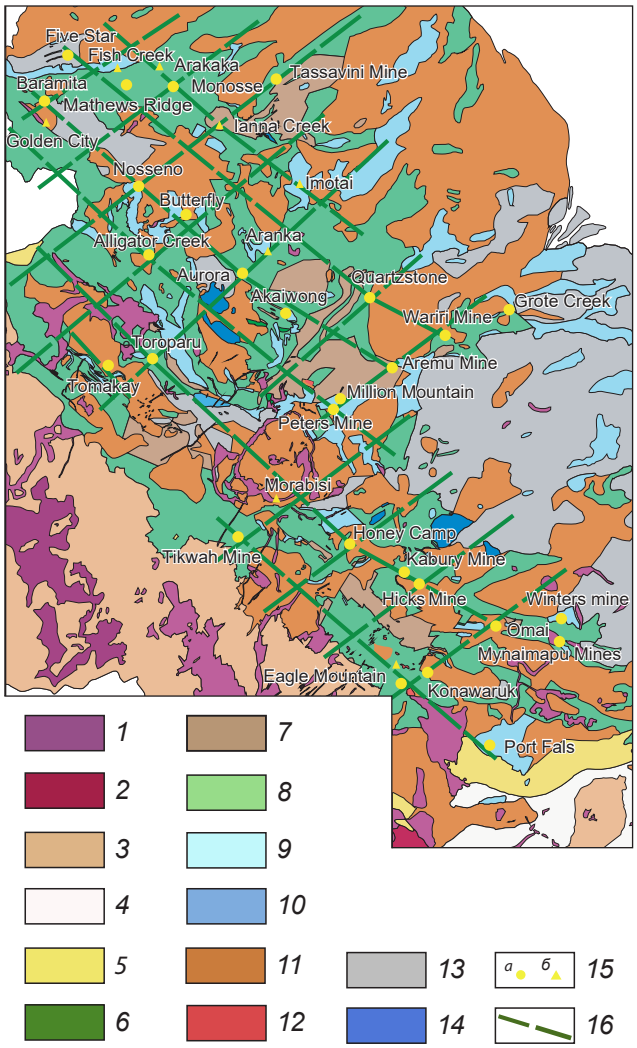


Рис. 1. СХЕМА РАЗМЕЩЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПОЛЕЙ ГАЙАНЫ:

1 – габбронориты, силлы и большие дайки, P_2; *2* – субвулканические граниты, P_2; *3* – песчаники и конгломераты, маломощные прослои вулканических туфов, P_2; *4* – кислые/средние вулканиты, P_2; *5* – песчаники и кремнистые аргиллиты, P_2; зеленокаменные пояса, P_1: *6* – преимущественно кислые вулканические породы, *7* – преимущественно метаосадочные породы, *8* – средние метавулканиты, *9* – дайки и силлы основных пород; *10* – амфиболитовые сланцы, кианитовые сланцы, P_1; трансамазонский этап активации: *11* – гранитоиды, включая диориты, макарапан-рибекитовые граниты, пироксенитовые граниты, *12* – малые интрузии гранитов, ассоциирующиеся с минерализацией штока Омай, *13* – гнейсовидные синтектонические граниты и диориты, мигматиты, *14* – ультраосновные породы и слоистое габбро, анортозиты Кабури; *15* – месторождения золота: *а* – коренные, *б* – россыпные; *16* – зоны региональных разломов и трещиноватости

меридиональном направлении 1500 м при ширине 400 м. Месторождение разбурено до глубины 300 м. Как и на многих других золоторудных месторождениях щита, здесь до планомерных работ местными старателями проводилась достаточно интенсивная разработка золотоносных сапролитов. Месторождение представлено пластообразными залежами прожилково-вкрапленных руд, т. е. линейными штокверками. Сульфидная минерализация слабо развита, в среднем на уровне 1 %. На участке Брисас выявлены также секущие тела кварц-турмалиновых брекчий, где обломки туфов цементируются кварц-турмалиновой минерализацией. Подтверждённые запасы участка – 287 т золота при среднем содержании 0,71 г/т, выявленные ресурсы рудного поля 995 т.

Месторождение Омай расположено в 175 км к юго-юго-западу от г. Джорджтаун, на левом берегу р. Эссекибо, примерно в 3 км к северо-западу от неё. Вмещающие породы – вулканогенно-осадочные нижнего протерозоя (андезиты, толеитовые базальты, метаосадочные породы), гранитоиды, риолиты, кварцевые порфиры. В 6 км от месторождения обнажается гранодиоритовый батолит (возраст 1,95 млрд лет) [2]. Толща вулканитов (базальты и андезиты) образует полосу восточно-юго-восточного простирания (100–110°) при субвертикальном падении. На северо-северо-востоке она контактирует с полигенными конгломератами, на юго-юго-западе – с тонкозернистыми осадочными породами. Вулканиты интрудируются дайками кварц-полевошпатовых порфиров и риолитов, а также гранитоидным штоком Омай (возраст 2,71 млрд лет) [3], прорывающим несколько серий даек и силлов. На месторождении выделяются два участка – Венот и Феннелл.

На участке *Венот* [7] (южный фланг) субвертикальная дайка кварц-полевошпатовых порфиров интрудирует андезиты. Она внедрена вдоль тектонического контакта андезитов и осадочных пород, вдоль зоны рассланцевания. Контакт маркируется зоной брекчирования мощностью 2–3 м. Мощность дайки 7 м, протяжённость в северо-западном направлении 1,3 км, на глубину прослеживается не менее чем на 300 м. Осадочные породы участка Венот – алевролиты, песчаники, граувакки. Они с угловым несогласием перекрыты третичной вулканогенно-осадочной формацией Бербис (конгломераты, базальты, туфы).

Участок *Феннелл* [7] (северный фланг) сложен интрузивным штоком Омай неправильной формы, круто погружающимся на северо-восток под углом 70–80°. Центральная часть штока представлена тонко-среднезернистыми кварцевыми монцонитами, гранодиоритами, диоритами, периферийная на контакте с вулканитами – грубозернистыми горнблендитовыми гранитами. Длина штока до 1 км.

Оруденение на месторождении сосредоточено в кварцевых жилах и штокверках, приуроченных к зонам рассланцевания (Венот), или в пределах штока Омай (Феннелл). Минерализованная зона Венот имеет западно-северо-западное простирание, ширину около 100 м. Состоит из серии маломощных зон рассланцевания (1–2 м), вмещающих жильно-прожилковую минерализацию. Наиболее минерализованы дайки порфиров и риолитов, в меньшей степени – андезитов. Жилы обычно перпендикулярны простиранию даек, их мощности не более 30 см, в андезитах – не более 20 см при максимальной длине 10 м. Большинство жил сосредоточено в дайках риолитов и порфиров или в их ближайшем экзоконтакте.

В целом на месторождении выделяются три системы субгоризонтальных жил и три – субвертикальных.

Субгоризонтальные жилы имеют следующие ориентировки:

- азимут простирания 210°, угол падения 30° на северо-запад (основной тип золотоносных жил). Они развиваются в хрупких породах (дайки порфиров и риолитов, шток Омай). Мощности варьируют от 1–3 мм до 1,5 м, жилы редко выходят за пределы даек или штока. На участке Венот жилы формируют штокверкообразные зоны различной ориентировки, на участке Феннелл – эшелонированные зоны мощностью от нескольких метров до нескольких десятков метров;
- азимут простирания 130°, угол падения 30° на юго-запад, развиты преимущественно на участке Феннелл и в дайках риолитов и порфиров. Участки их пересечения с предыдущей системой жил наиболее богатые;
- различные азимуты простирания при угле падения 10°. Эти жилы развиты преимущественно на северном фланге штока Омай. Падение обычно пологое на север, мощность в среднем 10 см, протяжённость несколько десятков метров. Чаще всего расположены гипсометрически выше кровли штока.

Субвертикальные жилы также имеют три основных ориентировки:

- азимут простирания 250°, угол падения 80° на северо-запад. Подобные жилы развиты только на участке Венот и приурочены обычно к центральным частям зон рассланцевания. Их мощности варьируют от 0,5 до 2 м, протяжённость до 600 м;
- азимут простирания 220°, угол падения 80° на северо-запад. Жилы развиты преимущественно в риолитах и порфирах участка Венот, в меньшей степени в андезитах и осадочных породах. Мощность не более 10–30 см, протяжённость первые десятки метров;
- азимут простирания 330°, угол падения 75° на северо-восток. Эта система прожилков (1–3 см) встречается редко, обычно в пределах штока гранодиоритов-кварцевых диоритов.

Рудные минералы месторождения Омай составляют обычно не более 1 % объёма жил. Они представлены сульфидами (пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, молибденит, теллуриды, сульфосоли), шеелитом. Из нерудных минералов преобладает кварц с подчинёнными количествами альбита, карбонатов, серицита, хлорита, турмалина, эпидота. Выделяются три стадии минералообразования:

- первая – дымчатый кварц, альбит, карбонаты, эпидот, пирит, магнетит, апатит, рутил, монацит, турмалин с видимым золотом;
- вторая – молочно-белый кварц, анкерит, кальцит, пирит, халькопирит, самородное золото;
- третья – кварц, галенит, самородное золото.

Геохимически руды характеризуются наличием Au, Ag, Te, W, Bi, Pb, Zn, Hg, Cu, Mo [6, 7]. Температура образования золотоносных флюидов 120–260 °C, возраст оруденения 2 млрд лет, глубина формирования не более 5 км.

Околорудные изменения вмещающих пород – карбонатизация, окварцевание, альбитизация, серицитизация, эпидотизация, сульфидизация (пирит, пирротин).

Запасы месторождения оцениваются нами в 177 т, включая добытые 124 т и оставшиеся для подземной разработки 53 т (ниже глубины 330–350 м). Месторождение отработано двумя карьерами (Венот и Феннелл) в 1993–2005 гг. до глубины

300 м (добыто 108 т металла). Среднее содержание в добытых рудах 1,4 г/т. Разведочные работы на месторождении во второй половине 1980-х гг. начала канадская компания Golden Star Resources, освоение проведено в начале 1990-х гг. совместно с другой канадской компанией Cambior.

В настоящее время компанией Omai Gold Mines Corp. возобновлены работы на месторождении Омай, планируется провести бурение по флангам и на глубину.

Месторождение Торопару расположено в западной части Гайаны примерно в 225 км к западюго-западу от г. Джорджтаун. Оно локализовано в приконтактовой зоне гранитного батолита (западно-юго-западная часть рудного поля) и толщах вулканогенно-осадочных пород нижнего протерозоя (вулканиты, пирокластические и осадочные породы). Интрузивный массив приурочен к узлу сочленения разрывных нарушений западно-северо-западного и северо-северо-западного направлений (региональные зоны рассланцевания). Гранитоиды характеризуются повышенным фоном Fe, Cu, U. В результате геофизических работ выявлено, что рудное поле характеризуется низкомагнитной аномалией и повышенными содержаниями K, U, Th над массивом. На рудном поле присутствуют немногочисленные дайки основных пород преимущественно северо-западной ориентировки.

Оруденение локализуется вдоль флангов гранитного массива в толще изменённых вулканогенно-осадочных пород. Оно представлено серией жильно-прожилковых зон западно-северо-западного простирания протяжённостью 1600 м при субвертикальном падении. Между западно-северо-западными зонами рассланцевания образовались субширотные зоны прожилкования (при сдвиговых деформациях по первым), вмещающие наиболее богатые руды. Жильно-прожилковая минерализация представлена кварцем, карбонатами, альбитом, серицитом, из рудных минералов – пиритом, халькопиритом, борнитом, халькоцитом, молибденитом. Золото ассоциирует с кварц-карбонат-сульфидной прожилково-вкрапленной минерализацией, включая зоны околорудных гидротермально изменённых вмещающих пород (окварцевание, карбонатизация).

Разведочные работы на месторождении проведены в период с 2000 по 2012 г. канадской компанией Sandspring Resources через дочернюю компанию ETK Inc. Основная буровая программа проведена в период 2006–2012 гг. С декабря 2006 г. по март 2012 г. были пробурены 148 тыс. пог. м скважин (491 скважина) [5] для оконтуривания оруденения под карьерную разработку. В 2005–2006 гг. была организована опытная разработка на уровне 3000 т сапролитовой руды в сутки, было получено 522,5 кг золота.

Выявленные ресурсы месторождения на март 2013 г. составили 310,5 т Au и 247,7 тыс. т Cu (среднее содержание 0,85 г/т и 0,076 % соответственно), в том числе подтверждённые ресурсы – 43,5 т Au и 46,3 тыс. т Cu (среднее содержание 0,98 г/т и 0,104 % соответственно) [5].

Месторождение Аврора расположено в 185 км к западу от г. Джорджтаун в среднем течении р. Куюни на её правом берегу. Оно приурочено к приконтактовой зоне интрузивного массива тоналитовых гранитов с вулканогенно-осадочными породами нижнего протерозоя. В целом простирание рудоносных зон западно-северо-западное. На месторождении в направлении с запада на восток выделяются три зоны (участка): Алек-Хилл, Мэд-Кисс, Рори-Кнолл. На участке Рори-Кнолл прожилково-вкрапленная минерализация с пиритом и свободным золотом локализована в зоне интенсивных гидротермальных изменений интрузии тоналитов (окварцевание, карбонатизация, серицитизация, развитие фуксита), около контакта с вулканогенно-осадочными породами. Рудоносные зоны на остальных участках локализованы в областях рассланцевания вулканогенно-осадочных пород и представлены системами кварц-карбонат-пиритовых жил и прожилков.

Поисковые и разведочные работы на месторождении начались в 1990-х гг. К концу апреля 2012 г. на трёх участках месторождения были пробурены 1110 скважин (366 851 пог. м). Максимальная глубина скважин 1500 м. Разведанные ресурсы золота согласно отчёту 2013 г. [4] составили 260 т при среднем содержании 3,26 г/т, в том числе подтверждённые (measured) 18,7 т при среднем содержании 3,23 г/т для карьерной разработки, выявленные (indicated) – 184,7 т при среднем содержании 3,24 г/т, предполагаемые (inferred) – 56,6 т при среднем содержании 3,34 г/т. Из них (260 т) для карьерной разработки 75 т металла, остальное – для подземной разработки (борто-

вое содержание для открытой добычи 0,3–0,4 г/т, для подземной 1,8 г/т).

Следует отметить *месторождение золота Тассавини*. Оно расположено в 175 км к северо-западу от столицы, представлено пятью золотоносными зонами, приуроченными к общей зоне рассланцевания между верхними частями группы Барама и нижними группы Мазаруни. По результатам буровой программы (более 100 скважин) по пяти зонам подтверждённые ресурсы золота составили 15,5 т (бортовое содержание 0,5 г/т). Разведочные работы в 2008 г. проводила канадская компания Strata Gold Guyana Inc. Эта компания совместно с известной золотодобывающей компанией Newmont (50 x 50 %) проводила с 2006 г. поисково-оценочные работы на другом месторождении – Моносси, расположенном в 45 км к западу от Тассавини, который изучался ещё в 1994–1999 гг., когда были проведены детальное геокартирование, литохимическая съёмка по вторичным ореолам, картировочное бурение, пройдена серия канав и выполнена первая фаза буровых работ объёмом 3000 пог. м. Затраты на эти работы составили 1,3 млн долларов. В 2007 г. компанией была проведена ещё одна фаза буровых работ по золоторудной зоне Гомес-Хилл (кварц-карбонатные жилы и прожилки в диоритах, прослеженные на 400 м). В одной из скважин глубиной 200 м были получены пересечения со следующими содержаниями золота: 44,1 м – 2,39 г/т; 11,5 м – 3,31 г/т; 7,3 м – 1,71 г/т; 4,3 м – 3,9 г/т. На данный момент месторождение принадлежит австралийской компании Alicanto Minerals Ltd., выявленные ресурсы составляют 15,5 т золота при среднем содержании 1,2 г/т.

Рудное поле Кварцстоун было открыто нами в 2009 г. на основе завершённых геохимических и геофизических работ, а также первой программы канав. В последующие годы программы горно-буровых и более детальных геохимических работ были продолжены. На сегодняшний день пробурено около 190 скважин и пройдено 170 канав.

Месторождение (рудное поле) приурочено к протяжённой, более 20 км, субмеридиональной зоне надвига нижнепротерозойских зеленокаменных пород (западная половина) на более молодые гранитоиды тоналитового ряда (восточная половина). В пределах рудного поля выделяются три типа руд:

- кварц-турмалиновые минерализованные зоны с карбонатами и альбитом во фронтальной части надвига в зеленокаменных породах протерозоя, на контакте с гранитоидами. Падение западное, согласное с контактом гранитоидов;
- кварцевые жилы и кварцево-жильные зоны (линейные штокверки) в гранитоидах с турмалином в эндоконтактовой части. Падение крутое на восток;
- зоны кварц-альбит-карбонат-серицитовых метасоматитов, локализованные в западной части рудного поля, в зеленокаменных сланцах. Простирание северо-восточное при крутом падении на северо-запад.

Фронтальная часть надвига сложена узкими изоклинальными складками зеленокаменных пород вплоть до контакта с гранитоидами, ширина в плане около 250 м. В её пределах среди зеленокаменных пород залегают многочисленные дайки различного состава – от дациандезитов до долеритов. Она вмещает три зоны рассланцевания, одна под другой, в которых, в свою очередь, локализованы золотоносные зоны. В локализации рудных зон вдоль фронтальной части надвига выявлена закономерность, которая выражена в увеличении мощности рудных тел до 25 м и промышленных содержаний золота (> 0,4 г/т); по нашему мнению, это связано с особенностью тектоники – закономерностью субширотных разрывных нарушений (трещин отрыва) и особенностью формирования складчатости в процессе образования надвига. В центральной части рудного поля нами выявлены девять месторождений. Рудоносные зоны, как правило, имеют протяжённость по поверхности 180–210 м, мощность от 4,5 м (месторождение Южный Блу Пит), 8–9 м (месторождения Икл, Южный Икл, Манго-Три, Блу Пит) до 20–25 м (месторождение Мэйн-Пит) (рис. 2). Средние содержания золота варьируют от 1,1 до 5,7 г/т, в среднем 2,7 г/т.

Кварцевые жилы и кварцево-жильные зоны (линейные штокверки с турмалином в гранитах) имеют восточное падение 45–60°, протяжённость от 150 до 400 м. Мощность варьирует от нескольких метров до 10 м, среднее содержание золота 3–4,95 г/т.

Кварц-альбит-карбонат-серицитовые зоны метасоматоза локализованы на западном фланге рудного поля, на настоящий момент они наименее изучены. Золотоносность доказана на участке

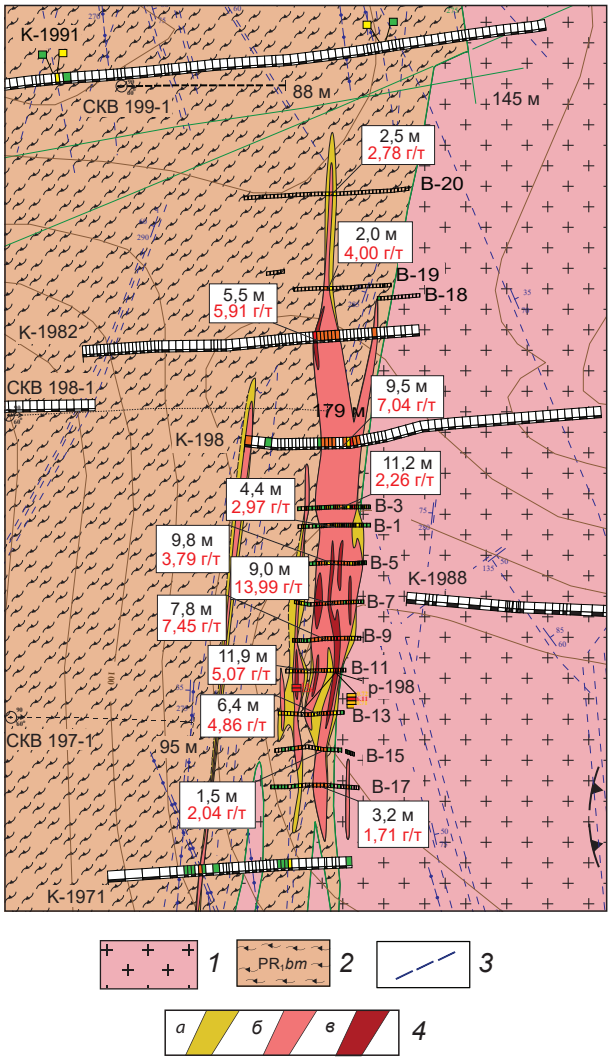


Рис. 2. ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПЛАН МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИКЛ (ЗОЛОТОРУДНОЕ ПОЛЕ КВАРЦСТОУН, ГАЙАНА)

1 – граниты; *2* – сланцы по вулканогенно-осадочным породам (ранний протерозой); *3* – кварцевые жилы и прожилки; *4* – контур рудного тела при бортовом содержании золота, г/т (*а* – 0,4, *б* – 1,0, *в* – 10,0)

(месторождении) Юго-Западный. Средняя (выявленная) протяжённость таких зон не менее 200 м, мощность 4–5 м, содержание 1,96 г/т. Однако этот тип минерализации мы считаем наиболее перспективным.

Все перечисленные типы рудных образований имеют убогосульфидный состав (в среднем не более 1 % сульфидов).

Заключение и выводы. Ограниченный объём статьи не позволяет представить все известные на настоящий момент рудные поля и месторождения Гвианского щита. Однако анализ охарактеризованных объектов даёт возможность сделать предварительные выводы об их общих чертах. Большинство месторождений Гвианского щита (особенно на территории Гайаны) открыты за последние 30–35 лет. Все они залегают в пределах претерпевших метаморфизм зеленокаменной фации вулканогенно-осадочных пород нижнего протерозоя вблизи или на контакте с массивами гранитоидов тоналитового ряда. В их пределах развиты многочисленные дайковые тела различного состава – от дациандезитов до базальтов и долеритов. Параметры рудоносных зон при этом широко варьируют. По минеральному составу руд преобладают убогосульфидные или малосульфидные объекты (количество сульфидов не превышает 1 %) – золотокварцевый малосульфидный тип. В рудных зонах помимо кварца присутствуют карбонаты, альбит, серицит. Наиболее характерный признак всех месторождений – наличие в рудах турмалина. Все обнаруженные к настоящему времени объекты являются крупными – выявленные ресурсы, за редким исключением, превышают 100 т золота. До недавнего времени было принято считать, что золоторудные месторождения в нижнепротерозойских зеленокаменных поясах являются мелкими и не представляют большого интереса для изучения. Работы последних десятилетий опровергли эту точку зрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gibbs A. K., Barron C. N.* Geology of the Guiana shield. – New York : Oxford University Press ; Oxford : Clarendon Press, 1993. – 246 p.
2. *Kroonenberg S. B, Mason P. R. D., Kriegsman L., Roever E. W. F., Wong T. E.* Geology and mineral deposits of the Guiana Shield // SAXI – XI Inter Guiana Geological Conference 2019. Paramaribo, Suriname. – 111 p.
3. *Norcross C. E., Davis D. W., Spooner T. C., Rust A.* U-Pb and Pb-Pb age constraints on Paleoproterozoic magmatism, deformation and gold mineralization in the Omai area, Guyana Shield // Precambrian Research. – 2000. – V. 102 (1). – P. 69–86.
4. SRC Consulting (Canada) Inc. NI 43-101 Technical Report, Updated Feasibility Study, Aurora Gold Project, Guyana, South America [Электронный ресурс] // Guyana Goldfields Inc. 2013. – URL: https://www.guygold.

com/Operations/Aurora-Gold-Mine/Technical-Reports/default.aspx. (Дата обращения 04.03.2019).

5. SRK Consulting (U.S.) Inc. NI 43-101 Technical Report, Prefeasibility Study, Toroparu Gold Project, Upper Puruni River Area, Guyana [Электронный ресурс] // Sandspring Resources Ltd. 2013. – URL: http://www.sandspringresources.com/i/pdf/reports/SSTechReport-528.pdf. (Дата обращения 15.02.2019).
6. *Voicu G.* Tellurides from the Paleoproterozoic Omai gold deposit, Guiana Shield // The Canadian Mineralogist. – 1999. – V. 37. – P. 559–576.
7. *Voicu G., Bardoux M., Jebrak M., Crepeau R.* Structural, Mineralogical and Geochemical Studies of the Paleoproterozoic Omai Gold Deposit, Guyana // Economic Geology. – 1999. – V. 94 (8). – P. 1277–1303.
8. *Walrond G. W.* Geological map of Guyana, scale 1:1 million / Guyana Geology and Mines Commission. – Georgetown, Guyana, 1987.

REFERENCES

1. Gibbs A. K., Barron C. N. Geology of the Guiana shield, *New York, Oxford University Press Publ., Oxford, Clarendon Press Publ.*, 1993, 246 p.
2. Kroonenberg S. B, Mason P. R. D., Kriegsman L., Roever E. W. F., Wong T. E. Geology and mineral deposits of the Guiana Shield, *SAXI – XI Inter Guiana Geological Conference*, 2019, Paramaribo, Suriname, 111 p.
3. Norcross C. E., Davis D. W., Spooner T. C., Rust A. U-Pb and Pb-Pb age constraints on Paleoproterozoic magmatism, deformation and gold mineralization in the Omai area, Guyana Shield, *Precambrian Research*, 2000, V. 102 (1), pp. 69–86.
4. SRC Consulting (Canada) Inc. NI 43-101 Technical Report, Updated Feasibility Study, Aurora Gold Project, Guyana, South America, *Guyana Goldfields Inc. 2013*, available at: https://www.guygold.com/Operations/Aurora-Gold-Mine/Technical-Reports/default.aspx. (04.04.2019).
5. SRK Consulting (U.S.) Inc. NI 43-101 Technical Report, Prefeasibility Study, Toroparu Gold Project, Upper Puruni River Area, Guyana, *Sandspring Resources Ltd. 2013*, available at: http://www.sandspringresources.com/i/pdf/reports/SSTechReport528.pdf (05.02.2019).
6. Voicu G. Tellurides from the Paleoproterozoic Omai gold deposit, Guiana Shield, *The Canadian Mineralogist*, 1999, V. 37, pp. 559–576.
7. Voicu G., Bardoux M., Jebrak M., Crepeau R. Structural, Mineralogical and Geochemical Studies of the Paleoproterozoic Omai Gold Deposit, Guyana, *Economic Geology*, 1999, V. 94 (8), pp. 1277–1303.
8. Walrond G. W. Geological map of Guyana, scale 1:1 million, Guyana Geology and Mines Commission, Georgetown, Guyana, 1987.

GOLD DEPOSITS OT THE GUIANA SHIELD

A.P. Maslovsky (director of business development)

JSC Pokrovsky mine, Moscow

The article provides a comparative analysis of Guyana and Venezuela major deposits within the Quartzstone ore field (Guyana). From the northwest to the southeast (from Venezuela to Brazil), more than 10 ore gold deposits are currently known, their total resources (including previous production) exceed 2,600 tons of gold (excluding the Amapari and Salamangoni deposits in Brazil). Almost all of Guyana deposits are confined to the Lower Proterozoic greenstone belts of the Guiana shield identified and explored for the past 15–20 years. The geological features of the largest deposits (Omay, Aurora, Toroparu, Tassawini and Monosi) are presented in the article.

Keywords: gold, ore field, deposits, Guiana shield, greenstone belt, Lower Proterozoic, shear zones, batholite, intrusive stock, ore veins, volcanosedimentary rocks, granites.

ВСКРЫТИЕ И ОТРАБОТКА ПЛАТИНО-ПАЛЛАДИЕВО-МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД УЧАСТКА НИТТИС-КУМУЖЬЯ-ТРАВЯНАЯ

В статье рассмотрены горнотехнические возможности вскрытия и отработки участка Ниттис-Кумужья-Травяная (НКТ) с использованием конвейерного транспорта, современного оборудования и закладки выработанного пространства, обеспечивающих повышение производительности предприятия и снижение экологической нагрузки в районе. Выполнен анализ перспективной схемы отработки доразведанных участков Донной залежи, а также конструктивных решений восходящей выемки с селективной отбойкой тонких жил. Представлены результаты укрупнённой геолого-экономической оценки условных запасов НКТ до глубины 500 м. По мнению авторов, технология эффективна за счёт снижения разубоживания и потерь руды, улучшения условий труда горнорабочих, снижения энерго- и трудозатрат, а также объёмов выдаваемой на поверхность породы.

Ключевые слова: Мончегорский рудный район, Донная залежь, вскрытие и отработка участка НКТ, конвейерный и автотранспортный уклоны, системы разработки с закладкой, внутришахтный транспорт с использованием автосамосвалов, доработка жильных зон с малогабаритным оборудованием, укрупнённая геолого-экономическая оценка условных запасов НКТ по $Pd_{усл}$.

Рогизный Валерий Фёдорович
кандидат технических наук
ведущий научный сотрудник
rogizny@tsnigri.ru

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

Мигачёв Игорь Фёдорович
доктор геолого-минералогических наук
главный научный сотрудник

Донец Александр Иванович
доктор геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник

ФГБУ «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов»,
г. Москва

Общие сведения. Мончегорский рудный район с жильным месторождением медно-никелевых руд Ниттис-Кумужья-Травяная (НКТ) в прошлом являлся сырьевой базой комбината «Североникель». Месторождение находится к западу от г. Мончегорск и расположено в массиве трёх вершин: Ниттис, Кумужья и Травяная, которые с юго-запада на северо-восток образуют горную цепь протяжённостью 4,5 км.

Запасы крутопадающих тонких жил НКТ на верхних горизонтах разрабатывались в период с 1936 по 1975 г. и обеспечивали потребности комбината «Североникель» в сырье на Ni, Cu, Co, Pt, Pd. В настоящее время богатые жилы на глубину до 200–400 м отработаны, комбинат перерабатывает файнштейн из Печенги и Норильска, а также лом цветных металлов.

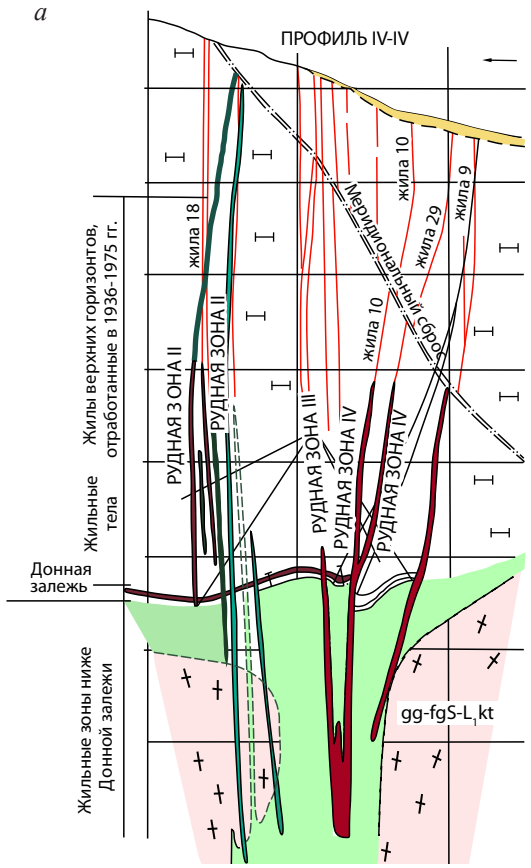
Эти запасы тонких крутопадающих жил на верхних горизонтах месторождения вскрывались штольнями на горизонтах +304, +264 и +222 м, а начиная с отметки +162 м – вертикальными стволами №№ 1, 2, 3 и 4 при высоте этажа 40 м (рис. 1, *а*). Применялись две традиционные системы разработки – с магазинированием руды и с распорной крепью. При этом горные работы не достигали уровня нижерасположенной Донной залежи. Значительные прогнозные ресурсы (далее – условные запасы) этой залежи представлены бедными вкрапленными рудами.

В настоящее время штольни и стволы шахт №№ 1–4 затоплены, состояние их крепи неизвестно. Последним был пройден северный ствол шахты № 5 на западном склоне г. Травяная, выработки которого пересекли Донную залежь. Разрез место-

УДК 553.491 (470.21)
© Рогизный В. Ф., Куликов Д. А., Мигачёв И. Ф., Донец А. И., 2020
DOI: 10.47765/0869-5997-2020-10024

рождения, расположенного в районе шахты № 5, показан на рис. 1, *б*. Ствол этой шахты после осушения и обследования, вероятно, может быть восстановлен и использован для вскрытия Донной залежи, а также остаточных тонких жил.

В предшествующие годы (2007–2012) при разработке ТЭО кондиций по участку Пласт «330» (месторождение Вуручуайвенч) положение обогатительной фабрики (ОФ) предприятия было выбрано у устья вскрывающей штольни № 1, рядом с комбинатом «Североникель». Помимо близости площадки ОФ к штольне № 1 учитывалось положение горных отводов других рудных участков. Объёмы хвостохранилища намечалось снизить, размещая хвосты ОФ в отработанных камерах участка Пласт «330» в качестве наполнителя закладки (Карпенко И. А., Петраш Н. Г., Рогизный В. Ф. и др., 2012).



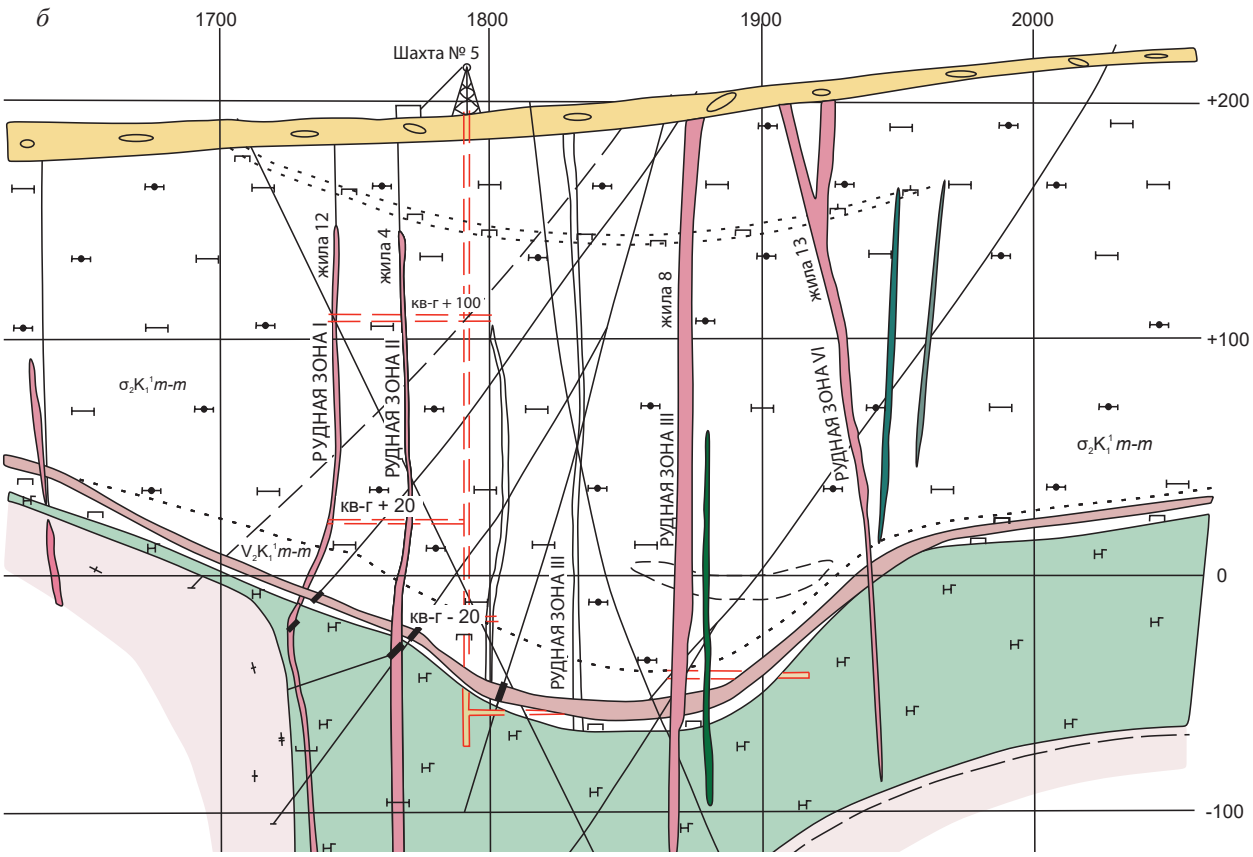


Рис. 1. РАСПОЛОЖЕНИЕ ОТРАБОТАННЫХ ЖИЛЬНЫХ ТЕЛ И ВЫРАБОТОК ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТОВ НА ПРОФИЛЕ IV–IV (*а*), СТВОЛ ШАХТЫ № 5, ЕГО КВЕРШЛАГИ, А ТАКЖЕ ФОРМА ДОННОЙ ЗАЛЕЖИ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ НКТ (*б*)

Условные запасы НКТ, вовлекаемые в отработку. Доразведкой в 1996–2001 гг. были уточнены характеристики Донной залежи, с которой связаны основные условные запасы руды, при этом прогнозные ресурсы Донной залежи, которые апробированы ЦНИГРИ в 2017 г. составляют 57 103,2 тыс. т руды (Куликов Д. А., Красносельских А. А., Черемисин А. А., Карпухина М. В., Рогизный В. Ф. и др., 2017).

Залежь в сечении имеет серповидную форму с плоской Центральной частью и наклонными крыльями – Восточным и Западным (рис. 2, *б*). Ось залежи погружается с севера на юг на протяжении 3,5–4,0 км до глубины 500 м, а ширина Центральной части и размеры её крыльев (*В*) увеличиваются (см. рис. 2, *а*):

Центр (блоки 2-Р1; 1-Р1; 3-Р1): *В* до 600 м при α ~ 1–5°; $m_{ср.}$ ~ 2,78 м;

Восточное крыло (блок 5-Р1): *В* до 700–800 м при α ~ 22–25°; $m_{ср.}$ ~ 2,88 м;

Западное крыло (блок 4-Р1): *В* до 500–600 м при α ~ 30–35°; $m_{ср.}$ ~ 3,37 м.

Наклонные крылья залежи выходят на поверхность, поэтому часть запасов в процессе отработки предполагается оставлять в предохранительных и охранных целиках. При ведении очистных работ с твердеющей закладкой предохранительные целики блоков 2-Р1 и 4-Р1 (170, 9 тыс. т) могут быть доработаны по проекту ликвидации рудника. Часть запасов Восточного блока 5-Р1 (193,9 тыс. т), примыкающая к федеральной автотрассе Р-21 «Кола», попадает в охранный целик трассы без возможности доработки. Эти объёмы руды Донной залежи (170,9 + 193,9 = 364,8 тыс. т) не вовлекаются в отработку и исключаются из промышленных запасов [1, 2]. Таким образом, по Донной залежи вовлекается в отработку 57 103,2 – 364,8 = 56 738,4 тыс. т руды.

В период доразведки было установлено, что по сравнению с отработанными ранее жилами НКТ дополнительно изученные тела отличаются увеличенной средней мощностью ($m_{ср.}$ ~ 1,82 м), а условные запасы богатых жильных тел, которые планируется вовлечь в отработку, составляют 3018,4 тыс. т. Всего в отработку вовлекаются условные запасы Донной залежи и жильных тел – 59 756,8 тыс. т, данные о которых в сжатом виде представлены в табл. 1. Рудные зоны под Донной залежью в настоящий подсчёт не включены из-за их недостаточной разведанности.

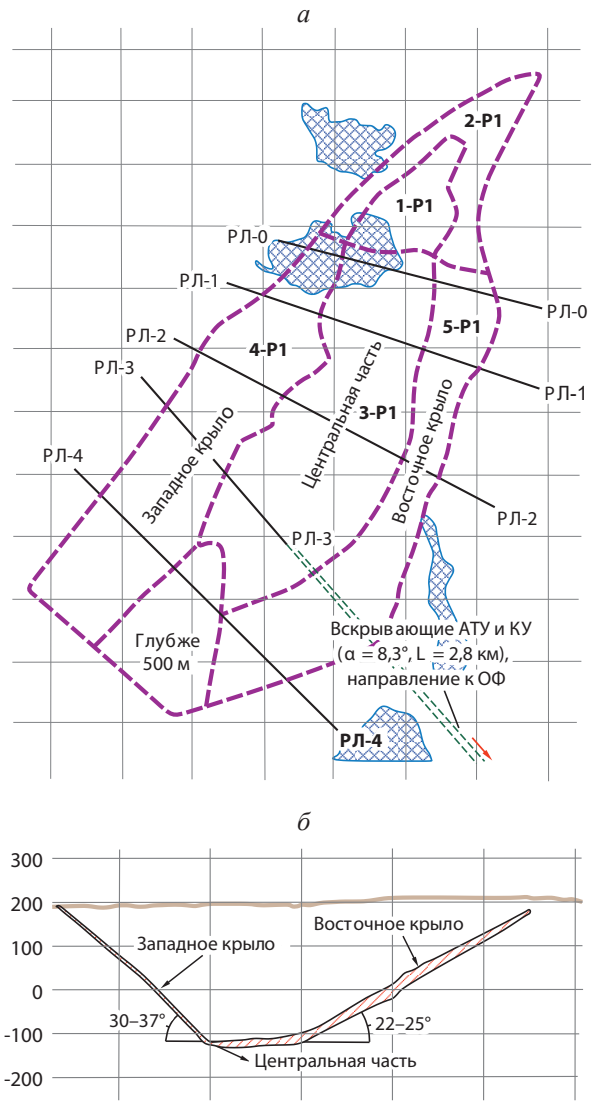


Рис. 2. РАСПОЛОЖЕНИЕ РАЗВЕДОЧНЫХ БЛОКОВ ДОННОЙ ЗАЛЕЖИ НКТ С ТРАССОЙ ВСКРЫВАЮЩИХ УКЛОНОВ ОТ ОФ (*а*) И РАЗРЕЗ МОДЕЛИ ДОННОЙ ЗАЛЕЖИ ПО РЛ-0 (*б*); ЖИЛЬНЫЕ ЗОНЫ ВЫШЕ И НИЖЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ДОННОЙ ЗАЛЕЖИ НЕ ПОКАЗАНЫ

Вскрытие условных запасов НКТ и общий порядок их отработки. Вскрытие Донной залежи проектируется спаренными наклонными выработками: конвейерным (КУ) и автотранспортным (АТУ) уклонами (*α* ~ 8°; *L* = 2,6 км), порталы которых размещаются у рудного склада ОФ (рис. 3). Эти уклоны на проектных уровнях в центре Донной залежи переходят в горизонтальные выработки КУг и АТУг (рис. 4). При этом КУг располагается в породе на отметке -200 м ниже Донной залежи, а АТУг на отметке -180 м вскрывает руду.

1. УСЛОВНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАПАСЫ НКТ

Участки НКТ	*m*, м	*Q*, тыс. т	Cni, %	Ccu, %	Cco, %	Cpt, г/т	Cpd, г/т	Cau, г/т	Cag, г/т	Pni, т	Pcu, т	Pco, т	Ppt, кг	Ppd, кг	Pau, кг	Pag, кг
Жильные руды																
Жильные руды	1,82	3018,4	0,39	2,23	0,0192	3,04	5,32	0,55	13,12	11 909,9	67 331,3	578,6	9171,0	16 046,7	1663,5	39 605,5
Донная залежь и её крылья																
Центр	2,78	20 894,5	0,486	0,311	0,0218	0,142	0,58	0,040	1,40	101 528,4	64 932,5	4551,0	2973,7	12 089,2	842,5	29 217,6
Восточное крыло	2,88	13 244,3	0,463	0,294	0,0210	0,136	0,56	0,039	1,35	61 319,5	38 997,4	2783,7	1807,2	7358,9	519,5	17 852,7
Западное крыло	3,37	22 964,4	0,422	0,250	0,0197	0,126	0,51	0,036	1,21	96 964,0	57 475,3	4514,9	2892,6	11 817,0	832,9	27 848,5
∑ (Донная залежь)		57 103,2	0,455	0,283	0,0208	0,134	0,55	0,038	1,31	259 811,9	161 405,1	11 849,5	7673,4	31 265,1	2194,9	74 918,7
Общешахтные предохранительные целики																
15 м от поверхности	2,85	170,89	0,405	0,198	0,0191	0,122	0,50	0,033	1,05	692,9	338,1	32,6	20,8	85,0	5,6	179,9
Федеральная трасса «Кола»	1,68	193,90	0,363	0,198	0,0177	0,111	0,46	0,033	1,05	704,8	384,3	34,3	21,5	88,4	6,4	204,3
∑ (в целиках)	2,23	364,78	0,383	0,198	0,0184	0,116	0,48	0,033	1,05	1397,7	722,4	67,0	42,3	173,4	12,0	384,2
Ресурсы НКТ, принятые для оценки																
		59 756,8	0,452	0,387	0,0206	0,282	0,788	0,064	1,91	270 323,1	228 014,0	12 361,1	16 802,1	47 138,4	3846,4	114 140,0

Примечание: Рудные зоны под Донной залежью (см. рис. 2) в настоящий подсчёт не включены из-за их недостаточной разведанности.

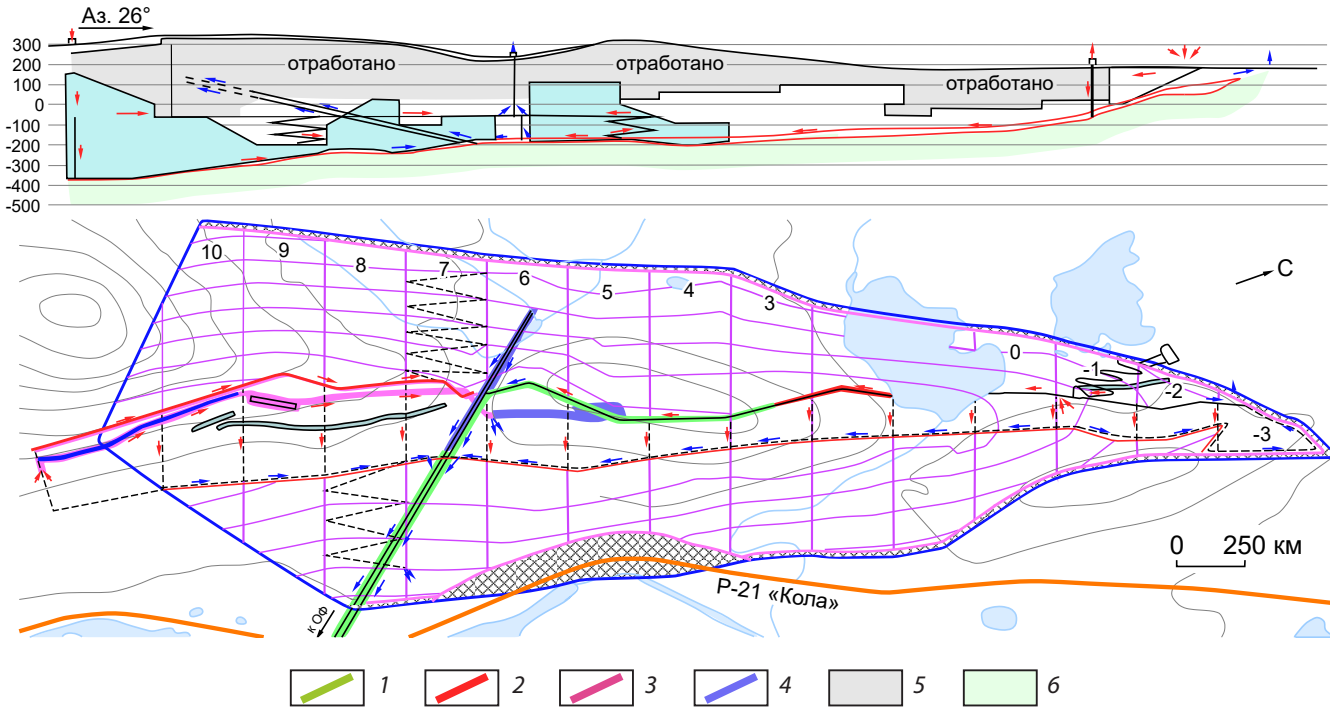


Рис. 3. СХЕМА ВСКРЫТИЯ ДОННОЙ ЗАЛЕЖИ И ЖИЛ НКТ УКЛОНАМИ (КУ И АТУ), ШАХТОЙ № 5БИС С НАКЛОННЫМ ВЕНТИЛЯЦИОННЫМ СТВОЛОМ НА СЕВЕРЕ, ЗАПАДНЫМ ВЕНТИЛЯЦИОННЫМ ШТРЕКОМ, А ТАКЖЕ ШАХТОЙ № 6 НА ЮГЕ:

этапы строительства рудника: *1* – этап 1 (центральная часть), *2* – этап 1 (северная часть), *3* – этап 2 (северная часть), *4* – этап 3 (западная часть), *5* – ранее отработанные жилы, *6* – жилы, вовлекаемые в отработку

На севере Донная залежь наиболее близка к поверхности и вскрывается наклонным вентиляционным стволом (НВС), переходящим в Западный (относительно центра залежи) вентиляционный штрек (ЗВШ), который соединяет выработки центра и севера, обеспечивая запасные выходы и проветривание рудника по нагнетательной схеме.

Выдача руды и породы на поверхность ведётся по КУ, при этом перемещение горнорудной массы в пределах рудника намечается шахтными автосамосвалами (ШАС) ТН430 грузоподъёмностью (г/п) 30 т к бункерам перегрузочных узлов (ПУ) с последующей выдачей ленточным конвейером на поверхность руды – к складу ОФ, породы – в отвал. Доставка оборудования, материалов и транспортировка людей осуществляется по АТУ. Поэтапные объёмы горно-капитальных работ (ГКР) при вскрытии условных запасов НКТ представлены в табл. 2.

Таким образом, общий объём выработок ГКР – 366 927 м^3, в том числе значительная доля руды – 33 %. Сечения главных вскрывающих выработок показаны на рис. 4.

Для систематизации подготовки и отработки ресурсов НКТ с учётом обеспечения оптимальных расстояний доставки руды погрузочно-доставочными машинами (ПДМ) в добычных блоках залежь по простиранию разделяется на 11 панелей шириной 300 м: один блок 300 м на крыльях Донной залежи и два выемочных блока по 150 м в её центре (см. рис. 3).

Основные объёмы ГКР выполняются:

- при проходке горизонтальных и наклонных выработок, с использованием комплекса машин фирмы Sandvik (двухстреловая бурильная установка DD321 + ПДМ LH-410 (г/п 10 т) + анкероустановщик DS310 + ШАС ТН430 (г/п 30 т). Порода в начальный период строительства выдаётся на поверхность ТН430 (при эксплуатации порода частично оставляется в отработанных камерах);
- при рабочей высоте выработок до 3 м используется комплекс низкопрофильных машин (DD220L + ПДМ LH209L (г/п 9,6 т) + анкероустановщик DS110L).

2. ПОЭТАПНЫЕ ОБЪЁМЫ ГОРНО-КАПИТАЛЬНЫХ РАБОТ (ГКР) ПРИ ВСКРЫТИИ УСЛОВНЫХ ЗАПАСОВ НКТ

Этап	Вскрывающие выработки НКТ	Объём, м³
	Главные вскрывающие выработки с юго-востока	
1-й	Порталы + АТУ + КУ + сбойки + Главная насосная станция + ПУ + камеры + Вентиляционный штрек	149 535
	Главные вскрывающие выработки с севера	
2-й	Ствол № 5бис + порталы + НВС + Вентиляционный штрек	50 160
	Главные вскрывающие выработки: жилы выше Донной залежи	
3-й	Ствол № 6 + 2 Вентиляционно-ходовых восстающих (ВХВ) + 2 Наклонных съезда (НС) + 2 Разведочно-вентиляционных штрека (РЭШ) + Вентиляционный штрек	81 030
	Главные вскрывающие выработки Западного крыла Донной залежи	
4-й	КУ + АТУ + ПУ + Вентиляционный штрек + Капитальный рудоспуск (КРС) + Вентиляционный шурф	52 845
	Всего ГКР	333 570
	Всего ГКР с неучтёнными 10 %	**366 927**
	В том числе руда с неучтёнными 10 %	121 330

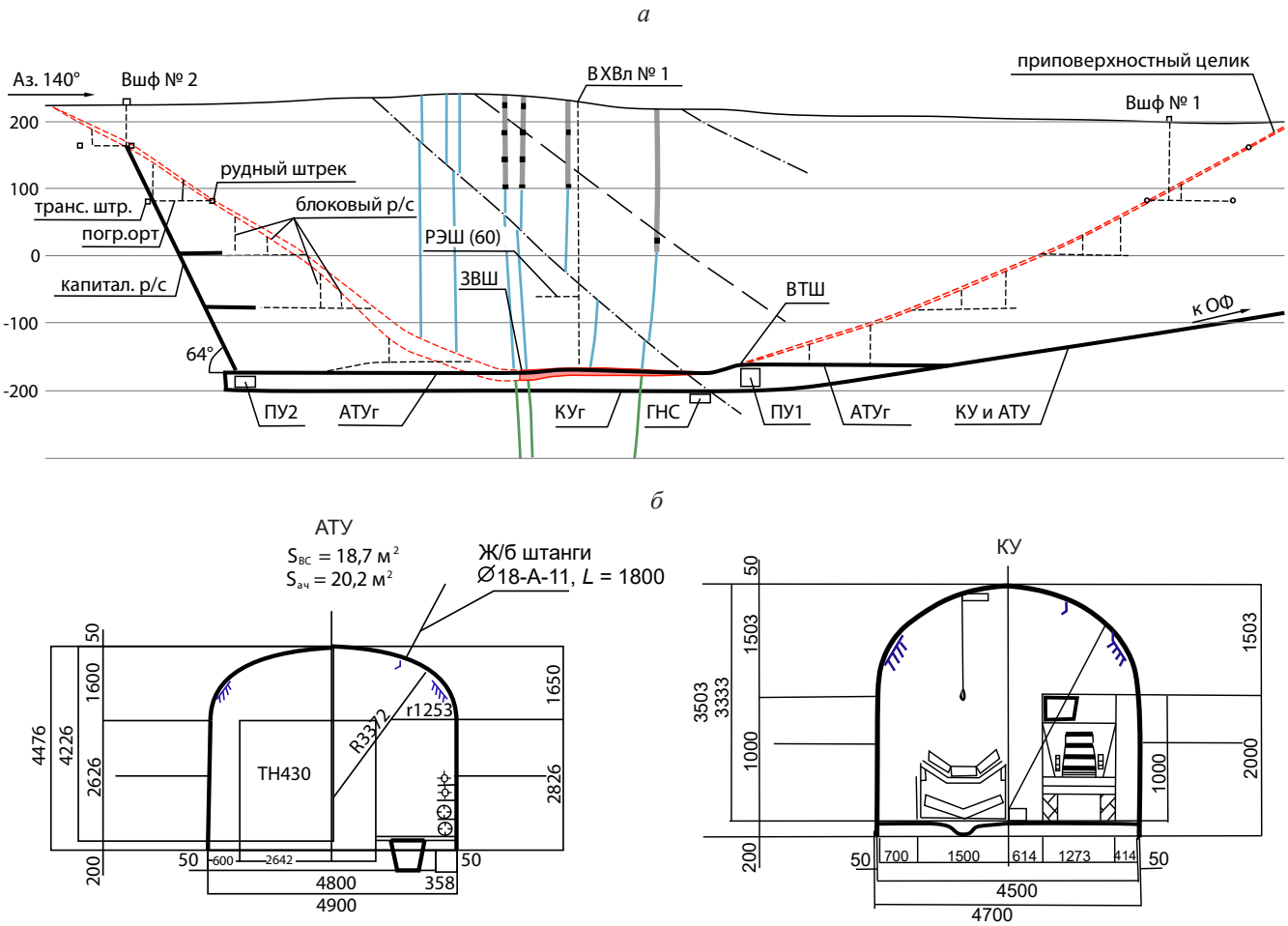


Рис. 4. РАЗРЕЗ ПО ТРАССЕ ГЛАВНЫХ ВСКРЫВАЮЩИХ ВЫРАБОТОК КУ И АТУ (*а*) И ИХ СЕЧЕНИЯ (*б*)

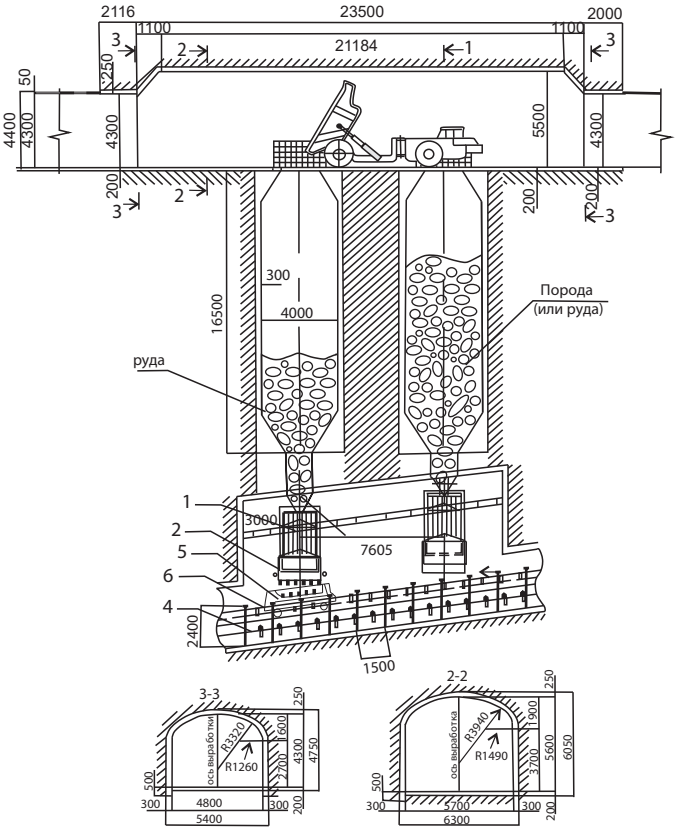


Рис. 5. ДВУХБУНКЕРНЫЙ ПЕРЕГРУЗОЧНЫЙ УЗЕЛ НА НАКЛОННОМ УЧАСТКЕ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА:

1 – пальцевый затвор; *2* – цепной затвор; *3* – промежуточный лоток с вибратором; *4* – конвейер 2ЛУ-102Б; *5* – загрузочный лоток; *6* – тележка

Транспортирование руды из камер выполняется ПДМ, которые разгружаются в кузов ТН430 на участках выработок с поднятой кровлей, а загрузка ТН430 из рудоспусков осуществляется вибропитателями ПВГ-1,0/2,2. Транспортирование материалов и оборудования на рабочие горизонты осуществляется по наклонным съездам спецмашинами, в ковшах ПДМ, в кузове самосвалов. Примерная схема ПУ с автосамосвалов на ленточный конвейер показана на рис. 5.

В первую очередь вовлекаются в отработку условные запасы Центральной части Донной залежи с комбинированной закладкой. Подготовка и очистная выемка проектируются с камерной системой разработки (если над участками центра расположены жильные зоны, выемка камер на Донной залежи ведётся в две стадии).

Во вторую очередь отрабатываются камерно-столбовой системой разработки условные запасы Восточного крыла. Параллельно продолжается отработка богатых жильных зон.

В третью очередь после удлинения АТУг и КУг, строительства капитального рудоспуска (КРС) и перегрузочного узла ПУ-2 отрабатывается Западное крыло Донной залежи.

Отработка крутопадающих жил намечается с использованием малогабаритных (узких, *B* ~ 1 м) машин: бурильные установки с гидроперфоратором, а ПДМ с современным приводом хода (аккумуляторным, дизельным, электрокабельным).

Системы разработки. При выборе систем разработки Донной залежи учитывались горно-геологические условия, устойчивость рудного и породного массивов, а также особенности распределения запасов по трём классам мощностей с учётом углов падения руды:

- при $m < 3$ м (доля запасов ~ 26 %) намечено вести отработку низкопрофильным оборудованием;
- при $m = 3–7$ м (доля запасов ~ 32 %) отработка ведётся в один слой с обычным оборудованием;
- при мощности пласта $m > 7$ м (доля запасов ~ 42 %) отработка ведётся в два слоя.

Как отмечено выше, оставшиеся условные запасы НКТ представлены тремя морфологическими типами руд:

- крутопадающими (α = 80–90°) жилами, которые расположены выше Донной залежи – их доля составляет по руде 5,0 %, по $Pd_{усл.}$ – 16,7 %;
- пологопадающими (α = 3–4°) вкрапленными рудами центра Донной залежи – их доля по руде 35 %, по $Pd_{усл.}$ – 33,7 %;
- наклонными (α ~ 22–35°) вкрапленными рудами крыльев Донной залежи – их доля по руде 60 %, по $Pd_{усл.}$ – 50,6 %.

Для отработки жил проектируется восходящий порядок отработки этажей, а также системы разработки с отработкой слоёв (подэтажей) в вариантах с породной закладкой и с малогабаритным оборудованием:

- бурильными установками с гидроперфоратором Монтаберт 50: MUKI FF для бурения шпуров и MUKI 22 для бурения взрывных скважин;
- ПДМ для погрузки и доставки горнорудной массы: аккумуляторная ПДМ АРГО 140В (или дизельная LH201).

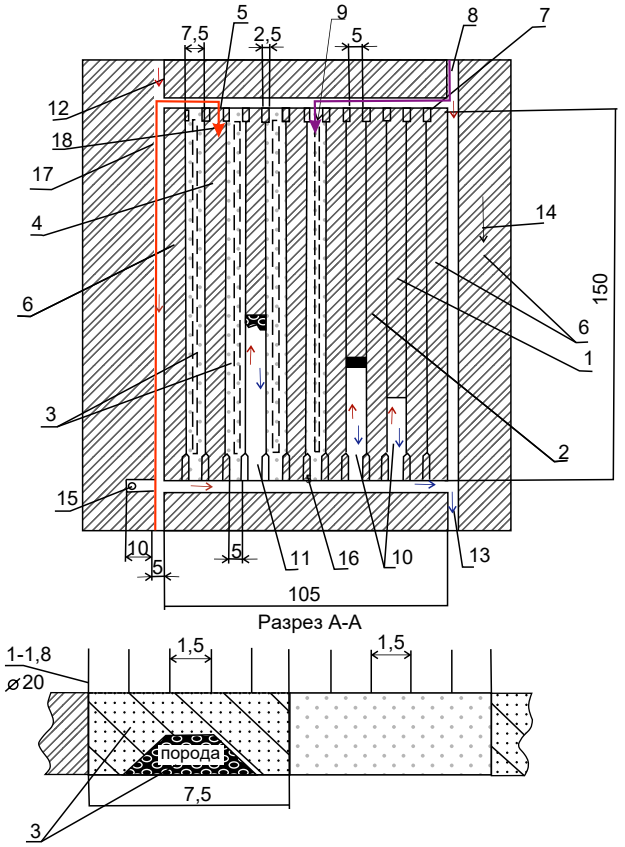


Рис. 6. КАМЕРНАЯ СИСТЕМА РАЗРАБОТКИ С ВЫЕМКОЙ ПО ВОССТАНИЮ:

1, 2 – очистные камеры I и II очереди; *3* – комбинированная закладка; *4* – пастовая закладка; *5* – перемычки; *6* – междукамерный целик; *7* – подштрековый целик; *8* – трубопровод твердеющей смеси; *9* – подача твердеющей закладки; *10* – отработка с креплением анкерами; *11* – отработка камеры между твердеющей закладкой; *12, 13* – свежая (красная) и исходящая струи; *14* – угол падения пласта; *15* – рудоспуск; *16* – надштрековый целик; *17* – закладочный трубопровод пасты; *18* – подача пастовой закладки в камеру II очереди

Конструктивные особенности восходящей слоевой выемки с возможностью ведения селективной добычи на участках тонких жил представлены в статье [4]. На участках минерализованных зон возможно применение подэтажно-камерной системы разработки со скважинной отбойкой и последующей породной закладкой.

Камерную систему разработки (КСР) с выемкой по восстанию с комбинированной закладкой при двухстадийной отработке камер предполагается использовать в Центральной (пологопадающей) части Донной залежи (рис. 6). Приняты следующие параметры блока: наклонная высота по восстанию 150 м (1/2 ширины панели); ширина 100–130 м, ширина камеры 7,5 м (определяется расчётом [3] с учётом ширины захвата бурильной установки). Отработка камер, связанных с вышерасположенными жильными зонами (см. рис. 3), намечается в две стадии. Вначале извлекаются и закладываются комбинированной закладкой (порода + твердеющая смесь) камеры первой очереди. Камеры второй очереди отрабатываются после отработки жильных зон выше Донной залежи. На участках с мощностью пласта более 6–7 м доработка руды в почве ведётся почвоуступным забоем с контролем качества крепления кровли.

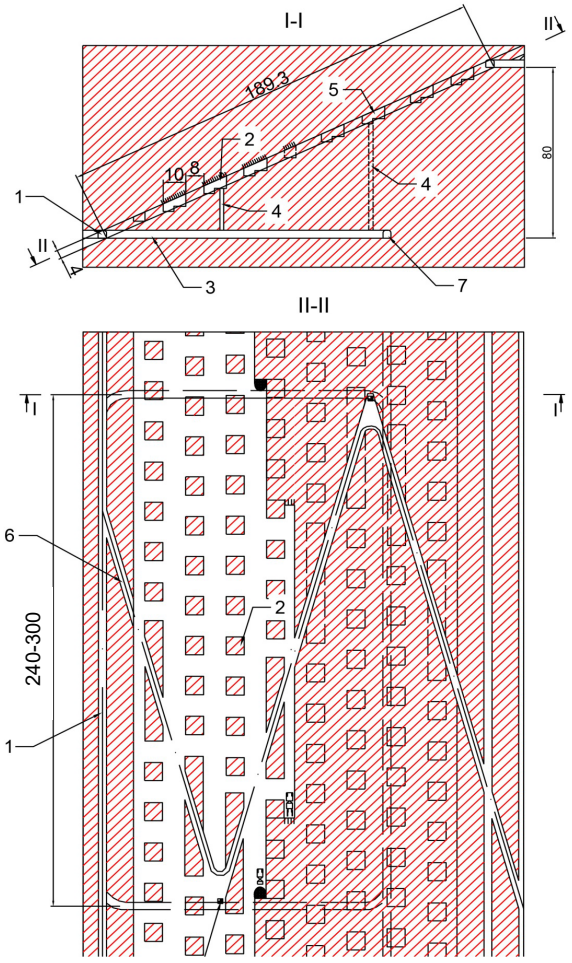


Рис. 7 КАМЕРНО-СТОЛБОВАЯ СИСТЕМА РАЗРАБОТКИ С ДИАГОНАЛЬНЫМ СЪЕЗДОМ И ДОСТАВКОЙ К РУДОСПУСКАМ:

1 – рудный штрек; *2* – целики-столбы; *3* – погрузочный орт-заезд; *4* – блоковые рудоспуски; *5* – полевой транспортный штрек; *6* – наклонный съезд; *7* – полевой транспортный штрек

Технологические операции добычи руды выполняются теми же комплексами машин, что и при проведении выработок ГКР и ГПР. При мощности пласта до 3 м используется низкопрофильная установка DD220L, а в камерах высотой ≥ 3 м – DD320. Эти установки позволяют обурить забой камеры шпурами с одного положения глубиной ≈ 3 м на всю ширину камер. Заряжание шпуров гранулированным взрывчатым веществом выполняется с платформы зарядной машины Charmek 6605B. После взрывания и проветривания камеры оборка заколов и обезопашивание кровли ведётся Scamec 2000. При необходимости кровля крепится сталеполимерными или железобетонными анкерами длиной 1,8 м с помощью анкероустановщика DS110L на маломощных участках пласта или же с DS310 на участках с мощностью ≥ 3 м.

Отгрузка руды также проектируется ПДМ г/п 9,6–10 т: при высоте камер до 3 м применяется низкопрофильная LH209L, а в камерах высотой ≥ 3 м – LH-410.

Наклонные участки (крылья Донной залежи) при α = 25–35° планируется отработать камерно-столбовой системой разработки (КССР) (рис. 7). Эта система разработки при расположении камер по простиранию на длину панели с оставлением целиков-столбов и их частичным погашением позволяет механизировать все технологические процессы добычи руды и обеспечить высокую производительность забойного рабочего и предприятия в целом.

Общий порядок отработки камер – восходящий с использованием ранее перечисленного оборудования: DD321 + Charmek 6605B + ПДМ LH-410 и LH307 + DS110L с доставкой руды к рудоспускам (или же с прямой погрузкой в автосамосвал TH430). Отработка камер при мощности руды до 4–4,5 м ведётся в один слой, а с увеличением мощности залежи выемку ведут в два слоя, начиная с верхнего. Участки шахтного поля, где мощность рудного тела не превышает 3 м, отрабатываются в один слой с использованием комплекса DD220L + LH209L + DS210L. Целики выборочно погашаются на завершающей стадии отработки панели.

Показатели потерь и разубоживания по системам разработки. В настоящей работе приме-

3. КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ И ПОКАЗАТЕЛИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ

Показатели систем разработки, единицы измерения	Жильные зоны выше Донной залежи		Пластообразные зоны Донной залежи	
	Горизонтальные слои с породной закладкой $m < 1$	Подэтажно-камерная с комбинированной закладкой	Камерная система разработки с выемкой руды по восстанию (α ≤ 5°)	Камерно-столбовая система разработки с диагональным съездом (α ≤ 25–37°)
Доля технологии в общем объёме добычи	2,1 %	3,2 %	31,7 %	63,0 %
Длина блока, м	75–150	75–150	300	300
Высота этажа, м	50	50	~ 100 (ширина)	80
Угол падения рудного тела, град.	80–90	80–90	3–8	15–40
Высота блока (наклонная), м	50	50		150–190
Средняя рудная мощность истинная, м	0,87	1,99	2,78	3,12
Средняя выемочная мощность, м	1,07	2,34	2,97	3,32
Разубоживание, ед.	0,22		0,081	
Потери, ед.	0,0476		0,131	
Разубоживание (средневзвешенное), ед.	0,1228			
Потери (средневзвешенное), ед.	0,088			

няются четыре системы разработок, описанные выше. При этом в первоначальный (20-летний) период работы используются, в основном, два варианта, где предусмотрено оставление технологических целиков: КСР с выемкой руды по восстанию в центре Донной залежи и КССР с диагональным съездом и доставкой к рудоспускам для крыльев залежи (с частичным обрушением целиков и частичной закладкой).

Два других варианта систем разработки (преимущественно с породной закладкой) не предусматривают оставления конструктивных целиков. Конструктивные параметры применяемых систем разработки и показатели извлечения приняты по аналогам с учётом их долевого участия и приведены в табл. 3.

Закладочные комплексы. При отработке условных запасов подземного рудника НКТ намечается использовать в основном системы разработки с твердеющей / пастовой закладкой на основе хвостов ОФ. Это решение помимо снижения потерь руды и предотвращения деформаций поверхности позволяет снизить объём хвостохранилища при утилизации хвостов в камеры подземного рудника.

Намечается строительство двух закладочных комплексов: в центре Донной залежи, на восстановленной площадке НКТ, и на площадке шахты № 5бис. С учётом ожидаемой производительности рудника (2,0 млн т) годовой объём пустот в очистных камерах составит ≈ 613 тыс. м^3/год. Если 15 % пустот заполнять текущей породой из подготовительных выработок, то требующийся объём твердеющей / пастовой закладки с заполнением камер на 90 % составит 613 x 0,85 x 0,9 = 468 тыс. м^3/год.

Схема проветривания подземного рудника НКТ намечается нагнетательная. Свежий воздух в период отработки запасов северной части шахтного поля подаётся по фланговым воздухоподающим выработкам (по НВС и ЗВС), а выдаётся по вскрывающим КУ и АТУ. Для выбора вентилятора главного проветривания расчёт воздухопотребности выполнен по разбавлению выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания технологических машин до санитарных норм с учётом коэффициента резерва 1,25. Потребность в свежем воздухе для проветривания определена ориентировочно – 242,5 м^3/с, при этом намечено использовать главную вентиляторную установку в составе осевого двухступенчатого реверсивного вентилятора ВЦД-31,5.

Выводы и рекомендации. По участку НКТ рекомендуется подземный способ отработки при вскрытии условных запасов АТУ и КУ в центре шахтного поля, а также наклонным съездом и шахтой в северной части. Предложены системы разработки с закладкой для двух типов оруденения – маломощного жильного крутопадающего и вкрапленного пологозалегающего.

Изложенные в статье горнотехнические решения явились основой для укрупнённой геолого-экономической оценки условных запасов НКТ до глубины 500 м (Куликов Д. А., Красносельских А. А., Черемисин А. А., Карпухина М. В., Рогизный В. Ф. и др., 2017). По участку НКТ основной потенциал связан с вкрапленными рудами центра Донной залежи. В центре рудник работает около 10 лет, в течение этого срока окупаются капитальные затраты.

Большой срок окупаемости связан с долговременным строительством, которое совмещено с попутной добычей руды; выход на проектную производительность ожидется на 6-й год, на 10-й начинается добыча богатых жильных руд, что улучшает экономические показатели проекта.

Внутренняя норма доходности проекта составляет ~ 15 %, индекс доходности – 2,79 ед. Средняя извлекаемая ценность руды за 20-летний период оценивается на уровне 5 тыс. руб./т, а эксплуатационные затраты на 1 т руды – 3,5 тыс. руб., таким образом, удельные затраты на 1 руб. товарной продукции составляют 0,7 руб., что даёт приемлемые интегральные показатели эффективности освоения. Проект характеризуется большей устойчивостью к ухудшению экономических условий, так как экономика остаётся положительной при снижении цен, эксплуатационных или капитальных затрат более чем на 10 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нормы* технологического проектирования рудников цветной металлургии с подземным способом разработки. ВНТП 37-86 / Утверждены протоколом Минцветмета СССР от 12.02.1986 г . № 48. – СПб. : Институт «Гипроруда», 1986. – 212 с.
2. *Нормы* технологического проектирования горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки. ВНТП 13-2-93 / Утверждены Комитетом

Российской Федерации по металлургии (протокол от 27.01.93, № 1) по согласованию с Госгортехнадзором РФ (протокол от 13.12.92, № 4). – СПб. : Институт «Гипроруда», 1993. – 203 с.

3. *Методические* указания по определению размеров камер и целиков при подземной разработке руд цветных металлов. – Чита : ВНИИПИгорцветмет, 1988. – 126 с.
4. *Рогизный В. Ф., Хромов В. М.* Селективная выемка маломощных рудных тел с применением малогабаритного оборудования // Рациональное освоение недр. – 2019. – № 2–3. – С. 88–98.

REFERENCES

1. Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya rudnikov tsvetnoi metallurgii s podzemnym sposobom razrabotki. VNTP 37-86, Utverzhdeny protokolom Mintsvetmeta SSSR ot 12.02.1986 g . № 48 [Standards for technological design of non-ferrous metallurgy mines with underground mining. VNTP 37-86, Approved by the protocol of the Ministry of Tsvetmet of the USSR dated 12.02.1986. No. 48], St. Petersburg, Institut "Giproruda" Publ., 1986, 212 p.
2. Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya gornodobyvayushchikh predpriyatii s podzemnym sposobom razrabotki. VNTP 13-2-93, Utverzhdeny Komitetom Rossiiskoi Federatsii po metallurgii (protokol ot 27.01.93, № 1) po soglasovaniyu s Gosgortekhnadzorom RF (protokol ot 13.12.92, № 4) [Standards for technological design of underground mining enterprises. VNTP 13-2-93, Approved by the Committee of the Russian Federation for Metallurgy (minutes dated January 27, 1993, No. 1) in agreement with the Gosgortekhnadzor of the Russian Federation (minutes dated December 13, 1992, No. 4).], St. Petersburg, Institut "Giproruda" Publ., 1993, 203 p.
3. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu razmerov kamer i tselikov pri podzemnoi razrabotke rud tsvetnykh metallov [Guidelines for determining the size of chambers and pillars in the underground mining of non-ferrous metal ores], Chita, VNIIPIgortsvetmet Publ., 1988, 126 p.
4. Rogiznyi V. F., Khromov V. M. Selektivnaya vyemka malomoshchnykh rudnykh tel s primeneniem malogabaritnogo oborudovaniya [Selective mining of thin ore bodies using small-sized equipment], *Ratsional'noe osvoenie nedr* [*Rational development of mineral resources*], 2019, No 2–3, pp. 88–98. (In Russ.).

OPENING AND MINING OF Pt-Pd-Cu-Ni ORES, NITTIS-KUMUZHIYA-TRAVYANAYA AREA

V. F. Rogizny (PhD, leading researcher)
D. A. Kulikov (Phd, head of department)
I. F. Migachev (PhD, chief researcher)
A. I. Donets (PhD, leading researcher)

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

The paper reviews the mining potential of opening and mining the Nittis-Kumuzhiya-Travyanaya (NKT) area using conveyor transport, advanced equipment and filling the worked-out area to improve plant capacity and reduce environmental damage to the area. Analysis was performed for a prospective scheme of mining additionally explored areas of Donnaya orebody as well as feasible options of ascending excavation involving selective breaking of thin veins. Results of consolidated geological and economic estimate for NKT reserves to a depth of 500 m are presented. The authors believe that this technology is efficient due to reduced dilution and ore losses, improved miners' work conditions, lower power and labor costs as well as higher ore throughput.

Keywords: Monchegorsk ore district, Donnaya orebody, NKT area opening and mining, conveyor and truck ramps, mine filling systems, mine haulage using dump trucks, additional vein zone mining using small-sized equipment, consolidated geological and economic estimate of conventional NKT reserves, Pd eq.

ОПЫТНЫЕ РАБОТЫ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ПОИСКОВ ЗОЛОТА В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ВЬЮНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ, РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))

Приводятся результаты опытных работ с использованием биогеохимического метода поисков золота на территории Вьюнского рудного поля в условиях криолитозоны. Даётся сравнительный элементный анализ по контрольному профилю различных биокомпонентов в сочетании с данными литохимического опробования и шлиховых проб. По результатам исследования установлено, что при биогеохимических методах поисков золота в условиях криолитозоны следует отдавать предпочтение мху или ягелю.

Ключевые слова: рудное поле, золото, биогеохимический метод, биокомпоненты, литохимическое опробование.

Язиков Егор Григорьевич
доктор геолого-минералогических наук
профессор [1]
yazikoveg@tpu.ru

Филимоненко Екатерина Анатольевна
кандидат геолого-минералогических наук
старший преподаватель [1]
filimonenkoea@mail.ru

Мишанькин Андрей Юрьевич
аспирант [1]
andreyka.mishankin@mail.ru

Собянин Юрий Петрович
директор [2]
yuri_sob63@mail.ru

Карпенко Юрий Андреевич
аспирант [1]
karpenkoyuriy92@gmail.com

[1] ФГАОУ ВО НИ ТПУ «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск

[2] ООО «Богуславец», г. Якутск

В настоящее время в Российской Федерации отмечается значительный дефицит рентабельных запасов различных видов полезных ископаемых, в том числе благородных металлов. Близки к исчерпанию разведанные запасы золота вследствие интенсивного освоения минерально-сырьевой базы, ухудшения условий эксплуатации месторождений, уменьшения содержания полезных компонентов. В связи с этим встаёт вопрос организации эффективных методов поисков золоторудных объектов, одним из которых является биогеохимический [9].

Биогеохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых базируются на выявлении биогенных ореолов элементов-индикаторов полезных ископаемых [2], поступающих из почвенного покрова в растения. Методы отличаются доступностью и являются одним из наиболее эффективных инструментов, используемых при поисках скрытых руд [8].

Полиметаллические геохимические аномалии на территориях рудных объектов зачастую обладают ярко выраженной контрастностью [13], что находит отражение в химическом составе растений, которые наследуют специфику локальных геохимических фонов, в том числе аномально высоких [10].

Поступление химических элементов в почву, а затем и в растения, связано с выветриванием материнских пород, ветровой эрозией, комплексообразованием с гуминовыми кислотами, сорбцией минеральных веществ в почвенном покрове [14, 15].

Степень поглощения того или иного химического элемента растениями из почвенного покрова во многом зависит от формы нахождения элементов. Так, в почве они могут быть сконцентрированы в минеральной кристаллической структуре, находиться в адсорбированном состоянии на поверхности глинистых ми-

УДК 553.411:550.7 (571.56)
© Коллектив авторов, 2020
DOI: 10.47765/0869-5997-2020-10025

нералов, а также в виде оксидов и комплексов с органическими веществами [12].

Из воды растворённые формы химических элементов поглощаются растениями со значительно большей (в тысячи раз) интенсивностью, чем из твёрдой фазы, контактирующей с корневыми системами [10].

Конкретные методики проведения биогеохимических поисков рудных объектов могут быть весьма разнообразными и зависеть от геологических задач поисковых работ, условий их проведения и имеющейся аналитической базы. Однако существует ряд универсальных принципов, которым необходимо следовать в практике биогеохимических работ. Один из них – однообразия опробования. Он заключается в том, что все отбираемые пробы должны быть идентичными. В целях исключения вегетационных колебаний рекомендуется проводить опробование растений в течение наиболее короткого промежутка времени. Важную роль также играет принцип комплексности, согласно которому поисковые работы рекомендуется проводить с применением совокупности методов [4, 8], например, вместе с изучением растительности, исследуя почвенный покров. Данный принцип находит отражение в настоящей работе.

Для выбора наиболее подходящего растения для проведения биогеохимических поисков на территории Вьюнского золоторудного поля (Республика Саха (Якутия)) были организованы опытные работы в границах участка Андрей.

В геологическом плане участок Андрей входит в состав золоторудного месторождения Вьюн, которое, в свою очередь, относится к Эльгенджинскому рудно-россыпному узлу Адычанской золотоносной зоны, протягивающейся в северо-западном направлении на 300 км при ширине до 50 км. В более широком смысле исследуемый участок месторождения Вьюн является частью Яно-Колымского пояса (рис. 1).

Участок Андрей находится на выположенной возвышенности, имеет сильно расчленённый горный рельеф с глубоко врезанными заболоченными долинами. Его слагают терригенные отложения верхнетриасового возраста (преимущественно аргиллиты и алевролиты), относящиеся к периферической части надинтрузивной зоны невскрытого Бурганджинского гранитоидного массива с предполагаемой глубиной залегания кровли гранитоидов до 2 км. Интрузивные образования развиты ограниченно и представлены дайками пород умеренно кислого состава.

Большая часть территории участка покрыта глыбовым материалом. Встречаются небольшие пропластки мелкозёма.

Малая величина оттайки поверхности исследуемой территории (не более 0,2 м), преобладание крупнообломочного материала и льда под растительным покровом, редкая встречаемость мелкозёма, а также сильная обводнённость низин и долин послужили решающими факторами в пользу проведения опытных работ, за основу которых было принято биогеохимическое опробование.

Геохимические работы на участке Андрей были организованы по профильной системе и включали биогеохимическое и литохимическое опробования, а также отбор шлиховых проб. Расстояние между профилями – 50 м, интервал между точками опробования на каждом из профилей – 20 м. При этом основным профилем, по которому проводились опытные работы, являлся профиль № 3 (рис. 2).

На каждой точке производился отбор образцов следующих видов: ветки и листья карликовой берёзы (раздельно и вместе); ветки и листья багульника (раздельно и вместе); ягель и мох (мхи отбирались из «моховой подушки» без разделения их на отдельные виды и роды). Таким образом, каждая точка биогеохимических исследований была представлена восемью биогеохимическими образцами.

После высушивания биогеохимические образцы подготавливались к анализу измельчением – сначала ручным, затем механическим с использованием кофемолки. Отдельно стоит отметить, что биогеохимические пробы перед анализом не озолялись, а сразу подвергались растворению в кислотах.

Литохимическое опробование на участке Андрей было произведено по одному контрольному профилю с шагом отбора образцов 20 м. Литохимические пробы были высушены, затем просеяны через сито с размером ячейки 1 мм и истёрты до пудры.

Для установления элементного состава биогеохимических (62 химических элемента) и литохимических проб (24 химических элемента) использовали метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) (Химико-аналитический центр «Плазма», г. Томск). Шлиховое опробование было также проведено по контрольному профилю участка Андрей с шагом отбора образцов 40 м.

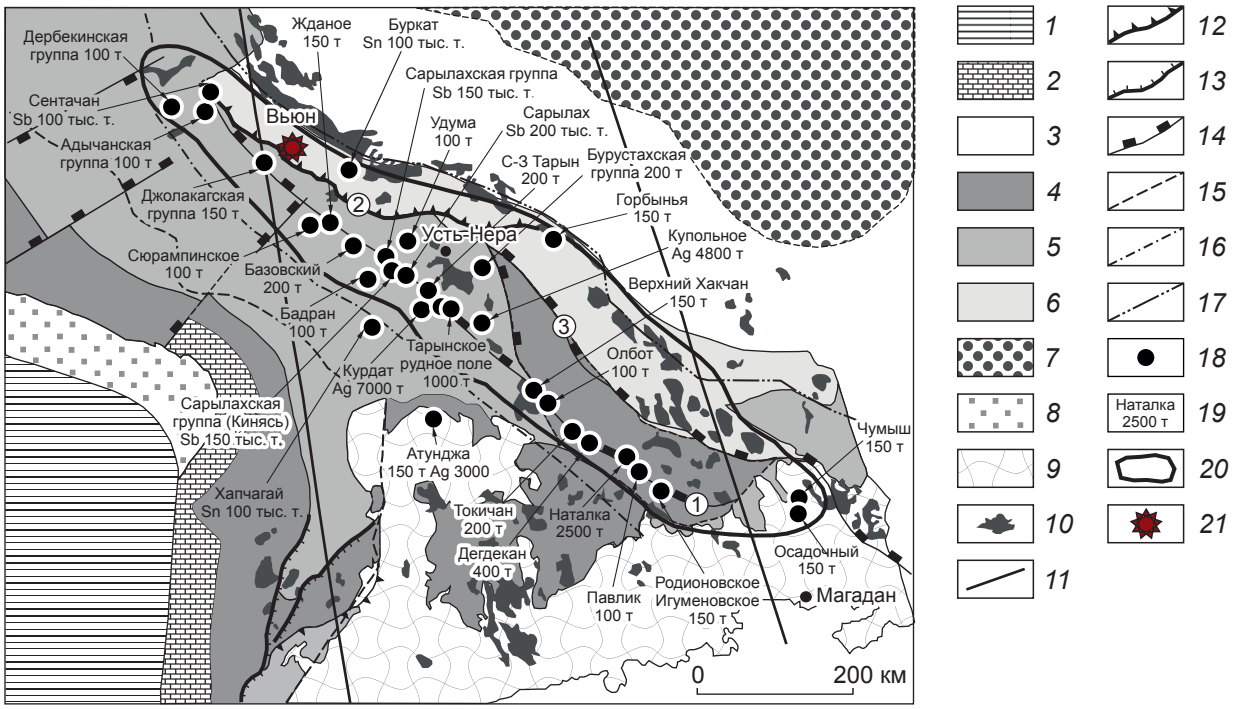


Рис. 1. МЕСТОРОЖДЕНИЕ ВЬЮН В СОСТАВЕ ЯНО-КОЛЫМСКОГО ПОЯСА, ПО А. И. НЕКРАСОВУ, 2017 г.:

1 – чехольные отложения Сибирской платформы; *2* – рифейские позднепалеозойские терригенно-карбонатные отложения Сетте-Дабанского пояса; *3* – докембрийско-раннемезозойские породы Черско-Полоусненского пояса; *4* – позднепалеозойские терригенные отложения Верхоянского, Яно-Охотского и Яно-Колымского поясов; *5* – триасово-раннеюрские отложения Верхоянского, Яно-Охотского и Яно-Колымского поясов; *6* – позднеюрские терригенные породы Иньяли-Дебинского сегмента Яно-Колымского пояса; *7* – средне-позднеюрские терригенные отложения Илин-Тасского пояса; *8* – позднеюрско-меловые отложения Предверхоянского пояса; *9* – меловые вулканогенные отложения Охотско-Чукотского вулканического пояса; *10* – коллизионные гранитоидные массивы Главного пояса гранитоидов пояса Черского; *11* – региональные разломы; *12* – надвиги; *13* – прочие разломы; *14* – восточная граница Верхоянского пояса; *15* – восточная граница Яно-Охотского пояса; *16* – восточная граница Яно-Колымского пояса; *17* – восточная граница Черско-Полоусненского пояса; *18* – наиболее крупные месторождения, рудопроявления, рудные поля и узлы; *19* – запасы и прогнозные ресурсы месторождений, в некоторых случаях суммарно с потенциалом конкретных рудных полей или узлов; *20* – условный контур Яно-Колымской золотоносной провинции; цифры в кружках: 1 – Адыча-Тарынская система взбросов, 2 – Чаркы-Индигирский надвиг, 3 – Чай-Юрьинский взброс; *21* – месторождение Вьюн

Минералогический анализ шлихов проводился в лаборатории «Западно-Сибирский испытательный центр» (г. Новокузнецк).

Оценки значимых числовых характеристик содержаний элементов в литохимических пробах, отобранных по профилю № 3 участка Андрей, представлены в табл. 1.

По результатам шлихового опробования установлено присутствие зёрен золота в пробах данного контрольного профиля, среди сульфидов в шлихах были обнаружены пирит, халькопирит и арсенопирит, которые являются минералами-спутниками благородного металла. По результатам элементного состава установлено, что золото в литохимических пробах имеет значимые (p = 0,05) положительные корреляционные связи с Sb (r = 0,65) и W (r = 0,71). Из всего перечня значимых положительных корреляций, установленных для Sb и W, следует выделить их взаимосвязи с As (Sb–As, r = 0,80; W–As, r = 0,53) и Co (Sb–Co, r = 0,67). Эти элементы по сравнению с другими, корреляционно связанными с Sb и W, характеризуются большей степенью дифференцированности концентраций в литохимических пробах. Концентрации большинства элементов в литохимических пробах слабо дифференцированы в пределах профиля (коэффициент вариации 20–40 %: Se, Hf, Be, Nb, Mo, Sn, Cu, W, Ni, Pb, Cr, Bi, Zn, Tl, V, Fe, P). Средняя степень ва-

1. ОЦЕНКИ ЧИСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОДЕРЖАНИЙ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ПРОБАХ С ПРОФИЛЯ № 3 УЧАСТКА АНДРЕЙ, мг/кг

Химический элемент	$X_{ср.}$	$X_{геом.}$	$X_{мед.}$	Min	Max	S	δm	V, %	A	δA	E	δE
Be	1,59	1,55	1,49	0,88	2,14	0,38	0,10	24	-0,2	0,6	-0,9	1,1
P	1288	1203	1112	566	2230	497	128	39	0,7	0,6	-0,4	1,1
V	134,5	123,7	141,8	37,7	201,1	49,0	12,6	36	-0,5	0,6	-0,8	1,1
Cr	91,5	85,3	96,7	25,4	127,6	29,5	7,6	32	-0,9	0,6	0,2	1,1
Mn	614	443	390	153	2960	688	178	112	3,2	0,6	11,2	1,1
Fe	37 511	34 645	42 946	15 620	61 244	14 367	3710	38	-0,1	0,6	-1,4	1,1
Co	15,8	14,3	16,3	6,9	27,0	6,8	1,8	43	0,0	0,6	-1,2	1,1
Ni	41,0	39,3	42,1	24,8	58,8	11,9	3,1	29	0,1	0,6	-1,6	1,1
Cu	48,6	47,1	47,7	31,4	89,0	13,7	3,5	28	1,9	0,6	5,1	1,1
Zn	94,1	88,8	87,4	47,5	145,4	32,3	8,3	34	0,2	0,6	-1,4	1,1
As	22,2	19,6	26,7	8,3	40,6	10,7	2,8	48	0,1	0,6	-1,4	1,1
Se	0,53	0,52	0,50	0,50	0,90	0,10	0,03	20	3,9	0,6	15,0	1,1
Nb	4,79	4,60	4,80	1,82	6,18	1,22	0,31	25	-1,1	0,6	1,3	1,1
Mo	1,40	1,34	1,43	0,79	2,06	0,39	0,10	28	-0,1	0,6	-1,0	1,1
Ag	0,67	0,44	0,48	0,06	1,58	0,53	0,14	78	0,4	0,6	-1,5	1,1
Cd	0,22	0,18	0,15	0,05	0,79	0,19	0,05	84	2,4	0,6	5,8	1,1
Sn	1,70	1,64	1,74	0,90	2,44	0,48	0,12	28	-0,1	0,6	-1,4	1,1
Sb	1,72	1,59	1,51	0,84	3,58	0,77	0,20	45	1,4	0,6	1,7	1,1
Hf	0,52	0,50	0,51	0,29	0,71	0,12	0,03	24	-0,2	0,6	-0,7	1,1
W	0,68	0,66	0,62	0,42	1,09	0,20	0,05	29	0,7	0,6	-0,2	1,1
Au	0,004	0,003	0,003	0,001	0,024	0,006	0,001	127	3,3	0,6	11,7	1,1
Tl	0,47	0,43	0,50	0,08	0,71	0,17	0,04	36	-0,7	0,6	0,4	1,1
Pb	14,1	13,2	14,9	4,3	19,8	4,4	1,1	31	-0,6	0,6	0,1	1,1
Bi	0,20	0,19	0,25	0,10	0,28	0,07	0,02	34	-0,3	0,6	-1,9	1,1

2. КОЭФФИЦИЕНТЫ ПАРНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ КОНЦЕНТРАЦИЯМИ ЭЛЕМЕНТОВ-СПУТНИКОВ МАЛОСУЛЬФИДНОГО ЗОЛОТОКВАРЦЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ЛИТОХИМИЧЕСКИХ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОБАХ В ПРЕДЕЛАХ ПРОФИЛЯ № 3 УЧАСТКА АНДРЕЙ

Химический элемент	Cu	Zn	As	Ag	Sb	Au	Bi
«Лито-ягель»	0,05	-0,22	-0,19	0,02	-0,17	0,10	-0,04
«Лито-мох»	-0,25	-0,11	-0,33	0,06	-0,22	-0,20	0,21
«Лито-багульник (листья)»	**0,56**	0,02	0,22	0,05	-0,27	-	-0,29
«Лито-багульник (ветки)»	**0,75**	-0,17	-	0,13	0,15	-0,10	-0,21
«Лито-багульник (общее*)»	**0,57**	0,03	-	-0,35	0,23	0,19	**0,66**
«Лито-берёза (листья)»	-0,38	-0,12	-	0,46	0,38	-	**-0,59**
«Лито-берёза (ветки)»	0,29	-0,12	0,38	0,08	-0,13	-	-
«Лито-берёза (общее)»	-0,34	-0,17	0,11	0,22	-0,46	-0,09	0,11
«Лито-ягель»	-0,02	-0,31	-0,48	0,03	-0,22	-0,09	-0,41
«Лито-мох»	-0,23	-0,17	-0,07	-0,38	-0,03	**-0,67**	0,22
«Лито-багульник (листья)»	**0,87**	0,37	0,36	0,06	-0,24	-	**-0,83**
«Лито-багульник (ветки)»	**0,85**	-0,11	-	-0,21	-0,34	0,17	-0,44
«Лито-багульник (общее*)»	**0,91**	0,38	-	-0,42	-0,15	-	0,53
«Лито-берёза (листья)»	-0,37	-0,11	-	0,03	**0,83**	-	-0,55
«Лито-берёза (ветки)»	**0,63**	-0,10	**0,60**	-0,13	-0,04	-	-0,02
«Лито-берёза (общее)»	-0,25	-0,44	0,31	0,18	-0,51	-0,03	0,22

Примечание. *общее – ветки с листьями. Жирным шрифтом выделены значимые связи.

риативности концентраций (коэффициент вариации 43–84 %) установлена для Co, Sb, As, Ag, Cd; высокая – для Mn и Au (112 и 127 % соответственно).

Результаты расчётов парных коэффициентов корреляции между концентрациями элементов-спутников малосульфидного золотокварцевого оруденения (по В. Н. Макарову) [5] в лито- и биогеохимических пробах представлены в табл. 2.

Анализ матриц парных корреляций элементного состава изучаемых биообъектов позволил уста-

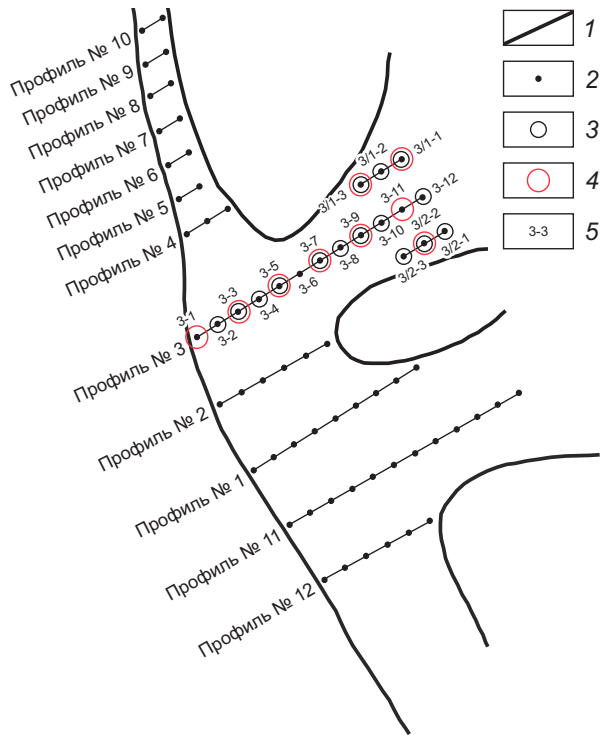


Рис. 2. СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО, ЛИТОХИМИЧЕСКОГО И ШЛИХОВОГО ОПРОБОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ УЧАСТКА АНДРЕЙ:

1 – граница заболоченного участка; пробы: *2* – биогеохимическая, *3* – литохимическая, *4* – шлиховая; *5* – шифр пробы

новить, что для ягеля характерна ассоциация элементов, наиболее близко отражающая общие геохимические и литохимические особенности территории участка Андрей. Эта ассоциация представлена Au, As, Sb, W, Cr, Cu, Cd, Mo, Bi, которые образуют между собой 12 значимых парных корреляций. По другим изученным биообъектам такой взаимосвязанной полиэлементной группы не установлено.

Важное условие при выборе вида растения для проведения биогеохимических поисков – способность концентрировать элементы-индикаторы. Поэтому при обработке результатов опытных биогеохимических работ особое внимание уделяется анализу средних концентраций химических элементов в опробованных биообъектах и особенностям распределения концентраций элементов между органами растений.

Согласно хоздоговорной работе от 27 апреля 2017 г. «Фоновая эколого-геохимическая оценка территории Вьюнского рудного поля (площадь 117,8 км^2) на доэксплуатационной стадии работ по данным изучения компонентов природных сред (Республика Саха (Якутия)» проводились фоновые оценки в природных компонентах, которые приводятся по ряду элементов в табл. 3. В ней отражены данные о средних по Вьюнскому рудному полю содержаниях химических элементов в почве, коре лиственницы даурской и ягеле, которые можно принять за условный местный фон $C_ф$.

3. СРЕДНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ, КОРЕ ЛИСТВЕННИЦЫ ДАУРСКОЙ И ЯГЕЛЕ НА ТЕРРИТОРИИ ВЬЮНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Химический элемент	Содержание, мг/кг		
	Почва	Кора лиственницы даурской	Ягель
As	33	0,073	0,19
Ag	0,78	0,014	0,016
Au	0,932	0,0033	0,0028

В карликовой берёзе концентрации Sc, V, Ge, As, Se, In, Sn, Te, Eu, Tm, Yb, Lu, Hf, Re, Pt, Au, Tl, Th (18 элементов из изученных 62) имеют величины ниже аналитического предела обнаружения в 80–100 % проб сухого вещества листьев карликовой берёзы, а в пробах сухого вещества веток карликовой берёзы концентрации Sc, V, Ge, As, Se, Mo, In, Sn, Te, Sm, Eu, Gd, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Re, Pt, Au, Hg, Tl, Th (25 элементов из изученных 62) имеют величины ниже аналитического предела обнаружения в 80–100 %.

Во всех образцах листьев и веток карликовой берёзы, изученных отдельно друг от друга, концентрации золота ниже предела обнаружения (менее 0,003 г/т), при этом в четырёх из 18 образцах веток с листьями концентрации золота отличны от нуля и изменяются в диапазоне от 0,0038 до 0,0114 г/т.

Для багульника концентрации Sc, V, Ge, As, Se, In, Sn, Te, Sm, Eu, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Re, Pt, Au, Th (22 элемента из изученных 62) имеют величины ниже аналитического предела обнаружения в 80–100 % проб сухого вещества листьев, а концентрации Li, Be, Sc, V, Ge, As, Se, In, Sn, Te, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Re, Pt, Hg, Th, U (26 элементов из изученных 62) имеют величины ниже аналитического предела обнаружения в 80–100 % проб сухого вещества веток растения.

Для ягеля концентрации Sc, Se, Sn, Te, Re, Pt (6 элементов из изученных 62) имеют величины ниже

аналитического предела обнаружения в 80–100 % проб сухого вещества.

В пробах сухого вещества мха концентрации Sc, Se, Sn, Te, Re, Pt, Au (7 элементов из изученных 62) имеют величины ниже аналитического предела обнаружения в 80–100 % случаев, тогда как для других элементов устанавливаются содержания 40 из 62 изученных химических элементов – Li, Be, Al, Ti, V, Fe, Co, Ge, As, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, In, Sb, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Hg, Pb, Bi, Th, U.

В целом для биообъектов отмечаются наибольшие содержания Mg, P, Ca, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Ga, Cd в карликовой берёзе, а K, Rb, Ba, Tl – в багульнике. Из всех изученных проб растительности наибольшими средними концентрациями Au характеризуется ягель. Уровни содержания широкого спектра химических элементов (Li, Be, Al, Ti, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, In, Sb, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Hg, Pb, Bi, Th, U) в ягеле имеют значения, превышающие в 1,3–14,8 раз соответствующие содержания в изученных растениях (карликовая берёза и багульник), однако в 1,1–26,6 раз ниже, чем в образцах мха. Ягель, произрастающий на участке Андрей, в 1,5–5,7 раз обогащён Be, Lu, Eu, Er, Ho, Y, Tm, Tb, Dy, Gd, Sm, Yb, Cd, Zn, Nd, Au, Ca, Li относительно среднего состава ягеля Вьюнского рудного поля, при этом в 1,5–4,2 раза обеднён Sb, Mn, U, Pb, Ba, V, Th, Tl, Fe, Cs, Hg, Nb, Zr, Na, As.

На рис. 3–5 приведены графики, отражающие сравнительную характеристику содержаний Au, а также некоторых элементов-индикаторов малосульфидного золотокварцевого оруденения в литохимических и биогеохимических пробах с профиля № 3. На графиках видно, что литохимические аномалии в пределах профиля № 3 участка Андрей наследуются мхом и ягелем.

Необходимо отметить, что оруденение Вьюнского рудного поля имеет жильный характер (малосульфидные золотокварцевые жилы). Поэтому площадные характеристики и контуры аномалий могут выделяться не столь контрастно.

Опытные исследования были организованы по профилю, что не в полной мере характеризует аномалии в пространственном отношении.

Минимальное требование для успешного использования биогеохимического метода поиска месторождений полезных ископаемых – достаточное поглощение почвенных элементов растениями одного используемого вида.

Для характеристики интенсивности поглощения химического элемента растительными видами применяют коэффициент биологического поглощения (КБП) – отношение содержания элемента в растении к содержанию элемента в горной породе или почве, на которой оно произрастает [3]. Наибольший КБП характерен для химических элементов, выполняющих физиологическую функцию в питании и обмене веществ растений (Ca, K, C, N, B, F, S и др.).

По индикаторной эффективности элементы минерального питания растений подразделяются на несколько групп. Наибольший интерес представляют микроэлементы, не концентрирующиеся в растениях в условиях фона (например, Pb, W, Au, Ta, Nb и др.), что обусловлено отсутствием физиологических функций, выполняемых ими в живых организмах. Именно эти химические элементы являются наилучшими биогеохимическими индикаторами, «ложные» аномалии по ним, как правило, отсутствуют [1].

По данным расчётов КБП (отношение концентрации химического элемента в субстрате произрастания биообъекта (литохимические данные) и концентрации химического элемента в сухом веществе биообъекта (биогеохимические данные)) химических элементов для изученных растений на профиле № 3 участка Андрей сформированы ряды, отражающие интенсивность поглощения различных химических элементов живым веществом из субстрата, на котором они произрастают, при этом наибольшие значения КБП соответствуют более интенсивному бионакоплению элемента. Ряды по величинам КБП для изученных биообъектов имеют следующий вид (приведены химические элементы с КБП > 0,1):

- ягель $\mathbf{Au_{1,23}}$ – $\mathbf{Cd_{0,31}}$ – $P_{0,24}$ – $Mn_{0,21}$ – $Zn_{0,16}$;
- мох $\mathbf{Au_{5,35}}$ – $\mathbf{Cd_{2,34}}$ – $\mathbf{Mn_{1,67}}$ – $P_{0,75}$ – $Zn_{0,45}$ – $Ag_{0,23}$;
- багульник (листья) $\mathbf{Mn_{5,37}}$ – $\mathbf{P_{1,25}}$ – $Au_{0,79}$ – $Zn_{0,26}$;
- багульник (ветки) $\mathbf{Mn_{3,02}}$ – $\mathbf{Au_{1,07}}$ – $P_{0,66}$ – $Zn_{0,20}$;
- багульник (ветки с листьями) $\mathbf{Mn_{5,00}}$ – $\mathbf{Au_{1,12}}$ – $\mathbf{P_{1,12}}$ – $Zn_{0,24}$;
- карликовая берёза (листья) $\mathbf{Mn_{8,66}}$ – $\mathbf{Cd_{4,39}}$ – $\mathbf{Zn_{1,99}}$ – $\mathbf{P_{1,49}}$ – $Au_{0,83}$;
- карликовая берёза (ветки) $\mathbf{Cd_{3,03}}$ – $\mathbf{Zn_{1,45}}$ – $\mathbf{Mn_{1,13}}$ – $Au_{0,83}$ – $P_{0,57}$;
- карликовая берёза (ветки с листьями) $\mathbf{Cd_{4,06}}$ – $\mathbf{Mn_{1,89}}$ – $\mathbf{Zn_{1,59}}$ – $\mathbf{Au_{1,56}}$ – $P_{0,71}$.

Сформированные ряды по убыванию КБП для изученных биообъектов включают в себя общий перечень химических элементов – Au, Mn, Zn, P, Cd.

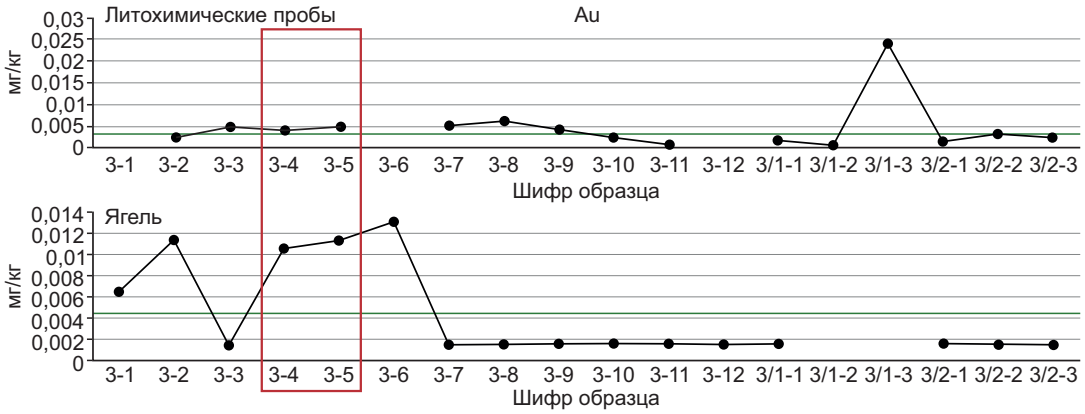


Рис. 3. КОНЦЕНТРАЦИИ Au В ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ПРОБАХ И ПРОБАХ ЯГЕЛЯ С ПРОФИЛЯ № 3

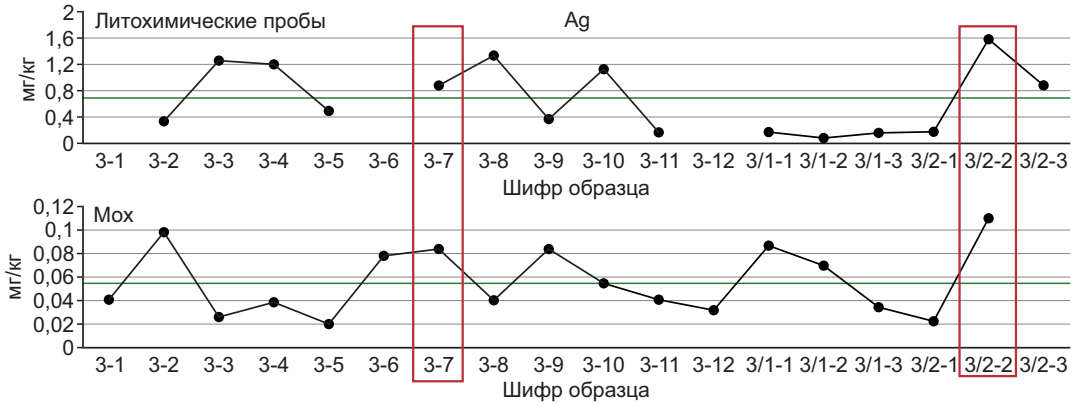


Рис. 4. КОНЦЕНТРАЦИИ Ag В ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ПРОБАХ И ПРОБАХ МХА С ПРОФИЛЯ № 3

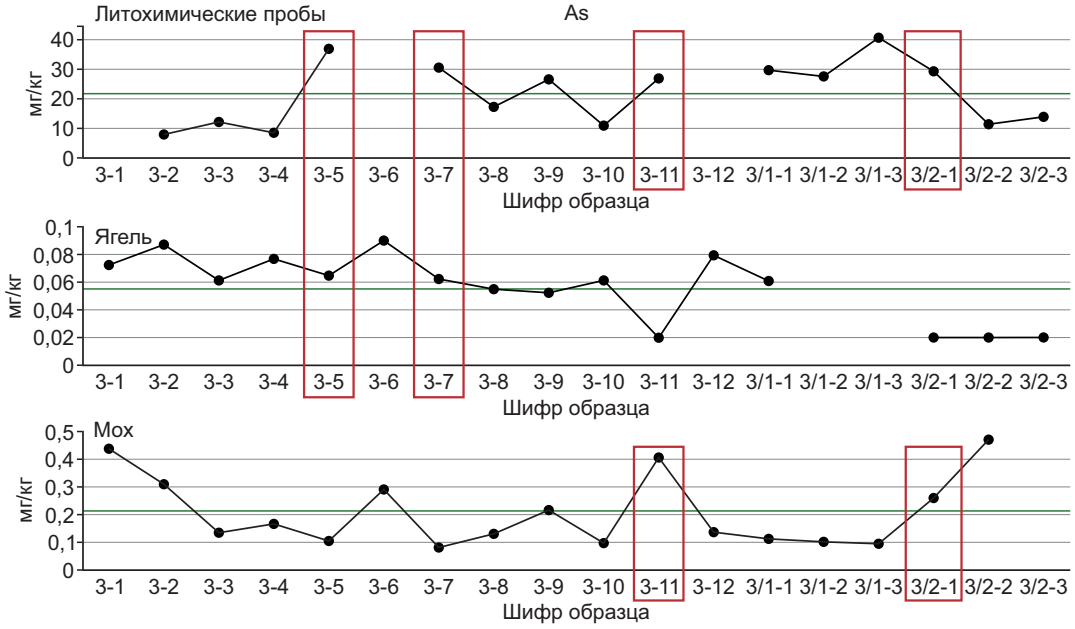


Рис. 5. КОНЦЕНТРАЦИИ As В ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ПРОБАХ, ПРОБАХ ЯГЕЛЯ И МХА С ПРОФИЛЯ № 3

В зависимости от исследуемого биообъекта последовательность элементов в ряду варьируется.

Таким образом, основываясь на полученных результатах опытных биогеохимических исследований, проведённых на контрольном профиле участка Андрей, и на общих требованиях, предъявляемых к биогеохимическим методам поиска, при выборе биообъекта для осуществления биогеохимических поисков золота в условиях криолитозоны следует отдавать предпочтение мху или ягелю. Необходимо отметить, что при обработке биогеохимических данных и выявлении аномалий следует сравнивать результаты, полученные по ягелю и по мхам, раздельно.

Отбор и подготовка проб ягеля менее трудоёмки, так как ягель быстрее высыхает и легче измельчается, что может существенно упростить и ускорить процесс биогеохимического опробования. Использование ягеля в качестве биогеохимического индикатора при поисках золота актуально для слабоувлажнённых участков, где отсутствует моховая подушка и нет рыхлых отложений для отбора литохимических проб. Несмотря на меньшую, по сравнению со мхами, способность ягеля к накоплению химических элементов уровень содержания золота и его спутников в сухом веществе ягеля является достаточным для выявления биогеохимических аномалий (при использовании высокочувствительного аналитического метода – масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой). По данным Т. Т. Тайсаева [11], в золоторудных зонах золото концентрирует большинство растений гольцовых ландшафтов – кустарничники, мох, лишайники, кора лиственницы и травы. Эти растения рекомендуются им для биогеохимических поисков золоторудных проявлений. Но несомкнутость и мозаичность распространения затрудняют использование ряда биологических видов для поисков. В этом отношении интересен ягель, который образует сомкнутые сообщества и покровы. Они покрывают большие пространства гольцовых плоскогорий – солифлюкционные склоны, днища речных и ледниковых долин, где развиты погребённые рудные зоны. По ягелю выделяются наложенные аномалии золота погребённых золото-сульфидных зон над солифлюкционными покровами.

Что касается мхов, то моховая подушка представляет собой своеобразный механический фильтр на пути водного потока и извлекает из него золотосодержащую взвесь. По моховой подушке чётко выделяются литохимическая (во взвеси) и биогеохимическая (во мхах) составляющие потоков рассеяния золота [11]. Работа А. С. Макшакова с соавторами [6] на примере Дукатского золото-серебряного месторождения надёжно доказывает эффективность использования для поисков золота водных и почвенно-водных мхов (бриевые, сфагновые, андреевые) – моховых подушек, образующих бриолитохимические потоки рассеяния.

От большинства высших растений мхи отличаются не только типом размножения, но и отсутствием корней, которые для остальных высших растений служат основным источником получения воды и питательных веществ. Но особенностью мхов является то, что для прикрепления к субстрату, на котором они растут, в нижней части стебля они имеют корнеподобные многоклеточные волоски, так называемые ризоиды. В процессе роста растения ризоиды внедряются в субстрат и очень крепко удерживают его частицы. Основную массу воды и растворённые в ней минеральные составляющие мхи поглощают всей поверхностью, а нерастворимые минеральные вещества субстрата получают благодаря ризоидам [6]. Поэтому для увеличения информативности данных, получаемых при биогеохимических поисках золота по данным изучения мхов, в пробу мхов помимо биомассы следует включать литохимический материал илистой фракции, который трудно отделяем от ризоидов.

Удобство в использовании мхов при биогеохимических поисках заключается в отсутствии необходимости определения видовой принадлежности мхов, формирующих моховую подушку, так как для основных видов и родов мхов уже доказано, что концентрируют микроэлементы они одинаково [4]. Кроме того, мхи пользуются широким распространением. Среди них отмечается высокая поглощающая способность и безбарьерность по отношению практически ко всем микроэлементам.

Использование мхов для биогеохимических поисков золота на территории Вьюнского рудного поля может быть применено на заболоченных участках и участках с повышенной увлажнённостью, где развита мощная моховая подушка. Результаты опытных работ показали, что контрастность литохимических аномалий в пределах заболоченных территорий является недостаточной, тогда как уровни накопления золота и его спутников во мхах дают более дифференцированную характеристику территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеенко В. А.* Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – М. : Логос, 2000. – 354 с.
2. *Брукс Р. Р.* Биологические методы поисков полезных ископаемых. – М. : Недра, 1986. – 311 с.
3. *Ганжара Н. Ф., Борисов Б. А., Ефимов О. Е., Злобина М. В.* Ландшафтоведение. – М. : РГАУ-МСХА, 2016. – 130 с.
4. *Ковалевский А. Л.* Биогеохимические поиски рудных месторождений. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1984. – 172 с.
5. *Макаров В. Н.* Геохимические ореолы золоторудных месторождений Якутии // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России : материалы Всероссийской научно-практической конференции (6–8 апреля, 2016 г.). – Якутск, 2016. – С. 110–113.
6. *Макшаков А. С., Кравцова Р. Г.* Бриолитохимические исследования при прогнозе и поисках золото-серебряной минерализации по потокам рассеяния (Северо-Восток России) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. – 2010. – № 1 (36). – С. 103–111.
7. *Овсянникова Т. М.* Биогеохимические методы поисков скрытых месторождений // Разведка и охрана недр. – 2019. – № 2. – С. 3–11.
8. *Поликарпочкин В. В., Поликарпочкина Р. Т.* Биогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых. – М. : Недра, 1964. – 106 с.
9. *Радомский С. М., Радомская В. И.* Благородные металлы рудного поля Албынского золоторудного месторождения Верхнего Приамурья // Георесурсы. – 2017. – Т. 19, № 2. – С. 141–146.
10. *Рихванов Л. П. [и др.]* Биогеохимический мониторинг в районах хвостохранилищ горнодобывающих предприятий с учетом микробиологических факторов трансформации минеральных компонентов / Национальный исследовательский Томский политехнический университет ; Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН ; Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука. – Новосибирск : СО РАН, 2017. – 437 с.
11. *Тайсаев Т. Т.* Биогенная концентрация золота в ландшафтах золоторудных полей гольцовой зоны // Доклады Академии наук СССР. – 1988. – Т. 301, № 4. – С. 871–976.
12. *Du Laing G., Rinklebe J., Vandecasteele B., Meers E., Tack F. M.* Trace metal behaviour in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: a review // Science of the Total Environment. – 2009. – № 407 (13). – P. 3972–3985.
13. *Gałuszka A., Zdzisław M., Dołęgowska S., Michalik A.* Geochemical anomalies of trace elements in unremediated soils of Mt. Karczówka, a historic lead mining area in the city of Kielce, Poland // Science of The Total Environment. – 2018. – № 63. – P. 397– 405.
14. *Ghazban F., Parizanganeh A., Zamani A., Baniardalan S.* Evaluation of heavy metal contamination of surface soils in Zarshouran gold district, Northwestern Iran // International Journal of environmental research. – 2018. – № 12 (6). – P. 843–860.
15. *Pérez-Sirvent C., Hernández-Pérez C., Martínez-Sánchez M. J., García-Lorenzo M. L., Bech J.* Geochemical characterisation of surface waters, topsoils and efflorescences in a historic metal-mining area in Spain // Journal of Soils and Sediments. – 2016. – 16 (4). – P. 1238–1252.

REFERENCES

1. Alekseenko V. A. Geokhimicheskie metody poiskov mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh [Geochemical methods of prospecting for mineral deposits], Moscow, Logos Publ., 2000, 354 p.
2. Bruks R. R. Biologicheskie metody poiskov poleznykh iskopaemykh [Biological methods of prospecting for minerals], Moscow, Nedra Publ., 1986, 311 p.
3. Ganzhara N. F., Borisov B. A., Efimov O. E., Zlobina M. V. Landshaftovedenie [Landscape science], Moscow, RGAU-MSKhA Publ., 2016, 130 p.
4. Kovalevskii A. L. Biogeokhimicheskie poiski rudnykh mestorozhdenii [Biogeochemical prospecting for ore deposits], Moscow, Nedra Publ., 1984, 172 p.
5. Makarov V. N. Geokhimicheskie oreoly zolotorudnykh mestorozhdenii Yakutii [Geochemical halos of gold deposits in Yakutia], *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (6–8 aprelya, 2016 g.)* [*Geology and mineral resources of the North-East of Russia: materials of the All-Russian scientific and practical conference (April 6–8, 2016)*], Yakutsk, 2016, pp. 110–113. (In Russ.).
6. Makshakov A. S., Kravtsova R. G. Briolitokhimicheskie issledovaniya pri prognoze i poiskakh zoloto-serebryanoi mineralizatsii po potokam rasseyaniya (Severo-Vostok Rossii) [Bryolithochemical studies in forecasting and searching for gold-silver mineralization by scattering streams (North-East of Russia)], *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektsii nauk o Zemle RAEN* [*Bulletin of the Siberian Branch of the Earth Sciences Section of the Russian Academy of Natural Sciences*], 2010, No 1 (36), pp. 103–111. (In Russ.).

7. Ovsyannikova T. M. Biogeokhimicheskie metody poiskov skrytykh mestorozhdenii [Biogeochemical methods of prospecting for hidden deposits], *Razvedka i okhrana nedr* [*Prospect and protection of mineral resources*], 2019, No 2, pp. 3–11. (In Russ.).
8. Polikarpochkin V. V., Polikarpochkina R. T. Biogeokhimicheskie poiski mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh [Biogeochemical prospecting for mineral deposits], Moscow, Nedra Publ., 1964, 106 p.
9. Radomskii S. M., Radomskaya V. I. Blagorodnye metally rudnogo polya Albynskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya Verkhnego Priamur'ya [Noble metals of the ore field of the Albynsk gold ore deposit in the Upper Amur Region], *Georesursy* [*Georesources*], 2017, V. 19, No 2, pp. 141–146. (In Russ.).
10. Rikhvanov L. P. et al. Biogeokhimicheskii monitoring v raionakh khvostokhranilishch gornodobyvayushchikh predpriyatii s uchetom mikrobiologicheskikh faktorov transformatsii mineral'nykh komponentov [Biogeochemical monitoring in the areas of tailing dumps of mining enterprises, taking into account the microbiological factors of transformation of mineral components], Novosibirsk, SO RAN Publ., 2017, 437 p.
11. Taisaev T. T. Biogennaya kontsentratsiya zolota v landshaftakh zolotorudnykh polei gol'tsovoi zony [Biogenic concentration of gold in the landscapes of gold ore fields of the alpine zone], *Doklady Akademii nauk SSSR* [*Reports of the USSR Academy of Sciences*], 1988, V. 301, No 4, pp. 871–976. (In Russ.).
12. Du Laing G., Rinklebe J., Vandecasteele B., Meers E., Tack F. M. Trace metal behaviour in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: a review, *Science of the Total Environment*, 2009, No 407 (13), pp. 3972–3985.
13. Gałuszka A., Zdzisław M., Dołęgowska S., Michalik A. Geochemical anomalies of trace elements in unremediated soils of Mt. Karczówka, a historic lead mining area in the city of Kielce, Poland, *Science of The Total Environment*, 2018, No 63, pp. 397–405.
14. Ghazban F., Parizanganeh A., Zamani A., Baniardalan S. Evaluation of heavy metal contamination of surface soils in Zarshouran gold district, Northwestern Iran, *International Journal of environmental research*, 2018, No 12 (6), pp. 843–860.
15. Pérez-Sirvent C., Hernández-Pérez C., Martínez-Sánchez M. J., García-Lorenzo M. L., Bech J. Geochemical characterisation of surface waters, topsoils and efflorescences in a historic metal-mining area in Spain, *Journal of Soils and Sediments*, 2016, No 16 (4), pp. 1238–1252.

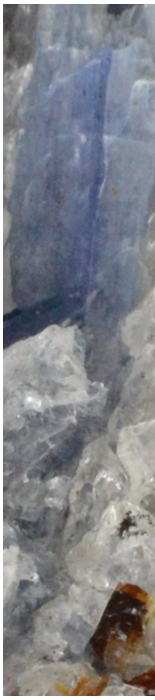
TESTWORK TO IMPROVE BIOCHEMICAL GOLD PROSPECTING METHOD WITHIN A CRYOLITE ZONE (EXAMPLE FROM VYUNSKOYE ORE FIELD, REPUBLIC OF SAKHA, YAKUTIA)

E. G. Yazikov (PhD, professor [1])
E. A. Filimonenko (PhD, senior lecturer [1])
A. Yu. Mishankin (postgraduate [1])
Yu. P. Sobyanin (director [2])
Yu. A. Karpenko (postgraduate [1])

[1] National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk
[2] LLC Boguslavets, Yakutsk

The paper presents the results of testwork using biochemical gold prospecting method within the Vyunskoye ore field in a cryolite zone. A comparative elemental analysis on a control profile of various biocomponents combined with lithochemical and concentrate sampling data is provided. Based on the study results, it was found that studies should be focused on moss when using biochemical gold prospecting methods in a cryolite zone.

Keywords: ore field, gold, biogeochemical method, biocomponents, lithochemical sampling.



ГЕНЕЗИС И ВОЗРАСТ РУДНОЙ ТОЛЩИ ТОМТОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НИОБИЯ И РЕДКИХ ЗЕМЕЛЬ, СЕВЕРО-ВОСТОК СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Толстов Александр Васильевич
доктор геолого-минералогических наук
директор НИИГП АК «АЛРОСА» (ПАО) [1,3]
tolstovav@alrosa.ru

Черенков Владимир Георгиевич
ведущий геолог [2]
v.cherenkov@mfvsegei.ru

Баранов Леонид Николаевич
научный сотрудник
НИИГП АК «АЛРОСА» (ПАО) [1,3]
baranovln@alrosa.ru

[1] Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

[2] МФ ФГБУ ВСЕГЕИ, г. Москва

[3] ИГМ СО РАН, г. Новосибирск

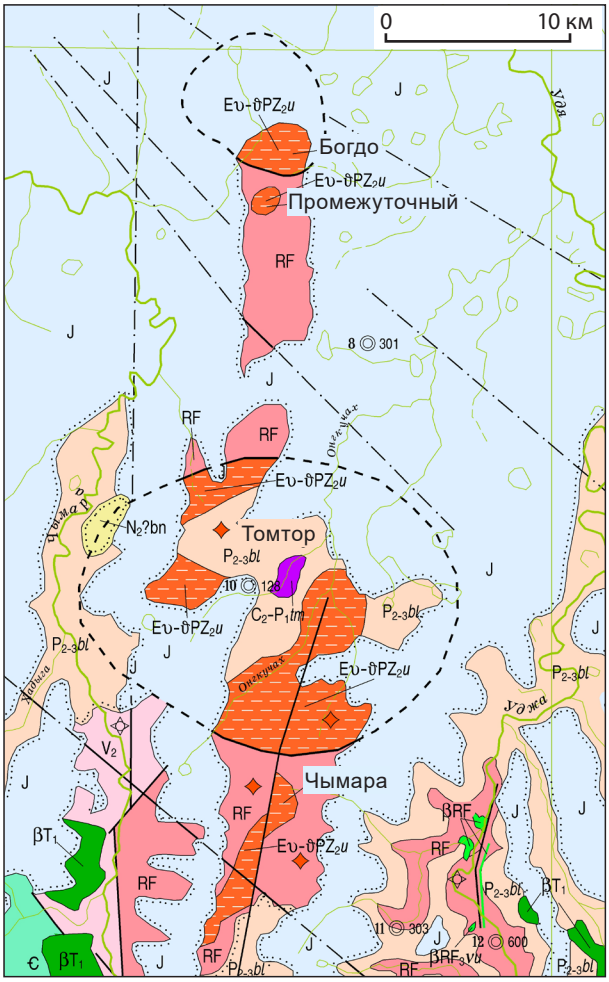
На северо-востоке Сибирской платформы (Республика Саха (Якутия)) расположена Уджинская провинция щелочных ультраосновных массивов с карбонатитами – заключительными фазами эволюции магматической системы, образующими его центральное карбонатитовое ядро и содержащими повышенные концентрации Fe, Al, P и комплекс редких и редкоземельных элементов. На массивах развита кора латеритного выветривания мощностью до 400 м. В коре выветривания карбонатитов содержания фосфатов, Nb, Y, Sc и TR существенно выше по сравнению с неизменёнными разностями пород. Максимальных значений они достигают в толще своеобразных осадочных отложений, сформировавшихся в результате осаждения продуктов денудации коры рудоносных карбонатитов в мелких озёрных впадинах и интенсивного хемогенного преобразования их в условиях жаркого влажного климата. Они представляют собой уникально богатые руды, по набору и содержанию полезных компонентов не имеющие аналогов в мировой практике. Эти породы являются иногда их природными концентратами со средними содержаниями, мас. %: Nb_2O_5 – 7,21, Y_2O_3 – 0,578, Sc_2O_3 – 0,045, TR_2O_3 – 10,16. Слагающие рудоносную толщу породы имеют характерные признаки осадочного генезиса: хорошо выраженные слоистую текстуру и фациальную зональность, присутствие углефицированного растительного детрита и бактериоморфных агрегатов. Это даёт основание рассматривать комплекс данных образований как самостоятельное стратиграфическое подразделение – томторскую толщу. Геологические данные позволяют полагать, что она образовалась в интервале 340–280 млн лет. Томторская толща может служить важным поисковым критерием при поисках редких и редкоземельных элементов.

Ключевые слова: карбонатиты, редкие и редкоземельные элементы, массив Томтор, кора выветривания, латериты, слоистость, фации, пирохлор, крандаллит.

Во время геологической съёмки м-ба 1:200 000, проведённой в 1956–1959 гг. в северо-восточной части Сибирской платформы, вблизи восточной границы Анабарского щита, была открыта группа сближенных интрузивных массивов, объединённых в Уджинскую провинцию щелочных ультраосновных пород и карбонатитов, предположительно среднепалеозойского возраста (рис. 1). Одновременно было установлено, что некоторые разновидности слагающих их пород обладают повышенными концентрациями Fe, P, Al, а также редких и редкоземельных элементов [2, 3, 6, 10, 14, 15, 23–27, 30–32].

Чтобы выяснить, можно ли использовать массив как промышленный источник перечисленных элементов, был проведён комплекс поисково-разведочных работ. Эти исследования имели также целью получение данных, позволяющих составить более детальное и обоснованное представление о составе пород, сла-

УДК 553.493.4 (571.56)
© Толстов А. В., Черенков В. Г., Баранов Л. Н., 2020
DOI: 10.47765/0869-5997-2020-10026



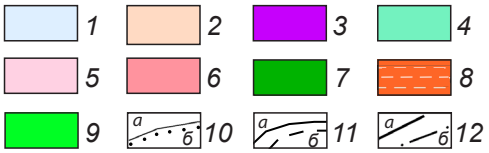


Рис. 1. СХЕМАТИЧЕСКАЯ КАРТА УДЖИНСКОЙ ПРОВИНЦИИ ЩЕЛОЧНЫХ УЛЬТРАОСНОВНЫХ МАССИВОВ:

1 – морские терригенные отложения, J: алевролиты, песчаники, конгломераты, глины; *2* – отложения буолкалахской свиты, $P_{2-3}bl$: песчаники, алевролиты, конгломераты, угли; *3* – отложения томторской толщи, C_2–P_1tm: аргиллиты, алевролиты, алевропелиты, пески, песчаники; *4* – известняки, доломиты, Є; *5* – доломиты, V_2; *6* – доломиты, известняки, алевролиты, песчаники, глинистые сланцы, туфы основного состава, RF; интрузивные образования: *7* – трапповая формация, βT_1m: силлы, дайки долеритов, *8* – уджинский ийолит-карбонатитовый комплекс, многофазные массивы (Єυ-ϑPZ_2): оливиниты, ийолиты, щелочные и нефелиновые сиениты, фоскориты, карбонатиты, *9* – долериты верхнеуджинского комплекса, βRF*vu*; *10* – геологические границы (*а* – согласного, *б* – несогласного залегания); *11* – границы щелочных ультраосновных массивов на дневной поверхности (*а*), под покровом юрских образований (*б*); *12* – основные разрывные нарушения (*а* – установленные, *б* – предполагаемые)

гающих массивы, их взаимоотношениях и последовательности формирования. Следует заметить, что все массивы крайне слабо обнажены, так как перекрыты практически сплошным чехлом терригенных морских и континентальных пермских и юрских и рыхлых четвертичных образований, и знания об их составе и внутренней структуре базируются только на результатах бурения, геофизических материалах и сопоставлениях с хорошо изученными районами близкого геологического строения, главным образом с массивами центрального типа Маймеча-Котуйской провинции [9]. В результате последующих поисково-разведочных работ выяснилось, что некоторые разновидности пород характеризуются достаточно высокими содержаниями полезных элементов (главные – Nb, Y, Sc, другие REE; попутные – Fe, Al, P), их максимальные содержания свойственны карбонатитам – продуктам заключительных фаз эволюции магматической системы (табл. 1). Бóльшая часть карбонатитов сосредоточена в центральной части массива – карбонатитовом ядре, за его пределами встречаются только отдельные мелкие тела [4, 26, 27]. Было также установлено, что на массивах почти повсеместно развита мощная кора выветривания латеритного типа, концентрации полезных компонентов в которой оказались иногда на порядок выше, чем в неизменённых коренных породах. Однако сложность освоения месторождения и транспортировки, а также сравнительно невысокий спрос, существовавший в то время на эти элементы, делали их добычу нерентабельной.

В процессе поисково-разведочных работ в центральной части наиболее крупного (площадь около 250 км^2) массива провинции (Томтор), сложенной преимущественно рудными карбонатитами поздних магматических фаз, отдельные скважины вскрыли своеобразные отложения, залегающие на поверхности коры выветривания [13, 22, 23, 26, 27, 30]; генетическая идентификация их оказалась достаточно трудной и неоднозначной. Среди предложенных моделей их формирования фигурируют: изменённые щелочные карбонатит-ультрамафитовые фосфатные туфолавы [29]; гидротермальные образования [14, 22]; эпигенетически изменённые верхние горизонты коры выветривания [17]; озёрные и делювиальные хемогенно изменённые от-

1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГЛАВНЫХ ТИПОВ КАРБОНАТИТОВ, МАС. %

Компонент	Ранний кальцитовый карбонатит (92)	Редкометалльный кальцитовый карбонатит (122)	Анкеритовый карбонатит (15)
SiO_2	8,66	5,89	14,49
TiO_2	0,76	0,67	1,77
Al_2O_3	2,46	1,14	3,62
Fe_2O_3	2,02	3,80	10,46
FeO	3,97	6,18	5,60
MnO	1,30	1,81	2,94
MgO	5,60	4,37	6,97
CaO	35,89	37,76	21,34
Na_2O	0,16	0,12	0,15
K_2O	1,38	0,89	1,17
P_2O_5	2,41	3,42	2,24
CO_2	31,51	31,61	19,19
SO_3	-	1,52	4,84
Nb_2O_5	0,056	0,27*	0,19
TR_2O_3	0,55	0,80	1,27
Сумма	96,726	99,98	96,24

Примечание: В скобках дано число анализов.

ложения [12, 13]; породы, образованные в прибрежно-морских условиях в результате деятельности цианобактерий [11]; рудные фосфатно-карбонатные туфы [5, 6]. Но главной особенностью оказалось то, что содержания Nb и REE в отложениях существенно превышали концентрации не только в «свежих» разностях пород, но и в коре выветривания по ним. Это, а также изменившаяся конъюнктура рынка редких и редкоземельных элементов явились стимулом для постановки исследований следующих этапов, во время которых проводились оценка рудопроявлений и подсчёт запасов руд.

Предварительная разведка, во время которой было пробурено свыше 700 скважин, была проведена геологами Чернышевской экспедиции АК «АЛРОСА» в 1990–1997 гг. [19, 28]. Было установлено, что упомянутые выше отложения развиты на трёх участках в центральной части массива Томтор, где они выполняют мульдообразные впадины на неровной поверхности массива. Возникновение впадин объясняется неравномерной «усадкой» коры, обусловленной более высокой интенсивностью денудации и выноса подвижных щелочных и щёлочноземельных элементов – Ca, Mg, Na, K, P – в его карбонатитовом ядре, сложенном легко разрушающимися породами (рис. 2). Опробование показало, что эти отложения представляют собой уникально богатые руды, по набору и содержанию ценных компонентов не имеющие аналогов в мировой практике (табл. 2). Суммарная площадь участков, занимаемых этими образованиями, составляет ~ 30 км^2. К настоящему времени в одной из впадин на участке Буранный компанией «Триаркмайнинг» был проведён комплекс работ по подсчёту запасов ниобий-редкоземельных руд и подготовке месторождения к эксплуатации [8, 28].

Все три впадины, выполненные толщей осадочных слаболитифицированных пород, имеют одинаковое строение. Субстрат – кора латеритного выветривания карбонатитов рудной группы, в которой в зависимости от характера воздействия процессов выветривания и состава пород выделяются три зоны: гидрослюдистая, апатитовая и гётитовая; суммарная мощность коры 400 м. В верхнем горизонте в зависимости от состава субстрата выделяется несколько линзообразно залегающих горизонтов: сидеритовый, гётитовый и франколититовый, также содержащие повышенные концентрации полезных компонентов, однако практического интереса они не представляют. На некоторых участках в породах коры развивается интенсивная гематитизация и прожилковое окварцевание. Впадины мелкие, мульдообразные, замкнутые, с пологими бортами и относительно ровными днищами, в плане имеют неправильные изрезанные очертания, которые иногда контролируются элементами разломной тектоники (рис. 3), [13, 23, 22, 26, 27, 30].

В разрезе осадочной толщи, выполняющей впадины, отчётливо выделяются два горизонта, сложенные различными литогенетическими ассоциациями пород.

Нижний горизонт толщи в большинстве случаев залегает на породах сидеритового горизонта коры выветривания по карбонатитам. Образовавшиеся в условиях жаркого влажного климата, слаборасчленённого рельефа с, видимо, богатой растительностью, слагающие его породы имеют состав, типичный для мелких замкнутых озёр с

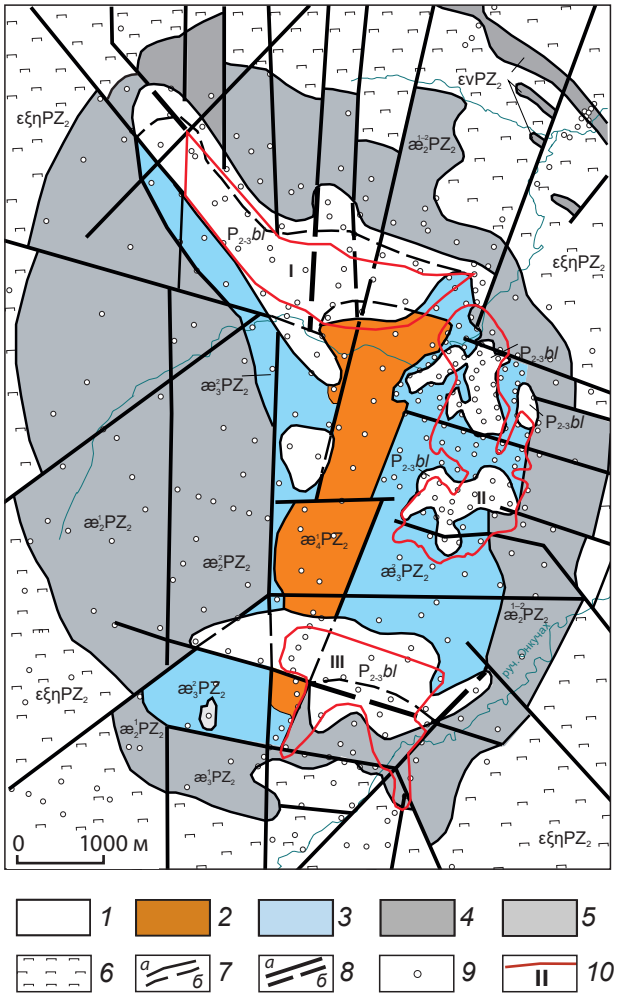


Рис. 2. СТРОЕНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ МАССИВА ТОМТОР И ПОЛОЖЕНИЕ УЧАСТКОВ РАЗВИТИЯ ТОМТОРСКОЙ ТОЛЩИ СО СНЯТЫМ ПОКРОВОМ ЮРСКИХ И ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ПОРОД, ПО А. В. ТОЛСТОВУ, 1998 г.:

1 – буолкалахская свита, $P_{2-3}bl$: песчаники, алевролиты, конгломераты, пласты бурых углей; карбонатитовый комплекс заключительных фаз внедрения: *2* – редкометалльные карбонатиты и анкерит-шамозитовые породы, $æ^1_4PZ_2$, *3* – фосфор-редкометалльные карбонатиты и апатит-микроклин-слюдистые породы, $æ^2_3PZ_2$, *4* – безрудные кальцитовые и доломит-кальцитовые карбонатиты, кальцит-микроклин-слюдистые породы, $æ_3^{1-2}PZ_2$; *5* – камафориты; силикатные породы ранних фаз внедрения: *6* – щелочные ультрамафиты альнёит-тингуаитовой серии, щелочные и нефелиновые сиениты, фоидолиты, $εξηPZ_2$; *7* – геологические границы (*а* – установленные, *б* – предполагаемые); *8* – разрывные нарушения (*а* – установленные, *б* – предполагаемые); *9* – буровые скважины; *10* – границы участков развития томторской толщи (I – Северный, II – Буранный, III – Южный)

малоактивным гидродинамическим режимом. В большинстве случаев для них характерны глинистые и мелкозернистые разновидности пород. Минеральный состав и структурные особенности осадков обусловлены составом пород коры выветривания в областях сноса. В зависимости от положения в пределах впадин в составе горизонта выделяется несколько фациальных зон, имеющих в общем концентрически-зональное распространение (см. рис. 3; рис. 4).

В центральных частях впадин горизонт сложен тонкослоистыми светло-серыми и зеленовато-серыми пелитоморфными породами – слаболитифицированными аргиллитами с мощностью слойков 0,1–10 мм, прослоями жёлтых алевритов, горизонтально-волнисто-слоистыми, часто с нарушенной, «взмученной» и микрооползневой текстурой, иногда массивными. Изредка встречаются клиновидные трещины усыхания, заполненные материалом перекрывающих осадков. Породы состоят в основном из агрегата хемогенных минералов группы крандаллита, цементирующего мельчайшие (~ 1 мкм) зёрна рутила, анатаза, пирохлора, гематита, гётита, каолинита и других минералов [13, 16, 28]. Зёрна рудных минералов претерпели очень незначительный перенос, а некоторые не испытали его вовсе, образовавшись in situ гидротермальным способом; большинство последних, в том числе минералы группы крандаллита, галлуазита и частично – монацита, были химически осаждены из термальных вод, возможно, с участием биоты. Значимым агентом генезиса этих пород могла быть активность микробов, что подтверждается бактериоморфными микро- и наноструктурами некоторых включений [11, 16] (рис. 5).

В области сочленения днищ котловин со склонами залегают жёлтые алевриты со слойками тонкозернистых песков мощностью 0,1–5 см, чередующиеся с серыми пелитоморфными породами. В нижних частях склонов они сменяются тонкозернистыми песками, переслаивающимися с алевритами, горизонтально-волнисто-слоистыми прослоями пелитоморфных пород. В верхних частях склонов их сменяют плохо сортированные мелко- и тонкозернистые жёлтые и серые пески с дресвой и тонкими прослоями алевритов и пелитов, неслоистые или горизонтально-волнисто-слоистые. Отдельные слойки обогащены зёрнами минералов высокой плотности: оксидами титана, пирохлором, монацитом. Широко развиты пост-

2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ (В МАС. %) ГИПЕРГЕННЫХ ПРОДУКТОВ ЛАТЕРИТНОГО ПРОФИЛЯ ВЫВЕТРИВАНИЯ КАРБОНАТИТОВ И ИХ ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИ ИЗМЕНЁННЫХ РАЗНОСТЕЙ, ПО [18]

		Эпигенетически изменённые продукты выветривания				
Компонент	Гипергенные продукты латеритного профиля выветривания карбонатитов – лимонит-франколитовые породы (24)	Осветлённые продукты выветривания или руды богатого горизонта (64)	Пирохлор-монацитовые руды (22)	Пирохлор-алюмо-фосфатные руды (42)	Лимонит-сидеритовые породы (14)	Сидерит-франколитовые породы
SiO_2	7,44	8,70	5,88	9,42	3,92	8,82
TiO_2	0,74	7,30	4,77	7,34	1,40	0,82
Al_2O_3	0,72	15,25	5,13	17,83	2,55	0,84
Fe_2O_3	24,99	9,01	11,54	8,36	30,63	20,40
FeO	3,49	5,90	10,54	4,72	19,72	3,53
MnO	2,72	0,61	1,48	0,38	4,30	2,96
MgO	0,66	0,25	0,26	0,24	0,80	0,75
CaO	27,45	3,04	3,49	2,92	5,36	27,34
Na_2O	0,19	0,20	0,25	0,19	0,14	0,36
K_2O	0,05	0,31	0,07	0,37	0,12	0,24
P_2O_5	20,15	13,90	11,69	14,47	4,85	20,23
CO_2	0,19	2,70	5,80	1,92	13,71	5,74
SO_3	0,25	0,63	0,61	0,64	0,28	0,12
Nb_2O_5	0,86	4,70	7,68	3,94	1,22	0,84
TR_2O_3	1,80	10,72	17,64	9,08	-	-
Сумма	91,70	83,22	86,83	81,82	89,00	92,99

Примечание: В скобках дано число анализов.

седиментационные гётит, гидрогётит, импрегнирующие цемент и образующие плёночные выделения и псевдоморфозы по железосодержащим минералам.

В краевой прибортовой части впадин залегают мелко-среднезернистые пески плохо сортированные неслоистые, реже – горизонтально-волнисто- или косослоистые, с дресвой и редкими крупными (до 30 см) угловато-окатанными валунами и угловатыми обломками выветрелых коренных пород. Цементом служит тонкодисперсный агрегат минералов группы крандаллита, обычно колломорфной текстуры, или агрегат каолинита с гидрослюдой.

Породы всех разновидностей во всех фациальных зонах обычно рыхлые, реже – слаболитифицированные. Псаммитовый и алевритовый обломочный материал и степень его окатанности также идентичны; обломки представлены угловатыми и угловато-окатанными зёрнами пирохлора, магнетита, рутила, анатаза, ильменорутила, монацита, ксенотима, иногда кварца, апатита, франколита и других минералов.

Породы всех фациальных зон характеризуются постоянным присутствием органического углерода, связанного с углефицированными растительными остатками – углистым детритом низкой буроугольной стадии метаморфизма. Содержание $C_{орг.}$ закономерно возрастает от 0,01–0,3 до 1–2 % на бортах впадин, иногда до 3 % в их центральных частях. В том же направлении снижается содержание SiO_2 – от 10–20 до 3–5 %, что отражает меньшую активность поступления терригенного материала, и повышается содержание $Fe_{общ.}$ от 3–8 до 5–20 % вследствие увеличения доли хемогенной составляющей.

Мощность отложений нижнего горизонта изменяется в направлении от бортов впадин к их центральным частям от первых десятков сантиметров до 42 м.

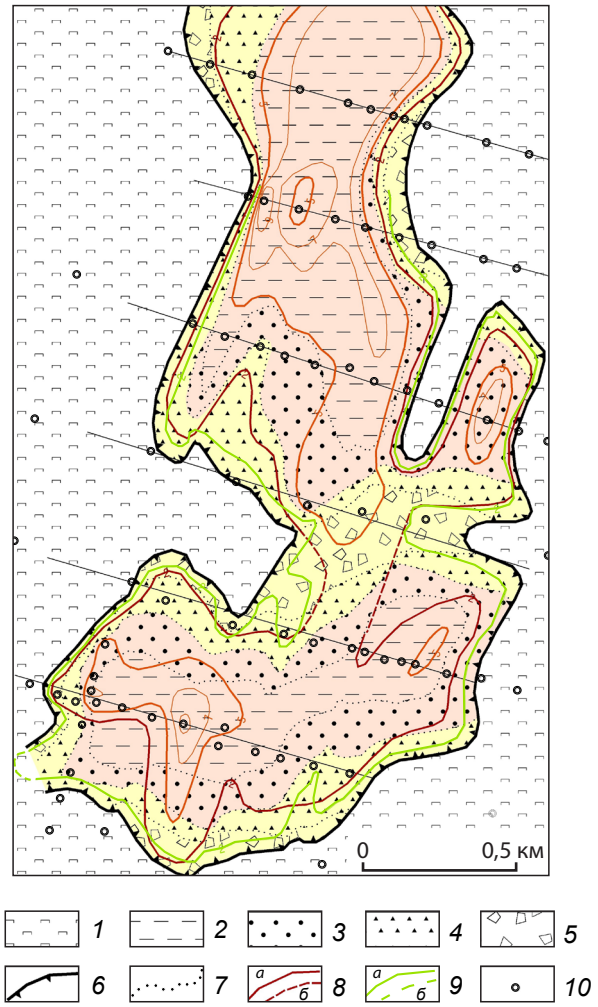


Рис. 3. ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ТОМТОРСКОЙ ТОЛЩИ НА УЧАСТКЕ БУРАННЫЙ:

1 – субстрат: кора выветривания по породам карбонатитового комплекса (æPZ_2). Осадочные породы на коре выветривания – томторская толща (PZ_2tm); *2* – центральная зона котловин: аргиллиты слаболитифицированные пелитоморфные светло-серые тонкослоистые, с прослоями алевритов; *3* – область сочленения днища котловин со склонами: алевриты, тонкозернистые пески, прослои пелитоморфных пород, горизонтально-волнисто-слоистые; *4* – склоны котловин: пески плохо сортированные тонкозернистые, с дресвой и прослоями алевритов, неслоистые или горизонтально-волнисто-слоистые; *5* – прибортовые части впадин: пески мелко-среднезернистые неслоистые, горизонтально-, волнисто- или косослоистые, с дресвой и редкими крупными валунами выветрелых коренных пород; *6* – граница томторской толщи; *7* – границы фациальных зон; *8* – изопахиты отложений толщи, 10 м (*а* – установленные, *б* – предполагаемые); *9* – изоконцентраты содержаний Nb_2O_5, % (*а* – установленные, *б* – предполагаемые); *10* – буровые скважины

Верхний горизонт сложен алевролитами и мелкозернистыми красноцветными песчаниками, с выделениями гиббсита и бёмита; породы содержат линзы гравелитов и дресвяников, прослои углесодержащих сероцветных песчаников. Граница с нижним слоем неровная, с локальными врезами. Этот горизонт представляет собой толщу аллювиально-делювиальных пород, которая образовалась в условиях жаркого влажного климата. В последующую эпоху в условиях умеренно тёплого влажного климата в красноцветных породах сформировались характерные для таких обстановок гиббсит, бёмит, вудхаузеит, а в сероцветных аллювиальных отложениях произошла интенсивная каолинизация обломочного материала. Мощность верхнего горизонта до 50 м.

Рассматриваемые отложения представляют собой комплекс образований, которому присущи все признаки и свойства осадочных пород: хорошо выраженная слоистая текстура от параллельной микрослоистой в центре впадин (скважина 5649) до косослоистой на границе со склонами; отчётливая гранулометрическая и литологическая фациальная зональность, характерная для мелких замкнутых водоёмов (см. рис. 3). Последняя позволила установить, что краевые части толщи представляют собой делювиальные образования, фациально замещающиеся озёрными в центральных частях впадин. Своеобразие минерального и химического составов этих отложений объясняется, с одной стороны, специфическим составом пород в области питания, с другой – жарким влажным климатом, существовавшим в этом районе в период их формирования. Всё это позволяет выделить образования в самостоятельный таксон – томторскую толщу.

Источником вещества для её формирования послужили образования мощной коры выветривания латеритного типа на рудных карбонатитах центральной части массива Томтор с очень незначительной примесью терригенного материала. Выветривание исходных пород массива привело к выносу из них значительной части легкоподвижных щелочных и щёлочноземельных элементов (Ca, Mg, K, Na), которые переходили в грунтовые воды, определяя щелочные условия среды. В то же время в поверхностной зоне происходило подкисление почвенных вод за счёт разложения растительных остатков, что создавало благопри-

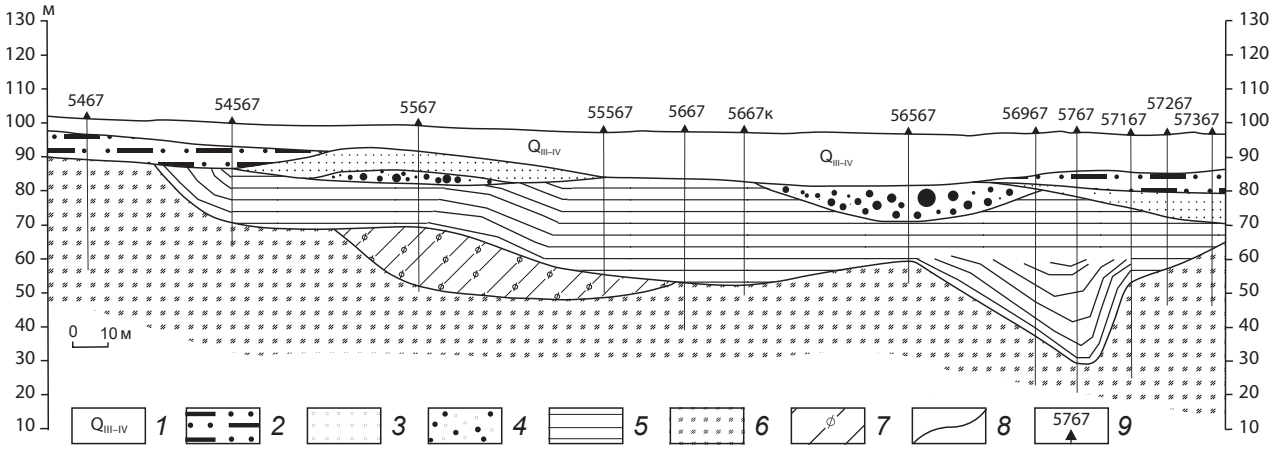


Рис. 4. ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ТОМТОРСКОЙ ТОЛЩИ НА УЧАСТКЕ БУРАННЫЙ:

1 – делювиальные, озёрные и аллювиальные отложения, $Q_{III–IV}$; *2* – морские алевролиты, песчаники, гравелиты, конгломераты плинсбахского яруса, J_1; *3* – песчаники, гравелиты, конгломераты, алевролиты, прослои бурых углей буолкалахской свиты, $P_{2–3}bl$; томторская толща: *4* – верхний горизонт ($C_2–P_1tm_1$) – хемогенно-осадочные образования: аргиллиты, алевриты тонкослоистые, песчаники, в краевых частях с щебнем и валунами выветрелых карбонатитов и щёлочно-ультраосновных пород (пирохлор-монацит-крандаллитовые руды), *5* – нижний горизонт ($C_2–P_1tm_2$) – алевролиты, песчаники мелкозернистые красноцветные, с выделениями гиббсита, бёмита. Субстрат томторской толщи – кора латеритного выветривания рудоносных карбонатитов ($C_2–P_1$): *6* – сидеритовый горизонт, *7* – франколитовый горизонт – фосфатные образования; *8* – геологические (литологические) границы; *9* – буровые скважины

ятные условия для миграции P и элементов-гидролизатов (Y, Sc, лантаноидов и др.).

Разрушение латеритной коры и механический перенос её продуктов в озёрные котловины сопровождался интенсивной трансформацией их минерального состава под влиянием изменения кислотности среды; она продолжалась и в зоне конечной седиментации.

В итоге в центральных частях впадин сформировалась толща тонкослоистых осадков, сложенная в значительной мере агрегатом хемогенных минералов группы крандаллита (20–80 %), содержащим мельчайшие зёрна пирохлора (1–40 %), рутила, анатаза, ильменорутила (1–20 %), монацита (1–40 %), гётита (5–30 %), ксенотима (1–5 %), каолинита (1–15 %), кварца (1–5 %) и др. Фосфаты алюминия, слагающие иногда до 80 % объёма породы, представлены колломорфными выделениями, цементирующими обломочный материал. Терригенные обломочные минералы, вымытые из коры, слагают в различной степени окатанные зёрна размером от микрон до нескольких миллиметров [16, 28].

Трансформация химического и минерального составов толщи продолжилась и на пострудном этапе, когда пермские отложения кровли рудоносного комплекса подверглись воздействию кислородсодержащих вод, а также претерпели процессы корообразования в условиях умеренно тёплого влажного климата. В результате в красноцветных породах образовались гиббсит, бёмит, вудхаузеит, а в сероцветных аллювиальных отложениях обломочный материал был интенсивно каолинизирован.

В последующее время, когда рудоносная и красноцветная толщи были полностью перекрыты средне- и верхнепермскими континентальными, а затем юрскими морскими отложениями, доступ кислородсодержащих вод прекратился, и в них возникла восстановительная обстановка. В этих условиях при замедленном водообмене в несколько этапов сформировались зоны сидеритизации. На первом этапе образовался сидеритовый горизонт в коре выветривания карбонатитов – подошве осадочной толщи, на втором – горизонт под сероцветными угленосными пермскими отложениями и в заключительный этап – под морскими юрскими отложениями; это привело к изменению первичного облика пород и частично – их состава [20].

Рассматриваемые осадки, претерпевшие глубокое хемогенное преобразование, содержат чрез-

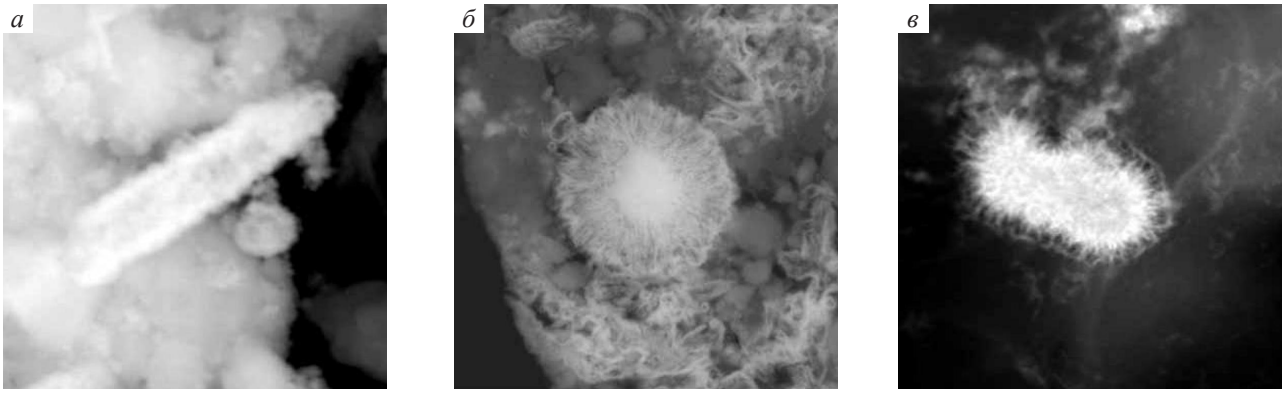


Рис. 5. БАКТЕРИОМОРФНЫЕ ВЫДЕЛЕНИЯ МОНАЦИТА В АРГИЛЛИТАХ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ Nb И TR, СОПОСТАВЛЯЕМЫЕ С КЛЕТКАМИ (ТЕЛЬЦАМИ) *PSEUDOMONAS AERUGINOSA* (*а, в*); ТО ЖЕ, С КЛЕТКОЙ БАКТЕРИИ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* (*б*). УЧАСТОК БУРАННЫЙ, ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ВПАДИНЫ, ПО [16]

вычайно высокие концентрации редких и редкоземельных элементов и часто являются фактически природными концентратами их руд (см. табл. 2) [21, 28]. Главным минералом-концентратором Nb является обломочный пирохлор, занимающий до 40 % объёма породы. Выявлена тенденция к увеличению его содержаний от бортов впадин к центру и сверху вниз по разрезу: в своеобразном «базальном горизонте» мощностью до 1 м содержания Nb_2O_5 достигают иногда 15 %. В то же время максимальные содержания Y, Sc и других редкоземельных элементов ассоциируют чаще с делювиальными отложениями или областью их перехода в озёрные фации, где они связаны преимущественно с новообразованным монацитом. Основным концентратором Y, Sc и тяжёлых редкоземельных элементов является цирконий-содержащий ксенотим, образующий выделения размером от сотых долей микрона до 2–3 мкм, развитые в цементе, микротрещинах обломочных минералов, либо его вкрапленность в хемогенных минералах группы крандаллита. Образование редкоземельной минерализации этого типа связывается с латеральной инфильтрацией грунтовых вод, обогащённых REE и P, из областей питания в нелитифицированные озёрные отложения и концентрацией элементов-гидролизатов на кислотно-щелочном геохимическом барьере [12, 16, 20, 26].

Таким образом, томторская толща представляет собой месторождение Nb и REE с рудами уникального, нового в мировой практике геолого-промышленного типа – делювиально-озёрной ксенотим-монацит-пирохлоровой россыпи в хемогенно-осадочных алюмофосфатных отложениях, сформировавшейся при размыве коры выветривания карбонатитового комплекса и обогащённой на локальных участках в экзодиагенезе эпигенетическими концентрациями элементов-гидролизатов, отложившихся из грунтовых вод в области кислотного-щелочного геохимического барьера [28]. При подсчёте запасов месторождения по категории B средние содержания главных компонентов составили, мас. %: Nb_2O_5 – 7,21, Y_2O_3 – 0,578, Sc_2O_3 – 0,045, TR_2O_3 – 10,16 [25, 8].

Заметим, что месторождения томторского типа, образованные за счёт переотложения продуктов разрушения кор выветривания карбонатитов и их глубокой хемогенной переработки, достаточно редки, поскольку для их формирования необходимо сочетание целого ряда благоприятных факторов. Однако Томтор не уникален: за истекшее с момента его открытия время было выявлено ещё одно месторождение подобного типа с близкими характеристиками – Чуктуконское, расположенное на Чадобецком поднятии [18].

Проблема возраста томторской толщи до настоящего времени остаётся в значительной мере дискуссионной. Однозначно диагностируемые органические остатки в ней, кроме проблематичных бактериоморфных обломков и неидентифицируемого углефицированного растительного детрита, не обнаружены. Структуры аутигенных минералов, сингенетичных рудам, показывают, что они

непригодны для датирования изотопными методами, поскольку претерпели многочисленные эпигенетические преобразования. Относительно уверенно может быть определён только верхний возрастной предел возможного интервала формирования толщи: поскольку она с незначительным размывом перекрывается угленосными отложениями средне-верхнепермского возраста, он может быть условно принят как раннепермский.

Датирование нижней возрастной границы томторской толщи проблематично из-за неопределённости как возраста и модели становления самого массива Томтор и его карбонатитового ядра, так и различных этапов его постмагматической истории. Обоснованию возраста массива посвящён ряд работ [7, 16, 29 и др.]; их результаты, часто достаточно противоречивые, сводятся к тому, что ультраосновные щелочные породы массива сформировались более 700 млн лет, а его карбонатитовое ядро – около 400 млн лет тому назад. Датирование щелочных сиенитов и «рудоносных туфов» (авторская интерпретация гипергенно-осадочных образований томторской толщи) U-Pb методом по циркону дало результаты соответственно 689 ± 5 и 394 ± 7 млн лет. Для карбонатитов первого этапа и рудоносных карбонатитов второго результаты датирования $^{40}Ar/^{39}Ar$ методом по биотиту составили соответственно 693–681 ± 6 и 412–400 ± 4 млн лет [7]. Очевидно, что эти данные существенно разнятся как из-за различных методов анализа, так и точности самих анализов. Однако единый тренд химических составов всего комплекса пород массива определённо свидетельствует об общем едином и непрерывном ходе эволюции глубинного магматического очага, и 300 млн лет, разделяющие эти гипотетические начальный и конечный этапы столь длительного процесса, представляются аргументом, делающим эту схему малодостоверной.

При этом остаётся несомненным, что субстратом томторской толщи является кора выветривания по карбонатитам, возраст которой определяет в общем виде нижний возрастной рубеж толщи. Первые попытки датирования коры K-Ar методом [29] дали следующие результаты: по адуляру, сингенетичному с франколитом, – 392 млн лет, по «изменённой слюде» – 340 млн лет, по франколиту – 324 млн лет. Формирование коры началось после завершения магматического этапа становления массива и вывода его на дневную палеоповерхность (видимо, в конце девонского периода). Судя по уменьшению возраста минералов с понижением температуры закрытия, на первых этапах корообразование сопровождалось гидротермальными процессами, а затем сменилось эпигенетическим изменением пород коры. Упомянутые выше датировки [7] определяют, скорее всего, возраст заключительных этапов становления массива. Как указывалось ранее, латеритный тип коры и её весьма высокая мощность (по разным оценкам, 300–400 м) дают основание связывать её возникновение с эпохой наиболее жаркого и влажного климата в истории фанерозоя, приходящейся в данном регионе на конец девонского и каменноугольный периоды [1].

Таким образом, имеющиеся данные позволяют считать, что отложения томторской толщи образовались в промежуток от середины каменноугольного периода до нижней эпохи пермского, что соответствует интервалу 340–280 млн лет.

Выделение этой весьма своеобразной толщи в самостоятельное стратиграфическое подразделение обусловлено двумя обстоятельствами. Первое – на весьма обширной территории площадью в несколько тысяч км^2, охватывающей Восточное и Западное Прианабарье, бассейн среднего и верхнего течения р. Оленёк вплоть до истоков р. Вилюй, неизвестны отложения, отвечающие интервалу времени около 180 млн лет – от конца кембрийского до середины пермского периода, и изучение рассмотренных выше образований предоставляет единственную возможность в какой-то мере охарактеризовать один из периодов этого интервала и составить хотя бы некоторое представление о геологических процессах и условиях, существовавших в пределах площади в это время.

Второе соображение связано с прикладным значением этой толщи, представляющей собой фактически рудное тело с уникальными содержаниями редких и редкоземельных элементов. При проведении поисковых работ на эти металлы в пределах массивов щелочного ультраосновного состава и в их окружении это обстоятельство может иметь значение важного поискового критерия.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РНФ 18-17-00120 (исследования карбонатитов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П.* Поисковая минералогия алмаза. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2010. – 650 с.
2. *Багдасаров Ю. А.* Геохимические особенности карбонатитов и сопровождающих их силикатных пород щелочно-карбонатитового массива Томтор (Вост. Прианабарье, Якутия) // Геохимия. – 1997. – № 1. – С. 10–20.
3. *Багдасаров Ю. А.* Петрогеохимические критерии лампроитового семейства магматических пород и особенности формирования массива Томтор (Северо-Западная Якутия) // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50 (10). – С. 1178–1185.
4. *Баранов Л. Н., Толстов А. В., Округин А. В., Слепцов А. П.* Новое в минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд массива Томтор, северо-восток Сибирской платформы) // Руды и металлы. – 2018. – № 2. – С. 42–54.
5. *Владыкин Н. В.* Петрология калиево-щелочных лампроит-карбонатитовых комплексов, их генезис и рудоносность // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50 (12). – С. 1443–1455.
6. *Владыкин Н. В., Торбеева Т. С.* Лампроиты Томторского массива (Восточное Прианабарье) // Геология и геофизика. – 2005. – Т. 46, № 10. – С. 1038–1049.
7. *Владыкин Н. В., Котов А. Б., Борисенко А. С., Ярмолюк В. В., Похиленко Н. П., Сальникова Е. Б., Травин А. В., Яковлева С. З.* Возрастные рубежи формирования щелочно-ультраосновного массива Томтор: результаты геохронологических U-Pb- и ^{40}Ar-^{39}Ar-исследований // Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 454, № 2. – С. 195–199.
8. *Государственный* баланс запасов полезных ископаемых РФ на 01.01.2016. Редкоземельные элементы. 2016.
9. *Егоров Л. С.* Ийолит-карбонатитовый плутонизм (на примере маймеча-котуйского комплекса Полярной Сибири). – Л. [СПб.] : Недра, 1991. – 260 с.
10. *Егоров Л. С., Сурина Н. П., Поршнев Г. И.* Уджинский рудно-магматический комплекс ультраосновных щелочных пород и карбонатитов // Рудно-магматические комплексы северо-запада Сибирской платформы и Таймыра. – Л. [СПб.] : Недра, 1985. – С. 138–154.
11. *Жмур С. И., Кравченко С. М., Розанов А. Ю., Жегалло Е. А.* О генезисе редкоземельно-ниобиевых руд Томтора (север Сибирской платформы) // Доклады Академии наук. – 1994. –Т. 336, № 3. – С. 372–375.
12. *Коноплёв А. Д., Кузьмин В. И., Эпштейн Е. М., Вейс Б. Т., Кубышев А. И., Нечелюстов Г. Н., Ожогина Е. Г., Толстов А. В.* Геолого-минералогические особенности делювиально-озёрной россыпи на коре выветривания редкометалльных карбонатитов // Минералогия и геохимия россыпей. – М. : Наука, 1992. – С. 111–124.
13. *Коноплёв А. Д., Толстов А. В., Васильев А. Т., Нечелюстов Г. Н., Кузьмин В. И., Скляднева В. М., Дубинчук В. Т., Коноплёва Е. В., Сидоренко Г. А.* Особенности локализации редкометалльного оруденения на месторождении Томтор // Редкометалльно-урановое рудообразование в осадочных породах : сборник научных трудов. – М., 1995. – С. 223–241.
14. *Кравченко С. М., Беляков А. Ю., Покровский Б. Г.* Геохимия и генезис Томторского массива (север Сибирской платформы) // Доклады Академии наук СССР. – 1992. – Т. 322, № 5. – С. 966–972.
15. *Кравченко С. М., Беляков А. Ю., Кубышев А. И., Толстов А. В.* Скандиево-редкоземельно-иттриево-ниобиевые руды – новый тип редкометалльного сырья // Геология рудных месторождений. – 1990. – Т. 32, № 1. – С. 105–109.
16. *Лазарева Е. В, Жмодик С. М., Добрецов Н. Л., Толстов А. В., Щербов Б. Л., Карманов Н. С., Герасимов Е. Ю., Брянская А. В.* Главные рудообразующие минералы аномально богатых руд месторождений Томтор // Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56, № 6. – С. 1080–1115.
17. *Лапин А. В., Толстов А. В.* Месторождения кор выветривания карбонатитов. – М. : Наука, 1993. – 208 с.
18. *Лапин А. В., Толстов А. В.* Минерагения кор выветривания карбонатитов : методическое руководство. – М. : ГЕОКАРТ ; ГЕОС, 2011. – 307 с.
19. *Лапин А. В., Толстов А. В.* Новые уникальные месторождения редких металлов в корах выветривания карбонатитов // Разведка и охрана недр. – 1993. – № 3. – С. 7–11.
20. *Лапин А. В., Толстов А. В.* Окислительный и восстановительный этапы формирования зоны гипергенеза карбонатитов и их рудоносность // Геология рудных месторождений. – 1991. – Т. 33, № 4. – С. 81–91.
21. *Лапин А. В., Толстов А. В., Куликова И. М.* Особенности распределения лантаноидов, иттрия, скандия и тория в уникальных комплексных редкометалльных рудах месторождения Томтор // Геохимия. – 2016. – № 12. – С. 1104–1121.
22. *Покровский Б. Г., Беляков А. Ю., Кравченко С. М., Грязнова Ю. А.* Происхождение рудной толщи и карбонатитов массива Томтор по изотопным данным // Геохимия. – 1990. – № 6. – С. 1320–1329.
23. *Поршнев Г. И., Степанов Л. Л.* Геологическое строение и фосфатоносность массива Томтор // Щелочной магматизм и апатитоносность севера Сибири. – Л. [СПб.] : НИИГА, 1980. – С. 84–100.
24. *Поршнев Г. И., Степанов Л. Л.* Геология и минерагения Уджинской провинции (С-З ЯАССР) // Советская геология. – 1981. – № 12. – С. 103–106.
25. *Толстов А. В.* Главные рудные формации севера Сибирской платформы. – М. : ИМГРЭ, 2006. – 212 с.

26. *Толстов А. В.* Особенности минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд массива Томтор (северо-западная Якутия) // Геология и геофизика. – 1994. – № 9. – С. 91–100.
27. *Толстов А. В., Тян О. А.* Геология и рудоносность массива Томтор. – Якутск : ЯНЦ СО РАН, 1999. – 164 с.
28. *Толстов А. В., Коноплёв А. Д., Кузьмин В. И.* Особенности формирования уникального редкометалльного месторождения Томтор и оценка перспектив его освоения // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 6. – С. 20–26.
29. *Энтин А. Р., Зайцев А. И., Ненашев Н. И., Василенко В. Б., Орлов А. И., Тян О. А., Ольховик Ю. А., Ольштынский С. И., Толстов А. В.* О последовательности геологических событий, связанных с внедрением Томторского массива ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (Северо-Западная Якутия) // Геология и геофизика. – 1990. – Т. 31, № 12. – С. 42–51.
30. *Эпштейн Е. М., Данильченко Н. А., Постников С. А.* Геология Томторского уникального месторождения редких элементов (север Сибирской платформы) // Геология рудных месторождений. – 1994. – Т. 36, № 2. – С. 83–110.
31. *Эрлих Э. Н.* Новая провинция щелочных пород на севере Сибирской платформы // Записки Всесоюзного Минералогического общества. – 1964. – Ч. 93, вып. 6. – С. 682–693.
32. *Kravchenko S. M., Pokrovsky B. G.* The Tomtor alkaline ultrabasic massif and related REE-Nb deposits, northern Siberia // Economic Geology. – 1995. – V. 90, № 3. – P. 676–689.

REFERENCES

1. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Pokhilenko N. P. Poiskovaya mineralogiya almaza [Prospecting mineralogy of diamond], Novosibirsk, Akademicheskoe izd-vo “Geo” Publ., 2010, 650 p.
2. Bagdasarov Yu. A. Geokhimicheskie osobennosti karbonatitov i soprovozhdayushchikh ikh silikatnykh porod shchelochno-karbonatitovogo massiva Tomtor (Vost. Prianabar'e, Yakutiya) [Geochemical features of carbonatites and their accompanying silicate rocks of the alkaline-carbonatite massif Tomtor (Eastern Prianabarye, Yakutia)], *Geokhimiya* [*Geochemistry International*], 1997, No 1, pp. 10–20. (In Russ.).
3. Bagdasarov Yu. A. Petrogeokhimicheskie kriterii lamproitovogo semeistva magmaticheskikh porod i osobennosti formirovaniya massiva Tomtor (Severo-Zapadnaya Yakutiya) [Petrogeochemical criteria of the lamproite family of igneous rocks and the formation features of the Tomtor massif (North-West Yakutia)], *Geologiya i geofizika* [*Russian Geology and Geophysics*], 2009, V. 50 (10), pp. 1178–1185. (In Russ.).
4. Baranov L. N., Tolstov A. V., Okrugin A. V., Sleptsov A. P. Novoe v mineralogii i geokhimii apatit-magnetitovykh rud massiva Tomtor (Severo-vostok Sibirskoi platformy) [New in mineralogy and geochemistry of apatite-magnetite ores of the Tomtor massif (northeast of the Siberian platform)], *Rudy i metally* [*Ores and Metals*], 2018, No 2, pp. 42–54. (In Russ.).
5. Vladykin N. V. Petrologiya kalievo-shchelochnykh lamproit-karbonatitovykh kompleksov, ikh genezis i rudonosnost' [Petrology of potassium-alkaline lamproite-carbonatite complexes, their genesis and ore content], *Geologiya i geofizika* [*Russian Geology and Geophysics*], 2009, V. 50 (12), pp. 1443–1455. (In Russ.).
6. Vladykin N. V., Torbeeva T. S. Lamproity Tomtorskogo massiva (Vostochnoe Prianabare) [Lamproites of the Tomtor massif (Eastern Prianabarye)], *Geologiya i geofizika* [*Russian Geology and Geophysics*], 2005, V. 46, No 10, pp. 1038–1049. (In Russ.).
7. Vladykin N. V., Kotov A. B., Borisenko A. S., Yarmolyuk V. V., Pokhilenko N. P., Sal'nikova E. B., Travin A. V., Yakovleva S. Z. Vozrastnye rubezhi formirovaniya shchelochno-ul'traosnovnogo massiva Tomtor: rezul'taty geokhronologicheskikh U-Pb- i ^{40}Ar-^{39}Ar-issledovanii [Age lines of formation of the alkaline-ultramafic massif Tomtor: results of geochronological U-Pb- and ^{40}Ar-^{39}Ar-studies], *Doklady Akademii nauk* [*Reports of the Academy of Sciences*], 2014, V. 454, No 2, pp. 195–199. (In Russ.).
8. Gosudarstvennyi balans zapasov RF. Redkie i redkozemel'nye elementy. 2016.
9. Egorov L. S. Iiolit-karbonatitovyi plutonizm (na primere maimecha-kotuiskogo kompleksa Polyarnoi Sibiri) [Ijolite-carbonatite plutonism (on the example of the Maymecha-Kotuy complex of Polar Siberia)], Leningrad, Nedra Publ., 1991, 260 p.
10. Egorov L. S., Surina N. P., Porshnev G. I. Udzhinskii rudno-magmaticheskii kompleks ul'traosnovnykh shchelochnykh porod i karbonatitov [Udzhin ore-magmatic complex of ultrabasic alkaline rocks and carbonatites], *Rudno-magmaticheskie kompleksy severo-zapada Sibirskoi platformy i Taimyra* [*Ore-magmatic complexes of the north-west of the Siberian platform and Taimyr*], Leningrad, Nedra Publ., 1985, pp. 138–154.
11. Zhmur S. I., Kravchenko S. M., Rozanov A. Yu., Zhegallo E. A. O genezise redkozemel'no-niobievykh rud Tomtora (sever Sibirskoi platformy) [About the genesis of the rare-earth-niobium ores of Tomtor (north of the

Siberian platform)], *Doklady Akademii nauk* [*Reports of the Academy of Sciences*], 1994, V. 336, No 3, pp. 372–375. (In Russ.).

12. Konoplev A. D., Kuz'min V. I., Epshtein E. M., Veis B. T., Kubyshev A. I., Nechelyustov G. N., Ozhogina E. G., Tolstov A. V. Geologo-mineralogicheskie osobennosti delyuvial'no-ozernoi rossypi na kore vyvetrivaniya redkometall'nykh karbonatitov [Geological and mineralogical features of the deluvial-lacustrine placer on the weathering crust of rare-metal carbonatites], *Mineralogiya i geokhimiya rossypei* [*Mineralogy and geochemistry of placers*], Moscow, Nedra Publ., 1992, pp. 111–124.
13. Konoplev A. D., Tolstov A. V., Vasil'ev A. T., Nechelyustov G. N., Kuz'min V. I., Sklyadneva V. M., Dubinchuk V. T., Konopleva E. V., Sidorenko G. A. Osobennosti lokalizatsii redkometall'nogo orudeneniya na mestorozhdenii Tomtor [Features of localization of rare metal mineralization at the Tomtor deposit], *Redkometall'no-uranovoe rudoobrazovanie v osadochnykh porodakh: sbornik nauchnykh trudov* [*Rare metal-uranium ore formation in sedimentary rocks: collection of scientific papers*], Moscow, 1995, pp. 223–241. (In Russ.).
14. Kravchenko S. M., Belyakov A. Yu., Pokrovskii B. G. Geokhimiya i genezis Tomtorskogo massiva (sever Sibirskoi platformy) [Geochemistry and genesis of the Tomtor massif (north of the Siberian platform)], *Doklady Akademii nauk SSSR* [*Reports of the Academy of Sciences the USSR*], 1992, V. 322, No 5, pp. 966–972. (In Russ.).
15. Kravchenko S. M., Belyakov A. Yu., Kubyshev A. I., Tolstov A. V. Skandievo-redkozemel'no-ittrievo-niobievye rudy – novyi tip redkometall'nogo syr'ya [Scandium-rare-earth-yttrium-niobium ores – a new type of rare-metal raw materials], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [*Geology of Ore Deposits*], 1990, V. 32, No 1, pp. 105–109. (In Russ.).
16. Lazareva E. V, Zhmodik S. M., Dobretsov N. L., Tolstov A. V., Shcherbov B. L., Karmanov N. S., Gerasimov E. Yu., Bryanskaya A. V. Glavnye rudoobrazuyushchie mineraly anomal'no bogatykh rud mestorozhdenii Tomtor [The main ore-forming minerals of the anomalously rich ores of the Tomtor deposits], *Geologiya i geofizika* [*Russian Geology and Geophysics*], 2015, V. 56, No 6, pp. 1080–1115. (In Russ.).
17. Lapin A. V., Tolstov A. V. Mestorozhdeniya kor vyvetrivaniya karbonatitov [Deposits of carbonatite weathering crust], Moscow, Nauka Publ., 1993, 208 p.
18. Lapin A. V., Tolstov A. V. Minerageniya kor vyvetrivaniya karbonatitov: metodicheskoe rukovodstvo [Minerageny of carbonatite weathering crust], Moscow, GEOKART Publ., GEOS Publ., 2011, 307 p.
19. Lapin A. V., Tolstov A. V. Novye unikal'nye mestorozhdeniya redkikh metallov v korakh vyvetrivaniya karbonatitov [New unique deposits of rare metals in the weathering crusts of carbonatites], *Razvedka i okhrana nedr* [*Prospect and protection of mineral resources*], 1993, No 3, pp. 7–11. (In Russ.).
20. Lapin A. V., Tolstov A. V. Okislitel'nyi i vosstanovitel'nyi etapy formirovaniya zony gipergeneza karbonatitov i ikh rudonosnost' [Oxidative and reduction stages of the formation of the carbonatite hypergenesis zone and their ore content], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [*Geology of Ore Deposits*], 1991, V. 33, No 4, pp. 81–91. (In Russ.).
21. Lapin A. V., Tolstov A. V., Kulikova I. M. Osobennosti raspredeleniya lantanoidov, ittriya, skandiya i toriya v unikal'nykh kompleksnykh redkometall'nykh rudakh mestorozhdeniya Tomtor [Peculiarities of distribution of lanthanides, yttrium, scandium and thorium in unique complex rare-metal ores of the Tomtor deposit], *Geokhimiya* [*Geochemistry International*], 2016, No 12, pp. 1104–1121. (In Russ.).
22. Pokrovskii B. G., Belyakov A. Yu., Kravchenko S. M., Gryaznova Yu. A. Proiskhozhdenie rudnoi tolshchi i karbonatitov massiva Tomtor po izotopnym dannym [The origin of the ore strata and carbonatites of the Tomtor massif according to isotope data], *Geokhimiya* [*Geochemistry International*], 1990, No 6, pp. 1320–1329. (In Russ.).
23. Porshnev G. I., Stepanov L. L. Geologicheskoe stroenie i fosfatonosnost' massiva Tomtor [Geological structure and phosphate content of the Tomtor massif], *Shchelochnoi magmatizm i apatitonosnost' severa Sibiri* [*Alkaline magmatism and apatite content of the north of Siberia*], Leningrad, NIIGA Publ., 1980, pp. 84–100.
24. Porshnev G. I., Stepanov L. L. Geologiya i minerageniya Udzhinskoi provintsii (S-Z YaASSR) [Geology and Minerageny of the Udzhin Province (NW YaASSR)], *Sovetskaya geologiya* [*Soviet geology*], 1981, No 12, pp. 103–106. (In Russ.).
25. Tolstov A. V. Glavnye rudnye formatsii severa Sibirskoi platformy [Main ore formations in the north of the Siberian platform], Moscow, IMGRE Publ., 2006, 212 p.
26. Tolstov A. V. Osobennosti mineralogii i geokhimii apatit-magnetitovykh rud massiva Tomtor (severo-zapadnaya Yakutiya) [Features of mineralogy and geochemistry of apatite-magnetite ores of the Tomtor massif (northwestern Yakutia)], *Geologiya i geofizika* [*Russian Geology and Geophysics*], 1994, No 9, pp. 91–100. (In Russ.).
27. Tolstov A. V., Tyan O. A. Geologiya i rudonosnost' massiva Tomtor [Geology and ore content of the Tomtor massif], Yakutsk, YaNTs SO RAN Publ., 1999, 164 p.
28. Tolstov A. V., Konoplev A. D., Kuz'min V. I. Osobennosti formirovaniya unikal'nogo redkometall'nogo me-

storozhdeniya Tomtor i otsenka perspektiv ego osvoeniya [Features of the formation of the unique rare metal deposit Tomtor and assessment of the prospects for its development], *Razvedka i okhrana nedr* [*Prospect and protection of mineral resources*], 2011, No 6, pp. 20–26. (In Russ.).

29. Entin A. R., Zaitsev A. I., Nenashev N. I., Vasilenko V. B., Orlov A. I., Tyan O. A., Ol'khovik Yu. A., Ol'shtynskii S. I., Tolstov A. V. O posledovatel'nosti geologicheskikh sobytii, svyazannykh s vnedreniem Tomtorskogo massiva ul'traosnovnykh shchelochnykh porod i karbonatitov (Severo-Zapadnaya Yakutiya) [On the sequence of geological events associated with the intrusion of the Tomtor massif of ultrabasic alkaline rocks and carbonatites (Northwestern Yakutia)], *Geologiya i geofizika* [*Russian Geology and Geophysics*], 1990, V. 31, No 12, pp. 42–51. (In Russ.).
30. Epshtein E. M., Danil'chenko N. A., Postnikov S. A. Geologiya Tomtorskogo unikal'nogo mestorozhdeniya redkikh elementov (sever Sibirskoi platformy) [Geology of the Tomtor unique deposit of rare elements (north of the Siberian platform)], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [*Geology of Ore Deposits*], 1994, V. 36, No 2, pp. 83–110. (In Russ.).
31. Erlikh E. N. Novaya provintsiya shchelochnykh porod na severe Sibirskoi platformy [New province of alkaline rocks in the north of the Siberian platform], *Zapiski Vsesoyuznogo Mineralogicheskogo obshchestva* [*Notes of the All-Union Mineralogical Society*], 1964, V. 93, I. 6, pp. 682–693. (In Russ.).
32. Kravchenko S. M., Pokrovsky B. G. The Tomtor alkaline ultrabasic massif and related REE-Nb deposits, northern Siberia, *Economic Geology*, 1995, V. 90, No 3, pp. 676–689.

GENESIS AND AGE OF THE TOMTOR Nb AND RARE-EARTH DEPOSIT ORE SEQUENCE, NORTHEASTERN SIBERIAN PLATFORM

A. V. Tolstov (PhD, director of JSC ALROSA [1, 3])
V. G. Cherenkov (chief geologist [2])
L. N. Baranov (researcher, JSC ALROSA [1, 3])

[1] Research Geological Enterprise JSC ALROSA (PJSC), Mirny
[2] FSBI VSEGEI, Moscow branch
[3] Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk

The northeastern Siberian platform (Republic of Sakha, Yakutia) hosts the Udzhinskaya province of alkaline ultrabasic massifs with carbonatites as final phases of magmatic system evolution; they form its central carbonatite core and are characterized by elevated Fe, Al and P concentrations. They also contain a complex of rare and rare-earth elements. Crust of laterite weathering of up to 400 m thick is present within the massifs. Phosphate, Nb, Y, Sc and TR content in crust of carbonatite weathering is much higher compared to unaltered rock differences. Their maximum values are in the sequence of specific sedimentary deposits formed as denudation products of ore-bearing carbonatite crust precipitated in minor lake depressions and due to their intensive chemogenic transformation in hot humid climate. They are unique high-grade ores, with no world analogs in terms of mineral potential. Sometimes, these rocks are their natural concentrates averaging (in weight %) 7,21 Nb_2O_5, 0,578 Y_2O_3, 0,045 Sc_2O_3 and 10,16 TR_2O_3. The rocks composing the ore-bearing sequence show distinct evidence of sedimentary genesis: well-pronounced layered texture and facial zoning, presence of carbonized vegetable detrite and bacteriomorphic aggregates. Therefore, it is reasonable to regard a set of these formations as an independent stratigraphic unit, Tomtor sequence. Geological data suggest that it formed 340-280 Ma. Tomtor sequence can be an important prospecting criteria in prospecting for rare and rare-earth elements.

Keywords: carbonatites, rare and rare-earth elements, Tomtor massif, crust of weathering, laterites, layering, facies, pyrochlore, crandallite.

ОСОБЕННОСТИ ГРАНАТА И КЛИНОПИРОКСЕНА В АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ ЭКЛОГИТАХ ИЗ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ УДАЧНАЯ, ЯКУТИЯ: СВИДЕТЕЛЬСТВО МЕТАСОМАТОЗА

В статье обсуждается минералогия ксенолитов алмазоносных эклогитов с признаками метасоматоза из кимберлитовой трубки Удачная. При этом рассмотрены особенности содержащихся в них алмазов, составы первичных гранатов и омфацитов, а также изменения структурного и видового составов исходных гранатов и клинопироксенов в процессе метасоматоза. В результате уточнения структуры пиропов предложен двухфазный состав граната, представленный преимущественно пиропом сложного состава, ассоциирующего с Ca-пиропом. Во всех образцах первичный омфацит замещается по периферии зёрен другой разновидностью клинопироксена, обеднённого содержаниями Na_2O, который характерен для продуктов частичного плавления. По результатам геотермометрии установлено, что данные эклогиты были сформированы в интервале температур 1000–1200 °C.

На основании морфологии алмазов, данных по содержанию общего азота в алмазах и его агрегации постулируется многостадийность формирования алмазов в эклогитах и наиболее вероятный рост более поздних генераций алмазов под воздействием метасоматизирующих мантийных флюидов, содержащих в своём составе углерод в той или иной форме. Предполагается, что отдельные стадии алмазообразования, вероятно, были разорваны во времени на несколько сотен миллионов лет.

Ключевые слова: кимберлиты, ксенолиты эклогитов, алмазы, гранаты, пироксены, метасоматоз.

Специус Здислав Витольдович
доктор геолого-минералогических наук
главный научный сотрудник
SpetsiusZV@gmail.com

Лисковая Людмила Валентиновна
кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
LiskovayaLV@alrosa.ru

Иванов Александр Сергеевич
кандидат геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник
IvanovAS@alrosa.ru

Богуш Ирина Николаевна
кандидат геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник
BogushIN@alrosa.ru

Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО),
г. Мирный

Трубка Удачная – это уникальное промышленное месторождение Якутии с высоким содержанием и качеством алмазного сырья. В кимберлитах этой трубки широко распространены ксенолиты мантийных пород, в том числе эклогиты, но только редкие образцы последних содержат алмазы. В то же время следует отметить, что в этой трубке установлено наиболее широкое разнообразие мантийных ксенолитов с алмазами как перидотитовых, так и эклогитовых ассоциаций по сравнению с другими кимберлитовыми трубками Якутской алмазоносной провинции [1-6, 9, 10, 16, 17]. Характерные особенности расположения алмазов в ксенолитах эклогитов из трубки Удачная, наличие алмазов с различной степенью агрегации азота в отдельных образцах и ряд других фактов свидетельствуют в пользу многостадийного роста алмазов и их более позднего образования по сравнению с минералами ксенолитов, наиболее вероятно, в процессе мантийного метасоматоза из флюида или флюид-расплава, что ранее было продемонстрировано в публикациях [7, 11, 18, 19, 23, 24]. Конкретное и яркое проявление метасоматоза в исследованных образцах – изменение химического состава первичных зёрен гранатов и клинопироксенов, расположенных в различ-

УДК 549.621.9:552.48 (571.56)
© Специус З. В., Лисковая Л. В., Иванов А. С., Богуш И. Н., 2020
DOI: 10.47765/0869-5997-2020-10027

ных участках ксенолитов, которые, как правило, подвержены поздним преобразованиям с замещением первичных фаз и сохранением только реликтов исходных гранатов и омфацитов.

Цель работы – выявление структурных признаков метасоматической проработки минералов алмазосодержащих ксенолитов мантийных эклогитов из кимберлитов трубки Удачная, выяснение изменения их видового и химического составов, а также кристаллической структуры и компонентного состава породообразующих гранатов и клинопироксенов в результате воздействия метасоматических процессов.

Для проведения исследований были использованы ксенолиты биминеральных эклогитов (образцы Уе-32, Уж-2, Уж-11) с визуально видимыми кристаллами алмаза, которые были отобраны из текущей добычи при обогащении кимберлитов на промышленной фабрике 12. Исходные ксенолиты были представлены крупнозернистыми породами, состоящими преимущественно из граната и клинопироксена (рис. 1). Из них путём дробления породы были извлечены алмазы. В петрографическом отношении все три образца представлены биминеральными эклогитами с примерно равными соотношениями граната и клинопироксена. Акцессорные минералы представлены редкими сульфидами, в образце Уж-11 отмечены единичные лейсты флогопита. Для всех изученных образцов характерно проявление интенсивных метасоматических преобразований, что отражается в частичном изменении состава гранатов по периферии зёрен и развитии келифитовых кайм на гранатах, интенсивном замещении и аморфизации клинопироксена с сохранением только отдельных его реликтов, а также в повсеместном присутствии продуктов частичного плавления, составляющих от 10 до 20 % модального состава образцов, аналогично охарактеризованным в работах [7, 15, 21, 23]. Реликты зёрен исходного клинопироксена (омфацита) составляют обычно менее 50 %, характерны его замещение вторич-

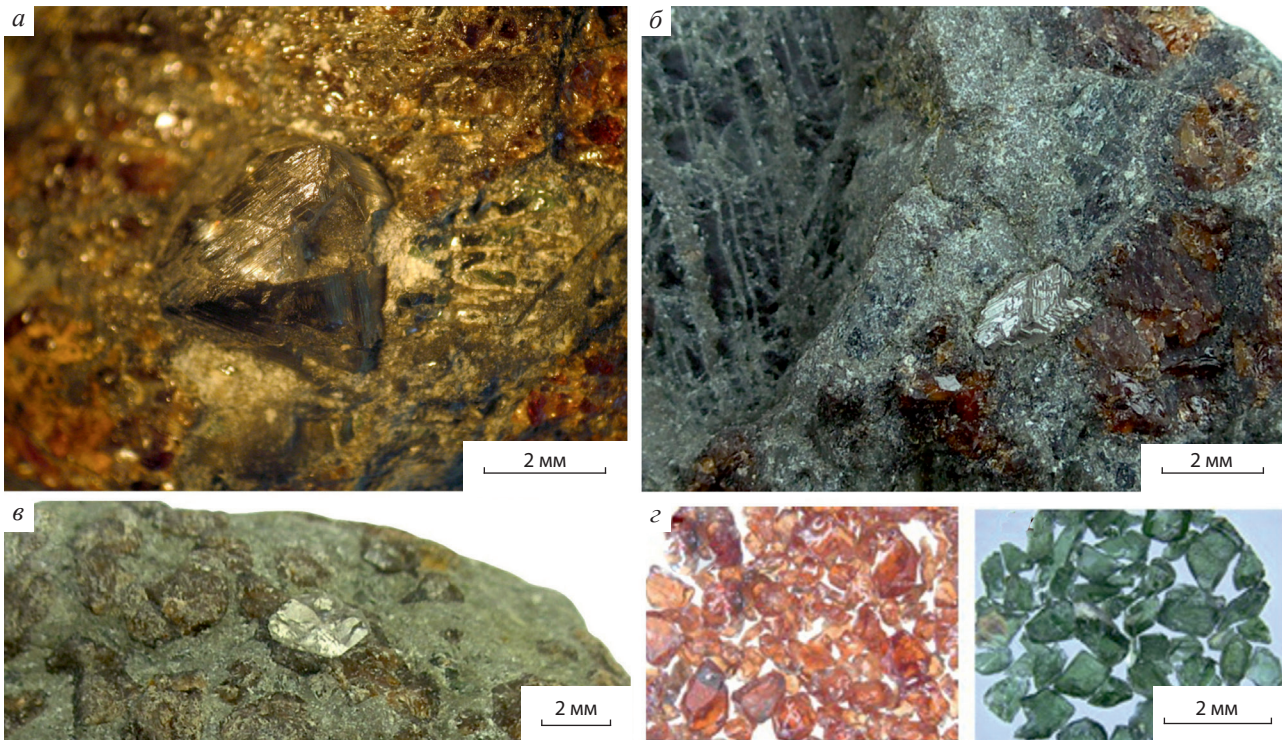


Рис. 1. КСЕНОЛИТЫ АЛМАЗОНОСНЫХ ЭКЛОГИТОВ ИЗ ТРУБКИ УДАЧНАЯ:

а – образец Уе-32, в центре – алмаз октаэдрической формы светло-серого цвета с полицентрическим строением граней, размерность 8 грейнеров; *б* – образец Уж-11, алмаз представлен шпинелевым двойником (~ 2 мм), расположен между зёрнами граната и клинопироксена; *в* – образец Уж-2, бесцветный октаэдр (~ 3 мм) с отколотой поверхностью, расположен в скоплении зёрен граната; *г* – монофракции граната и клинопироксена из ксенолита эклогита (образец Уж-11), которые были подготовлены для структурных исследований

ным клинопироксеном с гораздо более низким содержанием Na_2O и наличие специфичных структур (spongy texture), аналогичных охарактеризованным в работах [15, 21]. Все эти признаки однозначно указывают на интенсивное проявление процессов мантийного метасоматоза в этих образцах, что побудило нас не только определить состав исходных гранатов и клинопироксенов, но и провести дополнительные исследования по выяснению изменения состава и структурных преобразований граната в процессе метасоматоза.

Химический состав минералов ксенолитов определялся рентгеновским микроанализатором Superprobe JXA-8800R АК «АЛРОСА» в стандартных условиях. При этом разрешающая способность составляла 133 eV, ускоряющее напряжение – 20 kV, ток – 10 nAm, диаметр пучка 1–2 mkm. Морфология кристаллов изучалась с использованием бинокулярного микроскопа фирмы Leica Wild M420.

Дефектно-примесный состав алмазов определялся методом ИК-спектроскопии. Регистрацию спектров ИК-поглощения в волновом диапазоне 600–4500 $см^{-1}$ проводили с разрешением 2–4 $см^{-1}$ на Фурье-спектрометре Tensor-27 фирмы Bruker с микроскопом Hyperion 3000. В качестве внутреннего стандарта было принято собственное поглощение алмаза. Для расчёта спектров алмаза смешанного типа применяли разложение суммарного ИК-спектра на индивидуальные C-, A- и B1-системы полос поглощения, полученные с природных алмазов чистых типов Ib, IaA и IaB. Концентрации дефектов определялись с использованием соотношений, предложенных в работах [4, 12]. Суммарный азот (N_{tot}) определялся сложением выявленных концентраций этой примеси в C-, A-, B-формах. Составы первичных гранатов и омфацитов исследованных образцов приведены в табл. 1.

Было выполнено детальное исследование видового состава пироксена и граната с уточнением структуры и компонентного состава последнего. Для этого из ксенолитов путём дробления породы были подготовлены монофракции первичных гранатов и омфацитов (см. рис. 1, *г*), а также развитых по ним продуктов метасоматического замещения. Вес подготовленных к исследованию выборок зёрен граната и клинопироксена составлял не менее 800 мг. Структурные исследования гранатов выполнены рентгеноструктурным методом с использованием дифрактометра ARL X`TRA Thermo Scientific (Швейцария) с базой данных PDF-4. Рентгенодифракционные картины гранатов получены на CuKα излучении при V = 40кV и I = 40mA, с шагом 0,05° и временем накопления 10 с. Уточнение структуры пиропов выполнено методом Ритвельда с помощью пакета программ FullProf (EdPCR, v. 2.00).

Все изученные гранаты относятся к пироп-альмандинам. На тройной диаграмме, построенной по содержаниям Ca, Mg и Fe (см. табл. 1), они соответствуют области эклогитовых ассоциаций мантийных ксенолитов из данной трубки (рис. 2). По данным составов неизменённых гранатов и исход-

1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГРАНАТОВ И ОМФАЦИТОВ В КСЕНОЛИТАХ МАНТИЙНЫХ ЭКЛОГИТОВ ИЗ ТРУБКИ УДАЧНАЯ, ПО ДАННЫМ МИКРОРЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА, В МАС. %

Образец	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Total
Гранаты											
Уж-2	40,28	0,26	21,79	0,03	15,41	0,34	11,08	10,75	0,13	0,00	100,07
Уж-11	41,03	0,58	21,78	0,09	14,83	0,30	17,04	4,30	0,22	0,00	100,17
Уе-32	40,48	0,45	22,01	0,06	12,71	0,23	12,75	11,12	0,18	0,00	100,00
Омфациты											
Уж-2	55,81	0,19	8,88	0,08	3,31	0,04	10,67	15,46	4,87	0,25	99,30
Уж-11	56,10	0,51	8,52	0,10	5,26	0,08	11,05	11,79	6,29	0,04	99,69
Уе-32	56,02	0,35	10,49	0,10	3,06	0,03	9,56	13,16	6,58	0,07	99,35

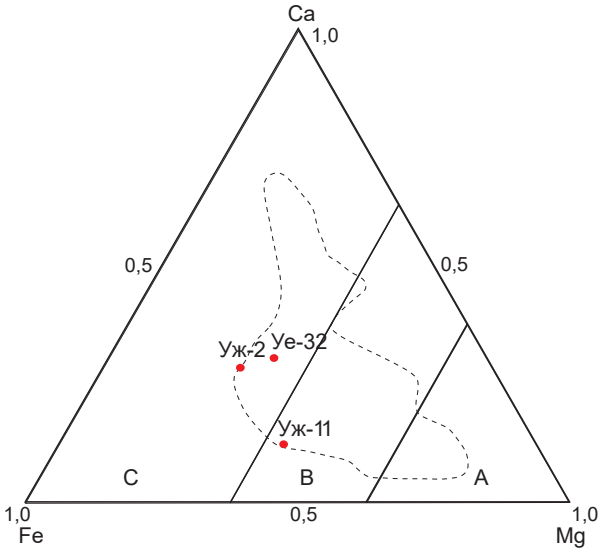


Рис. 2. РАСПОЛОЖЕНИЕ СОСТАВА ГРАНАТОВ ИССЛЕДОВАННЫХ ОБРАЗЦОВ ЭКЛОГИТОВ ИЗ ТРУБКИ УДАЧНАЯ НА ДИАГРАММЕ Ca-Mg-Fe, ОТРАЖАЮЩЕЙ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ГРУПП ЭКЛОГИТОВ, ПО [24]. ПОЛЕ СОСТАВА ГРАНАТОВ (выделено штрих-пунктиром) ЭКЛОГИТОВ С АЛМАЗАМИ ИЗ ТРУБКИ УДАЧНАЯ, ПО [20]

ных клинопироксенов (омфацитов), все три ксенолита являются биминеральными эклогитами: один ксенолит (Уж-11) отвечает эклогитам (Group B), два – эклогитам (Group C), согласно классификации [25]. Следует отметить повышенное, почти предельное для эклогитов трубки Удачная содержание FeO в гранатах образцов Уж-2 и Уж-11 (см. рис. 2) и весьма высокое содержание Na (0,13–0,22 мас. % Na_2O), что типично для гранатов, парагенных с алмазами [5]. Ассоциирующие омфациты характеризуются низкой железистостью и высоким содержанием Na, особенно из высокоглинозёмистых эклогитов (> 6 мас. % Na_2O). На базе данных химизма первичных гранатов и омфацитов нами рассчитаны температуры равновесия ксенолитов с использованием термометров Ellis, Green, 1979; Krogh, 2000 [13, 14], которые составили при фиксированном давлении 50 кбар для образца Уе-32 (соответственно 1200 и 1075 °C), Уж-2 (1230 и 1085 °C) и Уж-11 (1055 и 975 °C). Таким образом, можно полагать, что данные эклогиты были сформированы в интервале температур 1000–1200 °C, что, в принципе, соответствует условиям образования алмазосодержащих эклогитов и согласуется с оценками других работ [5, 8].

На основании данных микрорентгеноспектрального анализа для пиропов получены следующие кристаллохимические формулы:

Уе-32: $(Mg_{1,365},Cr_{0,004},Fe^{+2}_{0,702},Mn_{0,015},Ca_{0,881},Na_{0,031})_{2,992}(Al_{1,854},Ti_{0,0284},Fe^{+3}_{0,105})_{1,999}Si_{3,016}O_{12}$;

Уж-11: $(Mg_{1,783},Cr_{0,004},Fe^{+2}_{0,870},Mn_{0,0204},Ca_{0,326},Na_{0,019})_{3,022}(A_{1,824},Ti_{0,025},Fe^{+3}_{0,097})_{1,942}Si_{3,03}O_{12}$;

Уж-2: $(Mg_{1,171},Cr_{0,0024},Fe^{+2}_{0,866},Mn_{0,020},Ca_{0,922},Na_{0,019})_{3,000}(Al_{1,82},Ti_{0,0148},Fe^{+3}_{0,158})_{1,992}Si_{2,997}O_{12}$.

Как видно из формул, в пиропах имеют место отклонения от стехиометрического состава в виде избытка Si, дефицита катионов в позициях R^{2+} и др.

Рассчитанные по полученным кристаллохимическим коэффициентам рентгенодифракционные характеристики пиропов существенно отличаются от экспериментальных с неудовлетворительными величинами Брэгговского критерия – *Rbr*, находящимися в интервале от 46,60 до 51,30. Уточнение структуры пиропов в пределах одной фазы не позволило улучшить его результаты. Уменьшить величины Брегговского критерия до удовлетворительного значения позволило только введение в расчёт второй фазы граната. В результате уточнения структуры пиропов предложен двухфазный состав граната, представленный преимущественно пиропом сложного состава, ассоциирующего с Ca-пиропом. Графические результаты уточнения структуры граната, полученные для граната из ксенолита Уж-11, показаны на рис. 3.

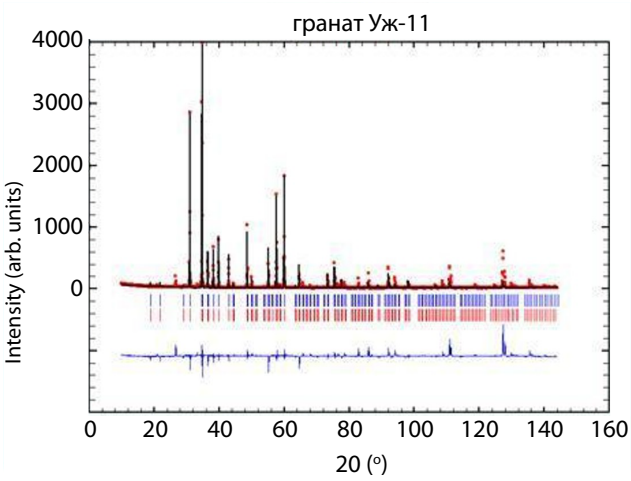


Рис. 3. УТОЧНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ГРАНАТА ИЗ ОБРАЗЦА КСЕНОЛИТА Уж-11 В ДВУХФАЗНОЙ СИСТЕМЕ ПИРОП (~ 95 %) И Ca-ПИРОП (~ 5 %)

В результате уточнения структуры гранатов из ксенолитов Уе-32, Уж-11 и Уж-2 получены следующие кристаллохимические формулы:

Уе-32 – I фаза – 96 % пироп $(Mg_{1,365},Cr_{0,004},Fe^{+2}_{0,75},Mn_{0,015},Ca_{0,78},Na_{0,033})_{2,933}(Al_{1,33},Fe^{+3}_{0,11})_{1,44}(Si_{2,67}Ti_{0,07})_{2,74}O_{12,06}$, (*Rbr* = 17,95),

II фаза – 4 % пироп $(Mg_{2,00}Ca_{1,00})_{3,00}Al_2Si_3O_{12,00}$, (*Rbr* = 16,25);

Уж-11 – I фаза – 95 % пироп $(Mg_{1,749},Cr_{0,004},Fe^{+2}_{0,706},Mn_{0,004},Ca_{0,03},Na_{0,02})_{2,507}(Al_{1,506},Fe^{+3}_{0,102})_{1,608}(Si_{2,963},Ti_{0,03})_{2,993}O_{11,90}$, (*Rbr* = 22,36),

II фаза – 5 % пироп $(Mg_{0,5}Ca_{1,5})_3Al_2Si_3O_{12}$, (*Rbr* = 15,00);

Уж-2 – I фаза – 88% пироп $(Mg_{0,97},Cr_{0,0027},Fe^{+2}_{0,96},Ca_{0,42},Na_{0,022})_{2,399}(Al_{1,27},Fe^{+3}_{0,107})_{1,337}(Si_{2,62}Ti_{0,022})_{2,64}O_{10,28}$, (*Rbr* = 13,95),

II фаза – 12 % пироп $(Mg_{0,3}, Ca_{2,05}, Mn_{0,4})_{2,75}(Al_{1,27},Fe^{+3}_{0,107})_{1,828}Si_{3,00}O_{12}$, (*Rbr* = 16,89).

По результатам уточнения кристаллохимических формул, пиропы первой, преобладающей, фазы имеют дефектную структуру. В тетраэдрах наблюдается дефицит Si и замещение его на Ti. Октаэдрические позиции заняты Al и Fe^{3+} и частично вакантны. Также имеет место дефицит катионов R^{2+}.

Известно, что двухфазные системы возникают в условиях, когда температуры плавления компонентов несколько отличаются. При этом, если формирование фаз происходит при достаточном притоке вещества из среды кристаллизации, то не должны образовываться значительные дефекты структуры в виде недостатка образующих структуру элементов – Si, Al, Mg, O. Поэтому в данном случае есть основания предполагать, что в изученных гранатах образование двухфазных систем происходило не в момент кристаллизации, а на более позднем этапе, когда под внешним воздействием, предположительно метасоматизирующих флюидов, произошло разделение твёрдого раствора граната на две фазы.

Пироксены из ксенолитов представлены смесью разновидностей (табл. 2). Во всех ксенолитах преобладает первичный пироксен омфацитового состава, характерный для мантийных алмазосодержащих эклогитов с содержанием обычно более 4 мас. % Na_2O (см. табл. 1), который присутствует в виде отдельных реликтовых зёрен. Во всех трёх образцах первичный омфацит ассоциирует и замещается по периферии зёрен другой разновидностью клинопироксена, обеднённого содержаниями Na_2O, который характерен для продуктов частичного плавления (spongy texture) и достаточно детально описан в работах [15, 21]. Характер преобразования омфацита хорошо проявлен и продемонстрирован на рис. 1, *б*, где вверху слева видно, что крупное зерно омфацита по периферии замещается поздним пироксеном и содержит линейные прожилки продуктов частичного плавления. Помимо этого следует подчеркнуть, что отмечается тенденция к возрастанию количества замещающего пироксена с увеличением содержания Ca-пиропа в ассоциирующем гранате.

Параллельно с исследованием химического и видового составов минералов эклогитов были изу-

2. ВИДОВОЙ СОСТАВ КЛИНОПИРОКСЕНОВ И ГРАНАТОВ ИЗ КСЕНОЛИТОВ МАНТИЙНЫХ ЭКЛОГИТОВ ТРУБКИ УДАЧНАЯ

Образец ксенолита		Уе-32	Уж-11	Уж-2
Условное содержание, %	Пироксен $(Ca_{0,55},Na_{0,30},Fe_{0,07},Mg_{0,06})(Mg_{0,59},Fe_{0,08},Ti_{0,01},Al)Si_2O_3$	94	80	41
	Пироксен $(Mg_{0,944},Fe_{0,056})(Ca_{0,844},Na_{0,14},Fe_{0,014})Si_{1,86}Al_{0,14}O_6$	6	9	39
	Слюда	-	-	4
	Моноклинные амфиболы	-	-	4
	Кварц	сл.	11	8
	Калиевые полевые шпаты, энстатит, кианит	2	2	2
Данные по уточнению структуры пиропа		96 % пироп + 4 % Ca-пироп	95 % пироп + 5 % Ca-пироп	88 % пироп + 12 % Ca-пироп

чены особенности содержащихся в них алмазов, что включало помимо изучения морфологии кристаллов исследование содержания в них примеси общего азота и его агрегации. Следует отметить, что, судя по размерности и морфологии кристаллов, во всех трёх образцах присутствуют алмазы, которые представлены как минимум двумя типами кристаллов. Так, из эклогита Уе-32 были извлечены 12 алмазов (из них три крупных кристалла весом более 150 мг каждый (один размерностью 8 грейнеров и два алмаза ситового класса -11+9)), которые представлены алмазами переходной формы, и девять кристаллов класса -1+0,5, представленных преимущественно октаэдрами с полицентрическим строением граней. В ксенолите Уж-2 присутствовали девять алмазов (четыре кристалла весом 15–60 мг, представленные октаэдрами с полицентрическим строением граней, и пять мелких кристаллов октаэдрической формы). В образце Уж-11 был обнаружен 21 алмаз (из них 10 крупных кристаллов весом 30–180 мг) октаэдрической формы с полицентрическим строением и треугольными впадинами на гранях; остальные, более мелкие алмазы (класс -1+0,5) представлены преимущественно кристаллами переходной формы или их обломками. Эти особенности морфологии алмазов

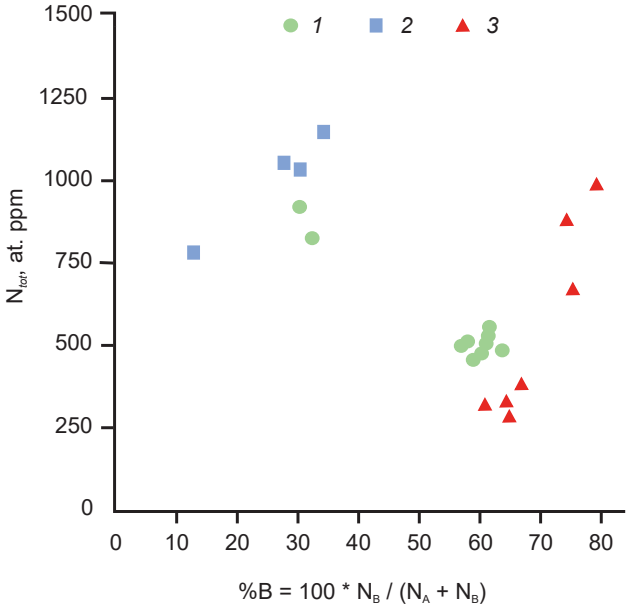


Рис. 4. СОДЕРЖАНИЕ ОБЩЕГО АЗОТА И ЕГО АГРЕГАЦИЯ В АЛМАЗАХ ИЗ КСЕНОЛИТОВ МАНТИЙНЫХ ЭКЛОГИТОВ ТРУБКИ УДАЧНАЯ:

1 – Уж-11; *2* – Уж-2; *3* – Уе-32

в изученных эклогитах указывают на вероятность по меньшей мере двух периодов формирования алмазов в исследованных ксенолитах, что весьма характерно для алмазосодержащих эклогитов трубки Удачная и отмечено в ряде публикаций [22–24].

Исследование содержания примесного азота и его агрегации в алмазах из этих эклогитов подтверждает наиболее вероятную модель мультистадийного роста алмазов в эклогитах, которая была предложена в работах [23, 24], что достаточно показательно иллюстрируется диаграммой соотношения содержания общего азота и его агрегации (рис. 4), на которой выделяются по две группы кристаллов в изученных образцах. Особенно ярко это проявлено для алмазов из образца Уж-11, которые формируют две группы, чётко различающиеся как по общему содержанию примеси азота, так и по его агрегации. Существенное различие в степени агрегации азота этих двух групп кристаллов указывает на то, что они были сформированы в две самостоятельные стадии алмазообразования, которые, возможно, были разорваны во времени на несколько сотен миллионов лет.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют об интенсивном развитии метасоматоза в алмазосодержащих ксенолитах эклогитов из трубки Удачная, проявленного в двухфазном составе породообразующих пироксенов и пиропов. Несомненно, что образование Ca-пиропа и Mg-Fe-пироксена с низким содержанием Na_2O, замещающего исходный омфацит, является свидетельством перекристаллизации первичных минералов эклогитов в процессе мантийного метасоматоза. Следует отметить, что при этом наблюдается изменение не только химического состава первичных минералов, но и их видового состава. Исходя из полученных результатов, предполагается рост более поздних генераций алмазов в ксенолитах эклогитов под воздействием метасоматизирующих мантийных флюидов, содержащих в своём составе углерод в той или иной форме. Необходимо подчеркнуть, что отдельные стадии алмазообразования, возможно, были разорваны во времени на несколько сотен миллионов лет. Полученные данные позволяют уточнить закономерности и условия образования алмазов в мантийных эклогитах, а также проследить эволюцию минералов эклогитов в процессе мантийного метасоматоза этого сегмента литосферы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пономаренко А. И., Серенко В. П., Лазько Е. Е.* Первые находки алмазоносных эклогитов в кимберлитовой трубке «Удачная» // Доклады Академии наук СССР. – 1973. – Т. 209. – № 1. – С. 188–189.
2. *Пономаренко А. И., Соболев Н. В., Похиленко Н. А., Лаврентьев Ю. Г., Соболев В. С.* Алмазоносный гроспидит и алмазоносные дистеновые эклогиты из кимберлитовой трубки «Удачная», Якутия // Доклады Академии наук СССР. – 1976. – Т. 226, № 4. – С. 927–930.
3. *Пономаренко А. И., Специус З. В., Соболев Н. В.* Новый тип алмазоносных пород – гранатовые пироксениты // Доклады Академии наук СССР. – 1980. – Т. 251, № 2. – С. 438–441.
4. *Соболев Е. В., Лисойван В. И.* // Проблемы петрологии земной коры и верхней мантии. – Новосибирск : Наука, 1978. – С. 245–255.
5. *Соболев Н. В.* Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. – Новосибирск : Наука, 1974. – 264 с.
6. *Соболев Н. В., Похиленко Н. П., Ефимова Э. С.* Ксенолиты алмазоносных перидотитов в кимберлитах и проблема происхождения алмазов // Геология и геофизика. – 1984. – № 12. – С. 63–80.
7. *Специус З. В.* Форма, природа и условия частичного плавления в ксенолитах кимберлитовых трубок // Вестник Московского государственного университета. – 1980. – № 5. – С. 101–105.
8. *Специус З. В.* Мантийные ксенолиты – источник алмазов и ключ к их происхождению // Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях. – Якутск ЯНЦ СО РАН, 2008. – С. 39–45.
9. *Специус З. В., Безбородов С. М.* Минералогия алмазоносных эклогитов из кимберлитовой трубки Удачная (новые находки) // Доклады Академии наук. – 1992. – Т. 326, № 4. – С. 717–721.
10. Специус З. В., Богуш И. Н., Кедрова Т. В. Томография ксенолита пироксенита и особенности алмазов (трубка Удачная, Якутия) // Материалы Юбилейного съезда Российского минералогического общества «200 лет РМО». – СПб. – 2017. – Т. 1. – С. 316–318.
11. *Шацкий В. С., Зедгенизов Д. А., Рагозин А. Л.* Свидетельства метасоматического образования алмазов в ксенолите эклогита из кимберлитовой трубки Удачная (Якутия) // Доклады Академии наук СССР. – 2005. – Т. 402, № 2. – С. 239–242.
12. *Boyd S. R., Kiflawi I., Woods G. S.* Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond // Philosophical Magazine. – 1995. – Part B72. – P. 351–361.
13. *Ellis D. J., Green D. H.* An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe–Mg exchange equilibria // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1979. – V. 71. – P. 13–22.
14. *Krogh Ravna E. J.* The garnet–clinopyroxene Fe^{2+}–Mg geothermometer: an updated calibration // Journal of Metamorphic Geology. – 2000. – V. 18. – P. 211–219.
15. *Misra K. C., Mahesh A., Taylor L. A., Sobolev N. V.* Multistage metasomatism of diamondiferous eclogite xenoliths from the Udachnaya kimberlite pipe, Yakutia, Siberia // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2004. – V. 146. – P. 696–714.
16. *Snyder G. A., Taylor L. A., Crozaz G., Holliday A. N., Beard B. L, Sobolev V. N., Sobolev N. V.* The origins of Yakutian eclogite xenoliths // Journal of Petrology. – 1997. – V. 38. – P. 85–113.
17. *Sobolev V. N., Taylor L. A., Snyder G. A., Sobolev N. V.* Diamondiferous eclogites from the Udachnaya kimberlite pipe, Yakutia, Siberia // International Geology Review. – 1994. – V. 36. – P. 42–64.
18. *Sobolev V. N., Taylor L. A., Snyder G. A., Jerde E. A., Neal C. R., Sobolev N. V.* Quantifying the effects of metasomatism in mantle xenoliths: Constraints from secondary chemistry and mineralogy in Udachnaya eclogites, Yakutia // International Geology Review. – 1999. – V. 41. – P. 391–416.
19. *Spetsius Z. V.* Two generation of diamonds in the eclogite xenoliths / Gurney J. J., Gurney J. L., Pascoe M. D., Richardson S. H. (eds) // Proceedings of 7th International Kimberlite Conference. – Cape Town : Red Roof Design, 1999. – V. 2. – P. 823–828.
20. *Spetsius Z. V.* Petrology of highly aluminous xenoliths from kimberlites of Yakutia // Lithos. – 2004. – V. 77. – P. 525–538.
21. *Spetsius Z. V., Griffin B. J.* Secondary phases associated with diamonds in eclogites from the Udachnaya kimberlite pipe: Implications for diamond genesis // Extended Abstract of 7th International Kimberlite Conference. – Cape Town, South Africa Red Roof Press, 1998. – P. 850–852.
22. *Spetsius Z. V., Kovalchuck O. E., Bogush I. N.* Properties of diamonds in xenoliths from kimberlites of Yakutia: implication to their origin and exploration // Extended Abstract 10th International Kimberlite Conference 2012. – Bangalore, India, 2012. – 10IKC–51.
23. *Spetsius Z. V., Taylor L. A.* Partial Melting in Mantle Eclogite Xenoliths: Connection with Diamond Paragenesis // Geology Review. – 2002. – V. 44. – P. 973–987.
24. *Taylor L. A., Milledge H. J., Bulanova G. P., Snyder G. A., Keller R. A.* Metasomatic eclogitic diamond growth: evidence from multiple diamond inclusions // International Geology Review. – 1998. – V. 40. – P. 663–676.
25. *Taylor L. A, Neal C. R.* Eclogites with oceanic crustal and mantle signatures from the Bellsbank kimberlite, South Africa, part 1: Mineralogy, Petrography, and whole rock chemistry // Journal of geology. – 1989. – V. 97. – P. 551–567.

REFERENCES

1. Ponomarenko A. I., Serenko V. P., Laz'ko E. E. Pervye nakhodki almazonosnykh eklogitov v kimberlitovoi trubke "Udachnaya" [The first finds of diamondiferous eclogites in the Udachnaya kimberlite pipe], *Doklady Akademii nauk SSSR* [*Reports of the USSR Academy of Sciences*], 1973, V. 209, No 1, pp. 188–189. (In Russ.).
2. Ponomarenko A. I., Sobolev N. V., Pokhilenko N. A., Lavrent'ev Yu. G., Sobolev V. S. Almazonosnyi grospidit i almazonosnye distenovye eklogity iz kimberlitovoi trubki "Udachnaya", Yakutiya [Diamond-bearing grospidite and diamondiferous disthene eclogites from the Udachnaya kimberlite pipe, Yakutia], *Doklady Akademii nauk SSSR* [*Reports of the USSR Academy of Sciences*], 1976, V. 226, No 4, pp. 927–930. (In Russ.).
3. Ponomarenko A. I., Spetsius Z. V., Sobolev N. V. Novyi tip almazonosnykh porod – granatovye piroksenity [A new type of diamondiferous rocks – garnet pyroxenites], *Doklady Akademii nauk SSSR* [*Reports of the USSR Academy of Sciences*], 1980, V. 251, No 2, pp. 438–441. (In Russ.).
4. Sobolev E. V., Lisoivan V. I. Problemy petrologii zemnoi kory i verkhnei mantii [Problems of petrology of the earth's crust and upper mantle], Novosibirsk, Nauka Publ., 1978, pp. 245–255.
5. Sobolev N. V. Glubinnye vklyucheniya v kimberlitakh i problema sostava verkhnei mantii [A new type of diamondiferous rocks – garnet pyroxenites], Novosibirsk, Nauka Publ., 1974, 264 p.
6. Sobolev N. V., Pokhilenko N. P., Efimova E. S. Ksenolity almazonosnykh peridotitov v kimberlitakh i problema proiskhozhdeniya almazov [Xenoliths of diamondiferous peridotites in kimberlites and the problem of the origin of diamonds], *Geologija i geofizika* [*Russian Geology and Geophysics*], 1984, No 12, pp. 63–80. (In Russ.).
7. Spetsius Z. V. Forma, priroda i usloviya chastichnogo plavleniya v ksenolitakh kimberlitovykh trubok [Form, nature and conditions of partial melting in xenoliths of kimberlite pipes], *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta* [*MSU Vestnik*], 1980, No 5, pp. 101–105. (In Russ.).
8. Spetsius Z. V. Mantiinye ksenolity – istochnik almazov i klyuch k ikh proiskhozhdeniyu [Mantle xenoliths - a source of diamonds and a key to their origin], *Problemy prognozirovanija i poiskov mestorozhdenij almazov na zakrytyh territorijah* [*Problems of forecasting and prospecting for diamond deposits in closed areas*], Yakutsk, YaNTs SO RAN, 2008, pp. 39–45. (In Russ.).
9. Spetsius Z. V., Bezborodov S. M. Mineralogiya almazonosnykh eklogitov iz kimberlitovoi trubki Udachnaya (novye nakhodki) [Mineralogy of diamondiferous eclogites from the Udachnaya kimberlite pipe (new findings)], Doklady Akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences], 1992, V. 326, No 4, pp. 717–721. (In Russ.).
10. Spetsius Z. V., Bogush I. N., Kedrova T. V. Tomografiya ksenolita piroksenita i osobennosti almazov (trubka Udachnaya, Yakutiya) [Tomography of xenolith of pyroxenite and features of diamonds (Udachnaya pipe, Yakutia)], *Materialy Yubileinogo s"ezda Rossiiskogo mineralogicheskogo obshchestva "200 let RMO"* [*Materials of the Jubilee Congress of the Russian Mineralogical Society "200 years of the RMO"*], St. Petersburg, 2017, V. 1, pp. 316–318. (In Russ.).
11. Shatskii V. S., Zedgenizov D. A., Ragozin A. L. Svidetel'stva metasomaticheskogo obrazovaniya almazov v ksenolite eklogita iz kimberlitovoi trubki Udachnaya (Yakutiya) [Evidence of the metasomatic formation of diamonds in the eclogite xenolith from the Udachnaya kimberlite pipe (Yakutia)], *Doklady Akademii nauk SSSR* [*Reports of the USSR Academy of Sciences*], 2005, V. 402, No 2, pp. 239–242. (In Russ.).
12. Boyd S. R., Kiflawi I., Woods G. S. Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond, *Philosophical Magazine*, 1995, Part B72, pp. 351–361.
13. Ellis D. J., Green D. H. An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe–Mg exchange equilibria, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1979, V. 71, pp. 13–22.
14. Krogh Ravna E. J. The garnet–clinopyroxene Fe^{2+}–Mg geothermometer: an updated calibration, *Journal of Metamorphic Geology*, 2000, V. 18, pp. 211–219.
15. Misra K. C., Mahesh A., Taylor L. A., Sobolev N. V. Multistage metasomatism of diamondiferous eclogite xenoliths from the Udachnaya kimberlite pipe, Yakutia, Siberia, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2004, V. 146, pp. 696–714.
16. Snyder G. A., Taylor L. A., Crozaz G., Holliday A. N., Beard B. L, Sobolev V. N., Sobolev N. V. The origins of Yakutian eclogite xenoliths, *Journal of Petrology*, 1997, V. 38, pp. 85–113.
17. Sobolev V. N., Taylor L. A., Snyder G. A., Sobolev N. V. Diamondiferous eclogites from the Udachnaya kimberlite pipe, Yakutia, Siberia, *International Geology Review*, 1994, V. 36, pp. 42–64.
18. Sobolev V. N., Taylor L. A., Snyder G. A., Jerde E. A., Neal C. R., Sobolev N. V. Quantifying the effects of metasomatism in mantle xenoliths: Constraints from secondary chemistry and mineralogy in Udachnaya eclogites, Yakutia, *International Geology Review*, 1999, V. 41, pp. 391–416.
19. Spetsius Z. V. Two generation of diamonds in the eclogite xenoliths, Proceedings of 7th International Kimberlite Conference, Cape Town, *Red Roof Design*, 1999, V. 2, pp. 823–828.

20. Spetsius Z. V. Petrology of highly aluminous xenoliths from kimberlites of Yakutia, *Lithos*, 2004, V. 77, pp. 525–538.
21. Spetsius Z. V., Griffin B. J. Secondary phases associated with diamonds in eclogites from the Udachnaya kimberlite pipe: Implications for diamond genesis, Extended Abstract of 7th International Kimberlite Conference, Cape Town, South Africa, *Red Roof Press*, 1998, pp. 850–852.
22. Spetsius Z. V., Kovalchuck O. E., Bogush I. N. Properties of diamonds in xenoliths from kimberlites of Yakutia: implication to their origin and exploration, *Extended Abstract 10th International Kimberlite Conference 2012*, Bangalore, India, 2012, 10IKC–51.
23. Spetsius Z. V., Taylor L. A. Partial Melting in Mantle Eclogite Xenoliths: Connection with Diamond Paragenesis, *Geology Review*, 2002, V. 44, pp. 973–987.
24. Taylor L. A., Milledge H. J., Bulanova G. P., Snyder G. A., Keller R. A. Metasomatic eclogitic diamond growth: evidence from multiple diamond inclusions, *International Geology Review*, 1998, V. 40, pp. 663–676.
25. Taylor L. A, Neal C. R. Eclogites with oceanic crustal and mantle signatures from the Bellsbank kimberlite, South Africa, part 1: Mineralogy, Petrography, and whole rock chemistry, *Journal of geology*, 1989, V. 97, pp. 551–567.

FEATURES OF GARNET AND CLINOPYROXENE IN DIAMONDIFEROUS ECLOGITES FROM THE UDACHNAYA KIMBERLITE PIPE, YAKUTIA: METASOMATOSIS EVIDENCE

Z. V. Spetsius (PhD, chief researcher)
L. V. Liskovaya (PhD, senior researcher)
A. S. Ivanov (PhD, leading researcher)
I. N. Bogush (PhD, leading researcher)

Research Geological Enterprise JSC ALROSA (PJSC), Mirny

Mineralogy of diamondiferous eclogite xenolites showing metasomatosis evidence from the Udachnaya kimberlite pipe is discussed. The paper also reviews features of diamonds they contain, compositions of primary garnets and omphacites as well as alteration of structural and species compositions of original garnets and clinopyroxenes during metasomatosis. Based on pyrope structure update, two-phase garnet composition is suggested, which is mostly represented by complex pyrope associated with Ca-pyrope. In all samples, primary omphacite is replaced by another clinopyroxene variety depleted in Na_2O, which is typical of partial melting products. Geothermometry results suggested that the eclogites formed within a temperature range of 1,000–1,2000 °C. Based on diamond morphology, data on total N content in diamonds and its aggregation, multiple stages of diamond formation in eclogites and the most probable growth of later diamond generations impacted by metasomatizing mantle fluids containing carbon are postulated. It is suggested that certain diamond formation stages probably had a time gap of several hundred million years.

Keywords: kimberlites, eclogite xenoliths, diamonds, garnets, pyroxenes, metasomatosis.

АКЦЕССОРНЫЕ СУЛЬФИДЫ ИЗ ХРОМИТИТОВ ХАРЧЕРУЗСКОГО УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА, ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ

Объектом исследования является акцессорная сульфидная минерализация, выявленная в массивных хромититах Харчерузского ультрамафитового массива, входящего в состав Хадатинского офиолитового пояса, замыкающего на севере офиолитовые комплексы Полярного Урала. Выделены три парагенетические ассоциации акцессорных сульфидов, связанные с различными процессами становления и преобразования вмещающих их хромититов. Охарактеризованы их типоморфные и химические особенности.

Ключевые слова: Полярный Урал, офиолиты, Харчерузский массив, ультрамафиты, хромититы, акцессорные сульфиды, химизм, генезис.

Юричев Алексей Николаевич
кандидат геолого-минералогических наук
доцент кафедры петрографии
juratur@sibmail.com

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск

Ультрамафиты офиолитовых комплексов являются составной частью мафит-ультрамафитовых поясов складчатых областей и привлекают повышенное внимание исследователей как с позиции генезиса из-за их мантийной природы образования и связи с ранними этапами развития складчатых сооружений, так и с позиции рудоносности – своей промышленной хромитоносностью с включением минералов ЭПГ, асбестоносностью и никеленосностью латеритного типа (коры выветривания).

Из рудной минерализации, отмечаемой в реститовых ультрамафитах, только минералогия шпинелидов и минералогия минералов ЭПГ являются к настоящему времени наиболее хорошо изученными разделами. Другие встречающиеся здесь же акцессорные рудные минералы (самородные фазы, сульфиды, сульфоарсениды, арсениды) в публикациях освещены значительно слабее.

Основные сложности в поиске и интерпретации акцессорных рудных минералов в реститовых ультрамафитах связаны с их крайне малыми размерами (5–20 мкм, редко – до 2 мм), а также с их незначительным содержанием в породах (от 0,01 до 0,2 %). С помощью рентгеноспектрального микроанализа проанализированы акцессорные сульфиды в хромититах слабоизученного Харчерузского ультрамафитового массива, входящего в состав Хадатинского офиолитового пояса, замыкающего на севере офиолитовые комплексы Полярного Урала [6].

Геологическое строение исследуемого массива. Харчерузский ультрамафитовый массив – южный фрагмент Хадатинского офиолитового пояса, который замыкает на севере офиолитовые комплексы Полярного Урала (рис. 1). Согласно геолого-геофизическим данным, полученным при проведении групповой геологической съёмки масштаба 1:50 000 (по данным А. К. Афанасьева, 1984 г.), он является самостоятельным и отделён от более крупного ультрамафитового массива Сыум-Кеу метаморфизованными габбро и амфиболитами. Вероятно, может быть эрозионно-тектоническим

УДК 552.321 (470.5)
© Юричев А. Н., 2020
DOI: 10.47765/0869-5997-2020-10028

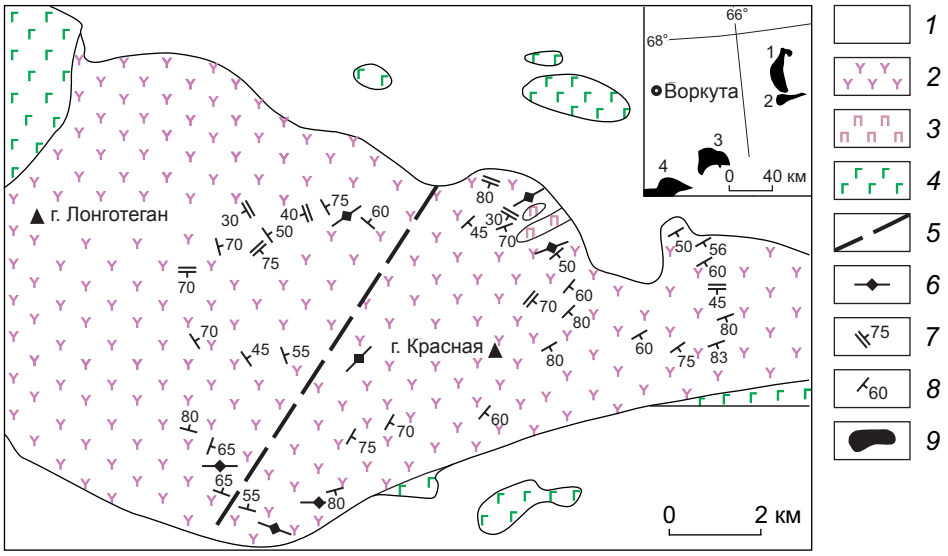


Рис. 1. СХЕМАТИЗИРОВАННАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ХАРЧЕРУЗСКОГО МАССИВА И ЕГО ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ (врезка) В СТРУКТУРЕ ПОЛЯРНОГО УРАЛА [7]:

1 – четвертичные отложения; *2* – дуниты, гарцбургиты; *3* – верлиты, клинопироксениты; *4* – габброиды; *5* – разлом; элементы залегания: *6* – хромитовых тел, *7* – уплощённости зёрен оливина, *8* – кливажа пластического течения; *9* – массивы ультрамафитов: 1 – Сыум-Кеу, 2 – Харчерузский, 3 – Рай-Из, 4 – Войкаро-Сыньинский

клином данного массива. Харчерузский массив представляет собой пластинообразное тело субширотного простирания протяжённостью ~ 18 км при максимальной ширине в западной части ~ 7 км. В центральной части он разделён разломом северо-восточного простирания на западный и восточный блоки.

Вмещающие массив метаморфические образования представлены: на севере и северо-западе – амфиболитами, на юге – пироксенсодержащими амфиболитами. Характер контактов ультрамафитов с окружающими породами повсеместно тектонический. С юго-востока к ультрамафитам массива непосредственно примыкают соссюритизированные габбро.

Харчерузский массив сложен преимущественно рестированными дунитами и их серпентинизированными разностями. Среди дунитов иногда (чаще в западной части) встречаются уцелевшие реликтовые участки гарцбургитов, а также отмечаются мелкие тела габброидов, обычно интенсивно метасоматически изменённые. В экзоконтактовых зонах габброидов устанавливаются верлиты и клинопироксениты, которые, вероятно, являются высокотемпературными реакционно-метасоматическими образованиями [7].

Среди дунитов выявлены линейные и линзообразные тела хромититов, имеющие преимущественно субширотное простирание. Мощность отдельных тел обычно менее 1 м, протяжённость до 10 м. Рудные тела нередко группируются в рудные субширотные зоны, в которых количество хромшпинелидов существенно возрастает и может значительно варьироваться от 10 до 50–90 %, с образованием от убоговкрапленных до густовкрапленных и сплошных рудопроявлений [12].

Ультрамафиты массива претерпели интенсивные пластические деформации и постоянно обнаруживают признаки метаморфических пород в виде уплощёности зёрен оливина, а также кливажа пластического течения, представленного очень тонкой плитчатой отдельностью.

Методика исследования. Использовался традиционный подход минераграфического изучения рудных минералов с определением химического состава фаз рентгеноспектральным микроанализом с применением метода растровой электронной микроскопии [15]. Последний метод включал изучение отдельных зёрен акцессорных сульфидов и их агрегатов на сканирующем электронном микроскопе с последующим энергодисперсионным и волнодисперсионным микроанализом. Использо-

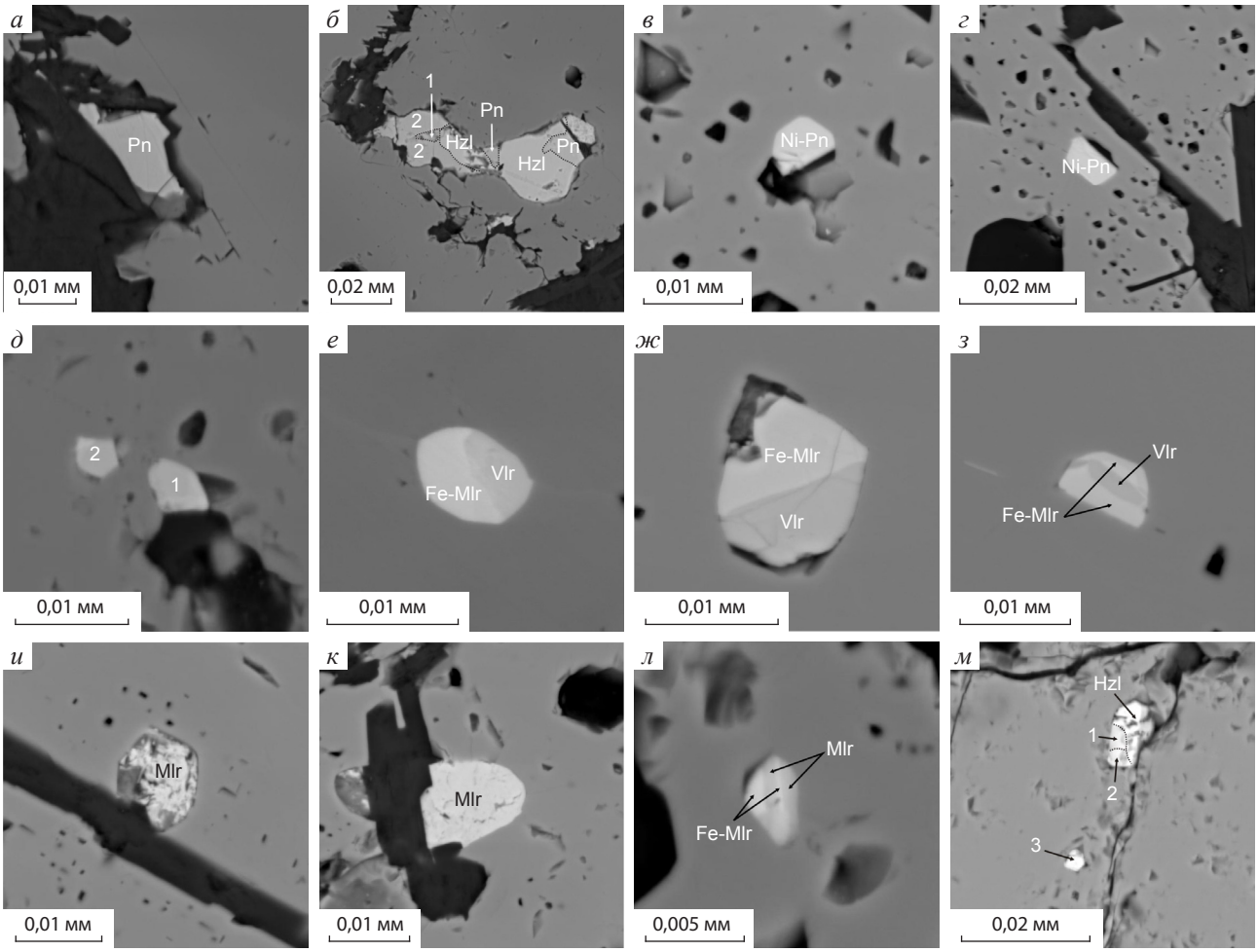


Рис. 2. АКЦЕССОРНАЯ СУЛЬФИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ИЗ ХРОМИТИТОВ ХАРЧЕРУЗСКОГО УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА (режим BSE):

Pn (Ni-Pn) – пентландит (никелистый пентландит); Vlr – виоларит; Mlr (Fe-Mlr) – миллерит (железистый миллерит); Hzl – хизлевудит. Неназванные сульфидные минеральные фазы: *1* – $(Ni,Fe)_6S_5$, *2* – $(Ni,Fe)_5S_4$, *3* – Ni_7S_4

вались электронные микроскопы Tescan Mira 3 LMU с энергодисперсионным детектором UltimMax100 (Oxford Instruments), Tescan Vega II LMU с энергодисперсионной (с детектором Si(Li) Standard) INCA Energy 350 и волнодисперсионной INCA Wave 700 приставками. Перед исследованием из отобранных образцов дунитов и хромититов были изготовлены плоскопараллельные аншлифы толщиной 3–4 мм с последующим напылением на изучаемые поверхности слоя углерода (~ 25–30 нм). Измерения проводились на вольфрамовом катоде при ускоряющем напряжении 20 кВ, текущем токе 15 нА и времени набора спектра 120 с. Диаметр пучка зонда ~ 2 мкм. В качестве эталонов сравнения применялись стандарты MAC (55 standard Universal Block Layout+F/Cup № 6835).

Все анализы выполнены в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» ТГУ (г. Томск, аналитик Е. В. Корбовяк). Расчёты химических составов проводились по программе INCA-Issue 18b и дополнительным авторским программам.

Анализ полученных результатов. Исследование акцессорной минерализации выполнено в средне-густовкрапленных хромититах Харчерузского массива, состоящих в основном из мелко-среднезернистого (0,5–3,0 мм) агрегата зёрен хромшпинелидов, сопровождающихся небольшим количеством силикатов, представленных серпентином и

хромсодержащим хлоритом – киммереритом с примесью талька. Хромшпинелиды по химическому составу соответствуют преимущественно хромитам и, в меньшей степени, субферрихромитам. Они умеренно высокохромисты (Cr_2O_3 ~ 53–65 %) при магнезиальности (MgO ~ 5–9 %) и глинозёмистости (Al_2O_3 ~ 3–8 %).

Выявление изученной акцессорной минерализации в отобранных образцах хромититов стало возможно только путём их детального изучения под микроскопом. В ходе диагностики установлены пентландит и никелистый пентландит $(Ni,Fe)_9S_8$, неназванные сульфидные минеральные фазы $(Ni,Fe)_6S_5$ и $(Ni,Fe)_5S_4$, виоларит $(Ni,Fe,Co)_3S_4$, миллерит NiS, железистый миллерит (Ni,Fe)S, хизлевудит Ni_3S_2, неназванная сульфидная минеральная фаза Ni_7S_4, галенит PbS, акантит Ag_2S, халькозин Cu_2S, халькопирит $CuFeS_2$, джирит Cu_8S_5, борнит Cu_5FeS_4, ковеллин CuS и сфалерит ZnS.

Пентландит распространён ограниченно, выявлен преимущественно в виде единичных обособленных мелких (до 20 мкм) зёрен в силикатных интерстициях, нередко на контакте рудных зёрен хромшпинелида с цементом; крайне редко – в виде реликтов в неоднородных агрегативных выделениях внутри зёрен хромшпинелида. В последнем случае наряду с пентландитом здесь постоянно отмечаются хизлевудит и неназванные минеральные фазы $(Ni,Fe)_6S_5$ и $(Ni,Fe)_5S_4$ (рис. 2, *а, б*).

Никелистый пентландит (содержание Ni возрастает до 42 %) представлен в изученных хромититах широко. Однако, в отличие от собственно пентландита, он отмечен только внутри хромшпинелидов в виде самостоятельных мелких (~ 5–10 мкм) зёрен гипидиоморфного облика, нередко с повышенной степенью идиоморфизма (проявление чётких линейных граней) (см. рис. 2, *в, г*).

Как пентландит, так и его никелистая разновидность являются стерильными в отношении кобальта (табл. 1).

Выявлены ещё две малоизученные неназванные сульфидные минеральные фазы – малосульфидные фазы железа и никеля, которые пересчитываются на формулы $(Ni,Fe)_6S_5$ и $(Ni,Fe)_5S_4$. При этом

1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АКЦЕССОРНЫХ СУЛЬФИДОВ ПЕРВОЙ И ВТОРОЙ ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИХ АССОЦИАЦИЙ ИЗ МАССИВНЫХ ХРОМИТИТОВ ХАРЧЕРУЗСКОГО МАССИВА, ВЕС. %

Образец	S	Fe	Ni	Co	Сумма	Формула
Пентландит $(Ni,Fe)_9S_8$						
Хз 15/1-11-269	32,91	30,45	35,29	–	98,65	$(Ni_{4,69}Fe_{4,25})_{8,94}S_{8,06}$
Никелистый пентландит $(Ni,Fe)_9S_8$						
1201/1-1-6	33,13	25,18	41,42	–	99,72	$(Ni_{5,46}Fe_{3,49})_{8,95}S_{8,05}$
Хз 15/4-89	32,90	25,91	40,56	–	99,38	$(Ni_{5,38}Fe_{3,62})_{9,00}S_{8,00}$
Хз 15/4-90	32,86	26,32	40,56	–	99,73	$(Ni_{5,39}Fe_{3,67})_{9,06}S_{7,94}$
1201/1-1-5	32,96	26,19	40,90	–	100,05	$(Ni_{5,42}Fe_{3,65})_{9,07}S_{7,93}$
1201/1-15-86	32,51	24,66	40,81	–	98,97	$(Ni_{5,49}Fe_{3,48})_{8,97}S_{8,03}$
1201/1-1-7	32,51	23,82	42,11	–	98,43	$(Ni_{5,66}Fe_{3,36})_{9,02}S_{7,98}$
Хз 15/1-11-268	32,74	26,56	40,20	–	99,50	$(Ni_{5,36}Fe_{3,72})_{9,08}S_{7,92}$
Фаза $(Ni,Fe)_6S_5$						
К-26/2-6-134	31,24	31,40	36,05	–	98,68	$(Ni_{3,15}Fe_{2,88})_{6,03}S_{4,97}$
К-26/1-4-59	31,56	30,58	37,95	–	100,10	$(Ni_{3,28}Fe_{2,78})_{6,06}S_{4,94}$
К-26/1-1-22	32,01	29,82	38,36	–	100,19	$(Ni_{3,27}Fe_{2,68})_{5,95}S_{5,05}$
К-25-2-310	31,88	21,58	41,22	5,37	100,05	$(Ni_{3,53}Fe_{1,94}Co_{0,46})_{5,93}S_{5,07}$
К-26/2-3-117	31,09	21,45	46,41	–	98,95	$(Ni_{4,07}Fe_{1,98})_{6,05}S_{4,95}$
К-26/2-1-106	31,49	20,54	47,20	–	99,24	$(Ni_{4,09}Fe_{1,88})_{5,97}S_{5,03}$
К-26/2-8-139	31,28	22,38	46,02	–	99,68	$(Ni_{4,02}Fe_{2,05})_{6,07}S_{4,93}$
Фаза $(Ni,Fe)_5S_4$						
К-26/2-2-116	30,68	32,43	36,71	–	99,81	$(Ni_{2,61}Fe_{2,42})_{5,03}S_{3,97}$
К-26/2-4-121	30,81	32,65	36,00	–	99,46	$(Ni_{2,55}Fe_{2,44})_{4,99}S_{4,01}$
К-26/2-5-125	31,07	32,56	36,28	–	99,92	$(Ni_{2,55}Fe_{2,41})_{4,96}S_{4,04}$
К-26/2-5-126	30,42	33,26	35,75	–	99,43	$(Ni_{2,56}Fe_{2,51})_{5,07}S_{3,93}$
К-26/2-6-131	30,69	32,45	36,76	–	99,90	$(Ni_{2,61}Fe_{2,42})_{5,03}S_{3,97}$
К-26/2-6-132	30,64	33,00	36,43	–	100,07	$(Ni_{2,59}Fe_{2,47})_{5,06}S_{3,94}$
К-26/2-6-133	30,87	32,50	36,72	–	100,09	$(Ni_{2,60}Fe_{2,42})_{5,02}S_{3,98}$
К-26/1-1-21	30,56	28,59	38,03	2,75	99,93	$(Ni_{2,71}Fe_{2,15}Co_{0,19})_{5,05}S_{3,95}$

Продолжение таблицы 1

Образец	S	Fe	Ni	Co	Сумма	Формула
К-26/1-4-57	30,49	22,87	46,82	–	100,18	$(Ni_{3,35}Fe_{1,72})_{5,07}S_{3,93}$
К-26/2-1-107	30,97	23,37	45,20	–	99,54	$(Ni_{3,19}Fe_{1,73})_{4,92}S_{4,08}$
Виоларит $(Ni,Fe)_3S_4$						
7-7/1-17	42,86	14,01	39,51	2,87	99,25	$(Ni_{2,02}Fe_{0,75}Co_{0,15})_{2,92}S_{4,08}$
7-7/1-29	41,79	12,46	42,45	2,86	99,56	$(Ni_{2,22}Fe_{0,68}Co_{0,15})_{3,05}S_{3,95}$
7-7/1-30	41,63	12,06	43,11	2,89	99,69	$(Ni_{2,26}Fe_{0,66}Co_{0,15})_{3,07}S_{3,93}$
1201/1-16-105	42,29	14,26	43,00	–	99,54	$(Ni_{2,22}Fe_{0,78})_{3,00}S_{4,00}$
1201/1-16-106	42,94	14,41	42,93	–	100,28	$(Ni_{2,19}Fe_{0,77})_{2,96}S_{4,04}$
Миллерит NiS						
1201/1-3-22	34,38	2,42	63,38	–	100,17	$(Ni_{1,00}Fe_{0,04})_{1,04}S_{0,96}$
1201/1-4-26	35,68	0,62	63,08	–	99,39	$(Ni_{0,97}Fe_{0,01})_{0,98}S_{1,02}$
1201/1-4-27	35,64	0,75	63,27	–	99,66	$(Ni_{0,97}Fe_{0,01})_{0,98}S_{1,02}$
1201/1-4-28	34,97	0,64	64,67	–	100,29	$(Ni_{1,01}Fe_{0,01})_{1,02}S_{0,98}$
1201/1-10-49	35,59	–	64,39	–	99,98	$Ni_{0,99}S_{1,01}$
1201/1-10-50	35,94	–	64,21	–	100,15	$Ni_{0,98}S_{1,02}$
1201/1-10-51	35,36	–	64,44	–	99,80	$Ni_{1,00}S_{1,00}$
1201/1-10-52	35,45	–	64,32	–	99,77	$Ni_{0,99}S_{1,01}$
1201/1-10-53	35,77	0,69	63,44	–	99,89	$(Ni_{0,97}Fe_{0,01})_{0,98}S_{1,02}$
1201/1-10-54	35,27	0,08	64,82	–	100,17	$Ni_{1,00}S_{1,00}$
1201/1-10-55	35,45	–	64,44	–	99,89	$Ni_{0,99}S_{1,01}$
1201/1-13-74	35,05	0,10	64,17	–	99,32	$Ni_{1,00}S_{1,00}$
1201/1-13-77	35,47	0,15	63,74	–	99,36	$Ni_{0,98}S_{1,02}$
7-7/1-1	36,13	1,70	62,18	–	100,01	$(Ni_{0,94}Fe_{0,03})_{0,97}S_{1,03}$
7-7/1-2	35,58	0,86	63,13	–	99,58	$(Ni_{0,97}Fe_{0,01})_{0,98}S_{1,02}$
7-7/1-3	36,47	2,64	60,74	–	99,84	$(Ni_{0,91}Fe_{0,04})_{0,95}S_{1,05}$
Хз 15/1-13-273	33,93	1,76	63,06	–	98,75	$(Ni_{1,01}Fe_{0,03})_{1,04}S_{0,96}$
К-15-1-223	34,49	2,55	62,95	–	100,00	$(Ni_{1,00}Fe_{0,04})_{1,04}S_{0,96}$
Хз 15/1-2-219	34,07	0,47	63,56	–	98,10	$(Ni_{1,02}Fe_{0,01})_{1,03}S_{0,97}$
Хз 15/1-2-220	34,50	1,37	63,27	0,68	99,83	$(Ni_{1,00}Fe_{0,02}Co_{0,01})_{1,03}S_{0,97}$
Хз 15/1-3-226	33,85	0,10	65,54	–	99,50	$Ni_{1,05}S_{0,95}$
Хз 15/1-6-249	34,52	0,92	63,87	–	99,30	$(Ni_{1,01}Fe_{0,01})_{1,02}S_{0,98}$
Хз 15/1-6-250	35,08	1,79	63,26	–	100,13	$(Ni_{0,98}Fe_{0,03})_{1,01}S_{0,99}$
Хз 15/1-8-262	34,58	1,29	63,98	–	99,85	$(Ni_{1,01}Fe_{0,02})_{1,03}S_{0,97}$
Железистый миллерит (Ni,Fe)S						
1201/1-9-47	37,25	5,42	57,45	–	100,13	$(Ni_{0,84}Fe_{0,09})_{0,93}S_{1,07}$
1201/1-2-14	35,36	5,55	58,75	–	99,67	$(Ni_{0,91}Fe_{0,09})_{1,00}S_{1,00}$
1201/1-2-15	34,87	8,59	55,98	–	99,44	$(Ni_{0,88}Fe_{0,14})_{1,02}S_{0,98}$
7-7/1-31	36,32	4,98	57,48	–	98,77	$(Ni_{0,86}Fe_{0,08})_{0,94}S_{1,06}$
7-7/1-32	36,69	4,63	58,20	–	99,53	$(Ni_{0,87}Fe_{0,07})_{0,94}S_{1,06}$
1201/1-5-29	34,66	12,54	51,72	–	98,92	$(Ni_{0,81}Fe_{0,21})_{1,02}S_{0,98}$
Хз 15/1-4-243	35,52	14,80	50,29	–	100,61	$(Ni_{0,77}Fe_{0,24})_{1,01}S_{0,99}$
1201/1-13-75	37,34	9,55	52,86	–	99,75	$(Ni_{0,77}Fe_{0,15})_{0,92}S_{1,08}$
1201/1-3-21	34,61	15,68	46,51	–	96,80	$(Ni_{0,74}Fe_{0,26})_{1,00}S_{1,00}$
Хизлевудит Ni_3S_2						
К-25-2-307	27,29	0,07	71,79	–	99,15	$Ni_{2,88}S_{2,12}$
К-25-2-308	26,68	0,72	70,66	–	98,06	$(Ni_{2,89}Fe_{0,03})_{2,92}S_{2,08}$
Хз 15/1-12-271	27,09	0,46	72,58	–	100,14	$(Ni_{2,93}Fe_{0,02})_{2,95}S_{2,05}$
Хз 15/1-9-264	27,12	1,07	71,96	–	100,16	$(Ni_{2,90}Fe_{0,05})_{2,95}S_{2,05}$
К-26/2-6-129	27,23	0,26	72,24	–	99,73	$(Ni_{2,90}Fe_{0,01})_{2,91}S_{2,09}$
Фаза Ni_7S_4						
К-26/1-1-23	23,76	0,14	75,91	–	99,81	$(Ni_{6,98}Fe_{0,02})_{7,00}S_{4,00}$
К-26/1-4-55	23,67	0,26	76,36	–	100,29	$(Ni_{7,04}Fe_{0,03})_{7,07}S_{3,93}$
К-26/1-4-58	23,93	0,14	75,80	–	99,87	$(Ni_{6,92}Fe_{0,02})_{6,94}S_{4,06}$
К-26/2-6-127	23,71	0,04	75,47	–	99,22	$(Ni_{6,96}Fe_{0,01})_{6,97}S_{4,03}$
К-26/2-16-200	23,66	–	76,23	–	99,89	$Ni_{7,04}S_{3,96}$

оба минерала были отмечены как в виде самостоятельных обособленных мелких (~ 5–7 мкм) зёрен в основном хромитовом цементе, так и в совместных агрегативных выделениях с хизлевудитом и пентландитом (см. рис. 2, *б, д, м*). Редко в химическом составе обеих минеральных фаз обнаруживается кобальт (см. табл. 1).

Виоларит отмечен ограниченно внутри зёрен хромшпинелидов только в двухфазных зональных зёрнах в ассоциации с железистым миллеритом (см. рис. 2, *е–з*). Размеры таких зёрен не превышают 15 мкм. В химическом составе минерала нередко диагностируются значимые содержания кобальта (до 2,9 %) (см. табл. 1).

Миллерит и его железистая разновидность (содержание железа до 16 %, см. табл. 1) являются самыми распространёнными сульфидами в исследуемых хромититах и отмечаются повсеместно. Они наблюдаются преимущественно внутри хромшпинелидов в виде самостоятельных единичных мелких (до 10 мкм) зёрен либо (реже) двухфазных (миллерит – железистый миллерит) зональных зёрен. Также миллерит отмечается в виде кайм замещения по агрегативным выделениям хизлевудита, а железистый миллерит формирует двухфазные зональные зёрна в ассоциации с виоларитом (см. рис. 2, *е–л*; рис. 3, *а*).

Хизлевудит встречается в виде мелких (до 0,03 мм) зернистых агрегативных выделений неправильной формы в хромитовом цементе, нередко в тесной ассоциации с пентландитом и неназванными минеральными фазами $(Ni,Fe)_6S_5$ и $(Ni,Fe)_5S_4$. Отдельные зёрна частично замещены миллеритом (см. рис. 2, *б, м*; см. рис. 3, *а*). В его химическом составе постоянно диагностируется примесь железа (до 1,1 %) (см. табл. 1).

Неназванная минеральная фаза Ni_7S_4 представлена ограниченно и отмечена в виде гипидиоморфных кристаллических мелких (до 10 мкм) зёрен исключительно в хромшпинелидах. Нередко внутри таких зёрен наблюдаются микроскопические включения никелина NiAs (см. рис. 2, *м*; см. рис. 3, *б*). В химическом составе минерала постоянно диагностируется незначительная примесь железа (до 0,26 %).

Галенит распространён достаточно широко и отмечается в виде мелких (до 4 мкм) обособленных зёрен округлой, неправильной формы в неоднородностях зёрен хромшпинелидов (см. рис. 3, *в, г*). Его химический состав близок стехиометрическому и практически стерилен. Исключение – редкое присутствие незначительной изоморфной к свинцу примеси железа (табл. 2).

Акантит близок по распространению к галениту и также в основном связан с неоднородностями в хромитовом цементе. Минерал отмечается в виде мельчайших (до 4 мкм) агрегативных выделений неправильной формы, часто в тесной ассоциации с самородным серебром (см. рис. 3, *д, е*). Последнее обстоятельство наряду с малыми размерами акантита нередко усложняет диагностику его собственного химического состава из-за «заражения» серебром (см. табл. 2).

Халькозин представлен ограниченно обособленными проявлениями неправильной формы, локализованными преимущественно в зонках трещиноватости хромитовых зёрен (см. рис. 3, *ж*). Химический состав минерала близок стехиометрическому, в нём часто отмечается незначительная примесь железа (до 0,3 %) (см. табл. 2).

Остальные выявленные сульфиды (джирит, борнит, ковеллин, халькопирит и сфалерит) крайне редко распространены. Они обнаружены и изучены всего на примере нескольких мелких (до ~ 5–6 мкм) самостоятельных проявлений (за исключением ковеллина, который формирует каймы замещения по халькозину), в основном тяготеющих к зонкам кавернозности и трещиноватости хромитовых зёрен (см. рис. 3, *з–м*). Данная группа сульфидов преимущественно характеризуется беспримесными «чистыми» составами, близкими стехиометрическим (см. табл. 2).

В составе зёрен борнита отмечены реликтовые обособления никелистого пентландита и самостоятельные микроскопические включения Bi-Pb сульфида, детальный расчёт химического состава которого не выполнен по причине его малых размеров (см. рис. 3, *к*).

Выводы. Акцессорная сульфидная минерализация в реститовых ультрамафитах Харчерузского ультрамафитового массива Хадатинского офиолитового пояса Полярного Урала до настоящего времени оставалась неизученной. Ранее при проведении тематических исследований данного массива на хромитовое оруденение ей не уделялось должного внимания, несмотря на то что входящие в её состав рудные минералы являются источником уникальной информации об условиях формирования вмещающих их ультрамафитов и сопутствующей благороднометалльной минерализации, что

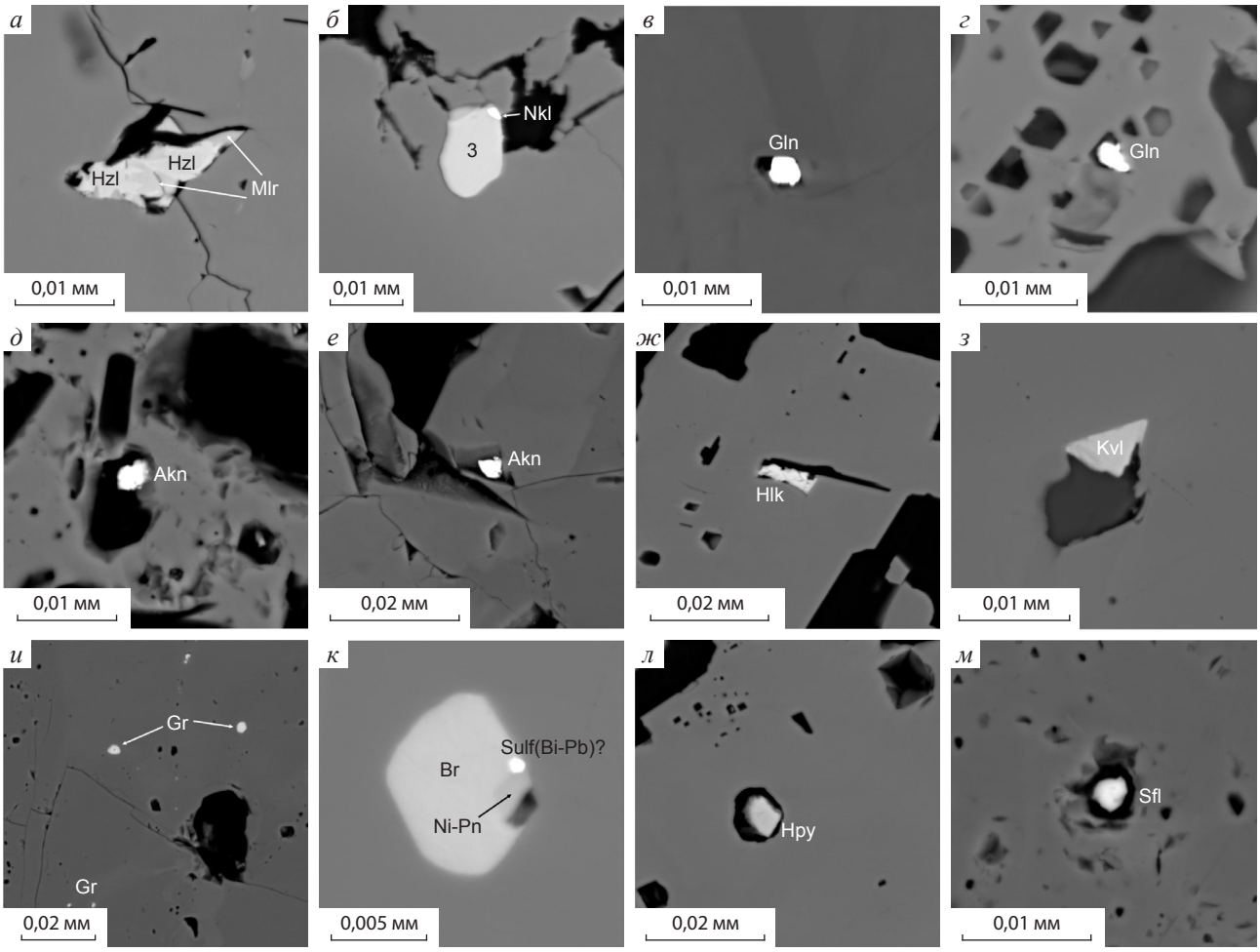


Рис. 3. АКЦЕССОРНАЯ СУЛЬФИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ИЗ ХРОМИТИТОВ ХАРЧЕРУЗСКОГО УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА (режим BSE):

Gln – галенит; Akn – акантит; Hlk – халькозин; Kvl – ковеллин; Gr – джирит; Br – борнит; Hpy – халькопирит; Sfl – сфалерит; Nkl – никелин; Sulf(Bi-Pb) – неинтерпретированный Bi-Pb сульфид, остальные усл. обозн. см. рис. 2

неоднократно отмечалось ранее в работах других авторов [4, 5, 8–11, 14]. В настоящем исследовании представлены новые данные по минералогии и распределению акцессорной сульфидной минерализации в массивных хромититах Харчерузского ультрамафитового массива.

Полученные результаты позволили диагностировать следующие акцессорные сульфиды: пентландит и никелистый пентландит $(Ni,Fe)_9S_8$, неназванные сульфидные минеральные фазы $(Ni,Fe)_6S_5$ и $(Ni,Fe)_5S_4$, виоларит $(Ni,Fe,Co)_3S_4$, миллерит NiS, железистый миллерит (Ni,Fe)S, хизлевудит Ni_3S_2, неназванную сульфидную минеральную фазу Ni_7S_4, галенит PbS, акантит Ag_2S, халькозин Cu_2S, халькопирит $CuFeS_2$, джирит Cu_8S_5, борнит Cu_5FeS_4, ковеллин CuS и сфалерит ZnS. По химическому составу, типоморфным особенностям и взаимоотношению друг с другом данную минерализацию можно разделить на три парагенетические ассоциации, связанные с различными процессами становления и преобразования вмещающих их хромититов.

К первой генетической группе, очевидно, относятся «первично мантийные» рудные минералы. Из хромититов Харчерузского ультрамафитового массива автором сюда причислены пентландит и халькопирит, отмечаемые в виде мелких обособленных включений в зёрнах хромшпинелидов. Они характеризуются стерильными составами, близкими стехиометрическим. Последнее обстоятельство наряду с кристаллической, а не агрегативной фор-

2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АКЦЕССОРНЫХ СУЛЬФИДОВ ПЕРВОЙ–ТРЕТЬЕЙ ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИХ АССОЦИАЦИЙ, ОТМЕЧАЕМЫХ В ВИДЕ ВКЛЮЧЕНИЙ В ЗЁРНАХ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ИЗ МАССИВНЫХ ХРОМИТИТОВ ХАРЧЕРУЗСКОГО МАССИВА, ВЕС. %

Образец	S	Fe	Cu	Pb	Ag	Zn	Mn	Сумма	Формула
Халькопирит $CuFeS_2$									
1201/1-18-139	35,68	29,12	34,57	–	–	–	–	99,36	$Cu_{0,98}Fe_{0,94}S_{2,08}$
1201/1-18-140	35,42	29,26	34,83	–	–	–	–	99,51	$Cu_{0,99}Fe_{0,95}S_{2,06}$
Халькозин Cu_2S									
1201/1-19-147	20,96	–	78,88	–	–	–	–	99,84	$Cu_{1,90}S_{1,10}$
1201/1-19-148	21,30	0,32	78,47	–	–	–	–	100,08	$(Cu_{1,86}Fe_{0,01})_{1,87}S_{1,13}$
К-26/2-10-152	20,34	0,10	79,85	–	–	–	–	100,28	$Cu_{1,98}S_{1,02}$
К-26/2-10-153	20,01	0,06	79,82	–	–	–	–	99,88	$Cu_{2,01}S_{0,99}$
Джирит Cu_8S_5									
Хз 15/1-14-274	23,80	4,94	70,74	–	–	–	–	99,48	$(Cu_{7,49}Fe_{0,59})_{8,08}S_{4,92}$
Хз 15/1-14-275	23,81	4,02	71,56	–	–	–	–	99,39	$(Cu_{7,58}Fe_{0,48})_{8,06}S_{4,94}$
Хз 15/1-14-276	23,66	5,23	70,19	–	–	–	–	99,08	$(Cu_{7,48}Fe_{0,63})_{8,11}S_{4,89}$
Борнит Cu_5FeS_4									
7-7/1-43	25,69	11,95	61,70	–	–	–	–	99,34	$Cu_{4,85}Fe_{1,07}S_{4,08}$
7-7/1-44	25,53	12,14	61,64	–	–	–	–	99,31	$Cu_{4,87}Fe_{1,09}S_{4,04}$
Ковеллин CuS									
К-26/2-10-154	33,62	–	66,28	–	–	–	–	99,90	$Cu_{1,00}S_{1,00}$
К-26/2-10-156	32,73	–	67,03	–	–	–	–	99,76	$Cu_{1,03}S_{0,97}$
Акантит Ag_2S									
К-15-7-269	12,34	–	–	–	87,22	–	–	99,56	$Ag_{2,10}S_{0,90}$
К-15-10-321	12,95	–	–	–	86,73	–	–	99,68	$Ag_{1,99}S_{1,01}$
К-15-10-322	13,34	–	–	–	86,22	–	–	99,56	$Ag_{1,92}S_{1,08}$
К-15-11-324	13,75	1,30	–	–	84,97	–	–	100,03	$(Ag_{1,84}Fe_{0,05})_{1,89}S_{1,11}$
К-15-11-325	13,69	1,43	–	–	85,64	–	–	100,76	$(Ag_{1,86}Fe_{0,06})_{1,92}S_{1,08}$
К-26/2-14-193	12,41	0,18	–	–	86,97	–	–	99,57	$(Ag_{2,08}Fe_{0,01})_{2,09}S_{0,91}$
К-26/2-18-213	13,01	0,87	–	–	86,38	–	–	100,26	$(Ag_{1,97}Fe_{0,04})_{2,01}S_{0,99}$
К-26/2-18-214	12,76	–	–	–	86,51	–	–	99,27	$Ag_{2,01}S_{0,99}$
К-26/2-18-215	12,32	0,75	–	–	86,18	–	–	99,25	$(Ag_{2,08}Fe_{0,03})_{2,11}S_{0,89}$
Галенит PbS									
Хз 15/1-5-245	12,68	–	–	87,50	–	–	–	100,18	$Pb_{1,06}S_{0,94}$
Хз 15/1-5-246	12,66	0,04	–	86,43	–	–	–	99,13	$Pb_{1,05}S_{0,95}$
К-15-3-234	13,12	–	–	86,51	–	–	–	99,63	$Pb_{1,02}S_{0,98}$
К-15-3-236	12,99	–	–	86,54	–	–	–	99,53	$Pb_{1,03}S_{0,97}$
К-26/1-2-31	12,91	–	–	86,65	–	–	–	99,56	$Pb_{1,03}S_{0,97}$
К-26/2-7-138	12,85	–	–	86,75	–	–	–	99,60	$Pb_{1,04}S_{0,96}$
Сфалерит ZnS									
Хз 15/1-1-216	33,98	–	–	–	–	63,97	0,52	98,47	$(Zn_{0,92}Mn_{0,01})_{0,93}S_{1,07}$

мой выделений халькопирита даёт возможность отнести его к эндогенным образованиям.

Присутствие халькопирита в составе первой парагенетической ассоциации наряду с ранее полученными выводами по минерализации ЭПГ (не выявлено ни одного включения металлического твёрдого раствора системы Os–Ir–Ru при постоянном присутствии дисульфидов ряда лаурит–эрликманит) [13], очевидно, может указывать на высокое парциальное давление серы на момент формирования харчерузских хромититов. Подобная закономерность ранее отмечена для акцессорной сульфидной минерализации из хромититов Эргакского ультрамафитового массива Куртушибинского офиолитового пояса Западного Саяна [2, 3, 11].

Акцессорные рудные минералы второй парагенетической ассоциации являются доминирующими по своему распространению в изученных хромититах. К данной группе отнесены никелистый пентландит, неназванные малосульфидные минеральные фазы $(Ni,Fe)_6S_5$ и $(Ni,Fe)_5S_4$, виоларит, миллерит и его железистая разновидность, хизлевудит, неназван-

ная сульфидная минеральная фаза Ni_7S_4, халькозин, джирит, борнит и ковеллин. Формирование данной ассоциации автор склонен связывать с процессами массовой лизардитизации хромититов и включающих их дунитов во время регрессивного регионального метаморфизма [9, 14]. Характерной особенностью данной минеральной ассоциации является то, что в ней присутствуют в основном сульфиды системы Ni–Cu–Fe–S и развиты процессы взаимодиффузии компонентов, что приводит к образованию редких разновидностей вторичных сульфидных минералов. Прослеженные взаимодействия позволяют предположить следующие ряды преобразования сульфидов: пентландит → никелистый пентландит → $(Ni,Fe)_6S_5$ → $(Ni,Fe)_5S_4$ → хизлевудит → Ni_7S_4; пентландит → виоларит → железистый миллерит; хизлевудит → миллерит → железистый миллерит; халькопирит → борнит → джирит → халькозин → ковеллин. При этом автор не исключает возможности и более прямых переходов с пропуском отдельных промежуточных членов ряда.

Первичная диагностика борнита, джирита, халькозина и ковеллина с учётом того, что последние являются типичными минералами зон вторичного сульфидного обогащения, навела автора на мысль об их вторичной гипергенной природе. Однако детальное изучение литературных источников показывает, что аналогичные сульфиды могут возникать и на поздних стадиях гипогенного (гидротермального) процесса.

Отмеченный ряд признаков (отсутствие проявлений кор выветривания по изученным канавам, «свежесть» изученных образцов хромититов, отсутствие даже единичных акцессорных проявлений сульфатов и других гипергенных несульфидных минералов, отсутствие признаков гипергенного преобразования химического состава хромшпинелидов (увеличение, в первую очередь, железистого минала), отсутствие характерных для гипергенных сульфидов каёмчатых, цементационных, колломорфных и прожилковых форм выделений, наблюдаемый гексаоктаэдрический облик кристаллов борнита) позволяет предположить гипогенную низкотемпературную флюидно-гидротермальную природу выделенного в хромититах ряда акцессорных сульфидов меди в процессе массовой лизардитизации хромититов и включающих их дунитов.

Выделение слабоизученных неназванных минеральных фаз $(Ni,Fe)_6S_5$, $(Ni,Fe)_5S_4$ и Ni_7S_4, по мнению автора, считается оправданным и находит подтверждение в ранних работах других исследователей [4, 16].

Как было отмечено ранее, для реститовых ультрамафитов Урала [1, 4, 13] нередко в химическом составе сульфидов второй парагенетической ассоциации из массивных хромититов отмечаются примеси тугоплавких ЭПГ, которые, очевидно, в процессе регрессивного регионального метаморфизма высвобождались гидротермальными растворами из «первично мантийных» высокотемпературных твёрдых растворов Os–Ir–Ru и находящихся с ними в равновесии дисульфидов ряда лаурит–эрликманит (RuS_2–OsS_2) с последующим вхождением в состав вновь кристаллизующихся сульфидов. Так, в изученных никелистых пентландитах из харчерузских хромититов автором отмечены содержания рутения (до 7,1 %), иридия (до 2,0 %), осмия (до 0,56 %) и родия (до 1,1 %), а в борнитах – иридия (до 4,7 %) и палладия (до 0,6 %). Подобная тенденция наряду с частой ассоциацией сульфидов второй парагенетической группы с сульфидами и сульфоарсенидами ЭПГ существенно повышает практический интерес к их изучению. А широкое развитие сульфидов данной парагенетической группы в хромититах с высокой степенью уверенности позволяет прогнозировать обнаружение в их составе платинометалльной минерализации.

В качестве отдельной особенности акцессорной сульфидной минерализации первой и второй парагенетических ассоциаций харчерузских хромититов является практически полная стерильность (за исключением виоларита) в отношении кобальта, что, очевидно, обусловлено спецификой исходного рестита.

Третья парагенетическая ассоциация представлена галенитом, акантитом и сфалеритом. Она характеризуется накоплением редких, «нетипичных» для реститовых ультрамафитов элементов (Pb, Ag, Zn), которые выступают не в качестве примесей, а становятся минералообразующими. Появление данной ассоциации автор предположительно связывает с процессом ремобилизации элементов под воздействием просачивающихся более поздних наложенных флюидов, богатых летучими (S, As) и цветными элементами. Формирование таких флюидов, очевидно, связано с процессами более позднего внедрения в реститовые ультрамафиты Харчерузского массива габброидных интрузивных тел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дистлер В. В., Крячко В. В., Юдовская М. А.* Условия образования оруденения платиновых металлов в хромитовых рудах Кемпирсайского рудного поля // Геология рудных месторождений. – 2003. – Т. 45, № 1. – С. 44–74.
2. *Кривенко А. П., Подлипский М. Ю., Кубышев А. И., Катанов С. Г.* Перспективы хромитоносности и платиноносности гипербазитов Верхнеамыльского района в Западном Саяне // Минеральные ресурсы Красноярского края. – Красноярск : РИЦ КНИИГиМС, 2002. – С. 314–324.
3. *Кривенко А. П., Подлипский М. Ю., Агафонов Л. В.* Рудная минерализация гипербазитов Эргакского массива и перспективы его хромитоносности // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества. – Кызыл : ТувИКОПР СО РАН, 2005. – Вып. 8. – С. 32–44.
4. *Макеев А. Б.* Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. – СПб. : Наука, 1992. – 197 с.
5. *Пучков В. Н., Штейнберг Д. С.* Строение, эволюция и минерагения гипербазитового массива Рай-Из. – Свердловск [Екатеринбург] : УрО АН СССР, 1990. – 228 с.
6. *Соболев В. С., Добрецов Н. Л., Молдаванцев Ю. Е., Казак А. П., Пономарева Л. Г., Савельева Г. Н., Савельев А. А.* Петрология и метаморфизм древних офиолитов (на примере Полярного Урала и Западного Саяна). – Новосибирск : Наука, 1977. – 222 с.
7. *Чернышов А. И., Юричев А. Н.* Структурная эволюция дунитов и хромитов Харчерузского массива (Полярный Урал) // Геотектоника. – 2016. – № 2. – С. 62–77.
8. *Шайбеков Р. И., Кузнецов С. К., Гайкович М. М., Шевчук С. С.* Сульфидная и благороднометалльная минерализация в хромовых рудах Лагортинско-Кершорской площади Войкаро-Сыньинского массива (Полярный Урал) // Литосфера. – 2015. – № 1. – С. 75–85.
9. *Юричев А. Н.* Акцессорные сульфиды из реститовых ультрамафитов // Руды и металлы. – 2015. – № 2. – С. 29–35.
10. *Юричев А. Н.* Акцессорные сульфиды Кемпирсайского ультрамафитового массива, Южный Урал // Руды и металлы. – 2018. – № 4. – С. 67–75.
11. *Юричев А. Н.* Акцессорные сульфиды и арсениды из хромититов Эргакского ультрамафитового массива, Западный Саян // Руды и металлы. – 2019. – № 3. – С. 71–79.
12. *Юричев А. Н., Чернышов А. И.* Хромититы Харчерузского блока массива Сыум-Кеу: вещественный состав и генезис руд (Полярный Урал) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327, № 8. – С. 6–16.
13. *Юричев А. Н., Чернышов А. И., Корбовяк Е. В.* Платиноносность хромититов Харчерузского ультрамафитового массива (Полярный Урал): новые данные // Записки Российского минералогического общества. – 2020. – № 3. – С. 38–53.
14. *Economou M. I., Naldrett A. J.* Sulfides associated with podiform bodies of chromite at Tsangli, Ermetria, Greece // Mineralium Deposita. – 1984. – V. 19. – № 4. – P. 289–297.
15. *Reed S. J. B.* Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology. – New-York : Cambridge University Press, 2005. – 189 p.
16. *Smith R. C., Barnes J. H.* Geochemistry and mineralogy of platinum group elements in some chromite occurrences in the State Line District, Chester and Lancaster Counties, Pennsylvania // Pennsylvania Geology. – 2012. – V. 41, № 3/4. – P. 3–13.

REFERENCES

1. Distler V. V., Kryachko V. V., Yudovskaya M. A. Usloviya obrazovaniya orudeneniya platinovykh metallov v khromitovykh rudakh Kempirsaiskogo rudnogo polya [Formation conditions of mineralization of platinum metals in chromite ores of the Kempirsay ore field], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [*Geology of Ore Deposits*], 2003, V. 45, No 1, pp. 44–74. (In Russ.).
2. Krivenko A. P., Podlipskii M. Yu., Kubyshev A. I., Katanov S. G. Perspektivy khromitonosnosti i platinonosnosti giperbazitov Verkhneamyl'skogo raiona v Zapadnom Sayane [Prospects for chromite and platinum content of hyperbasites of the Verkhneamyl region in the Western Sayan], Mineral'nye resursy Krasnoyarskogo kraya [Mineral resources of the Krasnoyarsk Territory], Krasnoyarsk, RITs KNIIGiMS Publ., 2002, pp. 314–324. (In Russ.).
3. Krivenko A. P., Podlipskii M. Yu., Agafonov L. V. Rudnaya mineralizatsiya giperbazitov Ergakskogo massiva i perspektivy ego khromitonosnosti [Ore mineralization of the Ergak massif hyperbasites and the prospects for its chromite content], *Sostoyanie i osvoenie prirodnykh resursov Tuvy i sopredel'nykh regionov Tsentral'noi Azii. Geoekologiya prirodnoi sredy i obshchestva* [*State and development of natural resources of Tuva and adjacent regions of Central Asia. Geoecology of the natural en-*

vironment and society], Kyzyl, TuvIKOPR SO RAN Publ., 2005, V. 8, pp. 32–44. (In Russ.).

4. Makeev A. B. Mineralogiya al'pinotipnykh ul'trabazitov Urala [Mineralogy of alpine-type ultramafic rocks of the Urals], St. Petersburg, Nauka Publ., 1992, 197 p.
5. Puchkov V. N., Shteinberg D. S. Stroenie, evolyutsiya i minerageniya giperbazitovogo massiva Rai-Iz [Structure, evolution and minerageny of the Rai-Iz hyperbasite massif], Sverdlovsk, UrO AN SSSR Publ., 1990, 228 p.
6. Sobolev V. S., Dobretsov N. L., Moldavantsev Yu. E., Kazak A. P., Ponomareva L. G., Savel'eva G. N., Savel'ev A. A. Petrologiya i metamorfizm drevnikh ofiolitov (na primere Polyarnogo Urala i Zapadnogo Sayana) [Petrology and metamorphism of ancient ophiolites (on the example of the Polar Urals and Western Sayan)], Novosibirsk, Nauka Publ., 1977, 222 p.
7. Chernyshov A. I., Yurichev A. N. Strukturnaya evolyutsiya dunitov i khromitov Kharcheruzskogo massiva (Polyarnyi Ural) [Structural evolution of dunites and chromites of the Kharcheruz massif (Polar Urals)], *Geotektonika* [*Geotectonics*], 2016, No 2, pp. 62–77. (In Russ.).
8. Shaibekov R. I., Kuznetsov S. K., Gaikovich M. M., Shevchuk S. S. Sul'fidnaya i blagorodnometall'naya mineralizatsiya v khromovykh rudakh Lagortinsko-Kershorskoi ploshchadi Voikaro-Syn'inskogo massiva (Polyarnyi Ural) [Sulfide and noble metal mineralization in chromium ores of the Lagortinsko-Kershorskaya area of the Voikaro-Synyinsky massif (Polar Urals)], *Litosfera* [*Lithosphere*], 2015, No 1, pp. 75–85. (In Russ.).
9. Yurichev A. N. Aktsessornye sul'fidy iz restitovykh ul'tramafitov [Accessory sulfides from restite ultramafic rocks], *Rudy i metally* [*Ores and Metals*], 2015, No 2, pp. 29–35. (In Russ.).
10. Yurichev A. N. Aktsessornye sul'fidy Kempirsaiskogo ul'tramafitovogo massiva, Yuzhnyi Ural [Accessory sulfides of the Kempirsay ultramafic massif, South Urals], *Rudy i metally* [*Ores and Metals*], 2018, No 4, pp. 67–75. (In Russ.).
11. Yurichev A. N. Aktsessornye sul'fidy i arsenidy iz khromititov Ergakskogo ul'tramafitovogo massiva, Zapadnyi Sayan [Accessory sulfides and arsenides from chromitites of the Ergak ultramafic massif, Western Sayan], *Rudy i metally* [*Ores and Metals*], 2019, No 3, pp. 71–79. (In Russ.).
12. Yurichev A. N., Chernyshov A. I. Khromitity Kharcheruzskogo bloka massiva Syum-Keu: veshchestvennyi sostav i genezis rud (Polyarnyi Ural) [Chromitites of the Kharcheruz block of the Syum-Keu massif: material composition and genesis of ores (Polar Urals)], *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [*Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*], 2016, V. 327, No 8, pp. 6–16. (In Russ.).
13. Yurichev A. N., Chernyshov A. I., Korbovyak E. V. Platinonosnost' khromititov Kharcheruzskogo ul'tramafitovogo massiva (Polyarnyi Ural): novye dannye [Platinum-bearing chromitites of the Kharcheruz ultramafic massif (Polar Urals): new data], *Zapiski Rossiiskogo mineralogicheskogo obshchestva* [*Notes of the Russian Mineralogical Society*], 2020, No 3, pp. 38–53. (In Russ.).
14. Economou M. I., Naldrett A. J. Sulfides associated with podiform bodies of chromite at Tsangli, Ermetria, Greece, *Mineralium Deposita*, 1984, V. 19, No 4, pp. 289–297.
15. Reed S. J. B. Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology, New-York, Cambridge University Press Publ., 2005, 189 p.
16. Smith R. C., Barnes J. H. Geochemistry and mineralogy of platinum group elements in some chromite occurrences in the State Line District, Chester and Lancaster Counties, Pennsylvania, *Pennsylvania Geology*, 2012, V. 41, No 3/4, pp. 3–13.

ACCESSORY SULPHIDES AND ARSENIDES FROM CHROMYTITES OF KHARCHERUZ ULTRAMAFIC MASSIF, THE POLAR URALS

A. N. Yurichev (PhD, associate professor of Petrography department)

Tomsk State University, Tomsk

The study is focused on accessory sulfide mineralization revealed in massive chromitites of Kharcheruz ultramafic massif, which is part of the Khadatinsky ophiolite belt closing ophiolite complexes of the Polar Urals in the north. Three paragenetic associations of accessory sulfides associated with various processes of host chromitites formation and transformation are identified. Typomorphic and chemical features of ore minerals are characterized.

Keywords: The Polar Urals, ophiolites, Kharcheruz massif, ultramafic rocks, chromitites, accessory sulfides, chemistry, genesis.

Фрагменты рукописи Сергея Дмитриевича Шера «В военные годы»

Продолжение. Первую часть см. «Руды и металлы» № 3/2020

В батальоне

Война для меня чётко делится на две части. Первая часть её проходила на курсах, в штабе Западного фронта, и в отряде глубокого бурения, там, где, по существу, войны как таковой не было. Это совсем от меня не зависело, я скорее даже прилагал некоторые усилия, чтобы приблизиться к войне. Но судьба была очень благосклонна ко мне и «не допускала» меня туда, где шли бои и погибали люди. Вторая часть войны, с лета 1943 г., была для меня настоящей войной, но, правда, уже не в должности рядового солдата, а хоть небольшого, но начальника, что делало военный быт менее суровым. Здесь тоже судьба хранила меня, хотя возможности почувствовать реальные следы войны и были для меня гораздо вероятнее.

Приходится совсем по-разному описывать свою жизнь во время обеих частей войны. В первой – я часто бывал в Москве, а мои местопребывания не раз менялись. Во второй – в Москве я ни разу не был, и всё это время находился на одной должности, хотя она иногда и меняла своё название. Эпизоды, так или иначе связанные с боевыми действиями, никак или почти никак не отражены в моих письмах – и писать о многом было нельзя, и не хотелось рассказывать о всяких «беспокойных» вещах. Восстанавливать те эпизоды, которые хочется описать, приходится по памяти. Только немного можно использовать письма, посланные не через почту, а со случайными попутчиками.

Я думаю сначала рассказать о батальоне, где я воевал, а потом уже вспомнить, не всегда в хронологическом порядке, ряд отложившихся в памяти эпизодов.

369 батальон, в который я попал, назывался Армейский инженерный и подчинялся 10-й Гвардейской армии. В той же Армии был ещё инженерный батальон, совершенно такой же структуры, как и наш. Я был начальником штаба 369 батальона, а начальником батальона был Михаил Юрьевич Коробьин. <…>

Для тех, кто совсем не знаком с военной структурой, надо дать некоторые пояснения. Инженерных войск в армии очень много, и назначение их всех разное. Прежде всего они различаются тем, в каком подчинении находятся. Часть войск подчиняется фронту и выполняет общефронтовые задачи. Наш отряд глубокого бурения был фронтового подчинения и среди других частей должен был обеспечивать задачи в масштабе фронта. Батальоны, с которыми судьба связала меня с 1943 г., были подчинения армейского и решали задачи в масштабе Армии – обеспечение её продвижения, строительство наблюдательных и командных пунктов, разминирование в полосе Армии и т. д. Были ещё инженерные части в дивизиях (батальоны) и в стрелковых полках (сапёрные роты). Сапёры в этих подразделениях трудились непосредственно в войсковых частях, и жизнь их была наиболее трудная. <…>

В составе 10-й Гвардейской армии наш батальон был около года. Это была боевая Армия с богатыми традициями. Инженерную службу её возглавлял упоминавшийся мною полковник Цвангер, бывший моим командиром роты в начале войны. Встреча здесь оказалась совершенно случайной. Перед самым концом войны он погиб от шальной пули на уже освобождённой территории. <…> В целом, от штаба инженерных войск 10-й Гвардейской армии осталось очень приятное впечатление, но сколько-нибудь подробно я его представить себе не могу.

Примерно через год после моего приезда в батальон он, как и вообще вся инженерная служба Армии, был преобразован. По другим военным дорогам волею начальства пошла 10-я Гвардейская армия, а мы были переданы другой, 22-й Армии. Но самое главное, что были созданы инженерно-сапёрные бригады, и наш батальон вошёл в 26-ю бригаду, а последняя уже подразделялась на батальоны. Мы стали 193-м Инженерно-сапёрным батальоном. Всё у нас осталось по-старому (во всяком случае, с моей точки зрения), только я стал вместо начальника штаба называться адъютантом старшим. Батальон и раньше, и после преобразования состоял примерно из 350 человек – трёх строевых рот, взвода управления и разных хозяй-

Иллюстрации В. Ю. Козловой

ственных служб. Таким образом, он был совершенно самостоятельной частью, особенно до создания бригад. <…>

Первые месяцы в батальоне

Через один или два дня после моего приезда в батальон началось наступление Западного фронта. Мы стояли в весёлом лиственном лесу. Штаб был в каком-то плетёном сооружении из веток и молодых деревьев, накрытом плащ-палаткой.

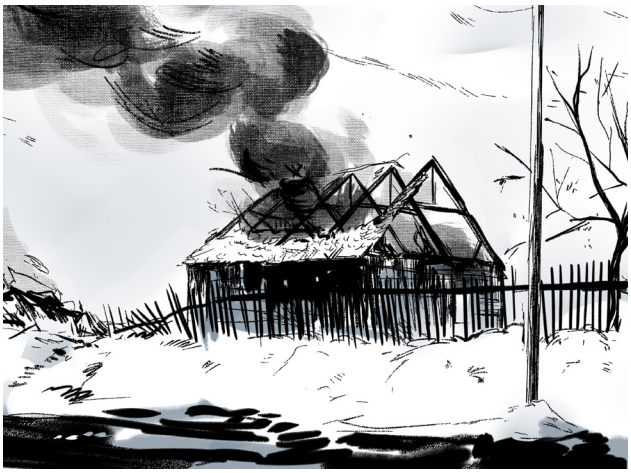
Развернувшаяся перед наступлением артподготовка была первой, которую я слушал вблизи, когда снаряды летели и впереди, и с боков, и сзади. Очень хорошо не только помню, но и зрительно представляю себе, как мы слушали эту громоподобную «музыку». Все находившиеся при штабе батальона солдаты и офицеры прекратили все дела, и было общее волнение и подъём.

В первые дни в батальоне я ещё очень плохо ориентировался в обстановке. Помню, что 1-я рота должна была сопровождать в наступлении танки, но где эти танки, как собрать, если понадобится, своих людей, я представлял очень туманно. Одновременно остальная часть батальона в первый день наступления должна была строить наблюдательные пункты Армии. Я должен был получить где-то три автомашины и доставить на место доски, брусья, скобы, гвозди и т. д. <…>

Никаких воспоминаний о начале жизни и работы в батальоне и обстановке тех дней, кроме движения широким фронтом огромной массы людей и техники, кроме неубранных трупов немцев под гусеницами танков, у меня не сохранилось. <…>

Из многообразных дел и событий первых месяцев моей жизни в батальоне высвечиваются лишь отдельные эпизоды. <…> Наша задача была учесть все немецкие оборонительные сооружения и продумать, как можно их повернуть на 180°, чтобы использовать в случае контратаки немцев. Занимались мы этим на совесть и не слезали с седла целыми днями. Поскольку немцы больше не пытались отбить многострадальную Ельню, которая ещё во время нашего отступления несколько раз переходила из рук в руки, то наша работа практического смысла не имела, но это обычная ситуация на войне, и всё равно приходилось дело делать спешно и на совесть.

Попали мы впервые в Ельню сразу же после окончания боя за неё, вошли буквально «на плечах» наших войск. Остались прочно в памяти следы пребывания немцев, в частности, ещё не разрушены были виселицы с надписью на груди каждого повешенного: «партизан». Всё ещё было в дыму многочисленных пожаров. <…>



Вместе с тем, очевидно, на предыдущей стоянке мы день или два жили на опушке небольшого леска – месте, которое мне очень хорошо запомнилось. Здесь вечером нам на натянутом между деревьев экране показывали кинокартину, тогда только что вышедшую, – «Щорс». Песню из этого фильма «Одержим победу, к тебе я приеду на горячем боевом коне» во время наших поездок по Ельне всё время напевал Львов, и она даже сейчас тесно ассоциирует у меня с Ельней и с нашей там работой. <…>

Как я был артиллеристом

12 сентября в письме <…> я упомянул: «*Последние два дня я занялся какими-то инженерными трофеями. Вообще много разнообразия*». За этой коротенькой и «не волнительной» для мамы фразой стоит очень хорошо запомнившийся эпизод моей боевой жизни. Начался он с того, что меня очередной раз вызвали в штаб инженерных войск Армии. Задание, которое я получил, было несколько необычным. Оказалось, что немцами при отступлении было оставлено несколько штабелей реактивных снарядов. Никто толком не знал, как они стреляют, поскольку тогда как у нас, так и у немцев реактивная техника только вводилась. Позже эти немецкие реактивные снаряды мы называли «ишаками» за их отвратный рёв.

Это были «чушки» длиной около 5 м (весом 20–30 кг) с яйцевидной передней частью и цилиндрическим «хвостом», упакованные каждая в каркас из деревянных добротных планок. Отдельно в полном беспорядке лежали капсюли-детонаторы и взрыватели, не было только взрывного механизма для пуска снарядов.

Почему-то начальство Армии распорядилось, чтобы в использовании реактивных снарядов разобрались инженерные войска, то есть мы. Мне, прежде всего, надо было узнать, стреляют ли и как эти снаряды.

Я с маленькой группой солдат поехал на какое-то безлюдное болото и там организовал выстрел. Трудность ещё заключалась в том, что на немецком складе не было специальных подставок, на которые крепятся снаряды. Поэтому пришлось укреплять снаряды на подручных средствах. Стрельнули мы первый раз без взрывателя, и я до сих пор помню, как полетел снаряд сначала медленно, потом всё быстрее и где-то плюхнулся в болото. Пускать снаряды оказалось можно нашей подрывной машинкой. Дальность их определили в 2–3 км.

Через несколько дней, а может быть на следующий день после пробы в болоте, было приказано весь запас снарядов выпустить по немцам, причём почему-то опять-таки всё это дело было поручено мне. Мне был выделен взвод нашего батальона и намечен участок фронта, где требовался артобстрел. Помню, что нам был выделен артиллерист для корректировки направления стрельбы, хотя бы примерного.

Снарядов было три или четыре ЗИСа, которые мы, по возможности, тихо подвезли к передовой. Поскольку укреплять и ориентировать снаряды надо было кустарно, привязывая их проволокой к телеграфным столбам или каким-нибудь брёвнам, мы решили произвести эту операцию по возможности скрытно, а потом уже сделать все выстрелы близко одновременно.

К сожалению, наш план оказался нарушенным. После крепления к брёвнам первой партии снарядов [1] оказалось необходимым их выпускать по немцам, так как последние стали концентрироваться и появились танки. У той воинской части, к которой нас придали, был наблюдательный пункт на колокольне, откуда нам и давали все сведения о противнике.

В итоге мы стреляли почти целый день. Нашу «батарею» довольно быстро засекли, и очень скоро после нашего залпа следовал сильный артиллерийский обстрел площади, где мы действовали. Через некоторое время над нами появился даже немецкий разведывательный самолёт – «рама».

Поэтому таскать тяжёлые снаряды, крепить их к брёвнам, давать им необходимый наклон и направление приходилось под огнём. Все мы трудились, не переставая, с каким-то подъёмом, и лишь при очень густом огне прятались в воронки.

Как ни странно, хотя от обстрела непрерывно рвались провода нашей подрывной сети и сплошь да рядом нас забрасывало землёй, за весь день только одного солдата легко ранило. Все были как будто неуязвимыми. Нам везло настолько, что даже когда один молодой солдат в этот день наступил на немецкую прыгающую мину (не знаю уж, почему она здесь оказалась), и она взорвалась над его головой, ни один осколок в него не попал. Он упал, мы все решили, что он уже погиб, а он через несколько минут вскочил и побежал дальше.

Когда мы уже «отстрелялись» и ехали домой, то смотрели и считали дырки в своих шинелях, и у всех было приподнятое возбуждённое настроение. Как нам было официально заявлено, наш обстрел был эффективным и результативным.

Должен закончить, однако, свой рассказ печально. Командир взвода, который так же, как все мы, был почему-то в тот день «неуязвимым», через несколько дней погиб в землянке в расположении роты при непонятных обстоятельствах. То ли там была мина, то ли имело место прямое попадание какого-то шального снаряда, осталось неясным. Помню, как мы хоронили сохранившиеся останки и дали залп у одинокого могильного холмика.

Затишье поздней осени 1943 г. и начала зимы 1944 г.

Осеннее наступление 1943 г. шло в августе-сентябре очень быстро, с приходом распутицы оно замедлилось и затем совсем остановилось. В нескольких моих письмах написано, что дни, очень насыщенные делами и событиями, чередуются с днями, не особенно загруженными работой, когда я занимался приведением в порядок «бумажных»

[1] Снаряды вылетают не одновременно, а через одну или несколько секунд друг по отношению к другу. Если их крепко не привязывать, то все снаряды разбросает, и они полетят в самых различных направлениях.

дел. Это в целом характерно для военной жизни, но, пожалуй, именно штабная работа не позволяет, как у строевых командиров, иметь полностью свободные дни. <…>

Наступление всё замедлялось, и на границе с Белоруссией мы совсем остановились. <…> По-моему, здесь я оказался свидетелем очень страшного случая. Нелепой гибели на войне многих людей. Почти рядом с домом, в котором мы жили, стоял недостроенный сруб. Одной ночью в нём расположился взвод солдат. Было очень холодно. Оконные проёмы затянули плащ-палатками, на пол положили сена. Ночью по чьей-то небрежности начался пожар. В темноте многие не могли найти дверь, также затянутую плащ-палаткой, внутри началась паника, и часть людей сгорели и многие обгорели. Мы все были свидетелями этого несчастья, но сделать никто ничего не мог. К тому же все ждали прилёта вражеских самолётов, так как пожар демаскировал расположение всех частей в деревне, и это вызывало общую тревогу. <…>

Как я уже упоминал, последнее время нашего пребывания на Западном фронте мы вместе со многими другими частями строили жердевую и колейную дороги в направлении Орши. Частично, особенно первое время, усилия были направлены на проталкивание застрявших в грязи из-за распутицы и бездорожья машин. Это была очень неблагодарная и тяжёлая работа.

Последнее время мы строили свой участок дороги, причём каждый вечер надо было на сборище всех командиров частей докладывать о том, сколько метров дороги проложено, сколько подготовлено жердей и т. д. Подходящий лес был не всюду около дороги, и выполнить норму было нелегко.

Отражение этой работы в нескольких строчках содержится в моём письме от 5 декабря:

«*...Уже без десяти двенадцать и надо ложиться спать. Только что приехал с места работ и от начальства. Слегка подморозило, и лошадка моя (я теперь передвигаюсь исключительно верхом) бежала очень бодро. Последние дни совсем было потонули в грязи и вели с ней энергичную борьбу, проталкивая сквозь неё машины. Сейчас станет немного полегче...*»

Я очень почему-то хорошо помню свои поездки домой после поздних летучек у начальства. Лошадь сама находила при этом дорогу к родной землянке, но в пути у меня довольно часто были мысли о том, чтобы меня в кромешной тьме осенней ночи не схватили в качестве «языка». Это было вполне возможно, так как всё происходило не так уж далеко в тылу.

Строили мы дорогу на Оршу около 10–15 дней, а потом, как я уже писал раньше, как всегда в армии, неожиданно переехали севернее на 2-й Прибалтийский фронт. <…>

Наступление начала 1944 г.

После нового 1944 г., сменив длительный период затишья, началось наступление наших войск. Оно развивалось не так активно, как в августе 1943, но до начала лета 1944 мы очень часто переезжали с места на место и понемногу двигались вперёд. От этого этапа работы батальона осталось не очень много воспоминаний. Попытаюсь как-то представить себе хоть внешне свою жизнь по письмам.

14 января:

«*Я сейчас живу всё в таких же сосновых лесах, как и раньше. Погода прекрасная, морозов ещё не было. Сейчас размещаемся в огромной землянке, которая всем хороша, только песок сыпется из всех щелей. Сегодня ночью меня просто совсем засыпало. Народу разного в нашей землянке очень много – шумно и весело. Вообще мой штаб за последнее время стал очень весёлым, наверное, из-за того, что работы немного. Я последнее время много путешествовал, а ещё больше ломался в пути и ремонтировал машину. В результате мой чудный полушубок стал совсем чёрным, а я сам неотличим от заправского шофёра.*»

21 января:

«*...Сейчас 23.30 и только что закончен чрезвычайно "шальной" день, когда я исписал огромное количество бумажек. Завтра подъём должен быть у меня в 7.00, а ночью ещё 2–3 "подъёма " (это всегда приносят распоряжения ночью, причём их тут же надо реализовывать). Поэтому и писать длинное письмо нет возможности.*

На улице все течёт, тает и вообще настоящей зимы ещё не было, сказывается, наверное, близость моря. Землянка наша понемногу осыпает на наши головы песок – словом, жизнь идёт своим чередом. Сейчас выпиваю ещё чайку, который всегда греется у нас, и ложусь спать.»

31 января:

«*...Живу уже снова в новом доме – теперь сыпется с потолка не песок, а глина, и вокруг не сосны, а ели. Очень красивые и приятные места: маленький ручей, в котором прекрасно умываться...*»

8 февраля:

«*...Не сетуйте за редкие письма. Я жив, здоров и бодр, но условия кочевой жизни не всегда позволяют писать. Как это сделать, например, под ёлкой у костра и, особенно, когда идёт снег. Да и отправлять письма часто неоткуда. Ведь мы сейчас довольно быстро двигаемся вперёд... По-моему, как раз в это время я как-то отогнул "уши" у шапки и увидел, что одно из них разорвано осколком. Наверное, если бы осколок прошёл в нескольких сантиметрах в сторону, то у меня была бы пробита голова. Но мне всё время везло!*» <…>

Примерно в это время или несколько раньше наша 2-я рота стояла в излучине р. Великой, где наши войска заняли небольшой плацдарм на западном берегу. Здесь были чрезвычайно сконцентрированы наши части, всё время шла артиллерийская дуэль между нами и немцами.

У меня сохранились некоторые воспоминания об этом плацдарме. Во-первых, помню, как я подходил к нему, отправившись во 2-ю роту, приходилось ложиться то под обрывчиком, то под какой-то кучей брёвен, когда обстрел становился чересчур сильным. А самоё главное воспоминание – несколько смешное, но оно могло стать весьма печальным. Рота стояла, врывшись в землю, на небольшой горке в нескольких сотнях метрах в тылу от неё расположились артиллеристы, которые вели огонь через наши головы. Когда я только пришёл в роту то, смеясь, сказал: «Как бы в нас тут наши не залепили». И, действительно, так оно и вышло.

Командир роты капитан Кузнецов жил в небольшой яме – блиндаже, крытом сверху плащ-палаткой. После моего прихода, как сейчас помню, спустились к нему обедать – есть жареную картошку с кониной. Недавно в роте убило лошадь, и все вокруг варили и ели конское мясо. Мы очень хорошо поели, а потом вылезли из-под земли и сели отдыхать на раннем весеннем солнышке, хотя ещё всюду лежал снег. Ординарец Кузнецова, помню даже, что его фамилия была Поляков, полез убирать наш «стол». Вдруг раздался взрыв – это артиллеристы, вместо того, чтобы стрелять через нас, попали в бруствер ямы Кузнецова. Плащ-палатка разорвалась на узкие ленты, а ординарец, как ни странно, совершенно невредимый, выскочил из ямы и, не поняв в чём дело, бросился в какое-то ближайшее укрытие. В итоге всё закончилось благополучно. Легко оказался ранен только один боец, сидевший совсем в стороне от ямы Кузнецова. <…>

С описанным плацдармом связано у меня ещё одно воспоминание совершенно другого рода. Высшее начальство считало необходимым послать с плацдарма инженерную разведку в тыл к немцам. Я настаивал на том, что это совершенно нереально при том количестве немецких войск, которые там были сосредоточены, и к тому же при

весенней распутице. Несколько дней длилась моя борьба с начальством, несмотря на обещание с его стороны разных неприятностей. Потом я уехал по какому-то делу, и в это время угодливый замполит снарядил двух солдат в немецкий тыл. Они, конечно, не вернулись. Это были очень молоденькие и симпатичные ребята. До сих пор жалею, что я не оказался на месте и не мог справиться с начальством, даже навлекая на себя его гнев.

Взвод разведки

Говоря о зиме начала 1944 г., мне хочется рассказать о своём общении и работе со взводом инженерной разведки. Этот взвод был сформирован в составе 1-й роты из молодых и наиболее толковых солдат. Был специальный приказ, который предусматривал создание такого взвода. Он должен был, отчасти наблюдая за немцами, но, главным образом, сразу же вслед за нашим наступлением отмечать все оставленные противником, а также естественные природные и искусственные препятствия: минные поля, заграждения, мосты и их состояние, проходимость дорог и т. д. Я очень хорошо помню, что в приказе специально было указано, что вся работа разведвзвода и обучение его людей должны были производиться начальником штаба батальона. Надо сказать, что эта работа оказалась мне очень по душе, и я здесь делал, может быть, несколько больше, чем сугубо формально полагалось. Вместе с тем, мои походы с разведчиками вовсе не нашли отражения в письмах. Я непосредственно ходил с той или иной группой разведчиков по только что отвоёванной территории, смотрел в стереотрубу на немцев, когда они ходили

по траншеям, и при этом учил солдат записывать и наносить на карту всякие важные для нас наблюдения. Отдельные эпизоды походов с разведчиками хорошо врезались в память, остались даже зрительно отложившиеся условия местности.

Первый запомнившийся эпизод связан с моим единственным и очень лёгким ранением. Я шёл с двумя, не помню какими, но знаю, что очень молоденькими разведчиками. Нам нужно было пересечь железную или шоссейную дорогу, которая усиленно простреливалась. В ожидании подходящего момента собралось сравнительно много бойцов. В это время начался интенсивный миномётный обстрел. Мои спутники бросились было бежать назад, в таких случаях огонь часто туда и переносят. Я помню, что схватил их и затолкал в старую воронку, где уже сидело несколько человек. Сам я оказался сверху, как бы закрывающим собой всю воронку. Нас несколько раз осыпало землей, но потом всё затихло, и мы благополучно выскочили из зоны обстрела. Оба спутника мои оказались легко ранены, и я, не знаю уж насколько хорошо, их перевязал индивидуальными пакетами. Своё ранение я обнаружил только, когда снял полушубок (а я, по-моему, сделал это лишь через два или три дня), по засохшему пятну крови на рубашке и гимнастёрке. Раньше я думал, что меня просто сильно ударило комком мёрзлой земли.

Второй эпизод оставил у меня более яркие воспоминания. Я тоже шёл с несколькими разведчиками. Нам надо было переходить по льду большое озеро. По нему всё время тянулись наши бойцы одиночками и группами. Надо было перейти озеро как можно быстрее, чтобы избежать обстрела. Вместе с тем нужно было быть очень осторожным, чтобы не угодить в полыньи, частично перекрытые снегом.

Мы выбрали время, когда обстрел несколько затих и наших бойцов на озере почти не было. Прошли благополучно около километра. Вдруг, когда до противоположного берега осталось метров пятьсот, показался немецкий самолёт. Это был маленький разведчик, который летел очень низко. Мы легли на лёд, но были без маскхалатов, в полушубках, так что прекрасно были видны на белом фоне. Самолёт медленно развернулся над нами и сделал круг. Лётчику ничего не стоило выпустить пулемётную очередь в нас, что, я думал, он и сделает. Я отчётливо видел «арийский» профиль лётчика, и мне даже казалось, что он улыбался, глядя на наши распластавшиеся на снегу фигурки.

Но почему-то лётчик не дал ни одного выстрела, и самолёт улетел на немецкую территорию.

Конечно, никакой экстраординарности для переживавших атаки или бывших в окружении в этом эпизоде не было, но, пролежав минут десять в ожидании пулемётной очереди на льду озера, я действительно, как это часто пишут, вспомнил всю свою жизнь и успел не раз распрощаться с ней.

Походы с разведчиками, в целом, запомнились горящими домами в деревнях, разбросанным имуществом беспорядочно отступавших немцев, нагромождениями трупов и прочими свежими, иногда страшными, следами боёв. Они связаны также с взятием некоторых трофеев, в которых я участвовал. Главный трофей был вездеход на комбинированном резиново-гусеничном и колёсном ходу, чуть ли не с шестью передними и задними скоростями. Мы потом ездили на этом вездеходе больше полугода, и он нас очень выручал, доставляя в любую распутицу в роты продукты и всякие материалы. <…>

В целом же мы доставляли довольно много полезных сведений и, кроме того, я бывал с разведчиками всегда с удовольствием, так как все они были очень хорошие ребята, с которыми был дружен, невзирая на нашу разницу в служебном положении и тогда казавшуюся очень большую разницу в возрасте. <…>

Начало лета 1944 г. – отдых и переформирование

Весна и начало лета 1944 г. проходили у меня очень мирно. Зимнее наступление приостановилось, а потом нас начали переформировывать. Из памяти выплывают только отдельные полузабытые картинки. О весне и начале лета, когда мы не участвовали в боевых действиях, кое-что говорят письма. В открытках, посылаемых по почте, обычно были всего одна-две фразы. Но более подробны письма, которые везли попутно отпускники. <…>

Вот одно письмо, относящееся к этому же, спокойному, периоду войны. Его отвёз в Москву Иван Михайлович Соболев. О том, что он вскоре после этого, перейдя с нелёгкой должности командира роты на спокойную работу по обобщению опыта войны, погиб, я уже писал выше [2]. А пока он ехал в отпуск, и по моей просьбе заехал на Тверской бульвар. В это время как раз нас «разлучили» с 10-й Гвардейской армией и мы стали входить в 26-ю инженерно-сапёрную бригаду. Вот что говорит моё письмо от 20 июня 1944 г.:

«*...У нас недавно прошла реорганизация, в результате которой наша часть несколько переформировалась и, главное, перешла в другую Армию. Кто-то удачно придумал называть новую нашу Армию "3-я мировая", так как сейчас во всём мире только шведская, турецкая и наша третья не воюют. Почти всю войну эта Армия стояла в обороне и сейчас тоже ничего активного не делает.*

Мы поэтому учимся, строим кое-что и т. д. Как всегда, когда нет боевых дел, начальство заваливает бумажками: то декадная сводка, то плановая таблица, то сведения на личный состав. Всё это надо составлять и подавать в точные сроки. По новому штату мне завдел не положен, и я тружусь поэтому с Раей вдвоём. Думаю, правда, взять ещё сверхштатного человечка для всякой писанины.

Условия жизни у меня сейчас не столь даже военные, как лагерные. Землянки несколько сырые, как им и надлежит быть, но большие и удобные. На кровати у меня простыня, под ней вместо матраца мелкие берёзовые веточки, в баню можно ходить хоть в три дня раз, кухня и столовая при ней рядом. При всём том очень скучно, и спасает только хоть иногда и бестолковая, но работа». <…>

Наступление в Латвии – лето 1944 г.

Я не могу сейчас точно восстановить, когда началось наступление в Прибалтике. Но ещё 9 июля я писал, что живу в сосновом лесу и пишу огромное количество бумажек, а 15 июля в открытке написано: «*Несколько дней не писал вам – всё время двигался... Теперь ехать к вам дальше, но это, конечно,*

[2] Так погиб наш командир 3-й роты Иван Михайлович Соболев. Он был значительно старше меня, и у него дома, по-моему, жили жена и две дочки. Как-то у меня с ним зашёл разговор о войне и о том, чтобы вернуться с неё живым. И вот совсем незадолго до конца войны его (он был гражданский – инженер) перевели из батальона в штаб бригады на спокойную работу по обобщению опыта войны. Помню, как он, довольный, говорил, что теперь у него все опасности позади. Через несколько дней после этого он подорвался на мине, составляя план какой-то старой, находящейся теперь глубоко в тылу линии обороны. (Из главы «Люди батальона», не вошедшей в данную публикацию).

не плохо... Ем в больших количествах чернику, пью молоко и употребляю прочие чудные вещи...» Это, наверное, значит, что мы переехали границу с Латвией. Я помню большой контраст Латвии с Калининской областью: в Латвии всё было относительно целое, а в России стояли только одни остатки печей вместо домов.

Июль и большую часть августа мы очень быстро двигались вперёд. В коротеньких открытках всё время отражено отсутствие времени и спешка и, вместе с тем, хорошее приподнятое настроение. Память сохранила от этого времени довольно много воспоминаний, но разрозненных.

Раскладывать всё штабное имущество и строить какой-нибудь блиндаж часто не хватало времени. Я писал и зашифровывал (к этому времени передавали донесения по радио, шифром, и у нас был очень молоденький радист, к которому как нельзя лучше подходил его первый позывной «воробей») свои донесения где-нибудь под кустом, на обочине дороги. С радистом-«воробушком» мы попали однажды под довольно сильную бомбёжку. Помню, что мы ехали на повозке, где и была наша довольно тяжёлая рация. Наши, не помню уже какие, попутчики разбежались, спрятались при появлении самолётов. Но мы не могли бросить лошадь, нашу тележку, а, главное, рацию. На дороге, как на грех, не было ни одного дерева, и мы ехали по ней в полном одиночестве, усиленно погоняя лошадь, смотря как вокруг (не знаю уж, почему немцы здесь бомбили) рвались бомбы.

По-видимому, в другой раз, но, может быть, даже в тот же день, надо мной в первый и единственный раз немцы кидали маленькие бомбы в кассетах – «чемоданах», раскрывавшиеся в воздухе. Смотреть на падающие «чемоданы» и слушать свист многочисленных бомб – занятие очень неприятное. Это, помню, было на опушке небольшого леска, где стояли наши «катюши», и я совершенно непроизвольно пополз в глубь зарослей. При этом разодрал брюки о колючую проволоку, и ругал себя потом за отползание от уже летящих бомб, которое ничем мне помочь не могло.

При быстром нашем продвижении и уходе немцев без больших боёв иногда было неясно, где наша и где немецкая территория. Один раз мы чуть-чуть не пострадали из-за этого. Не помню, что в это время делали наши роты, а мы, командование батальона – комбат, замкомбата и я – почему-то шли пешком по хорошей и совершенно пустынной шоссейке. Настроение у нас было очень благодушное, причём мы считали, что впереди нас где-то движется группа наших разведчиков. На самом деле они зашли в какой-то хутор попить молока.

Таким образом, мы дошли до отдельно стоявшего дома, каких много в Латвии. Помню, что мы зашли в дом, а замкомбата, капитан Кузнецов, дурачась, стал спрашивать, кто тут живёт, в частности обращаясь на чердак или мансарду, куда шла лестница. Никто не ответил. Потом мы сели отдохнуть около дома на сложенные там брёвна. Сидели и смотрели на расположенное впереди поле, обсуждая, что за фигурки движутся там между ржи или пшеницы. В это время к дому подходили отдельные солдаты, потом подкатили лёгкую противотанковую пушку. Когда скопилось здесь 10 или 15 человек, неожиданно с чердака дома, у которого мы сидели, застрочил пулемёт. Мы не бросились в дом, чтобы уничтожить засевших там немцев, как написали бы в книге или показали бы в кино, а отступили по придорожной канаве под вовсю свистевшими пулями. Когда мы бежали от злополучного дома, то нам навстречу через несколько сотен метров попалась цепочка наших бойцов. Здесь был наш передний край, а мы, оказывается, незаметно для себя «вышли» вперёд наших войск. В том поле, которое мы с интересом разглядывали, была передовая цепь немцев. Хорошо, что мы не полезли на чердак дома, а то вряд ли я смог сейчас рассказывать об этом случае. <…>

И, наконец, ещё один случай, запомнившийся мне и показывающий, какую важную роль играет на войне случайность. Мы ехали по недавно освобождённой местности. Наши роты работали над разминированием дороги. Трудность, насколько я помню, заключалась в том, что мины немцы устанавливали в несколько ярусов, то есть наряду с приповерхностными были мины глубокого заложения, которые срабатывали лишь после углубления дорожной колеи.

Хотя там, где мы ехали, всё казалось проверенным, движение не было открыто. Помню, что был хороший жаркий день, хорошее какое-то настроение, очевидно связанное с быстрым успешным наступлением. Ехали мы на полуторке. Я сидел с небольшой группой солдат и офицеров в кузове. Мы догнали знакомого мне (теперь уже не помню, кто был) майора из штаба инженерных войск Армии. Он шёл пешком по дороге. Я его пригласил в машину. Мы проехали ещё немного, и мне пришлось слезть, чтобы разобраться в работе наших сапёров: или переставить кого-то на новый участок, или решить ещё какие-то организационные вопросы. И как раз в это время, когда я слез с машины, она подорвалась на глубоко поставленной мине. Несколько лишних минут поездки, и я взорвался бы вместе с машиной.

Все пострадали по-разному, и как раз больше всех – майор, которого я пригласил в машину. Помню, что его несли куда-то на плащ-палатке. Думали вначале, что он убит, но потом из недр плащ-палатки раздался его голос.

Так случай на войне оказывался жестоким и неумолимым к одним и покровительствовал другим. Мне, почему-то, всю войну везло. <…>

Уже во второй половине августа движение наших войск и, соответственно, моё стало медленнее, и мы дольше жили на одном месте. Появились понемногу более длинные письма домой. Вот одно из них от 24 августа 1944 г.:

«*Наконец собрался написать Вам настоящее письмо. Думаю, что удастся, так как уже третий день мы живём на одном и том же месте и сегодня вторую ночь даже спим в доме.*

Дом наш на карте обозначен как "дом лесника", и, действительно, вокруг лес. Лес такой же, как у нас под Москвой, – сосны и сплошные заросли вереска внизу, который сейчас как раз цветёт. Стоят хорошие ясные, хотя и несколько прохладные, дни.

Сначала мы остановились прямо в лесу, как и большей частью последнее время. Все уже настолько приспособились к переездам, что моментально вырастают палатки, и лес принимает "жилой" вид. В палатке работать хорошо, но немного устаёт спина, и очень часто приходится вскакивать, так как и столы и стулья из ящиков, в которых все бумаги. Немного неудобно также с маскировкой, о которой вы, наверное, уже забыли.

Свет у меня теперь электрический, яркий, от аккумулятора, и Фёдорову моему приходится изощряться в затыкании дырок. А вообще и в палатке не плохо.

Что-то не получается длинное письмо. Под ухом Рая сличает со старшинами рот списки личного состава и путает мои мысли. А на улице играет гармошка, и вообще много "помех", как говорят мои радисты, когда у них никак не наладится связь.

Вчера переехали в дом и даже смотрели там после длительного перерыва кино – "Северная звезда". Очень любопытный фильм американцев о нашей жизни <…>. Сегодня, пользуясь осёдлой жизнью, подогнал несколько бумажные дела, а если ещё пару дней постоим, то и совсем все свои "грехи" ликвидирую. Но, конечно, лучше двигаться…».

<…>

Как мы воевали на месте пехоты

В Прибалтике поздней осенью 1944 г. и затем, после перерыва, в начале зимы 1945 г. наше наступление полностью прекратилось, и в официальных сводках, в газетах того времени писали: «Наши войска в Прибалтике доколачивают немецкую группировку». В связи с тем, что окружённые полукольцом и прижатые к морю немецкие войска, а, главным образом, оставленные немцами «власовцы» не представляли никакого стратегического значения, наше командование так же не прилагало, очевидно, специальных усилий для полной ликвидации довольно ещё большой вражеской группировки, занимавшей обширную территорию. Это выражалось, в частности, в том, что в Прибалтике не пополнялись постепенно уменьшавшиеся количественно (всё-таки и здесь шла война) наши части.

Осенью вместо этого был издан приказ использовать все рода войск в качестве пехоты. Во исполнение этого приказа, наш батальон дважды – осенью и когда-то в середине зимы – оказался на положении пехотного.

Зимой мы стояли в обороне, наверное, около месяца, но особых воспоминаний об этом времени у меня не осталось. На передовой всё было спокойно, хотя мы и потеряли несколько человек при редких перестрелках, артиллерийских дуэлях или стрельбе снайперов. Зато первое наше нахождение в обороне, длившееся всего полтора или двое суток, запомнилось очень чётко, и дорого обошлось батальону – за одну ночь мы потеряли, главным образом ранеными, более двадцати человек, и запросто могли бы этим эпизодом вообще закончить для себя войну или расстаться с жизнью.

В моих письмах этот эпизод можно угадать только по одной строчке. 5 октября, в день своего рождения, когда мне минуло 26 лет, я писал: «*Сейчас вновь после нескольких напряжённых рабочих суток, в работе затишье*». Я и сам только сейчас, просматривая письма, обратил внимание на эти слова. <…>

Нас определили в оборону с пехотой на правах не отдельной части, которой мы являлись, а стрелкового батальона. Этим все были недовольны: и командир полка, которому мы были приданы, и наше командование. Я совершенно не помню командира полка, может быть, даже и не видел его ни разу, только говорил с ним по телефону, но он ворчал, что ему дали для «затычки» участка фронта сапёров, которые и не воевали никогда в качестве пехоты. И действительно это было так.

Заняли мы оборону ночью. Мой командный пункт помещался в глубоком каменном погребе, а остальная часть штаба примерно в 500 м в тылу, тоже в погребе, но менее глубоком. Впереди нас находился один из взводов <…>. Слева оборону занимала вторая рота, а справа, немного в отдалении – первая рота. Третья рота была, по-моему, на каком-то другом задании. <…>

Когда ночью проводник из пехотного полка показал нам наши места, и я подписал акт о приёме участка обороны, то мы с замкомбата решили осмотреть свои владения. Сначала он остался на командном пункте, а я отправился во вторую роту. Помню, что траншеи, которые она занимала, были очень близко от немецких, отчётливо слышалась речь, и легко было ночью по ходам сообщения спутаться и попасть к противнику.

Я довольно быстро вернулся, после чего замкомбата ушёл в первую роту. И тут по какой-то причине, может быть, чтобы улучшить свою позицию или каким-то образом узнав, что против них стали сапёры, немцы решили немного продвинуться. Всё началось с ожесточённой артиллерийской стрельбы и усиленной концентрации противника в первой траншее. У нас, конечно, никакой артиллерии придано не было. Помню, что я, в первую очередь, позвонил командиру полка. Разговор наш, однако, свёлся к ругани с его стороны и грозному предупреждению, чтобы мы не смели отходить ни на метр со своих позиций. <…> Дальше мы, несколько человек находящихся в штабе, в основном ждали, что появятся немцы и нам, хотим мы этого или нет, придётся принять бой с ними и явно его проиграть. <…>

Очень хорошо помню ещё, как потом к нашему штабу шли раненые, которых мы отправляли во второй эшелон, где была санчасть. Их было порядочно, но казалось очень много.

Несколько позже, уже после длительной стрельбы немцев, <…> я, будучи не в силах больше ждать около штаба неизвестности, пошел во 2-ю роту, путь к которой уже знал с вечера. Оказалось, что часть бойцов 2-й роты сидела в каком-то овражке и утверждала, что их окопы уже заняты немцами. Я убедил их, что только что говорил с их командиром роты по телефону и что он на своём месте, после чего мы благополучно добрались до их линии траншей.

В целом к утру всё же оказалось, что немцы на отдельных участках нашей обороны продвинулись на несколько сотен метров. Утром на нас налетело сразу же множество проверяющих: из дивизии, корпуса, армии, не знаю ещё откуда. Мы получили строжайшее указание восстановить положение, что мы сделали, в конце концов, с помощью приданных нам огнемётчиков. Восстановление обстановки, то есть продвижение на несколько сотен метров, длилось целый день. <…>

Вечером, спустя около двух суток непрерывных действий и тревоги, мы, наконец, сдали участок обороны. Помню, что я и те, кто были со мной, сразу же заснули, и спали в самых различных положениях там, где нас застало свободное время. <…>

А война продолжалась. Правда, части наши в Прибалтике топтались на месте, и жизнь моя, в основном, была спокойной и не очень напряжённой. Иногда были артиллерийские обстрелы и бомбёжки. Помню, например, что прямо около штабного блиндажа тяжело ранило нашего бессменного почтальона Мазенина. Хорошо запомнил, что как-то оказался со связным в полосе обстрела и шёл через неё, не прячась, чем заслужил славу достаточно смелого человека. Втихомолку я этим гордился. А ещё обо мне все передавали, что я очень быстро и подолгу хожу и загоняю связных, что мне тоже импонировало. <…>

Окончание войны и послевоенные месяцы

В начале апреля начались разговоры о нашем отъезде из Прибалтики. <…> В открытке от 2 апреля я в «зашифрованном» виде написал: «*Серёжа пишет, что куда-то едет – чего доброго и в тыл его завезут*». Вместе с тем шли также упорные слухи, что нас отправляют на Дальний Восток. 15 апреля нас погрузили в эшелон, и мы отправились в неизвестном направлении. Все с любопытством смотрели, куда нас везут.

В первой открытке с пути написано:

«*За окном мелькают литовские деревни, сосновые леса*».

18 апреля в открытке сказано:

«*Позади остались белорусские пески, леса и болота. Впереди – запорожские степи. А что дальше – не знаю. Третий день стучит поезд по стыкам. Только теплее что-то не становится.*»

Наконец 21 апреля была послана открытка из Черновиц:

«*За окном на большой горе красивые белые домики – очень красивый город*».

Конечным пунктом нашего путешествия по железной дороге оказался город Плоешти. О нём остались воспоминания о многочисленных нефтяных вышках, грязи и повсюду цветущей сирени.

Не помню уже как я получил руководящие указания, но они заключались в необходимости готовить людей к сапёрному обеспечению боёв в горно-лесистой местности. Имелись в виду остатки немцев в Чехословакии. Но кроме этого общего указания никаких заданий батальон не получал. Дислоцироваться нам определили в каком-то большом румынском селе на равнине южнее Бухареста. <…> В этом удалённом от фронта селе и без большого скопления народа отметили мы день Победы. 10 мая я написал домой:

«*Вчера шумно праздновали победу. Салюты из всех видов оружия были такие, что все собаки попрятались и до сих пор их не видно и не слышно. Ракетой зажгли два сарайчика, которые, правда, дружными усилиями удалось быстро потушить. Всё время вспоминал Москву – у вас, наверное, там было что-то замечательное...*»

В этом, первом после Победы, письме я уже начал писать о том, как бы мне демобилизоваться и перейти на работу в геологию. Первая просьба в этом отношении была – получить в МГРИ и выслать копию диплома, который я потерял, вытаскивая машину из грязи, когда подъезжали к р. Великой. Дальше почти в каждом письме заключены просьбы о том, чтобы содействовать возвращению к геологии. <…>

А жизнь шла довольно однообразная и скучная, только из села мы переехали в лес, где были сконцентрированы все находящиеся в Румынии (а, может быть, только в одном районе) инженер-

ные войска. Чтобы лучше представить свою послевоенную жизнь, приведу несколько выдержек из писем.

«...*По случаю воскресного дня (которые теперь впервые за 4 года имеются частично и у нас) постараюсь описать свою жизнь подробнее. Живу в лесу южного типа – дубы и ещё какие-то лиственные деревья. Пока строятся нашими же силами нам глинобитные домики, живу в машине-полуторке. Обстановка – топчанчик, прикреплённый к стене, как в поезде, стол и сверху два "главных" сундука. Остальное частично под машиной, частично под указанной мебелью. Очень много пишу всяких скучных и канительных бумажек, ибо уже около 10 дней работаю один.*

По написанию письма собираюсь на реку, которая отсюда всего 300–400 метров. Помоюсь, покупаюсь и на песочке полежу. Культура наша поднялась до такой степени, что на берег привезли, говорят, даже военторг с пивом. Ну и то хорошо! Денег нам дают порядочно, но не рублями, а "леями", которые, хочешь не хочешь, надо тратить. Поэтому изредка пью виноградное вино и, по возможности, много (хоть и не всегда удаётся) ем черешню, клубнику и туту.

Но, несмотря на все перечисленные прелести, ужасно скучно. В боях время летело быстро, а здесь и занят всё время, а день тянется за днём, как улитки.» <…>

«*Ну, вот и всё. Представление о моей жизни вообще дать трудно, ибо весь стиль её очень уж отличен от привычной вам жизни. Может быть, ближе к старости я вдруг сочиню какие-нибудь "воспоминания одного из миллиона", но пока этого даже в мыслях не было, а только так сейчас на бумаге написалось*».

Я нарочно привёл эту цитату из письма, ибо, оказывается, уже тогда мелькала мысль о воспоминаниях. Жалко, что теперь уже многое забыто.

В румынском лесу мы жили до середины июля, а затем двинулись в Россию. Двигались мы своим ходом. По дороге я заехал в Бухарест <…>, ехали мы через города Галац и Рени, а затем пересекли Молдавию и на некоторое время встали в Тирасполе, как я помню, среди сплошных вишнёвых садов, где хозяева разрешали рвать ягоды столько, сколько можем съесть. Из этого периода нашей жизни приведу одно более подробное письмо от 21 июля. Оно начинается с эпиграфа из Пушкина «Цыгане шумною толпой по Бессарабии кочуют». Дальше я писал: «*Но зачем они выбрали для кочёвки эту страну, совершенно не понятно. Бескрайняя сухая степь, там, где не засеяна пшеницей и кукурузой, ничего не растёт, кроме колючек. Машина идёт с бугра на бугор, твёрдая земля гладка, как асфальт, и можно ехать час–два и не встретить на дороге ни одного села. Если не жить здесь, то проехать (особенно такому любителю путешествий, как я) по этим степям довольно интересно. А берега Днестра надеюсь найти более цветущими.*

За эти дни, кроме всего прочего, я стал этнографом: познакомился с гагаузами (!), болгарами и даже поляками. С интересом наблюдаю за бытовыми особенностями каждого народа, выискиваю знакомые корни слов и т. д.

Сейчас сижу в просторной беленькой комнате. Рамы на двух окнах закрыты, а третье окно в тени, и поэтому в комнате прохладно. А на улице палящий зной. В глубокой пологой долине, где расположено наше село, ни ветерка, и даже странно, что деревья и трава ещё зелёные и не сожжены солнцем.» <…>

Начало августа мы провели в Тирасполе. Оттуда уехала первая партия демобилизованных – «старички» и женщины, в том числе Рая. Оформлять демобилизованных – это была очень трудоёмкая работа, и поэтому с отъезжающей Раей я смог написать лишь несколько слов на клочке бумажки карандашом. Это было 9 августа 1945 года. Вот что я написал:

«*В панике и спешке последних двух дней даже не успел написать Вам письма. Сейчас пишу, сидя на обочине дороги перед строем демобилизованных, которые остановились в ожидании начальства. Обо мне Рая расскажет, что заменит, может быть, отчасти письмо. Живу ничего себе, но очень уж скучно. Наводит на грусть новая война – неужели задержат. Дописываю уже на станции на борту машины. Поэтому всё.*»

В дальнейшем мы переехали в какое-то село совсем рядом с Одессой. Здесь мы ждали теплохода, который должен был нас вести по Чёрному морю. <…> Переезд из Одессы в Новороссийск запомнился мне мало. Ехали мы – целая бригада в помещении гаража теплохода «Украина». Для меня памятна встреча с Михаилом Владимировичем Муратовым, ранее преподавателем МГРИ, после членом-корреспондентом Академии наук. Михаил Владимирович был моим консультантом в разных научно-популярных делах. А на пароходе, где он ехал на геологические работы на Кавказ из Крыма с несколькими студентками, мы встретились

очень тепло и даже отметили эту встречу в пароходном ресторане.

Прождав несколько дней в Новороссийске, проведённые мной, судя по письмам, в прогулках по его окрестностям, я, наконец, прибыл в Краснодар. Моя жизнь здесь была полна ожиданий демобилизации. Ещё из Румынии я посылал заявление в МГРИ о приёме в аспирантуру, но из этого ничего не вышло. Случайно в Краснодаре оказалась Крымско-Кубанская экспедиционная база Академии наук, которая занималась изучением карста. Один из деятелей этой базы был соседом Лидии Феликсовны Кон, и он обещал способствовать моей демобилизации. Таким образом, я чуть не стал специалистом по карсту, и уже потом, попав в Москву, когда меня демобилизовали, как геолога, я отделался от этой карстовой станции. <…>

5 октября 1945 г. в Краснодаре я писал одну из своих последних военных открыток, ещё с надписью «Смерть немецким оккупантам» и почему-то грузинского производства:

«...*Сижу, слушаю радио, читаю Ибсена и грущу. Несмотря на заверения в письмах, что вызов уже близок <…> перспективы, по-моему, довольно туманны, вернее, отдалённы. Может быть, хоть удастся вырваться в отпуск, а так что-то не верится. А очень хочется.*

Живу тихо, спокойно. Сегодня к вечеру вспомнил о своём рождении, но, к сожалению, ничем этот день не отметил. Письма приходят редко, и единственно, что спасает от скуки – достаточное количество работы».

Дальше события развивались довольно быстро. Дней через десять я уехал в отпуск. В Москве в Комитете по делам геологии я узнал, что уже включён в число демобилизуемых как специалист. <…>

Так прошли почти четыре года моей военной службы. Как я уже говорил, мне всё время очень везло, и никак не стараясь об этом, я провёл всю войну очень мирно и спокойно, хотя, конечно, иногда меня и могла настигнуть участь многих погибших в эти страшные годы. Война для меня означала и полную перемену всех жизненных устоев, которые были мне близкими с детских лет, так что эти годы, несмотря ни на что, были переломными и очень важными для всей моей дальнейшей жизни.

С. Д. Шер
Москва, 1979–1980 гг.

Об авторе

Сергей Дмитриевич Шер (1918–1990) окончил Московский геологоразведочный институт имени Серго Орджоникидзе. Участник Великой Отечественной войны, кавалер ордена Красной Звезды, награждён боевыми медалями. Вся его научная жизнь связана с ЦНИГРИ.

Крупный специалист в области геологии золоторудных месторождений, опубликовал более 130 работ. Вёл исследования на Урале, в Баргузинской и Ленской тайге, в Приамурье, Средней Азии, в том числе одним из первых начал геолого-структурное изучение золоторудного месторождения Мурунтау, руководил пионерными поисковыми работами в рудных полях Сухой Лог и Вернинское. Обобщил данные по золотоносности земного шара в двухтомной монографии «Металлогения золота» (1972, 1974).

А. А. Константиновский. «Был уверен, что стану художником…»

Автопортрет А. А. Константиновского

В 2020 году в первых номерах нашего журнала была напечатана (с небольшими сокращениями) повесть доктора геолого-минералогических наук А. А. Константиновского «Грозное и прекрасное». Эта история московской семьи, в 1941 году жившей в осаждённом городе, – часть личной летописи XX века, оставленной Александром Александровичем Константиновским. Он остро ощущал дыхание времени. Лейтмотивом его литературного творчества стали романтика полевой работы геолога, восхищение красотой природы тех мест, где довелось побывать – этой теме он посвятил серию рассказов «Далёкие голоса», которые иллюстрировал сам.

«В 1950 году окончил Московскую среднюю художественную школу, был уверен, что стану художником. Однако успешно сдав вступительные экзамены в Суриковский инстиут, не был принят. Вероятно, сработала анкета. Глухую стену больше пробивать не пытался. Окончил МГУ, стал геологом. Многие годы провёл в экспедициях, в основном по дальним "северам": Охотское море, Джугджур, Верхоянье, хребет Черского, Колыма, Тиман. Занимался геологической съёмкой, потом поисками месторождений алмазов и золота…»

Арест в 1937 году отца по 58 статье – «10 лет без права переписки» – в значительной степени определил и судьбу старшего сына: Александр Константиновский не стал профессиональным живописцем. Но совмещал глубокие научные исследования и художественное творчество.

К 90-летию со дня рождения писателя, художника, крупного специалиста в области металлогении, поисков и оценки месторождений золота и алмазов Александра Александровича Константиновского мы публикуем несколько репродукций его живописных и графических работ с цитатами из повести «Грозное и прекрасное» и рассказов цикла «Далёкие голоса».

В Москве 1940-х

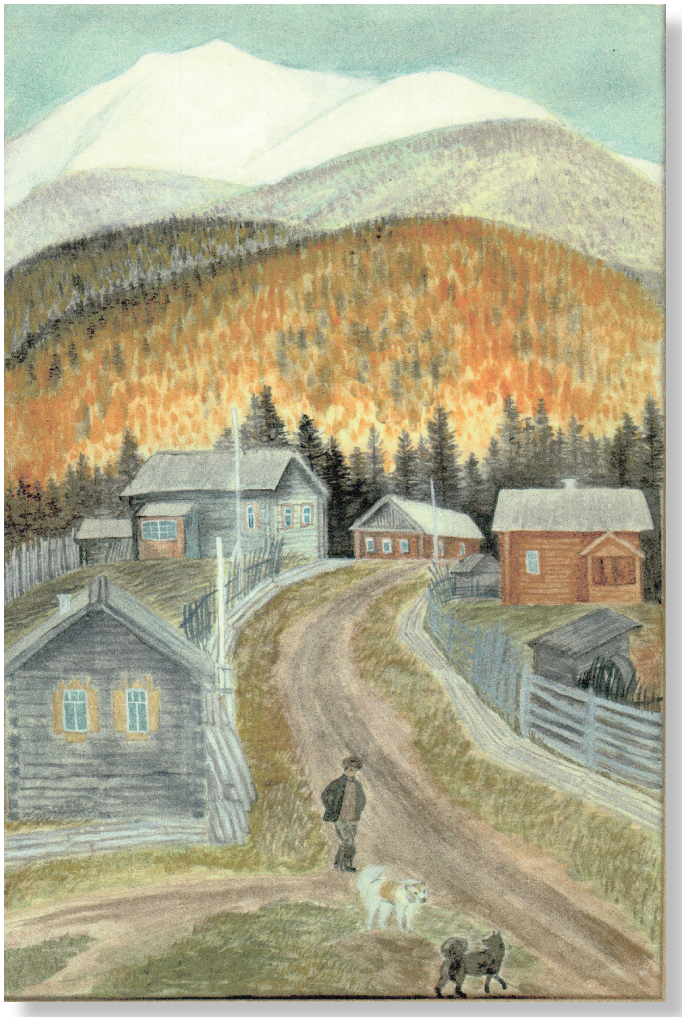
«Все в молчании уселись за стол и призадумались в тёплом свете низко висящего абажура… Впереди была ещё долгая война: разгром немцев и наше долгожданное наступление под Москвой…» (из повести «Грозное и прекрасное»).

А. А. Константиновский с лайкой Цезарем

«В свою первую дальнюю экспедицию я попал, когда начинал учиться в университете» (из рассказа «Горгочён»).

Село Соболиное на Шилке, 1957 г.

«Мы устроились на ночлег в добротном бревенчатом доме с крепким забором – заплотом по-сибирски. Цезарю отвели на ночь пустую собачью будку на широком подворье…» (из рассказа «Цезарь»).



Осень

«Тот давний полевой сезон удалось завершить необычно рано – в начале сентября. Стояла чудная золотая осень. Помню, как охватывала безотчётная молодая радость от холодной голубизны неба, свежего ветра, жёлтых лиственниц, с которых дождём сыпалась хвоя. По утрам в лучах восходящего солнца искрился и переливался цветными огоньками густой иней на мхах, увядшем багульнике и хваченных морозцем покрасневших кустиках голубики. Они звучно хрустели под сапогами…» (из рассказа «Курун-Урях»).

Каюр

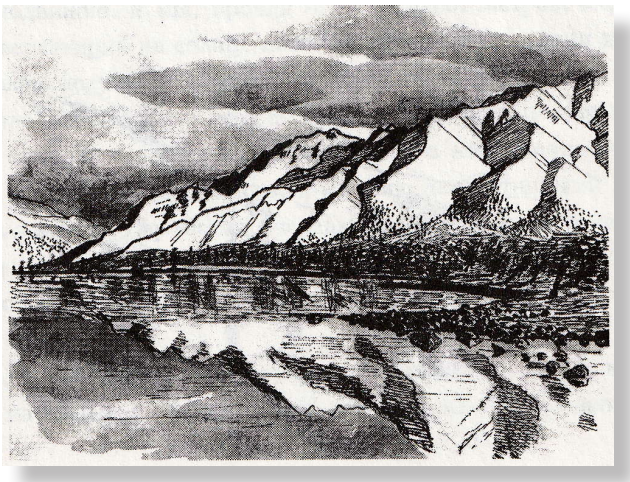
«…Стоило выйти из палатки, как тут же, откуда ни возьмись, из окружавшего редкого леса сбегались наши труженики-олени. Это ещё одна особенность осени: у них наступила острая тяга к солёному. Летом пугливые, сейчас они тесно обступали вышедшего человека, качали ветвистыми рогами, с которых начинала сдираться тонкая меховая шкурка, таращили глаза, тянулись тёплыми мордами к рукам, прося соли, и беспрестанно облизывались» (из рассказа «Курун-Урях»).

Башни Соловецкого монастыря

«*…Я знал от мамы, что именно там начинал отец свой путь по тюрьмам и ссылкам. Моя геологическая судьба привела однажды на эти острова в Белом море, и я увидел северное чудо: суровые стены и сторожевые башни, сложенные из огромных валунов, отражающиеся призрачной белой ночью в спокойных водах Святого озера… Здесь долгое время располагался центральный концлагерь, входивший до конца двадцатых годов в систему СЛОН – Соловецких Лагерей Особого Назначения. В 1939 году Соловки как места заключения прекратили существование. Лагеря и тюрьмы перевели на материк: ГУЛАГ разрастался…*» (из повести «Подснежники»).

Без названия

Утро



«…После изнурительного крутого подъёма по тайге перед нами неожиданно открылась величественная картина ледникого цирка – гигантского каменистого амфитеатра, напоминающего своей правильной округлой формой какое-то древнейшее культовое сооружение. Казалось, в нём таилась некая загадка, невысказанный зашифрованный смысл. Тёмное озеро, застывшее на дне чаши цирка, находилось ниже нас. Вытекающий из него Унях глухо ревел на дне узкого каньона, прорезающего оглаженный льдом скалистый порог – ригель – на входе в цирк» (из рассказа «Озерко с серебряным дном»).

«Как-то на высоком хребте натолкнулись мы на свежие отвалы каменистого грунта. Это были следы разграбления медведем кладовых бурундука с кедровыми орехами. В отвалах к нашей великой радости оказались во множестве крупные куски ракушняка – породы, битком набитой тонкоребристыми древними морскими раковинами, члениками морских лилий и отпечатками кораллов. Мы набили ими полный рюкзак… В Южном Верхоянье это была первая находка окаменелой фауны превосходной сохранности – спасибо безвестному медведю! С её помощью удалось определить геологический возраст толщ, раньше считавшихся немыми…» (из рассказа «В края далёкие»).

Первый снег на хребте Джугджур. Сентябрь 1966 г.

«Мы выходили из района работ, переход за переходом продвигаясь с караваном оленей на юг, в сторону большой реки Маи вниз по её протокам. Шли старым зимником, проложенным в начале войны после открытия в бассейне Иоткана золотых россыпей…» (из рассказа «Курун-Урях»).

Весна

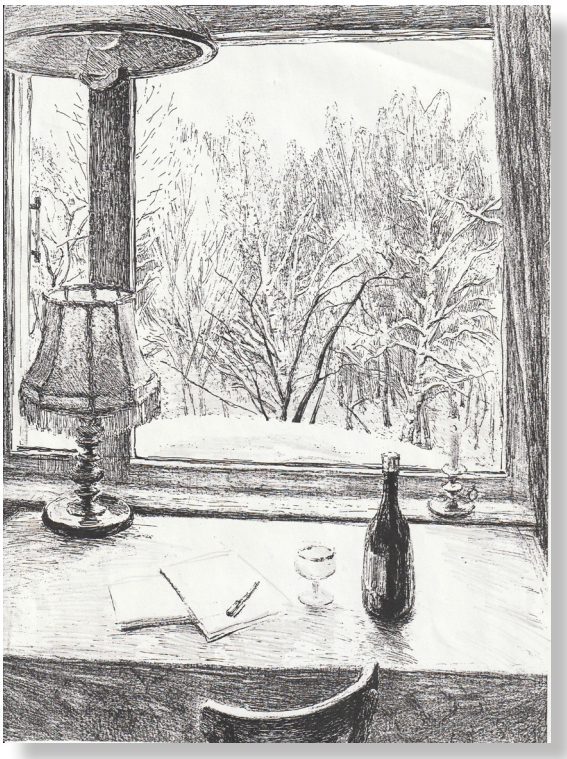
«В местном охотничьем хозяйстве нам посоветовали добраться пешим порядком до глухой деревеньки… Добирались мы по раскисшим весенним просёлкам почти целый день. До чего же хорошо было! С холма на холм, всё новые и новые горизонты, броды через разлившиеся ручьи, сверкающие на солнце, весёлые перелески, пение жаворонков в полях…» (из рассказа «Яичный горб»).

Вечер

«Наскоро выпив молока с вкусным хлебом, мы успели на тягу. Постояли в мелколесье на ближайшей опушке, посмотрели на закат, на постепенно тонущие в мягком сумраке два оставшихся от деревни дома, увидели, как замерцали первые звёзды. Нежное дуновение ветерка доносило запах жилья, временами слышались голоса и смех приветливых хозяев…» (из рассказа «Яичный горб»).

«…Грусть по весёлой беспечной молодости, ушедшим годам, суровым скитаниям, радостям первооткрывателя теперь, по прошествии многих лет, пришла к моему поколению. И я горжусь, что ходил по тем горам, разглядывал с вершин необъятные дали голубых хребтов, серебряные ленты горных речек в залесённых диких долинах и, опасаясь непогоды, следил за облаками, плывущими с холодного Охотского моря» (из рассказа «В края далёкие»).

«Со времени первого посещения пустынного Охотского побережья прошло много лет. Больше половины моей жизни. Но до сих пор, стоит прикрыть глаза – снова явственно вижу накатывающиеся длинные волны, слышу крики топорков и чаек в прибрежных утёсах, различаю лица и голоса людей, с которыми довелось там работать…» (из рассказа «На Охотском побережье»).



«Как хорошо бывает в тусклые декабрьские дни, когда зима ещё вся впереди, когда в палисаднике высокие сугробы, а переплетение древесных суков и ветвей за окном в пелене густого снегопада превращается в дремучее белое кружево. На столе листы чистой бумаги, в доме тихо. Через стекло доносится только короткий пересвист шустрых синиц на подоконнике…» (из предисловия к книге «Сверкающие снега»).

Редакция благодарна семье Александра Александровича Константиновского за помощь в подготовке публикации.

Тридцать лет спустя. История публикации книги С. Д. Шера «Моя геологическая жизнь»

В 2020 г. в Центральном научно-исследовательском институте цветных и благородных металлов вышла книга воспоминаний выдающегося исследователя золоторудных месторождений, доктора геолого-минералогических наук Сергея Дмитриевича Шера (1918–1990), автора классической монографии «Металлогения золота». Судьба его мемуаров необычна: книга под названием «Моя геологическая жизнь» представлена широкому читателю через 30 лет после того, как учёный завершил работу над рукописью. О существовании этого произведения знали лишь сотрудники ЦНИГРИ, работавшие вместе с С. Д. Шером. В их числе – автор настоящей статьи, которой в 1989 г. посчастливилось стать первым читателем. Коллеги были благодарны Сергею Дмитриевичу за неожиданный подарок.

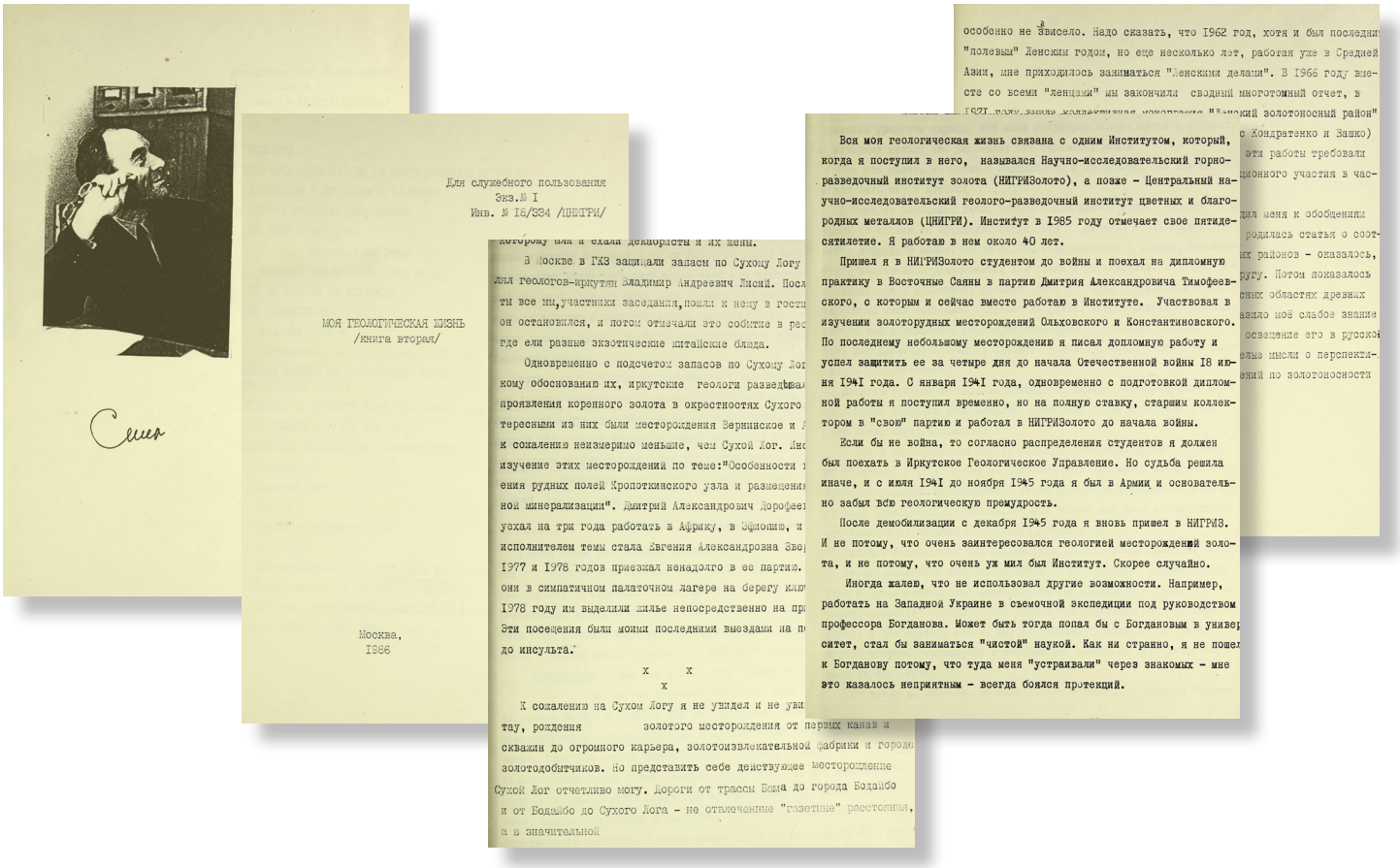
«…Руководитель сектором из меня, по собственной оценке, был плохой. Единственное, пожалуй, хорошо, что я не давал лишних указаний, понятных и без меня, и следил и обеспечивал, чтобы в секторе был хороший моральный климат. Это как будто удавалось, причём без большого моего труда». Читая заключительные строки книги «Моя геологическая жизнь», явственно представляешь себе Сергея Дмитриевича, вспоминаешь его голос. Крупнейший в СССР эксперт в вопросах металлогении коренных месторождений золота, он был прост в общении. В кабинете, где трудился коллектив золотой лаборатории ЦНИГРИ, размещались семь человек, включая заведующего: его стол стоял в правом углу, рядом со входом, и к Сергею Дмитриевичу почти постоянно заходили коллеги проконсультироваться, приезжали специалисты из других регионов. При появлении женщины он всегда вставал и не садился, пока не усадит гостью. Был очень деликатным человеком, негромким, ненастырным, и мы как-то не ощущали его начальственности, но все сотрудники лаборатории и сектора коренного золота ЦНИГРИ, которые работали под его руководством, всегда были при деле и очень много успевали. Даже если в силу сложившихся обстоятельств кто-то из нас не мог ехать в экспедицию, наш заведующий находил этой работе замену без ущерба для общего дела. В коллективе не было зависти, никаких противоречий. Такую атмосферу создавал Сергей Дмитриевич. Даже в самые трудные моменты его отличала сдержанность в выражении эмоций. Супруга Сергея Дмитриевича Шера – Раиса Александровна, с которой они встретились на фронте и прошли всю Великую Отечественную войну, рассказывала, что и в боевых условиях самым большим его выговором подчинённым были слова: «Это меня очень огорчило», после которых провинившимся становилось особенно стыдно.

Обложка книги С. Д. Шера «Моя геологическая жизнь», 2020 г.

В течение тех лет, когда мы работали вместе, Сергей Дмитриевич ни разу не обмолвился о том, что хотел бы написать мемуары. По крайней мере мы, сотрудники его сектора в ЦНИГРИ, никогда не слышали об этом. Возможно, он держал в уме

подобную мысль, но был так занят, что вряд ли на реализацию идеи нашлось бы время. Его письма и дневники хранили в семье – сначала мама Надежда Сергеевна Шер, потом жена. А Сергей Дмитриевич руководил лабораторией, вёл ряд научных тем, писал отзывы, рецензии, статьи, взаимодействовал с коллегами как учёный секретарь Совета ЦНИГРИ по защите докторских и кандидатских диссертаций, бывал на многочисленных совещаниях в разных регионах СССР, выезжал на полевые работы в Сибирь и Среднюю Азию. О событиях и встречах во время этой работы он рассказал в книге «Моя геологическая жизнь» годы спустя. Когда-то я подсчитала количество кратких и продолжительных полевых выездов С. Д. Шера в период с 1969 по 1978 г.: не менее 15 раз в Среднюю Азию и столько же в Бодайбо. Одновременно он готовил к защите свою научную работу «Эволюция типов и условий локализации месторождений золота в истории развития земной коры» и в 1977 г. стал доктором геолого-минералогических наук. Напряжённый график жизни сказался на здоровье Сергея Дмитриевича: в 1979 г. случился инсульт, и жизнь совершенно изменилась, теперь нужно было восстанавливать себя в тишине, в спокойной обстановке. Удар не причинил вреда его интеллекту и в наступившей внезапно паузе он, должно быть, много размышлял. А когда Сергей Дмитриевич немного поправился и смог передвигаться, он взял бережно сохранённые дневники и письма, зарядил свою печатную машинку и одной рукой (вторая была ещё обездвижена) начал печатать воспоминания.

С 1979 г. Сергей Дмитриевич Шер перестал быть нашим руководителем и выполнял в ЦНИГРИ работу консультанта. Сотрудники сектора навещали его дома. И вот однажды во время моего визита Сергей Дмитриевич достал рукопись и сказал, что написал воспоминания и хочет, чтобы кто-то из коллег их прочитал и высказал своё мнение. В библиотеку он не планировал передавать рукопись, так как там она могла потеряться. С этими словами



Для служебного пользования
Экз.№ I
Инв. № I6/334 /ЦНИГРИ/

МОЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЖИЗНЬ
/книга вторая/

Москва,
I986

Вся моя геологическая жизнь связана с одним Институтом, который, когда я поступил в него, назывался Научно-исследовательский горно-разведочный институт золота (НИГРИЗолото), а позже – Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ). Институт в I985 году отмечает свое пятидесятилетие. Я работаю в нем около 40 лет.

Пришел я в НИГРИЗолото студентом до войны и поехал на дипломную практику в Восточные Саяны в партию Дмитрия Александровича Тимофеевского, с которым и сейчас вместе работаю в Институте. Участвовал в изучении золоторудных месторождений Ольховского и Константиновского. По последнему небольшому месторождению я писал дипломную работу и успел защитить ее за четыре дня до начала Отечественной войны I8 июня I94I года. С января I94I года, одновременно с подготовкой дипломной работы я поступил временно, но на полную ставку, старшим коллектором в "свою" партию и работал в НИГРИЗолото до начала войны.

Если бы не война, то согласно распределения студентов я должен был поехать в Иркутское Геологическое Управление. Но судьба решила иначе, и с июля I94I до ноября I945 года я был в Армии и основательно забыл всю геологическую премудрость.

После демобилизации с декабря I945 года я вновь пришел в НИГРИЗ. И не потому, что очень заинтересовался геологией месторождений золота, и не потому, что очень уж мил был Институт. Скорее случайно.

Иногда жалею, что не использовал другие возможности. Например, работать на Западной Украине в съемочной экспедиции под руководством профессора Богданова. Может быть тогда попал бы с Богдановым в университет, стал бы заниматься "чистой" наукой. Как ни странно, я не пошел к Богданову потому, что туда меня "устраивали" через знакомых – мне это казалось неприятным – всегда боялся протекций.

Ротапринтное издание книги С. Д. Шера «Моя геологическая жизнь», 1989 г.

он вручил мне свой труд. Дома я прочитала мемуары «Моя геологическая жизнь» и сразу поняла их ценность: это не просто история одного человека, в книге охвачена сорокалетняя история института, более того, – история развития отечественной золотодобывающей отрасли в 1946–1980 гг.! Вслед за мной рукопись прочитали Лидия Александровна Николаева, ведущий сотрудник ЦНИГРИ в области изучения типоморфизма самородного золота, и сотрудники нашей лаборатории – Николай Яковлевич Гурейкин, Борис Яковлевич Вихтер. Все коллеги высоко оценили книгу. Мы полагали, что её следует издать. И я обратилась к заместителю директора института по научной работе Юрию Михайловичу Щепотьеву с просьбой прочитать рукопись и высказать мнение о возможности её публикации. Вскоре мы вновь встретились, и Юрий Михайлович признался: он начал читать и не мог оторваться. Книгу нужно опубликовать, но прежде необходимо получить заключение о том, что она не содержит секретных материалов (шёл 1989 г.). Юрий Михайлович попросил меня проделать некоторую техническую работу: в тексте он отметил моменты, где упоминались крупные месторождения (Мурунтау, Сухой Лог и др.), и нужно было скорректировать повествование так, чтобы эти объекты не были названы. Я, разумеется, всё исполнила. Но издать и даже размножить рукопись в то время было крайне сложно: в конце 1980-х годов в институте для этого просто не было технических возможностей. И тогда нам очень помогла сотрудница ЦНИГРИ Людмила Петровна Болдова, заместитель заведующего отделом геологии золота Юга СССР: она изыскала в институте средства, необходимые для размножения рукописи на ротапринте, и скоро мы получили 10 экземпляров. Прежде всего, мы переплели два тома «Моей геологической жизни» – две части книги, как задумано у Сергея Дмитриевича. На первой странице поместили его фотографию. Затем написали слова благодарности за эту книгу, и все ученики автора поставили свои подписи. А потом мы отвезли переплетённый двухтомник домой к Шерам и вручили Сергею Дмитриевичу. Это был незабываемый, радостный для всех момент. Он не ожидал. Он ведь не знал обо всех этих усилиях. И был очень удивлён и тронут. Удивлялась и радовалась Раиса Александровна.

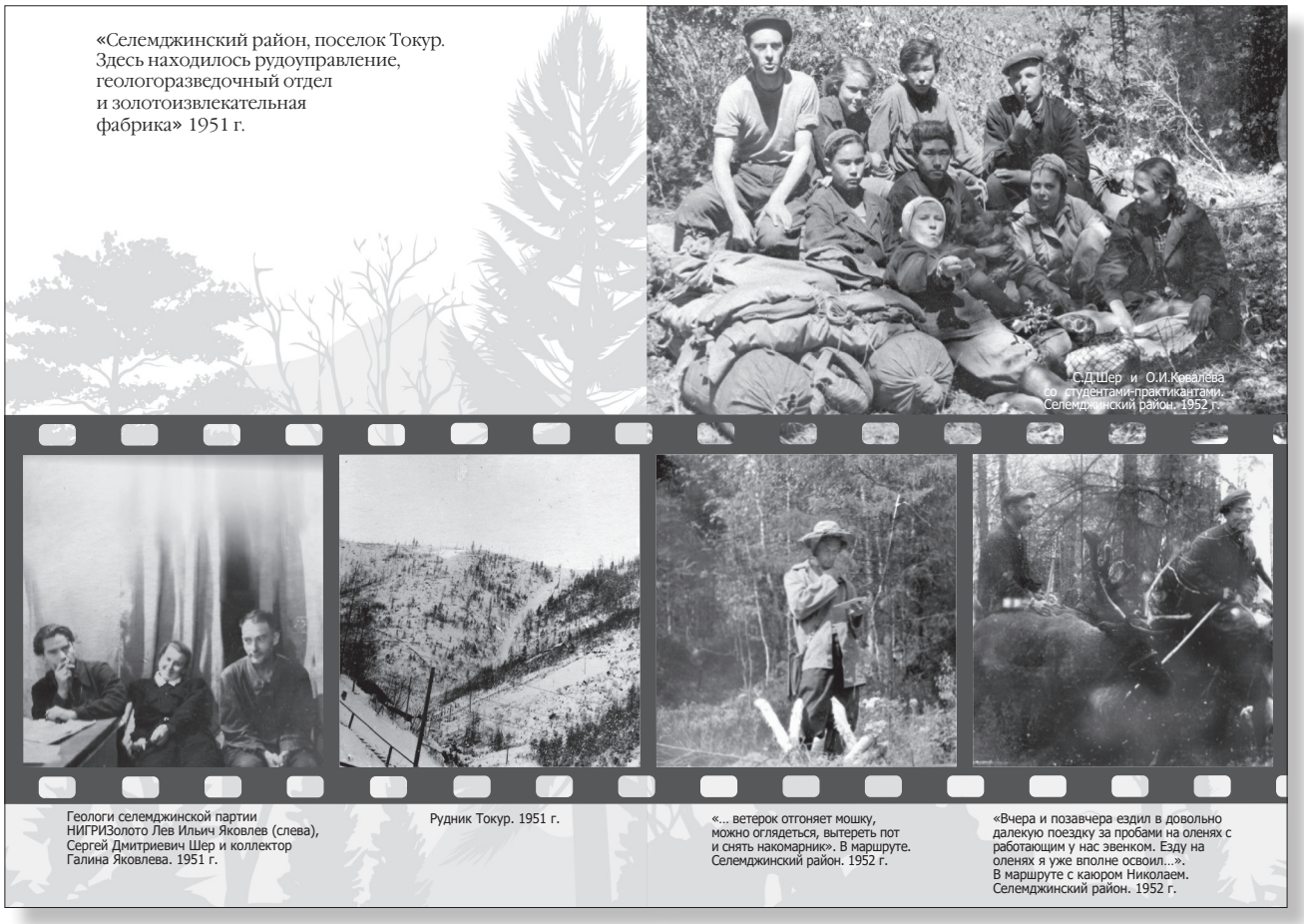
На рубеже 1980–1990-х гг. обладателями первых экземпляров книги «Моя геологическая жизнь» стали сотрудники созданной Сергеем Дмитриевичем Шером лаборатории – по существу, его ученики. О каждом он написал в своих мемуарах очень добрые слова. О ведущем специалисте ЦНИГРИ по изучению золоторудных месторождений Средней Азии Борисе Яковлевиче Вихтере в книге сказано: «…Мой товарищ и очень приятный хороший человек Борис Яковлевич Вихтер, начавший изучать Кызылкумы под моим руководством, а теперь уже значительно “переросший” в этом отношении меня». Старшего научного сотрудника ЦНИГРИ Дмитрия Александровича Дорофеева, исследователя Кокпатасского рудного поля, участника работ на Мурунтау, начальника геологической партии на месторождении Сухой Лог Сергей Дмитриевич охарактеризовал так: «…Дорофеев оказался непревзойдённым мастером глубоко осмысленной и вместе с тем художественной зарисовки горных выработок, что позволило улучшить наш первый Мурунтауский отчёт». О Юлии Георгиевне Зарембо, участнице первых исследований Мурунтау написано: «…Минералогического материала по месторождению у неё больше, чем у кого бы то ни было». Сергей Дмитриевич вспомнил на страницах книги и Николая Яковлевича Гурейкина, и Халида Хамидовича Лайпанова, и Чингиза Хайдаровича Арифулова и других своих аспирантов. Все вместе мы составляли мощный коллектив – научную школу, созданную нашим учителем в 1960–1970-е годы, и внесли значительный вклад в развитие минерально-сырьевой базы страны.

Особенность книги Сергея Дмитриевича Шера – документальность. В ткань воспоминаний умудрённого, прошедшего длинную жизнь человека вплетены дневниковые записи ещё молодого, с его мыслями и чувствами. Как истинный учёный, Сергей Дмитриевич никогда не отбирал факты под заранее определённую концепцию, и это позволяло ему видеть природу вещей во всей полноте и делать верные выводы. Так и в мемуарах: строки когда-то отправленных родным описаний экспедиционной жизни и работы он приводит без купюр. Это редкий пример честного повествования о том, как усталость и раздражение порою накрывают человека, обязанного в силу профессии жить в небольшом замкнутом коллективе, при этом выполняя трудную во всех отношениях работу. Коллеги хорошо знают: жизнь маленькой группы геологов в глухой тайге психологически похожа на полёт на орбите. Важно, что автор не раз даёт понять читателю: описанные в письмах и дневниках люди дороги ему. А самое главное, для него и героев книги «Моя геологическая жизнь» в

центре всегда их исследования, решение сложных профессиональных задач – как написал когда-то Сергей Дмитриевич, «среди многих интересных и увлекательных профессий одна из самых интересных и увлекательных – профессия геолога».

Хочется отметить замечательное оформление впервые изданной книги. Большая удача, что в этом издании использованы фотографии из архива Сергея Дмитриевича, в том числе сделанные им самим. Он был бы доволен тем, что на страницах «Моей геологической жизни» есть лица близких ему людей, приведены редкие экспедиционные фотографии – например, показан такой раритет, как шахта рудника Кочкарский с конным воротом в городе Пласт Челябинской области – фотография, которую он сделал для истории.

Сергей Дмитриевич обладал прекрасным чувством языка: вероятно, он унаследовал это качество от мамы, детского писателя. Если сотрудники приносили не очень хорошо отредактированные статьи, он забирал их домой и приносил исправленными минимально, но это был уже другой текст: гадкий утёнок превращался в лебедя. Литературный талант Сергея Дмитриевича нещадно эксплуатировали редакторы стенной газеты ЦНИГРИ: ему постоянно приходилось писать передовую статью, и он шутил по этому поводу. Немало сил и энергии требовала от него подготовка научно-популярных книг и статей, ставшая, как написал Сергей Дмитриевич, «органической составной частью» его жизни. Первый очерк «Камни под микроскопом» был напечатан в 1947 г. Хорошо известны детские книги С. Д. Шера: «По страницам каменных летописей», «Удивительные камни» и «Как ищут то, что в Земле лежит» (две последние написаны в соавторстве с сестрой Надеждой Дмитриевной). В 1960-е годы мы с Владимиром Гуреевым ехали в поле и на железнодорожной станции Сибирской магистрали обнаружили книгу «Как ищут то, что в Земле лежит». Купили её, читали в свободное время, а по



Страницы заключительной части книги «Моя геологическая жизнь» с фотографиями 1940–1970-х годов

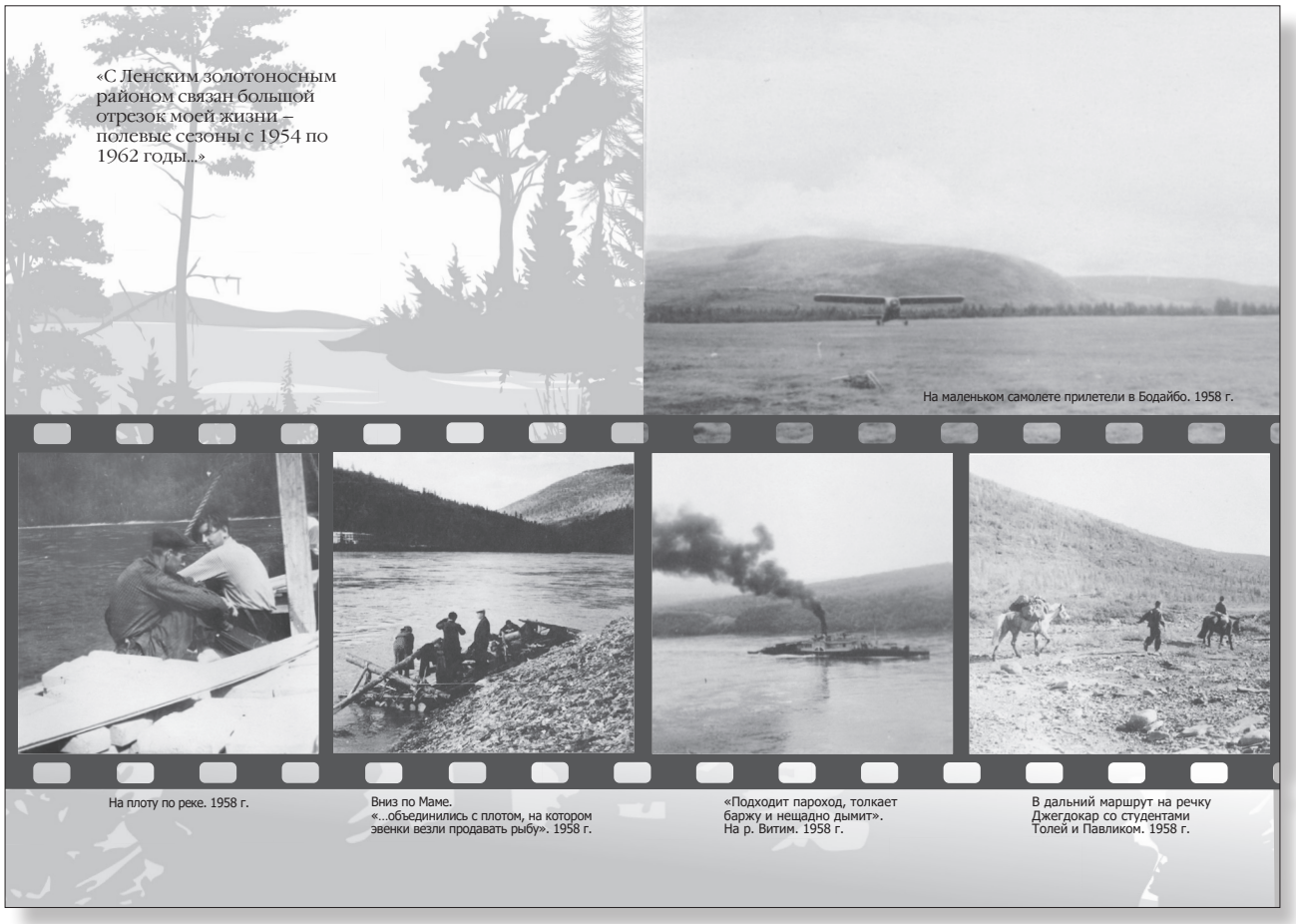
возвращении попросили автора подписать нам книгу на память.

В книге «Моя геологическая жизнь» рассказывается и о том, как в молодые годы Сергей Дмитриевич готовил радиопередачи. Самой серьёзной считал серию «Путешествие по геологической карте». Популяризацией науки он занимался так же ответственно, как собственно научной работой, привлекал обширную литературу. Существенной частью этой деятельности стали занятия с учениками подшефной ЦНИГРИ школы № 551: Сергей Дмитриевич организовал их очень хорошо – выступал сам, привлёк многих сотрудников нашего сектора и других отделов института. Некоторые из ребят участвовали в полевых работах.

Читая воспоминания Сергея Дмитриевича Шера, молодые геологи смогут хотя бы отчасти понять, насколько многогранен его талант. И осознают, какой титанический труд предшествовал созданию монографии «Металлогения золота» – книги, на которой выросло уже несколько поколений исследователей. Сергей Дмитриевич готовил её долго, широко пользовался реферативными журналами, великолепно знал литературу. По итогам этой многолетней работы он составил огромную картотеку и, уходя на пенсию, подарил её институту.

Хочется выразить признательность современному руководству ЦНИГРИ за издание книги «Моя геологическая жизнь». Мемуары Сергея Дмитриевича Шера – замечательная память о времени и людях, которые трудились вместе с автором. И я уверена, эта книга вновь найдёт своего читателя.

Е. А. Зверева,
кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник ЦНИГРИ в 1954–1992 гг.



из архива С. Д. Шера

7 декабря 2020 г. исполнилось 85 лет **Александру Николаевичу Барышеву**, доктору геолого-минералогических наук, почётному разведчику недр, академику РАЕН, ведущему научному сотруднику Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов.

Александр Николаевич Барышев начал свою трудовую деятельность в 1959 г. в ЦНИГРИ. Ныне он обладает большим опытом полевых исследований колчеданно-полиметаллических месторождений Кавказа, Урала, Рудного Алтая, Чингиза, Гиссара, а также Болгарии, Кубы. Ему принадлежат научные труды в области формационного анализа, структурной геологии, палеовулканических реконструкций генезиса оруденения и закономерностей размещения рудных полей и месторождений, прогнозирования оруденения.

Александр Николаевич Барышев внёс существенный вклад в решение проблемы генезиса рудноалтайских колчеданно-полиметаллических месторождений, в обоснование их принадлежности к вулканогенным рудообразующим процессам. Ему удалось расшифровать природу магматогенно-рудных узлов и выявить закономерности их развития, найти связь системы металлогенических подразделений с глубинными поднятиями разных слоёв Земли. Основой этих разработок стало применение комплекса методов тектонического, структурного, палеовулканического, металлогенического и тектонофизического анализа.

Александр Николаевич Барышев обосновал теоретически и продемонстрировал на примере реальных событий периодичность повторения в пространстве геодинамических и металлогенических систем. На основе тектонофизического анализа им спрогнозировано во фрактальной структуре геодинамических и металлогенических систем положение крупных и очень крупных месторождений.

На основе вышеназванных теоретических положений Александр Николаевич Барышев разработал серию методических рекомендаций к изучению минерагенических ресурсов перспективных геодинамических и минерагенических объектов. Эта значительная работа учёного направлена на повышение уровня надёжности исследований, позволяет своевременно исключать из планов ГРР бесперспективные объекты и оптимизировать затраты на проведение поисковых и поисково-оценочных работ, финансируемых из федерального бюджета.

Александр Николаевич Барышев – автор более 200 научных трудов, в том числе трёх монографий. Его имя хорошо известно в научном мире. Он ведёт большую работу как член диссертационного совета ЦНИГРИ. Александра Николаевича отличают настойчивость в достижении целей, жизненный оптимизм, трудолюбие, доброжелательность в отношении к сотрудникам.

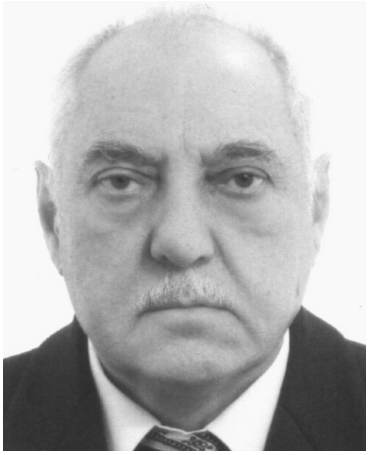
От имени всех коллег редакция журнала «Руды и металлы» поздравляет Александра Николаевича с юбилеем и желает крепкого здоровья и семейного благополучия, неиссякаемой энергии и новых научных исследований!

Заслуженный сотрудник геологоразведочной отрасли, помощник генерального директора ЦНИГРИ по режиму **Наталья Анатольевна Леонова** отметила 7 января 2021 г. свой 70-й день рождения.

Наталья Анатольевна трудится в Центральном научно-исследовательском геологоразведочном институте цветных и благородных металлов с 1971 г. и достигла в своей профессиональной сфере самой высокой квалификации. На протяжении почти полувека Наталья Анатольевна обеспечивает особый режим многих важных исследований и способствует привлечению информационных ресурсов, крайне необходимых для научно-технических проектов. Её работа связана с неукоснительным соблюдением порядка, сохранением государственной тайны. Она внесла немалый вклад во внедрение современных компьютерных методов обработки специнформации, используемой в ЦНИГРИ.

Высокая принципиальность Натальи Анатольевны Леоновой, чёткость организованной ею работы со спецматериалами позволили постепенно преодолеть существовавший в прежние годы «гриф закрытости» во взаимоотношениях сотрудников института и инспектора первого отдела. При сохранении необходимой специфики работа этого подразделения перестала восприниматься как нечто отчуждённое, а сама Наталья Анатольевна стала уважаемым и любимым членом коллектива, образцом неувядаемого оптимизма.

Редакция журнала «Руды и металлы» присоединяется к сердечным поздравлениям коллег и желает Наталье Анатольевне Леоновой надёжного здоровья, счастья, благополучия, успехов в работе!



12.06.1937 – 5.11.2020

5 ноября 2020 г. ушёл из жизни **Игорь Алексеевич Карпенко**, крупный специалист в области геолого-экономической оценки месторождений радиоактивных, цветных, благородных металлов и алмазов, кандидат геолого-минералогических наук, заслуженный геолог РФ, почётный разведчик недр.

С его именем связан ряд наиболее значительных проектов комплексной оценки рудных районов и месторождений, проведённых в период работы Игоря Алексеевича в Центральном научно-исследовательском геологоразведочном институте цветных и благородных металлов. Все эти работы сохраняют актуальность, ибо в каждой из них проявился свойственный Игорю Алексеевичу Карпенко творческий подход к делу, его умение находить неординарные решения самых сложных задач. Одним из последних достижений этого уникального, высокопрофессионального специалиста стала проведённая под его руководством и завершённая в 2010 г. геологическая, технико-технологическая и экономическая переоценка масштаба золотоносности месторождения мирового класса Сухой Лог. Коллективом И. А. Карпенко были разработаны условия недропользования, утверждены и поставлены на государственный баланс запасы месторождения Сухой Лог по новым кондициям в новых геологических границах. Работу по геолого-экономической оценке месторождения Сухой Лог ЦНИГРИ неоднократно выдвигал на соискание Государственной премии в области науки и техники.

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

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

В ЦНИГРИ Игорь Алексеевич пришёл работать в 1992 г. и через короткое время возглавил отдел, который осуществлял количественную многовариантную оценку территорий и перспективных объектов для проведения геологоразведочных работ и освоения месторождений. Это – одно из важнейших направлений работы института, и Игорь Алексеевич успешно реализовывал исследовательские и методические работы по комплексной геолого-экономической оценке регионов, рудных районов и месторождений. В их числе свинцово-цинковые месторождения Озёрное и Холоднинское, месторождение алмазов имени В. Гриба в Архангельской области. Были разработаны кондиции для подсчёта запасов различных типов руд Воронцовского месторождения золота. На основе технико-экономических обоснований и рекомендаций, предложенных И. А. Карпенко, в промышленное освоение вовлечены золоторудные месторождения Барун-Холбинское и Кедровское в Республике Бурятия, Кировское в Оренбургской области. В Красноярском крае проведена геолого-экономическая оценка россыпной алмазоносности Попигайского месторождения, в Республике Саха (Якутия) – золоторудного месторождения Кючюс. В 2010–2011 гг. Игорь Алексеевич Карпенко провёл геолого-экономическую оценку крупного медно-порфирового месторождения Песчанка, золоторудного месторождения Клён (Чукотка), свинцово-цинкового месторождения Сардана (Якутия) и ряда других объектов. Запасы по оценённым месторождениям поставлены на государственный баланс.

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

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

18.05.1936 – 16.11.2020

16 ноября 2020 г. не стало **Олега Сергеевича Набровенкова**, замечательного человека и специалиста, кандидата геолого-минералогических наук, лауреата премии Правительства Российской Федерации, ветерана Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов.

Исследования Олега Сергеевича Набровенкова были посвящены прогнозу и поискам россыпей золота, оценке перспектив россыпной золотоносности Ленского и Баргузинского районов, Восточной Сибири и Дальнего Востока, Полярного и Приполярного Урала, Таймыра и Киргизии, Монголии, Арабской Республики Египет, Никарагуа, Гвинейской Республики. В 1959 г. после окончания Московского геологоразведочного института им. Серго Орджоникидзе он начал работать в ЦНИГРИ, и вся его плодотворная научно-производственная деятельность была неразрывно связана с этим институтом.

Олег Сергеевич Набровенков был высококвалифицированным специалистом в области прогнозирования золоторосcыпных месторождений. В последние годы он активно занимался вопросами металлогенического районирования Приморских регионов Востока России в целях оценки их россыпной золотоносности, был ведущим экспертом рабочей группы по Новосибирской и Кемеровской областям. Исследования Олега Сергеевича Набровенкова, направленные на создание геолого-генетических основ прогноза и поисков россыпных месторождений золота, способствовали выявлению связей россыпей с различными типами источников питания, совершенствованию методики геолого-геоморфологического картирования, поискам золоторосcыпных провинций, оценке перспектив россыпной золотоносности традиционных и новых районов. Результаты его многолетних исследований послужили основой разработки геолого-геоморфологического блока легенд к комплекту карт «Экзогенная золотоносность и платиноносность РФ». Эта работа была удостоена высокой награды – премии Правительства Российской Федерации за достижения в области науки и техники за 2000 г.

Олег Сергеевич Набровенков – автор более 100 научных трудов. За значительный вклад в укрепление минерально-сырьевой базы страны он отмечен медалями «За доблестный труд», «В память 850-летия Москвы», знаком «300 лет горно-геологической службе России» и другими наградами.

Эрудированный геолог, специалист, влюблённый в свою профессию, скромный, доброжелательный, отзывчивый человек, готовый помочь советом и делом, – таким Олег Сергеевич Набровенков останется в памяти коллег.

Дирекция
Учёный совет
Редколлегия журнала

II МОЛОДЁЖНАЯ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ЦНИГРИ

17–19 февраля

Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов

ОТ ПРОГНОЗА К ДОБЫЧЕ

Организатор конференции – ФГБУ «ЦНИГРИ».

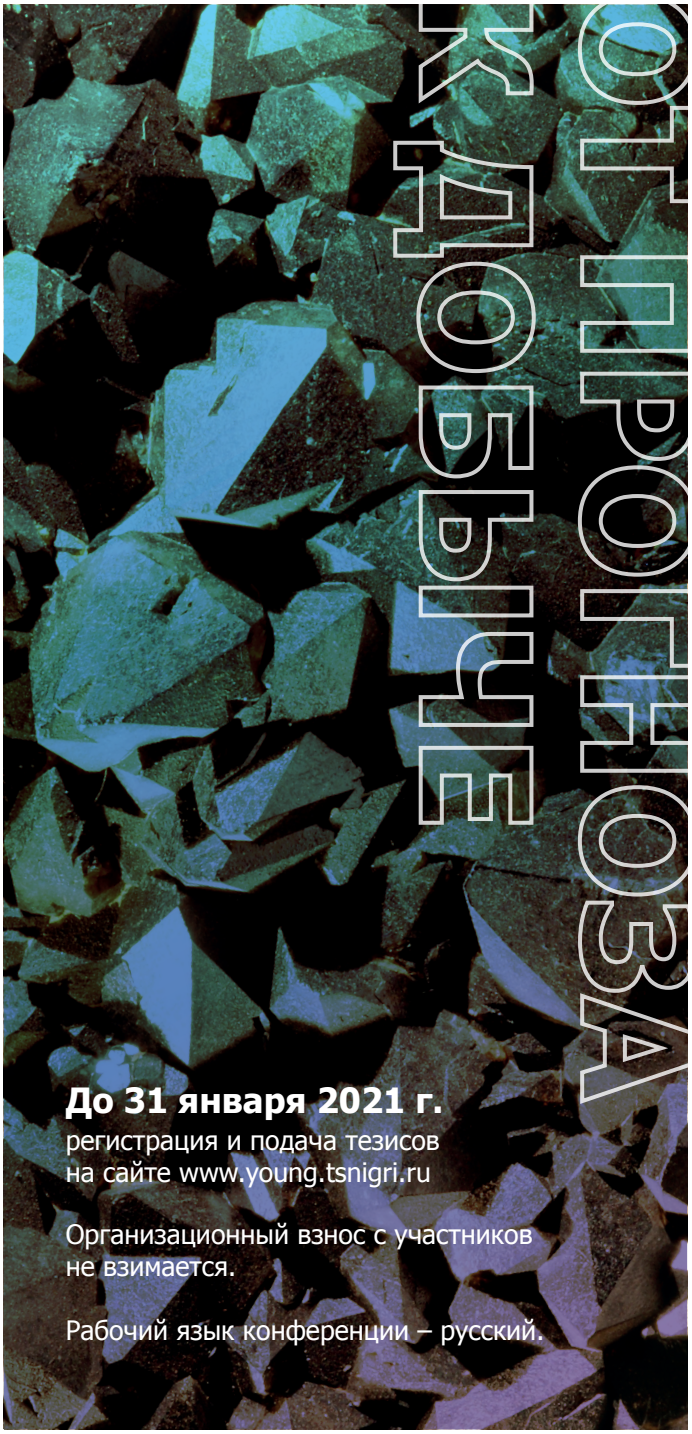
Принимаются заявки от студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов в возрасте до 35 лет.

На конференции запланировано проведение лекций ведущими специалистами академических и отраслевых институтов.

Конференция пройдёт в смешанном формате: докладчики будут иметь возможность выступить в зале конференций ФГБУ «ЦНИГРИ», для тех, кто не сможет приехать, доступно выступление в прямом эфире. Все лекции и выступления будут транслироваться онлайн.

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

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



До 31 января 2021 г.
регистрация и подача тезисов на сайте www.young.tsnigri.ru

Организационный взнос с участников не взимается.

Рабочий язык конференции – русский.

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

8(495) 315-26-01, секретарь конференции
Анастасия Владимировна Антонец

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

СПИСОК СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «РУДЫ И МЕТАЛЛЫ» В 2020 г.

ПРИКЛАДНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЯ

Чернышов А. И., Лоскутов И. Ю., Пугачёва Е. Е.
Прогнозная оценка хромитоносности ультрамафитов Байкало-Муйского офиолитового пояса, Северо-Восточное Прибайкалье. № 1. С. 12–21.

Гирфанов М. М, Истомин В. А., Котельников Е. Е., Третьякова И. Г., Васильченко В. Ю., Сагадеева Г. М.
Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы твёрдых полезных ископаемых исламской республики Мавритания. № 3. С. 4–10.

Глухов А. Н.
К вопросу геолого-генетической типизации архейских золоторудных месторождений. № 3. С. 11–21.

Масловский А. П.
Золоторудные месторождения Гвианского щита. № 4. С. 4–10.

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Миляев С. А.
Геохимические модели полиметаллических месторождений; опыт их применения при прогнозной оценке оруденения. № 1. С. 22–31.

Несис В. Н., Мотов А. П., Бутняков А. В.
Геохимические признаки и границы золоторудных полей района месторождений Горнячка и Пещерное, Северный Урал. № 1. С. 32–38.

Салихов Р. Ф., Толстов А. В., Салихова В. В., Кузьменок А. Н.
Реконструкции палеорельефа при поисках погребённых кимберлитовых тел на закрытых траппонасыщенных территориях (на примере Алакит-Мархинского поля). № 1. С. 39–50.

Владимирцева О. В., Шатилова Л. В., Гвоздева И. А., Бондаренко Н. В.
Типоморфные признаки самородного золота ручья Снежный, Республика Саха (Якутия). № 2. С. 4–9.

Карамышев А. В., Фёдорова К. С., Тарасов А. В.
Прогноз скрытого золотого оруденения в пределах Центрально-Колымского района по комплексу геолого-геофизических признаков методом распознавания. № 2. С. 10–24.

Миляев С. А., Самосоров Г. Г., Яблокова С. В., Шатилова Л. В., Позднякова Н. Н.
Геохимические особенности самородного золота как прямые признаки рудно-формационной принадлежности проявлений рудного и россыпного золота. № 3. С. 22–31.

Мотов А. П., Малах Ю. Е.
Параметры оценки потенциальной продуктивности участков Вересоборского массива на коренную платиновую минерализацию, Средний Урал. № 3. С. 32–38.

Рогизный В. Ф., Куликов Д. А., Мигачёв И. Ф., Донец А. И.
Вскрытие и отработка платино-палладиево-медно-никелевых руд участка Ниттис-Кумужья-Травяная. № 4. С. 11–21.

Язиков Е. Г., Филимоненко Е. А., Мишанькин А. Ю., Собянин Ю. П., Карпенко Ю. А.
Опытные работы по совершенствованию биогеохимического метода поиска золота в условиях криолитозоны (на примере территории Вьюнского рудного поля, Республика Саха (Якутия)). № 4. С. 22–31.

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Киселёва Г. Д., Языкова Ю. И., Коваленкер В. А., Трубкин Н. В., Борисовский С. Е.
Типоморфизм самородного золота, как индикатор различных типов оруденения крупного скарново-порфирового Au-Fe-Cu месторождения Быстринское, Восточное Забайкалье. № 1. С. 51–68.

Кулешевич Л. В., Лавров О. Б.
Au-Pd-Cu-Se-U-рудная минерализация рудопроявления Светлое в центральной Карелии. № 1. С. 69–86.

Мельников А. В., Степанов В. А.
Геологическая позиция находок уникальных самородков золота Нового Южного Уэльса (Австралия) и Приамурья (Россия). № 2. С. 25–32.

Москвитина М. Л., Дамдинов Б. Б., Дамдинова Л. Б., Извекова А. Д.
Минеральные ассоциации кварц-сульфидных руд Зун-Холбинского золоторудного месторождения, Восточный Саян. № 2. С. 33–46.

Серавина Т. В., Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Кузнецова Т. П., Елшина С.Л.
Серебро-свинцово-цинковые месторождения в вулканогенных ассоциациях Черемшанского рудного узла, Дальнегорский рудный район. № 2. С. 47–57.

Ефанова Л. И., Кузнецов С. К., Тарбаев М. Б., Майорова Т. П.
Золотоносность Манитанырдского района и перспективы наращивания ресурсного потенциала, Полярный Урал. № 3. С. 39–51.

Зайцева М. Н., Кузнецов В. В., Конкин В. Д., Серавина Т. В., Инякин А. В., Богославец Н. Н., Хачатуров М. М.
Обстановки формирования месторождений свинца и цинка Ангаро-Большепитской минерагенической зоны, Енисейский кряж. № 3. С. 52–67.

Макеев С. М., Муромцев Е. А., Макаров В. А., Белоконов Г. В.
Особенности металлогении свинца и цинка Енисейского кряжа. № 3. С. 68–84.

Толстов А. В., Черенков В. Г., Баранов Л. Н.
Генезис и возраст рудной толщи Томторского месторождения ниобия и редких земель, северо-восток Сибирской платформы. № 4. С. 32–44.

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И СВОЙСТВА ПОРОД И РУД

Бармин И. С., Морозов В. В., Поливанская В. В.
Исследование и разработка режимов сгущения и флотации шламовых классов лежалых хвостов. № 1. С. 87–93.

Веселовский А. А., Лайхан С. А.
Концепция переработки отвальных никелевых шлаков с предварительным доизвлечением металлов. № 1. С. 94–99.

Специус З. В., Лисковая Л. В., Иванов А. С., Богуш И. Н.
Особенности граната и клинопироксена в алмазосодержащих эклогитах из кимберлитовой трубки Удачная, Якутия: свидетельство метасоматоза. № 4. С. 45–53.

Юричев А. Н.
Акцессорные сульфиды из хромититов Харчерузского ультрамафитового массива, Полярный Урал. № 4. С. 54–64.

СТРОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ

Горев Н. И., Колесник А. Ю., Николенко Е. И., Проценко Е. В., Старостин П. В., Шахурдина Н. К.
История формирования среднепалеозойских кимберлитов Алакит-Мархинского поля, Западная Якутия. № 2. С. 58–68.

Кедрова Т. В., Богуш И. Н., Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д., Липашова А. Н.
Алмазы укугутской свиты россыпи Нюрбинская, Накынское кимберлитовое поле Сибирской платформы. № 2. С. 69–77.

НОВОСТИ, ИНФОРМАЦИЯ

ЦНИГРИ – 85 лет. № 1. С. 4–11.

ГЕОЛОГИ О ВОЙНЕ

Фрагменты из книги А. А. Константиновского «Далёкие голоса». № 1. С. 100–108.

Фрагменты из книги А. А. Константиновского «Далёкие голоса». № 2. С. 78–86.

Фрагменты рукописи Сергея Дмитриевича Шера «В военные годы». № 3. С. 85–96.

Фрагменты рукописи Сергея Дмитриевича Шера «В военные годы». № 4. С. 65–77.

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

А. А. Константиновский. «Был уверен, что стану художником…» № 4. С. 78–84.

Тридцать лет спустя. История публикации книги С. Д. Шера «Моя геологическая жизнь». № 4. С. 85–89.

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ

А. Ф. Морозова (№ 2), Г. К. Хачатрян (№ 2),
А. Н. Барышева (№ 4), Н. А. Леонову (№ 4).

ПОСВЯЩАЕТСЯ ПАМЯТИ

Б. А. Яцкевича (№ 2), Б. К. Михайлова (№ 2),
А. А. Черемисина (№ 2), Б. Я. Вихтера (№ 2),
А. Г. Воларович (№ 2), А. А. Константиновского (№ 3),
И. А. Карпенко (№ 4), О. С. Набровенкова (№ 4).

Список статей, опубликованных в журнале «Руды и металлы» в 2020 году. № 4. С. 95.

X МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

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

13–16 АПРЕЛЯ 2021

МОСКВА ЦНИГРИ

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

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

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

Официальные языки конференции – русский и английский.

Организационный взнос с участников не взимается.

Участие в экскурсии платное.

Окончание приёма заявок и оплаты участия в полевых экскурсиях – 22 февраля 2021 г.

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

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

conference@tsnigri.ru
www.conf2021.tsnigri.ru

8 (495) 315-26-83, ученый секретарь Ирина Геннадьевна Третьякова

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

Редакция: *Г. В. Вавилова, О. А. Грибовская, В. С. Жаркова*
Вёрстка: *В. Ю. Козлова, А. С. Рязанцева*
Оригинал-макет: *А. С. Рязанцева*
Фото на обложке (кианит): https://jmimport.patternbyetsy.com

Подписано в печать 21.12.20 г. Формат 30×42 1/2. Бумага листовая. Печать цифровая
Отпечатано в ЦНИГРИ: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1

Адрес редакции:
117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1, ФГБУ «ЦНИГРИ»
Телефон: 8 (495) 315-28-47
E-mail: rudandmet@tsnigri.ru, rudandmet@yandex.ru
Сайт: http://www.tsnigri.ru/ru/informatsionnye-resursy/izdaniya/zhurnal-rudy-i-metally.html

© «Руды и металлы», 2020