

# РУДЫ И МЕТАЛЛЫ

---

**4/2014**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

ОСНОВАН В 1992 ГОДУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Главный редактор Б.К.Михайлов**

Зам. главного редактора А.И.Иванов  
Зам. главного редактора Н.И.Назарова

Б.И.Беневольский  
В.И.Ваганов  
С.С.Вартанян  
А.В.Волков  
А.А.Головин  
Ю.К.Голубев  
В.С.Звездов  
П.А.Игнатов  
С.Г.Кряжев  
В.В.Кузнецов  
Д.А.Куликов  
Г.А.Машковцев  
И.Ф.Мигачев  
Г.В.Ручкин  
Г.В.Седельникова

УЧРЕДИТЕЛЬ

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ  
РОСНЕДРА МИНИСТЕРСТВА ПРИРОДНЫХ  
РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Издается при участии  
Международной академии минеральных ресурсов,  
Фонда им. академика В.И.Смирнова

**Москва ЦНИГРИ 2014**

**Руды и металлы**  
**№ 4 – 2014**

**ISSN 0869–5997**

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

Журнал по решению ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации включен в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук»

Редакция: *Н.И.Назарова, Г.В.Василова*  
Верстка и оригинал-макет: *Т.В.Лукина*

Сдано в набор 24.07.14 г.  
Подписано в печать 01.08.14 г.

Формат 30×42 1/2  
Бумага листовая  
Печать офсетная

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1, ФГУП «ЦНИГРИ»  
Телефон: 8 (495) 315-28-47  
Факс: 8 (495) 315-43-47  
E-mail: [rudandmet@yandex.ru](mailto:rudandmet@yandex.ru), [rudandmet@tsnigri.ru](mailto:rudandmet@tsnigri.ru)

Сайт Научной Электронной Библиотеки: <http://elibrary.ru>

Типография ФГУП «ЦНИГРИ»: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1

© «Руды и металлы», 2014

**Прикладная металлогения****Applied metallogeny***Божко Н.А., Прусакова Н.А.*

О перспективах коренной алмазности Карельского кратона

5

*Bozhko N.A., Prusakova N.A.*

On the diamondiferous perspectives of the Karelian craton

*Рыкус М.В., Сначев В.И.*

Марганцевое оруденение северной части зоны Уралтау, Южный Урал

13

*Rykus M.V., Snachev V.I.*

Manganese mineralization in the northern part of the Uraltau zone, South Urals

**Строение рудных месторождений****Anatomy of ore deposits***Савва Н.Е., Колова Е.Е., Пальянова Г.А., Хасанов И.М.*

Условия формирования золото-порфирового оруденения Сылгытарского гранитоидного массива

20

*Sawa N.E., Kolova E.E., Pal'yanova G.A., Hasanov I.M.*

Conditions of gold-porphyry mineralization of Sylgytarsk granodioritic massif

*Серавина Т.В.*

Обстановки локализации полиметаллических руд Березовогорского рудного поля, Рудный Алтай

30

*Seravina T.V.*

Environments for the localization of polymetallic ores Berezovogorskoye ore field, Ore Altai

*Абрамов Б.Н.*

Особенности формирования рудно-магматической системы Ключевского золоторудного месторождения, Восточное Забайкалье

37

*Abramov B.N.*

Forming particularities of ore-magmatic system from Kluchevskoy gold deposit, Eastern Transbaikalia

**Прогноз и оценка месторождений твердых полезных ископаемых с использованием современных компьютерных технологий****Mining and exploration techniques and technologies***Исоков М.У., Салиев Т.Р.*

Применение горно-геологических информационных систем на примере золоторудного месторождения Кызылалма, Узбекистан

44

*Isokov M.U., Saliev T.R.*

The application of mining-geological information systems by the example of Kyzylalma gold deposit, Uzbekistan

**Аппаратурно-технические средства и технологии геологоразведочных работ****Mining and exploration techniques and technologies***Беговатов С.С., Махнева Н.А., Власов А.В.*

История освоения и технология обогащения руды золоторудного месторождения Эльдorado в Енисейском кряже

49

*Begovatov S.S., Makhneva N.A., Vlasov A.V.*

History of development and technology of ore enrichment of the gold field Eldorado in Yenisey ridge

*Кузнецова И.В.*

Проблемы выделения наноразмерного золота при россыпной золотодобыче на примере Приамурья

52

*Kuznetsova I.V.*

The problems of nanogold extraction during the mine from placers in case of Priamurie

*Тарасов А.С., Куторгин В.И.*

Достоверность результатов вибровращательного бурения при разведке россыпи благородных металлов р. Уоргалан, Хабаровский край

58

*Tarasov A.S., Kutorgin V.I.*

Reliability of results of vibro-rotational drilling at investigation of a scattering of precious metals of river of Uorgalan, Khabarovskiy region

*Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Ковальчук О.Е., Тимофеев А.С.*

Особенности минералогического состава и распределения минеральных компонентов в отвальных хвостах обогащения алмазосодержащего сырья

67

*Chanturiya V.A., Dvoychenkova G.P., Kovalchuk O.E., Timofeev A.S.*

Special aspects of mineral composition and distribution of mineral components in the final tailings of blue ground processing

*Дроздов А.В., Егоров К.Н., Мельников А.И.*

Оценка прочностных показателей кимберлитов и вмещающих пород на глубоких горизонтах месторождения трубки Удачная

73

*Drozдов A.V., Egorov K.N., Melnikov A.I.*

Evaluation of strength characteristics of kimberlites and country rocks on deep horizons of deposit pipe Udachny



## О ПЕРСПЕКТИВАХ КОРЕННОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ КАРЕЛЬСКОГО КРАТОНА

Н.А.Божко (МГУ), Н.А.Прусакова (ФГУП «ЦНИГРИ»)

*Архейский Карельский кратон по геологическим и геофизическим характеристикам соответствует понятию «архон» — структуре согласно «правилу Клиффорда» благоприятной для локализации промышленных алмазоносных кимберлитов. Здесь имеются проявления четырех генераций непромышленных кимберлитов и лампроитов: палеопротерозойской, мезопротерозойской, неопротерозойской, вендской. Вместе с тем, в пределах кратона практически отсутствует палеозойский внутрилитный магматизм, продуктивный в плане алмазоносности для восточной части Балтийского щита. На основании анализа имеющихся факторов рассматривается потенциал коренной алмазоносности Карельского кратона и намечаются перспективные прогнозные участки.*

*Ключевые слова:* Карельский кратон, алмазоносные кимберлиты, «правило Клиффорда», коренная алмазоносность, перспективные прогнозные участки.

*Божко Николай Андреевич, bozhko@yandex.ru, Прусакова Наталья Александровна, na\_prusakova@mail.ru*

## ON THE DIAMONDFEROUS PERSPECTIVES OF THE KARELION CRATON

N.A.Bozhko, N.A.Prusakova

*The Archean Karelian craton by its geological and geophysical features corresponds completely to the term «archon» or structural unit favourable for localization of economic diamondiferous kimberlites according to «Clifford rule». There are four generations of noncommercial diamondiferous kimberlites within the Karelian craton: Paleoproterozoic, Mesoproterozoic, Neoproterozoic and Vendian. On the basis of available factors the prospects of diamond deposits in the Karelian craton is reviewed and perspective localities are planned.*

*Key words:* Karelian craton, diamondiferous kimberlites, «Clifford rule», diamond deposits, perspective localities.

Карельский кратон занимает особое место при прогнозировании коренных месторождений алмазов в восточной части Балтийского щита. Эта типичная область архейской консолидации, наиболее благоприятная, согласно «правилу Клиффорда», для потенциальной алмазоносности. В пределах подобных структур локализована значительная часть месторождений алмазов мира. Однако, несмотря на многолетние исследования, в пределах Карельского кратона промышленная алмазоносность до сих пор не установлена. В то же время, в последние годы получены новые данные по геологии, глубинному строению и алмазопоявлениям на его территории. Затронутая авторами ранее проблема перспектив коренной алмазоносности Карельского кратона [2] в данной статье рассматривается с учетом анализа имеющихся геолого-геофизических данных.

**Геологическое строение Карельского архейского кратона** отражено во многих публикациях, поэтому ограничимся краткими сведениями по этому вопросу, необходимыми для дальнейшего изложения. Кратон расположен в восточной части Балтийского щита, вытянут в север–северо-западном направлении, на юго-западе граничит с областью

Свекофеннид, на северо-востоке — с Беломорско-Лапландским подвижным поясом, отделяющим его от Кольского кратона (рис. 1). Современные геологические его ограничения не соответствуют, по-видимому, более значительной реальной площади занимаемой им архейской коры, на которой развивались внешние окраинные зоны Свекофеннского и Беломорского поясов.

**Фундамент** Карельского кратона представляет типичную гранит-зеленокаменную область — сложное сочетание гранитогнейсовых ареалов и собственно зеленокаменных поясов. В современном эрозионном срезе гетерогенный гранитогнейсовый комплекс основания занимает основную площадь кратона. Данный комплекс в значительном количестве содержит породы тоналит-гранодиоритового ряда (ТТГ) или «серые гнейсы» с модельным Sm/Nd возрастом более и (или) менее 3 млрд. лет.

Зеленокаменные пояса занимают около 20% площади кратона. Глубина этих структур не превышает 5–7 км. Они выполнены осадочными, вулканогенными и осадочно-вулканогенными породами лопия.

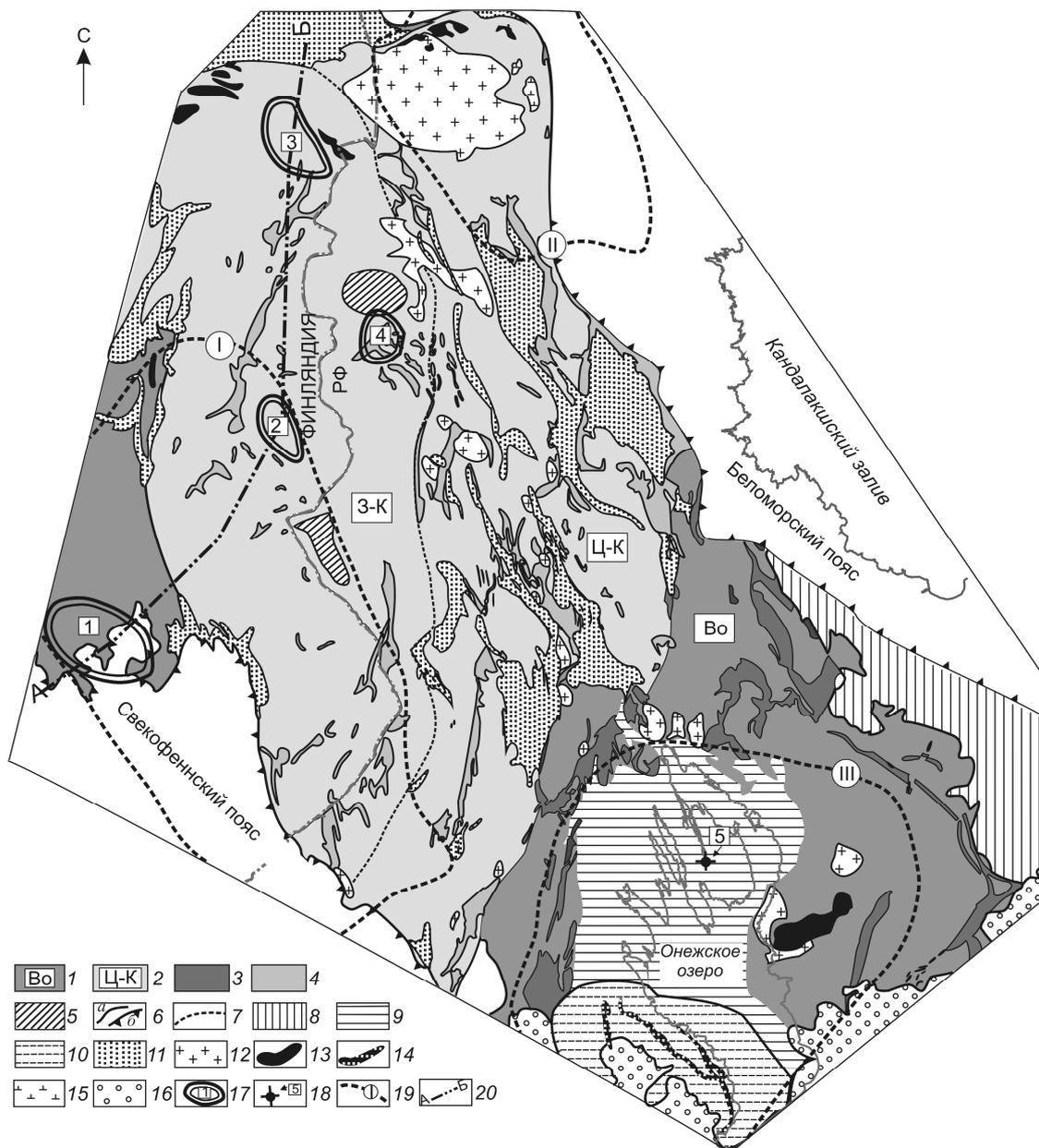


Рис. 1. Геолого-структурная схема Карельского кратона с элементами прогноза коренной алмазности:

структуры архейского фундамента (З-К — Западно-Карельский, Ц-К — Центрально-Карельский, Во — Водлозерский домены), представленные: 1 — гетерогенным гранитоидно-гнейсовым комплексом основания с породами тоналит-трондjemит-гранодиоритовой ассоциации (ТТГ) с модельным Sm/Nd возрастом >3 млрд. лет, 2 — то же, с модельным Sm/Nd возрастом <3 млрд. лет, 3 — осадочно-вулканогенными породами зеленокаменных поясов с возрастом >3–2,85 млрд. лет, 4 — то же, с возрастом <3–2,85 млрд. лет, 5 — ареалами низкобарических гранулитов; границы структур: 6 — Карельского кратона с Беломорским и Свеккофенским поясами (а — в целом, в том числе б — надвигового типа), 7 — между Западно-Карельским и Центрально-Карельским доменами Карельского кратона; структуры палеопротерозойского чехла кратона: 8 — авлакогены, 9 — Онежская эпикратонная впадина, 10 — Прионежский прогиб, 11 — присдвиговые прогибы; интрузивные породы: 12 — архейские гранитоиды, 13 — палеопротерозойские расслоенные базит-гипербазитовые интрузии, 14 — палеопротерозойские недифференцированные пластовые интрузии габбро-долеритов, 15 — палеопротерозойские пироксениты, нефелиновые сиениты; 16 — фанерозойский осадочный чехол Русской плиты; известные проявления кимберлитового и лампритового магматизма: 17 — районы и поля (1 — кимберлитов Куопио-Каави, 2 — кимберлитов-лампритов Кухмо-Лентиря, 3 — кимберлитов Куусамо, 4 — лампритов Костомукши), 18 — Кимозерское тело кимберлитов; 19 — контуры прогнозируемых алмазоперспективных площадей (I — Западно-Карельской, II — Северо-Карельской, III — Водлозерской); 20 — линия разреза, см. на рис. 2

В настоящее время принято разделение фундамента кратона на три домена: Водлозерский, Центрально-Карельский и Западно-Карельский [11].

*Водлозерский домен* (протократон) выделяется как область развития древнейших на Балтийском щите пород, представленных образованиями тоналит-трондьемит-гранодиоритовой ассоциации (возраст  $>3$  млрд. лет), среди которых преобладают тоналиты. Для гранитогнейсов ассоциации установлен один из самых древних возрастов в пределах Карельского кратона  $3540 \pm 90$  млн. лет [11]. К западной окраине Водлозерского домена приурочена древняя Водлозерско-Сегозерская генерация зеленокаменных поясов Карелии, сформировавшихся в интервале 3,02–2,93 млрд. лет. Пояса сложены коматититами, базальтами, андезит-базальтами, андезитами, вулканитами кислого состава, вулканогенно-осадочными породами. В составе более молодой генерации зеленокаменных поясов (2,9–2,85 млрд. лет) на северной и северо-восточной окраинах домена значительную роль играют бимодальные вулканиты. Формирование зеленокаменных поясов сопровождалось активным магматизмом основного и кислого составов, продолжавшимся и на этапе 2,85–2,7 млрд. лет.

*Центрально-Карельский домен* расположен между более древними Водлозерским и Западно-Карельским. На юге он граничит со Свекофенским поясом, на севере — с Беломорским. Преобладающие породы на его площади — тоналиты, граниты и мигматиты с возрастом 2,72–2,75 млрд. лет. Основная часть Центрально-Карельского домена образовалась путем аккреции — последовательного приращения друг к другу серии позднеархейских островных дуг с запада на восток. Эта же территория испытала в раннем протерозое интенсивные процессы транспрессии.

*Западно-Карельский домен* занимает западную часть Карелии и Восточную Финляндию. Восточная его граница по изотопным данным проведена вдоль западного края парагнейсового пояса Иломантси-Нюк. Северная граница — условна из-за отсутствия геологических и изотопных данных. Современный эрозионный срез домена сложен архейскими породами с возрастом от 2,86 до 2,70 млрд. лет. Почти 90% пород это плутонические образования кислого и среднего составов (ортогнейсы и гранитоиды). Вместе с тем, в фундаменте домена на территории Финляндии выделяются относительно древние блоки, часть из которых сходна по возрасту (3,2–3,4 млрд. лет) и составу с Водлозерским доменом.

В фундаменте Западно-Карельского домена выделяются также сравнительно небольшие по пло-

щади ареалы изометричных очертаний, сложенные кристаллическими породами, среди которых присутствуют гранулиты. Они формировались в низкобарических и высокотемпературных условиях, что связывается с наличием локального термального плюма [8].

Наличие в фундаменте Западно-Карельского домена блоков, различающихся по возрасту слагающих пород, позволяет рассматривать его образование как результат тектонической аккреции — последовательного приращения серии позднеархейских островных дуг [11].

По тектоническому строению Карельский кратон сходен с большинством позднеархейских с «ядрами» или протократонами ранне- и среднеархейской консолидации, подобными Водлозерскому домену. Таковы блоки Токве в кратоне Зимбабве, Витс в Каапваальском кратоне, Антон в кратоне Слейв и др. При этом, вопреки логике «правила Клиффорда», максимальная плотность локализации промышленно алмазоносных кимберлитов отмечается не в центральных частях блоков, а на их флангах.

*Протоплатформенный чехол* Карельского кратона сложен нижнепротерозойскими слабометаморфизованными осадочными и вулканогенными породами, с резким несогласием перекрывающими архейский фундамент. В современной структуре палеопротерозойские комплексы выполняют относительно протяженные рифтогенные пояса типа авлакогенов (Ветренный пояс), разрозненные присдвиговые прогибы и отдельные впадины, наиболее крупная из которых — Онежская.

Наличие раннепротерозойского протоплатформенного чехла в пределах Карельского кратона позволяет сравнить его с другими архейскими кратонами, например Каапваальским, а Онежскую впадину с Трансваальской. Это является положительным фактором, поскольку наиболее крупные алмазоносные кимберлитовые провинции характеризуются развитием протоплатформенного или платформенного чехла, содержащего траппы.

***Внутриплитный магматизм и алмазоносность Карельского кратона.*** Внутриплитный магматизм в пределах кратона характеризуется дискретностью и коррелируется с суперконтинентальной цикличностью. При этом в процессе развития кратона его объем уменьшается. Магматизм связан с несколькими временными уровнями: конец архея, ранний палеопротерозой, поздний палеопротерозой, ранний, средний, поздний рифей и венд. Со второй половины палеопротерозоя после обособления Карельского кратона в структуре Балтийского щита отмечается различие в характере магматизма кратона и смежных областей.

подавляющее большинство алмазных месторождений мира связаны с кимберлитами и лампроитами — продуктами внутриплитного магматизма. В пределах Карельского кратона к настоящему времени установлены алмазоносные кимберлиты и лампроиты четырех генераций [2, 7 и др.].

*Кимберлиты позднего палеопротерозоя* представлены Кимозерским телом алмазоносных метакимберлитов, расположенным в центральной части Заонежского полуострова в 75 км к юго-западу от г. Петрозаводск [12]. Тело приурочено к осевой части крупной пластовой интрузии габбро-диабазов, залегающей в нижнепротерозойской толще, сложенной чередующимися горизонтами черных шунгит-содержащих сланцев и потоками метадиабазов. Выход кимберлитов размером 2×0,8 км имеет блюдцеобразную форму.

Кимозерское кимберлитовое тело подразделяется на два структурных элемента: четко стратифицированную силлоподобную залежь, слагающую крылья брахиантиклинального поднятия, и центральную зону тела, представляющую собой, скорее всего, продукт заполнения подводящего канала. Стратифицированная силлоподобная залежь имеет четырехслойное строение и характеризуется довольно отчетливым единообразием слагающих ее компонентов практически по всему обрамлению структуры.

В пробах, отобранных относительно равномерно по площади тела, выявлены более 110 кристаллов алмаза размером до 2 мм (А.Г.Леонтьев, Ю.Б.Голованов и др., 2003 г.). Почти все позитивные пробы приурочены к стратифицированным горизонтам, в то время как массивные компоненты кимберлитового тела практически не алмазоносны. Происхождение Кимозерских кимберлитов, возможно, такое же, как кимберлитов Стар (Саскачеван), Токапал (Индия), Бакванга (Центральная Африка), образующих в результате эруптивных извержений согласные пластовые пирокластические залежи [20].

Возраст кимберлитов по данным Sm-Nd метода  $1764 \pm 125$  млн. лет [12], U-Pb метода —  $1986 \pm 4$  млн. лет [7]. Это одни из самых древних, если не самые древние, кимберлиты на Земле. Наиболее близки к ним по возрасту неалмазоносные кимберлиты провинции Куруман кратона Каапвааль в Южной Африке ( $1787 \pm 69$  млн. лет) [7].

*Среднерифейские кимберлиты и лампроиты.* Со среднерифейским магматизмом связаны следующие месторождения алмазов: Аргайл в Австралии, представленное оливиновыми лампроитами ( $1178 \pm 47$  млн. лет); Кришна ( $1224 \pm 14$  млн. лет), являющееся основным источником знаменитых ин-

дийских алмазов, представленное также лампроитами; Премьер в Южной Африке (1150–1230 млн. лет), сложенное кимберлитами, из которых были добыты наиболее крупные в мире алмазы. В пределах Карельского кратона среднерифейские кимберлиты и лампроиты вскрыты в районе Кухмо – Лентира – Костомукша, расположенном вдоль двух сторон финско-российской границы в западной части кратона. Они включают трубки и дайки кимберлитов и лампроитов в некоторых случаях алмазоносных.

В Костомукшском горнорудном районе широко развиты оливиновые лампроиты, слагающие, по данным работы [4], Костомукшское, Таловейское, Корпангское дайковые поля и Корпангский, Южно-Корпангский, Юго-Западный, Центральное-Костомукшский, Северо-Таловейский и Южно-Таловейский кусты тел. Всего установлены 81 дайка и 20 небольших диатрем. Наиболее крупное Костомукшское дайковое поле занимает площадь 18 км<sup>2</sup>. Здесь выявлены 35 даек лампроитов. Помимо даек, закартированы небольшие по высоте блюдцеобразные диатремы с подводящими дайковыми каналами. Кроме того, в Центральном карьере обнаружены брекчиевые кимберлитоподобные апофизы, представляющие собой эксплозивную «зелень» с полным набором высокобарических минералов. Эксплозивные брекчии лампроитовых диатрем алмазоносны в пределах Корпангского и Северо-Таловейского кустов. Здесь выявлены кристаллы алмазов размером от 0,3 до 1,2 мм. На Корпангском участке, помимо традиционных октаэдрических кристаллов, встречены алмазы кубической формы. В бортах Центрального и Южного карьеров Костомукшского комбината найдены от 1 до 30 кристаллов и обломков алмазов октаэдрической и тетраэдрической форм размером от 0,3 до 1,00 мм. В Южном участке Костомукшского железорудного месторождения в дайке мощностью 2 мм обнаружены 27 фрагментов зерен алмазов, размер наибольшего из них  $0,65 \times 0,43 \times 0,40$  мм (А.Г.Леонтьев, Ю.Б.Голованов и др., 2003 г.).

Петрологическое и геохимическое изучение среднерифейских алмазоносных пород района Костомукши позволило связать их с лампроитами, классические кимберлиты не были найдены. Имеются лишь кимберлитоподобные породы, по петрохимическим особенностям постепенно переходящие к лампроитам. Вместе с тем, И.Л.Махоткин [16] предполагает, что, кроме лампроитов, в Костомукшском районе развиты слюдяные кимберлиты.

В районе Кухмо – Лентира присутствуют породы, обладающие чертами как оливиновых лампроитов, так и кимберлитов группы 2 [18]. Дайки оли-

виновых лампроитов сопоставляются с дайками Костомукши. Сообщается о предельно убогих содержаниях алмазов в дайках. В районе Кухмо – Лентира вскрыты три трубки: Сеитапера, Хавукасуо, Лентира. Алмазоносная кимберлитовая трубка Сеитапера площадью 7 га — самая крупная на территории Финляндии.

Следует отметить, что район Кухмо – Лентира – Костомукша некоторые геологи считают весьма перспективным в плане промышленной алмазности. Лампроиты этого района сравниваются с лампроитами Западной Австралии [20]. По количеству лампроитовых тел [7] Центрально-Костомукшский (50 тел), Корпангский (16 тел), Северо-Таловейский и Южно-Таловейский (по 12 тел) кусты можно сопоставить с промышленно алмазоносными полями Западной Австралии (Аргайл — 10 тел, Элендейл — 16 тел, Вандаги — 22 тела). Согласно мнению других исследователей, низкий уровень содержания алмазов в лампроитах района не дает оснований связывать с ними какие-либо промышленные перспективы (А.Г.Леонтьев, Ю.Б.Голованов и др., 2003 г.).

*Позднерифейские кимберлиты* представлены кимберлитовым полем Куусамо в Восточной Финляндии около границы с Россией. На четырех участках (Калеттоманпуро, Каттаисенваара, Лампи и Касма) выявлены семь тел кимберлитов [17, 19]. Кимберлиты Калеттоманпуро (КР) представлены двумя телами. Одно из них длиной 100 м, шириной 40 м с крутым падением на северо-восток вытянуто в меридиональном направлении. Кимберлит Каттаисенваара (KV) находится в 28 км к запад-северо-западу от вышеописанных в пределах магнитной аномалии шириной 180 м. По данным бурения он имеет горизонтальную мощность 48 м, представлен гипабиссальной фацией на северном краю тела и мощной зоной кимберлитовой брекчии на южном. Из пробы, отобранной из данной трубки, массой 27 кг получен один микроалмаз. Кимберлит Лампи вскрыт скважиной под 15-метровыми четвертичными осадками. Скважина прошла по нему до забоя 55 м. В составе трубки выделены две фации: фация брекчии — непосредственно под мореной; гипабиссальная — от 49 м и до забоя. Из 10 кг пробы гипабиссальной фации с глубины 48,1–55 м извлечены пять микроалмазов размером от 0,25 до 0,41 мм. В кимберлитах Касма также присутствуют брекчиевая и гипабиссальная фации. Ширина тел не менее 45 м. Из пробы массой 26 кг извлечены пять микроалмазов. Минералы-индикаторы кимберлитов Куусамо — пикроильмениты, пиропы, хромдиопсиды [20].

Геологи компании, которая проводит поиски алмазов в районе Куусамо, предполагали девон-

ский возраст кимберлитов, учитывая близость кимберлитового поля к девонской щелочной интрузии Ливаара и Кольской щелочной провинции. Однако определения возраста по двум фракциям крупных и мелких зерен перовскита из кимберлитов КР и KV U-Pb методом показали  $759 \pm 15$  и  $756,8 \pm 2,1$  млн. лет соответственно [17]. Данные значения отражают возраст формирования кимберлитов. Об этом убедительно свидетельствует тот факт, что одинаковые результаты получены из фракций крупных и мелких зерен перовскита каждой пробы. Вместе с тем, вопрос о возрасте кимберлитов Куусамо полностью не решен. Кимберлит группы 2 из Калеттоманпуро имеет сходство с кимберлитами района Кухмо – Лентира с возрастом 1200 млн. лет [20]. В то же время, при оценке перспектив алмазности района Куусамо следует учитывать его близость к самым юго-западным выходам девонских магматитов, практически отсутствующих на территории Карельского кратона.

*Проявления вендского магматизма.* На юго-западном краю Карельского кратона (на территории Восточной Финляндии) на границе со Svecofennским поясом, причлененным к кратону 2,0–1,8 млрд. лет назад, расположены поля алмазоносных кимберлитов вендского возраста Каави и Куопио. В их пределах вскрыты 24 кимберлитовых тела, представленных небольшими трубками и дайками. Трубки прорывают архейские гнейсы фундамента (с возрастом 3,5–2,6 млрд. лет) и аллохтонные нижнепротерозойские метаосадочные образования. Кимберлиты содержат большое количество минералов-спутников алмаза и в той или иной степени алмазоносны. [14]. В четырех из них содержание алмазов  $>0,1$  кар/т. Многие трубки содержат октаэдрические кристаллы по морфологии аналогичные сибирским алмазам. Кимберлиты Каави – Куопио обогащены оливином и пикроильменитом и содержат как не измененные, так и практически полностью серпентинизированные разновидности. В них установлен достаточно широкий набор ксенолитов — гарцбургиты, лерцолиты, верлиты и редкие эклогиты.

Наиболее надежные определения возраста кимберлитов получены ионным U-Pb методом по перовскитам из нескольких кимберлитов Каави – Куопио. Все они находятся в интервале 589–626 млн. лет [14]. На территории России вендские вулканы вскрыты на Зимнем Берегу Белого моря. Это известково-щелочные лампрофиры типа минетты — породы родственные кимберлитам и лампроитам.

*Глубинная структура Карельского кратона.* Литосфера кратона характеризуется вертикальной

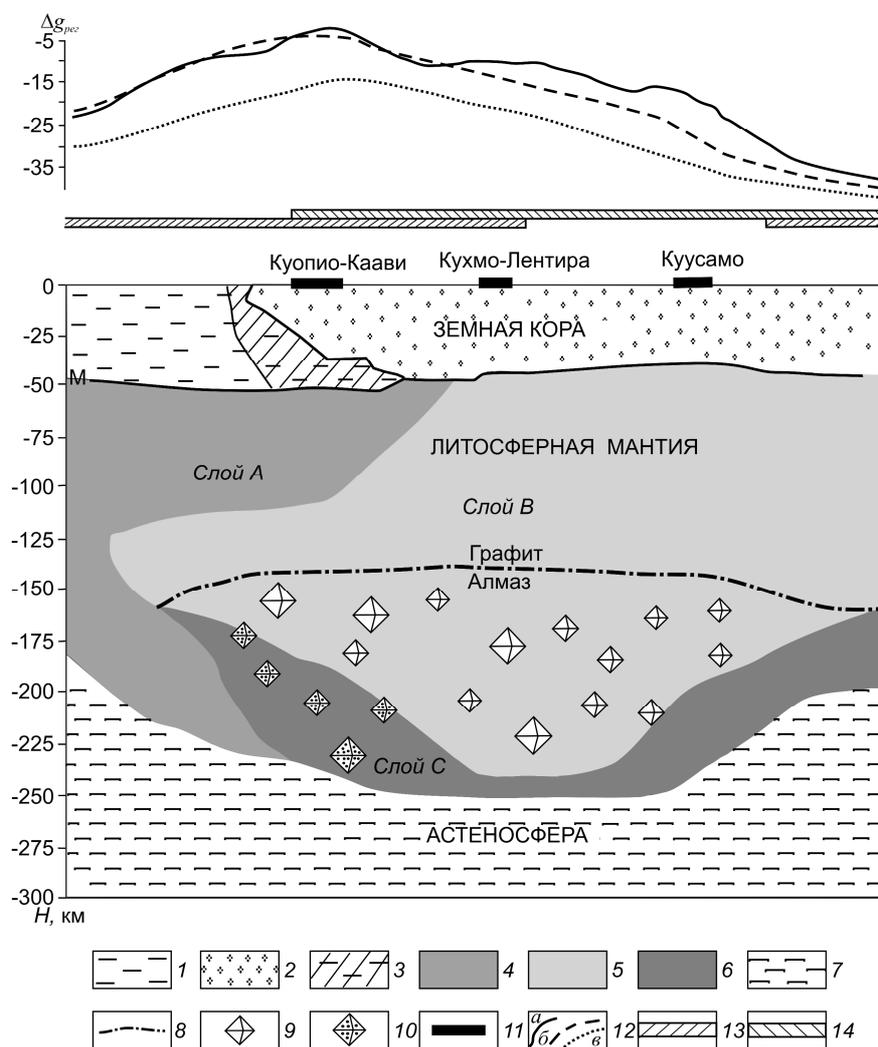


Рис. 2. Геолого-геофизическая модель литосферы Карельского кратона:

глубинный разрез литосферы Карельского кратона, по данным изучения ксенокристаллов из кимберлитов Восточной Финляндии [14, 15]: 1 — образования земной коры Svecofennского складчатого пояса (2,1–1,85 млрд. лет), 2 — островодужный комплекс окраины Svecofennского складчатого пояса (1,92 млрд. лет), 3 — образования земной коры Карельского кратона (3,5–2,6 млрд. лет), 4 — образования протерозойской литосферной мантии Svecofennского складчатого пояса (слой A), 5 — образования архейской литосферной мантии Карельского кратона (слой B), 6 — метасоматический эквивалент архейской литосферной мантии (слой C), 7 — астеносфера, 8 — верхняя граница алмазосодержащего горизонта, 9 — перидотитовые алмазы, 10 — эклогитовые алмазы, 11 — районы с проявлениями кимберлитового и лампроитового магматизма; геофизические факторы-индикаторы алмазоперспективных площадей ранга кимберлитовых субпровинций: 12 — область положительных низкочастотных аномалий гравитационного поля (в виде графиков  $\Delta g_{\text{пер}}$  — поля силы тяжести, осредненного с радиусами 50 км (а), 100 км (б), 150 км (в)), 13 — области с относительно повышенными (>42–44 км) глубинами залегания поверхности M, 14 — область с пониженными (<40 мВт/м<sup>2</sup>) значениями теплового потока

и латеральной неоднородностью. В последнее время получены новые данные о ее строении [14, 15 и др.] по результатам изучения ксенолитов и ксенокристаллов из кимберлитовых трубок Каави, Куопио, Кухмо, Лентира, Южного и Северного Ку-

уусамо (рис. 2). Так, в районе Куопио и Каави на юго-западном краю кратона мощность литосферы составляет 230 км. Верхняя (литосферная) мантия стратифицирована здесь на три слоя. Верхний слой A (интервал глубин 60–110 км) интерпретируется как протерозойская островодужная мантия, поддвинутая под край кратона во время коллизии 1,92 млрд. лет назад. Средний слой B (интервал глубин 110–180 км) — главный источник гарцбургитовых гранатов и перидотитовых алмазов в кимберлитах Куопио – Каави — по осмиевым изотопным датировкам имеет возраст 3,3 млрд. лет. Нижний слой C (интервал глубин 180–230 км) — главный источник титанистых пиропов — интерпретируется как метасоматический эквивалент среднего архейского слоя. Общая мощность алмазосодержащего горизонта (термобариметрического «окна» стабильности алмаза) — источника перидотитовых и эклогитовых алмазов — составляет ~90 км.

Стратификация литосферной мантии в районе Кухмо – Лентира – Южное Куусамо, расположенном во внутренней части кратона, не подвергшейся влиянию svecofennской тектономагматической активизации, более простая. Выделяются два слоя, соответствующие двум наи-

более глубоким верхнемантийным слоям района Куопио – Каави. Отмечается более высокий уровень ее деплетации по сравнению с краевой юго-западной частью кратона. Мощность литосферы достигает здесь 250 км и более, мощность алмазосодержащего

горизонта ~110 км. Мощность литосферы в районе Северного Куусамо (ближе к северо-восточной окраине Карельского кратона) уменьшается до 220 км.

Таким образом, как свидетельствуют приведенные данные, верхняя мантия блока, к которому приурочен изучаемый регион Карельского кратона с проявлениями слабоалмазоносного магматизма Куопио – Каави, Кухмо – Лентира, Куусамо, обладает алмазоносным потенциалом, что указывает на возможность вскрытия здесь алмазных месторождений.

Одна из задач наших исследований, направленных на прогноз коренных месторождений алмазов в Карельском регионе, — выявление на его территории косвенных геофизических факторов (предпосылок), которые стали бы индикаторами потенциально алмазоносных литосферных блоков, подобных рассмотренному выше. С этой целью для территории Карельского кратона на базе обработки и обобщения разнообразных геофизических материалов с учетом опыта выделения подобных структур в других алмазоносных регионах [6, 9, 10] были изучены особенности строения глубинных горизонтов литосферы и распределения аномалий теплового и гравитационного полей. Проанализирована пространственная взаимосвязь тех или иных выделяемых геофизических факторов с областью, вмещающей рассмотренные проявления кимберлитового–лампроитового магматизма Восточной Финляндии (Куопио – Каави, Кухмо – Лентира, Куусамо).

При изучении особенностей строения глубинных горизонтов литосферы Карельского кратона использованы фондовые и опубликованные интерпретационные данные (карты, схемы, разрезы) [3 и др.] глубинных сейсмических (ГСЗ, ГСЗ-МОВЗ, МОВ-ОГТ) исследований. Анализ особенностей теплового поля осуществлялся на основе интерпретационных карт теплового потока северной части Восточно-Европейской платформы (куда входит рассматриваемый регион), составленных Л.А.Цыбулей [13]. Аномальные особенности поля силы тяжести изучались по картам его трансформант. При этом в качестве исходного поля применялась сводная цифровая модель гравитационного поля в редукции Буге с плотностью промежуточного слоя  $2,67 \text{ г/см}^3$  и сечением изоаномал 2 мГл. Трансформация исходного поля выполнена путем его осреднения с радиусами 20, 50, 100 и 150 км.

В результате на территории Карельского кратона выделены геофизические факторы, с которыми, с одной стороны, ассоциируют в плане кимберлит-лампроитовые поля Восточной Финляндии, с другой — в различных алмазоносных регионах они характеризуют (служат индикаторами) алмазоперспективные площади ранга кимберлитовых про-

винций, субпровинций [6, 9, 10], уже вмещающих месторождения алмазов. К ним, наряду с фактором наличия мощной литосферы, относятся: области положительных низкочастотных аномалий гравитационного поля, относительно повышенных ( $>42\text{--}44$  км, до  $60\text{--}65$  км в районе Куопио – Каави) глубин залегания поверхности М (подшвы земной коры), пониженных ( $<40 \text{ мВт/м}^2$ ) значений теплового потока. Контур области совмещения на плоскости этих геофизических факторов-индикаторов (вместе с геологическими предпосылками и минералогическими признаками) определяет границы алмазоперспективной площади названного выше ранга.

На территории Карельского кратона по геофизическим данным прогнозируются три алмазоперспективные площади (см. рис. 1).

*Западно-Карельская площадь* расположена преимущественно на территории Восточной Финляндии. В тектоническом плане она приурочена к Западно-Карельскому домену и в плане совмещена с большей частью рассмотренной области алмазоносной мантии, выделенной по результатам изучения ксенолитов и ксенокристаллов из кимберлитовых полей Восточной Финляндии. В пределах ее южной части находятся вендские алмазоносные кимберлиты Куопио – Каави. Среднерифейские убогалмазоносные кимберлиты и лампроиты Кухмо – Лентирь тяготеют к северной границе этой площади. Поля позднерифейских слабоалмазоносных кимберлитов Куусамо и среднерифейских лампроитов Костомукши размещаются в северном и северо-восточном обрамлении изучаемой площади. Здесь в глубинном строении литосферы по данным сейсмических исследований МОВ-ОГТ фиксируется локальный подъем (до глубин  $38\text{--}36$  км) поверхности М, который совмещается в плане с локальной положительной аномалией поля силы тяжести. По данным работы [6], подобная позиция характерна для слабоалмазоносных и неалмазоносных кимберлитовых полей Восточно-Сибирской платформы.

*Водлозерская алмазоперспективная площадь* выделяется на юге Карельского кратона. Она совмещена с большей частью одноименного тектонического домена с древней консолидированной земной корой (модельный неодимовый возраст  $>3$  млрд. лет). На этой площади расположено тело раннепротерозойских слабоалмазоносных кимберлитов Кимозера.

*Северо-Карельская алмазоперспективная площадь* на севере Карельского кратона восточной частью заходит в краевую (надвиговую) часть Беломорского подвижного пояса. Проявления кимберлитового или лампроитового магматизма здесь не вскрыты, хотя имеются минералогические данные,

свидетельствующие о возможном присутствии в пределах площади алмазоносных магматических тел.

Таким образом, на основании приведенных глубинных и геофизических факторов можно предполагать наличие алмазоносной мантии в основании литосферы, по крайней мере, трех площадей Карельского кратона, что, по-видимому, позволяет рассматривать его в качестве одноименной потенциально алмазоносной провинции. В пространственно-временном распределении вскрытых проявлений кимберлитового и родственного ему магматизма на территории кратона наблюдается определенная закономерность. Рифейские и вендские кимберлиты и лампроиты приурочены к Западно-Карельской алмазоперспективной площади, раннепротерозойские — к Водлозерской.

**Перспективы алмазоносности Карельского кратона.** Обособление Карельского кратона в качестве отдельной потенциально алмазоносной провинции обосновывается его сравнением с выделяемыми рядом исследователей [1, 5 и др.] в восточной части Балтийского щита Кольской щелочной карбонатитовой и Архангельской (по данным работы [9] — Кольско-Беломорской) алмазоносной провинциями.

Кольская щелочная карбонатитовая провинция [5] располагается на гетерогенном докембрийском фундаменте, включающем Кольский геоблок и Беломорско-Лапландский гранулитовый пояс, и практически не распространяется на территорию Карельского кратона. Архангельская (или Кольско-Беломорская) алмазоносная провинция [9] на стыке Кольского геоблока и Беломорско-Лапландского гранулитового пояса контролируется рифейской Беломорской рифтовой системой. Алмазопоявления Карелии полностью находятся в пределах архейского Карельского кратона и четко обособлены по тектоническому положению.

Щелочной магматизм Карельской алмазоносной провинции представлен главным образом силлами, дайками и трубками кимберлитов и лампроитов, Кольской щелочной карбонатитовой провинции — интрузиями карбонатитов и нефелиновых сиенитов, а также дайками различных ультраосновных и щелочных пород, Архангельской алмазоносной провинции — трубками, дайками, силлами кимберлитов и щелочных пикритов.

В отличие от Кольской щелочной карбонатитовой и Архангельской щелочной алмазоносной провинций в пределах Карельской алмазоносной провинции не проявилась палеозойская активизация, на ее территории отсутствуют палеозойские магматические проявления и, соответственно, не известны кимберлиты, синхронные со среднепа-

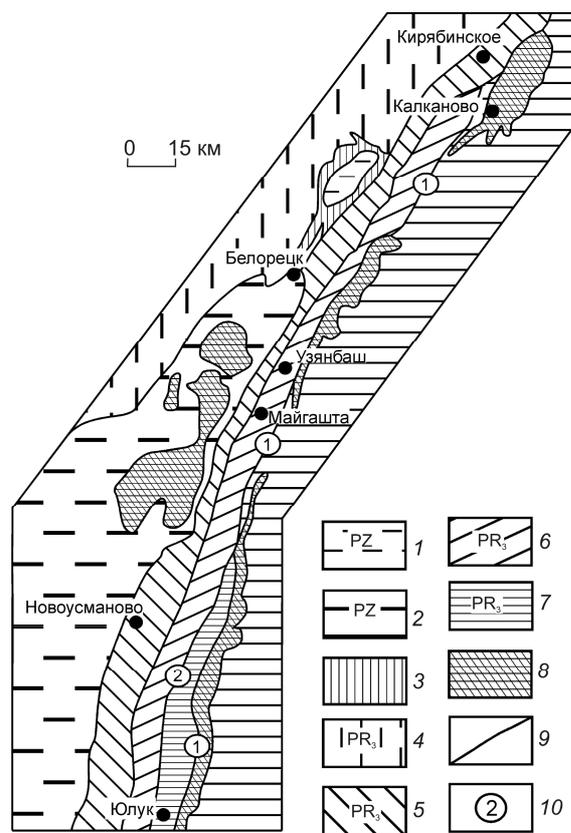
леозойской эпохой промышленной алмазоносности, развитой в Архангельской алмазоносной провинции.

С учетом известных в настоящее время геолого-геофизических данных перспективы коренной алмазоносности Карельского кратона можно оценить умеренно оптимистическими, несмотря на отсутствие до настоящего времени в его пределах крупных месторождений алмазов. Подобный подход основывается на имеющихся глубинных, структурных и вещественных предпосылках, которые говорят о возможности обнаружения коренных источников алмазов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия)* / Под ред. О.А.Богатикова. — М.: МГУ, 2000.
2. *Божко Н.А., Прусакова Н.А.* Геолого-геофизические факторы коренной алмазоносности Карельского кратона // Мат-лы научной конференции «Геодинамика и минерагения Северо-Запада России». Петрозаводск, 2007. С. 14–17.
3. *Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления* / Под ред. Н.В.Шарова. — Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2004.
4. *Журавлев В.А.* История открытия и перспективы алмазоносности Карелии // Минерал. 2006. № 1 (5). С. 14–17.
5. *Кольская щелочная провинция в палеозое: оценка состава первичных мантийных расплавов и условий магмогенерации* / А.А.Арзамасцев, Ф.Беа, В.Н.Глазнев и др. // Российский журнал наук о Земле. 2001. Т. 3. № 1. С. 1–35.
6. *Манаков А.В., Романов Н.Н., Полторацкая О.Л.* Кимберлитовые поля Якутии. — Воронеж: ВГУ, 2000.
7. *Носова А.А., Кононова В.А., Самсонов А.В., Ушков В.В.* Докембрийские кимберлиты Восточно-Европейского кратона // Мат-лы Всероссийской конференции (Петрозаводск, 11–13 ноября 2009). 2009. С. 189–192.
8. *Процессы формирования докембрийской коры северо-западной Карелии, Балтийский щит; результаты геологических, петрологических и глубинных сейсмических (профиль 4В) исследований* / А.В.Самсонов, Р.Г.Берзин, Н.Г.Заможняя и др. // Глубинное строение и эволюция земной коры восточной части Фенноскандинавского щита: профиль Кемь–Калевала. Петрозаводск, 2001. С. 109–143.
9. *Прусакова Н.А.* Элементы глубинного строения литосферы севера Восточно-Европейской платформы, контролирующие локализацию кимберлитового магматизма // Мат-лы Международной конференции, посвященной памяти Виктора Ефимовича Хаина «Современное состояние наук о Земле». М., 2010.
10. *Прусакова Н.А.* Геолого-геофизическая прогнозно-поисковая модель Зимнебережного кимберлитового поля: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. — М., 2004.





**Рис. 1.** Обзорная геологическая схема Уралтауского мегантиклинория, по А.А.Алексееву [1] с изменениями авторов:

палеозойские отложения: 1 — Зилаирского мегасинклинория и Тирлянской синклинали, 2 — Магнитогорского мегасинклинория; 3 — аршинская свита Тирлянской синклинали; 4 — рифейские отложения Башкирского мегантиклинория; свиты суванянского комплекса: 5 — белекейская, акбийская, укшук-арвякская, мазаринская, 6 — миндякская, курташская, уткальская; 7 — максютовский комплекс; 8 — палеозойские ультрабазиты; 9 — геологические границы; 10 — цифры в кружках (1 — Главный Уральский разлом, 2 — Янтышевско-Юлукский разлом)

ния региона подразделяются на два крупных комплекса — максютовский и суванянский, из которых последний наиболее распространен на рассматриваемой территории. В его составе выделены уткальская, курташская, мазаринская, арвякская, байнасская, аршинская свиты. Возраст данных осадочно-метаморфических образований считается среднерифейско-вендским.

При поисковых работах в пределах северной части зоны Уралтау нами в бассейне верхнего течения р. Большая Майгашта обнаружено рудопроявление марганца и выделен продуктивный горизонт, прослеженный на 17 км в меридиональном направлении (рис. 2).

Марганцевое проявление, названное нами Майгаштинское, приурочено к метаосадочным образованиям верхней подсвиты уткальской свиты, которые по особенностям строения и литологическому составу пород подразделены на три пачки — подрудную, рудовмещающую и надрудную (рис. 3).

Подрудная пачка сложена преимущественно слюдистыми, слюдисто-кварцевыми и слюдисто-кварц-полевошпатовыми сланцами с редкими прослоями кварцевых алевролитов. На отдельных интервалах переслаивание пород носит отчетливый ритмичный характер. Типичная черта отложений — обилие согласных кварцевых и полевошпат-кварцевых жил с многочисленными пустотами выщелачивания, заполненными гидроксидами железа.

Рудовмещающая пачка наиболее полно обнажена в южном борту дороги Серменево — Аскарново. Она представлена преимущественно кварцевыми алевролитами с редкими прослоями хлорит-слюдисто-кварцевых сланцев. В глинисто-щебнистых отложениях, являющихся элювиальными продуктами разрушения кварцевых алевролитов, встречаются две линзы размером 0,2×0,5 и 0,15×0,4 м сплошной марганцевой руды. Кроме того, по всему склону в глинисто-щебнистых отложениях обнаружены многочисленные мелкие обломки сплошной марганцевой руды, а непосредственно на эрозионной поверхности рудная зона представлена развалами марганцевых руд, образующими ореол шириной 15–20 м.

Выше по разрезу встречаются фрагменты сильно выветрелых и разрушенных коренных кварцевых алевролитов с четырьмя пластообразными телами сплошной марганцевой руды мощностью 15–20 см. Рудные тела залегают согласно с вмещающими породами и, как и последние, имеют западное падение (азимут 250°) под углом 50°. К поверхности угол падения выволаживается до 20°. По падению рудные тела, прослеженные на 3 м, перекрыты глинисто-щебнистыми отложениями. Кварцевые алевролиты светло-серого до почти белого (сахаровидные) цвета сильно трещиноватые, местами брекчированные. По трещинам развита марганцевая минерализация вплоть до образования бедных прожилково-вкрапленных марганцевых руд. Кварцевые алевролиты неравномерно лимонитизированы, иногда имеют пятнистую красно-бурую окраску, обусловленную наличием тонких налетов гематита.

Общая мощность рудной зоны, включая сплошные и прожилково-вкрапленные марганцевые руды, а также разделяющие их прослои кварцевых алевролитов, составляет не менее 20–30 м. По простиранию марганцевая минерализация прослежена в северном направлении на ~20–25 м до противоположного борта дороги, где среди сыпучих рыхлых



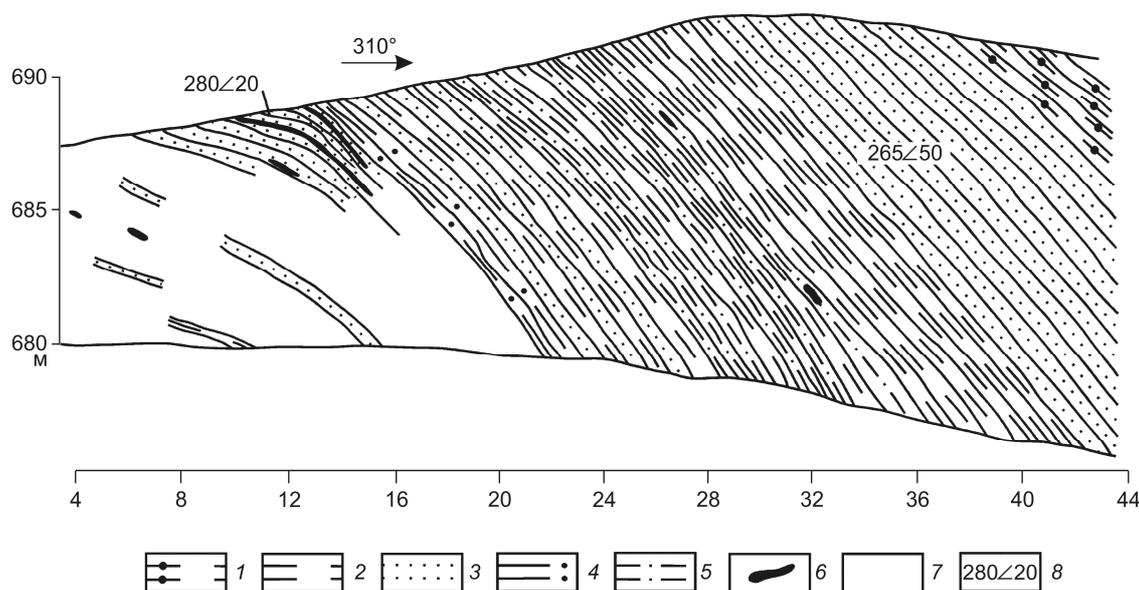


Рис. 3. Строение рудовмещающей пачки в борту дороги Серменево – Аскарово:

1 — слюисто-кварц-полевошпатовые сланцы; 2 — хлорит-слюисто-кварцевые сланцы; 3 — кварцевые алевролиты; 4 — прожилковая и вкрапленная марганцевая минерализация; 5 — омарганцованные кварцевые алевролиты; 6 — марганцевая руда; 7 — глинистые, глинисто-щебнистые отложения; 8 — элементы залегания

вые сланцы при явно подчиненной роли кварцевых алевролитов, образующих маломощный горизонт в основании разреза перекрывающих отложений.

В 17 км севернее Майгаштинского рудопроявления вблизи пос. Узьянбаш также обнаружена марганцевая минерализация подобного типа (см. рис. 1, 2). Здесь в восточном борту той же автомагистрали Серменево – Аскарово обнажена глинисто-щебнистая элювиальная кора выветривания предположительно по кварцевым алевролитам и кварцитопесчанникам. Рыхлые отложения имеют яркую желтовато-бурую окраску, свидетельствующую о повышенном содержании железистых минералов в исходных породах. В элювиальных обломках вмещающих отложений нередко встречаются налеты оксидов марганца, а иногда и небольшие куски прожилково-вкрапленной и сплошной марганцевой руды.

Восточнее пос. Узьянбаш в небольшой придорожной выемке обнажены высыпки кварцевых алевролитов, внешне аналогичных таковым в рудовмещающей пачке Майгаштинского марганцевого проявления (см. рис. 2). Наличие здесь продуктивного горизонта, связанного с кварцевыми алевролитам, подтверждается не только литологическим сходством отложений, но и повышенной омарганцованностью пород утальской свиты, а также присутствием среди них марганцевых руд брекчиевого типа.

Полученные данные указывают на устойчивое стратифицированное положение в разрезе уталь-

ской свиты рудоносной пачки кварцевых алевролитов. Она прослеживается предположительно непрерывной полосой между поселками Майгашта и Узьянбаш.

Проследить марганцевые руды к югу от Майгаштинского рудопроявления не удалось из-за слабой обнаженности пород утальской свиты в междуречье Кумрукъюрт–Терменкалган. В 2,5 км южнее пос. Майгашта (см. рис. 2) в нескольких местах обнаружены небольшие выходы кварцевых алевролитов с налетами и корками оксидов марганца, указывающими на продолжение продуктивной пачки и в южном направлении, однако богатых марганцевых руд среди них не установлено.

Рудные тела Майгаштинского рудопроявления имеют линзовидную или пластообразную форму и всегда залегают согласно с вмещающими породами. Внутреннее строение рудных тел простое и однообразное. Они сложены преимущественно богатыми массивными рудами, по мощности и падению иногда переходящими в скопления бедных прожилково-вкрапленных (брекчиевидных) руд или в марганецсодержащие кварцевые алевролиты. Массивные марганцевые руды обладают плотным или кавернозным сложением с характерным смоляным блеском и раковистым изломом. С увеличением концентрации оксидов марганца их окраска изменяется от темно-коричневой до смоляно-черной.

Главный минерал массивных марганцевых руд — пиролюзит, образующий тонкозернистые или сажистые агрегаты. В некоторых типах руд сажистые разности составляют 20–25% от объема рудной массы. Массивным рудам часто свойственно колломорфное (фестончатое, линейно-колломорфное) строение, нередко хорошо заметное в почковидных агрегатах и на макроуровне. В большинстве случаев сплошные выделения пиролюзита высокопористые, особенно в сажистых и отслоениях колломорфных агрегатов. Некоторые массивные руды сложены весьма тонкозернистым агрегатом минералов, размеры индивидов которых, как и их оптические эффекты, не удается установить даже при максимальном увеличении светового микроскопа. В таких случаях уверенная диагностика минералов затруднена. Не исключено, что эти руды могут состоять из неоднородной смеси марганцевых минералов ряда пиролюзит–псиломелан.

Среди сплошных агрегатов пиролюзита почти всегда присутствует вкрапленность пирита от единичных выделений до 0,1%. Размеры вкрапленников чрезвычайно малы — от долей микрометра (на грани разрешающей способности микроскопа) до 0,01 мм, форма их обычно изометричная, встречаются идиоморфные кристаллы пирита. Лишь в одном случае, наряду с пиритом, в марганцевых рудах зафиксированы мелкие выделения ковеллина. С массивными марганцевыми рудами обычно ассоциируют гидроксиды железа. Они составляют не более 1% рудной массы и, как правило, образуются в отслоениях колломорфных агрегатов пиролюзита или тонко импрегнируют прослои и включения кварцевых алевролитов среди марганцевых руд. Из-за мелких размеров кристаллические индивиды гидроксидов железа под микроскопом не видны, однако, судя по внутренним рефлексам и характерной окраске, скорее всего, относятся к гетиту.

Прожилково-вкрапленная марганцевая минерализация в отличие от сплошных руд сложена псиломеланом, образующим агрегаты колломорфного, реже параллельно-волоконистого строения. В бедных рудах с большим объемом нерудной составляющей псиломелан в виде тонких (0,001–0,01 мм) прожилковидных обособлений цементирует фрагменты вмещающих пород. Как и в сплошной марганцевой руде, в бедных рудах присутствует редкая вкрапленность изометричных зерен пирита размером 0,001 мм. Постоянная примесь гидроксидов железа отмечается как среди марганцевых руд, так и во вмещающих кварцевых алевролитах. Количество гидроксидов железа составляет от долей до нескольких процентов. Среди нерудных минералов вмещающих пород обнаружено одно включение самородного золота размером 1–2 мкм.

### 1. Химический состав марганцевых руд рудопроявления Майгашта, мас. %

№№ п/п	MnO	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S <sub>общ</sub>
1	49,6	1,10	0,064	3,08	<0,1
2	72,0	1,41	0,071	2,38	
3	5,02	76,6	0,044	6,69	
4	45,4	1,28	0,44	29,1	
5	72,6	0,26	0,079	0,52	
6	6,49	84,7	0,032	8,31	
7	73,5	0,71	0,095	0,97	
8	67,3	0,80	0,17	8,26	
9	13,3	39,9	0,19	35,6	
10	56,4	0,80	0,29	18,0	
11	65,8	5,35	0,057	0,83	
12	72,0	0,20	0,050	1,44	
13	69,3	3,01	0,11	1,33	
14	72,1	3,00	0,099	1,02	
15	12,1	46,7	0,35	28,4	
16	7,67	84,4	0,035	1,60	
17	0,52	96,5	0,036	0,89	
18	3,54	53,3	1,15	35,3	
19	46,3	40,1	0,15	2,88	
20	21,5	63,9	0,17	1,69	
21	0,41	98,4	0,018	0,90	

Примечание. Марганцевые руды: 1–15 — Майгаштинского рудопроявления, 16–18 — из обнажения М-106 у пос. Узьянбаш, 19 — из обнажения М-107 в 3 км юго-восточнее пос. Узьянбаш; 20–21 — омарганцованные кварцевые алевролиты из обнажения М-100 в 2,5 км южнее пос. Майгашта. Анализы выполнены фотометрическим методом в Аналитическом сертифицированном центре ВИМС.

Богатые окисленные руды по составу (табл. 1) типично марганцевые с высокими содержаниями MnO (45–73,5%) при весьма небольшом количестве примесей (%) SiO<sub>2</sub> (0,2–5,1), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,03–0,44), S<0,1 и переменной, но в большинстве случаев низкой концентрации железа Fe<sub>общ</sub> (0,5–29,0%). Массивные руды по основным показателям вполне сопоставимы с большинством промышленных типов марганцевых руд с хорошей обогатимостью.

Прожилково-вкрапленные руды относятся к железо-марганцевому типу. В отличие от массивных руд в них резко снижено значение отношения Mn/Fe, что обусловлено содержанием MnO от 5 до 13% при концентрации Fe<sub>общ</sub> от 6,7 до 35,6%. Эти руды также бессернисты и бедны фосфором, но обогащены SiO<sub>2</sub> от 40 до 77%.

Состав руд на северном продолжении марганценозной зоны у пос. Узьянбаш ничем не отличается от такового Майгаштинского проявления. Здесь также можно выделить два типа руд: богатые с содержанием MnO 46,2% и незначительной примесью железа, фосфора и серы; бедные прожилково-

**2. Содержание элементов-примесей в сплошных марганцевых рудах  
Майгаштинского рудопроявления, г/т**

№№ п/п	Sr	Ba	Sc	Cr	Fe, %	Co	Ni	Zn	Se	As	Sb	Th	U	Br	Hf	Ta	Zr
1	-	7525	9,6	78,8	18,2	498,6	-	540	5,28	87,7	3,57	5,71	4,49	0,12	0,54	1,25	350
2	110	8020	20,8	115,2	9,49	367,9	-	430	2,57	53,4	0,25	12,1	1,41	0,03	3,8	1,11	105
3	430	3290	19,5	97,9	6,89	275,8	-	260	3,62	37,6	1,13	12,5	0,3	0,33	6,53	0,57	-

Примечание. Анализы выполнены нейтронно-активационным методом в Институте геохимии и аналитической химии РАН.

во-вкрапленные с концентрацией MnO не более 7,7% при существенном обогащении железом и кремнеземом.

Руды в кварцевых алевролитах продуктивного уровня уткальской свиты восточнее пос. Узьянбаш по данным единственного определения относятся к типично марганцевым с содержанием MnO 21,5% и незначительной примесью железа ( $Fe_{\text{общ}}$  1,69%).

Таким образом, по минеральному и химическому составу массивные, а частично и прожилково-вкрапленные марганцевые руды являются высококачественными и при наличии соответствующих запасов могут служить вполне пригодным сырьем для промышленной эксплуатации.

Кроме главных компонентов, определяющих качество марганцевой минерализации, в сплошных рудах определен широкий спектр элементов-примесей (табл. 2). В марганцевых рудах повышено содержание Ba, Co, Zn. В рудах содержание Ba 0,3–0,8% выше фоновых значений и на порядок выше его кларка для осадочных пород, а концентрация Co (0,028–0,05%) выше его кларка для глинисто-сланцевых пород почти в 25 раз. Заметим, что на Ивановском медно-никель-кобальтовом месторождении Южного Урала содержания Co, равные 0,05%, считаются промышленными [6]. Количество Zn в рудах, хотя и не столь значительно, но также в 5–7 раз превышает его фоновую величину в осадочных отложениях.

Генетически описанные марганцевые руды можно отнести к первично-осадочным морским образованиям. В пользу этого свидетельствуют обычно согласное залегание с вмещающими породами рудных тел, приуроченность марганцевой минерализации к единому стратиграфическому горизонту и локализация руд в одном и том же литологическом типе пород — кварцевых алевролитах, типично осадочные текстуры и структуры руд, отсутствие в них признаков гидротермального замещения. По-видимому, первоначально марганцевые руды представляли собой химические осадки, отлагавшиеся синхронно с накоплением алевролитовой кластики. Вся

серия осадков, включая их мелкообломочные и глинистые разновидности, накапливалась в сравнительно мелководном море, возможно, в небольших понижениях морского дна, в какой-то мере защищенных от размывающего действия волн и течений. Такая обстановка была благоприятна для аккумуляции песчано-глинистого материала, многократно чередующегося в разрезе уткальской свиты. По особенностям строения разреза, форме залегания, составу и строению руд, механизму минералообразования рассматриваемое марганцевое оруденение сопоставимо с промышленными осадочными залежами марганца Никопольского месторождения [4].

Важным фактором отложения марганцевой минерализации, по-видимому, служило предварительное ожелезнение алевритового осадка. В придонном слое морской воды накопление марганца может осуществляться только путем химической адсорбции ионов  $Mn^{2+}$  активными поверхностями гидроксидов железа [2, 3]. Этим объясняются тесное сочетание железистой и марганцевой минерализации и их согласное залегание с вмещающими осадочными породами.

Что касается источника главных компонентов марганцевых руд, то по аналогии с подобными объектами других регионов можно предположить, что соединения железа, марганца и отчасти кремнезема поступали в морской бассейн в результате подводной вулканической деятельности. Это предположение вполне согласуется с наличием в составе уткальской свиты продуктов вулканизма [5], а также с высокими содержаниями в марганцевых рудах таких типично «вулканогенных» элементов, как Ba, Co, Zn.

Проделанное исследование позволяет предварительно наметить комплекс поисковых признаков, благоприятных для локализации марганцевой минерализации в метаосадочных толщах северной части зоны Уралтау:

наличие в составе терригенной формации суваньянского комплекса белых сахаровидных алевролитов — устойчивый поисковый признак марганцевого оруденения зоны Уралтау;

повышенное содержание железа в марганцевых рудах и его широкий ореол в породах рудовмещающей пачки, закономерно повторяющаяся в пространстве и времени ассоциация железистых и марганцевых минералов указывают на общий источник рудного вещества, поэтому поверхностное картирование обогащенных железом горизонтов кварцевых алевролитов может представлять интерес для поисков связанных с ними марганцевых руд;

приуроченность цепочки субсогласных с вмещающими породами линзовидных или пластообразных рудных залежей к одному литолого-стратиграфическому горизонту утальской свиты, являющейся частью единой седиментационной серии морского осадконакопления, позволяет предположить региональное развитие продуктивного уровня; поэтому, несмотря на небольшие размеры отдельных рудных тел, марганценосный горизонт может устойчиво распространяться по простиранию на значительное расстояние и обеспечивать масштабные скопления марганцевых руд.

Таким образом, благоприятным для локализации марганцевого оруденения следует считать весь осадочный горизонт кварцевых алевролитов утальской свиты и, в первую очередь, ту его часть, которая пространственно расположена между поселками Майгашта и Узьянбаш в полосе ~17 км, где уже выявлены участки с марганцевой минерализацией.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев А.А.* Магматические комплексы зоны хребта Урал-Тау. – М.: Наука, 1976
2. *Волков И.И.* К вопросу о механизме формирования железо-марганцевых конкреций в современных осадках // *Геохимия*. 1977. № 6. С. 916–923.
3. *Гидроксиды марганца в аллювии как пример аквагенного минералообразования* / В.И.Силаев, М.Ю.Соке-рин, В.Д.Тихомирова и др. // *Литология и полезные ископаемые*. 2000. № 4. С. 364–375.
4. *Минеральное сырье. Марганец. Справочник* / Н.И.Потконен, А.С.Столяров, А.А.Шарков и др. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999.
5. *Осадконакопление, магматизм и рудоносность северной части Уралтау* / М.В.Рыкус, В.И.Сначев, Р.А.Насибуллин и др. – Уфа: БГУ, 2002.
6. *Рудная база цветной металлургии и предложения по размещению перерабатывающего производства на юго-востоке Башкирии* / С.Ш.Юсупов, Б.Д.Магадеев, Д.Н.Салихов и др. // *Проблемы региональной геологии, нефтеносности, металлогении и гидрогеологии РБ*. Уфа, 1997.
7. *Стратиграфические схемы Урала (Докембрий, палеозой)* / Межведомственный Стратиграфический Комитет России. – Екатеринбург, 1993.

# СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.41:553.26 (571.65)

© Н.Е.Савва, Е.Е.Колова, Г.А.Пальянова, И.М.Хасанов, 2014

## УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ СЫЛГЫТАРСКОГО ГРАНИТОИДНОГО МАССИВА

Н.Е.Савва, Е.Е.Колова (Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А.Шило ДВО РАН, г. Магадан), Г.А.Пальянова (Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск), И.М.Хасанов (Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А.Шило ДВО РАН, г. Магадан)

*Рассмотрены признаки связи золотого оруденения, локализованного в разных участках Сылгытарского гранитоидного массива, и возможность отнесения его к золото-порфировой формации. Выявлены допродуктивные кварц-молибденитовые и кварц-касситеритовые жилы, сопутствующие золотому оруденению. Установлена пониженная пробыность самородного золота, минералы Ag и Bi. Минералогическая зональность выражена в повышенных содержаниях Pb, Ag, Sb на слабо вскрытом участке, As, Bi — на эродированном. Определены физико-химические параметры формирования допродуктивных и продуктивных на Au парагенезисов, показана смена состава флюида в процессе рудоотложения от Mg-Fe-хлоридного к Na-K-хлоридно-углекислотному.*

*Ключевые слова:* Сылгытарский гранитоидный массив, золото-порфировое оруденение, минералы золота, серебра, висмута, условия образования.

*Савва Наталья Евгеньевна, savva@neisri.ru, Колова Елена Евгеньевна, kolova@neisri.ru, Пальянова Галина Александровна, palyan@igm.nsc.ru, Хасанов Ибрагим Мубараквич, hasanov@neisri.ru*

## CONDITIONS OF GOLD-PORPHYRY MINERALIZATION OF SYLGYTARSK GRANODIORITIC MASSIF

N.E.Sawa, E.E.Kolova, G.A.Pal'yanova, I.M.Hasanov

*Considered evidence for association of gold mineralization localized in different parts of Sylgytarskiy granitoid intrusive, and the possibility of attributing it to the gold porphyry formation. Identified quartz-molybdenite and quartz-cassiterite early veins which associated gold mineralization. Set reduced fineness of native gold, minerals Ag and Bi. Mineralogical and geochemical zoning is expressed in elevated contents Pb, Ag, Sb on weakly opened portion, As, Bi — on eroded. Defined physico-chemical parameters of formation early veins education and productive on Au paragenesis, shows a change in the composition of the fluid during ore deposition from Mg-Fe-chloride to the Na-K-chloride-carbon dioxide.*

*Key words:* Sylgytarskiy granitoid massif, gold-porphyry mineralization, minerals gold, silver and bismuth schooling.

В последние годы среди промышленных типов золоторудных месторождений все более уверенно выделяется золото-порфировый [4, 6, 16, 27, 28], к которому относят зоны прожилково-вкрапленной минерализации и мегаштокверки в гранитоидах умеренно кислого состава. А.А.Сидоров [16, 17] отмечает, что подобные месторождения могут входить в различные рудно-формационные ряды. Геологическая специфика золото-порфирового оруденения, по мнению ряда исследователей [6, 7, 25, 27, 28], заключается в том, что рудная минерализация проявляется непосредственно в гранитных интрузивах I- и S-типов, сближена во времени с позднемагматической стадией их становления, а золотоносные кварц-калшпатовые или кварц-серит-альбитовые метасоматиты являются продуктами автотасоматоза. Дан-

ные месторождения по геолого-структурной позиции, метасоматическим изменениям, минеральному составу (в том числе пониженной пробыности самородного золота, развитию минералов Bi, образованию в зоне окисления Au-Ag сульфидов — ютенбогаардита и петровскита) контрастно отличаются от месторождений золото-кварцевой формации, локализованных в осадочных толщах. В гранитных системах рудоносность, в первую очередь, связана с накоплением в остаточных флюидах солевых компонентов, экстрагирующих из силикатных расплавов металлы, при этом золоторудные кварцевые жилы формируются в результате внедрения рудоносных флюидов в трещинные зоны [11].

В качестве примера оруденения золото-порфирового типа рассмотрено оруденение Сылгытар-

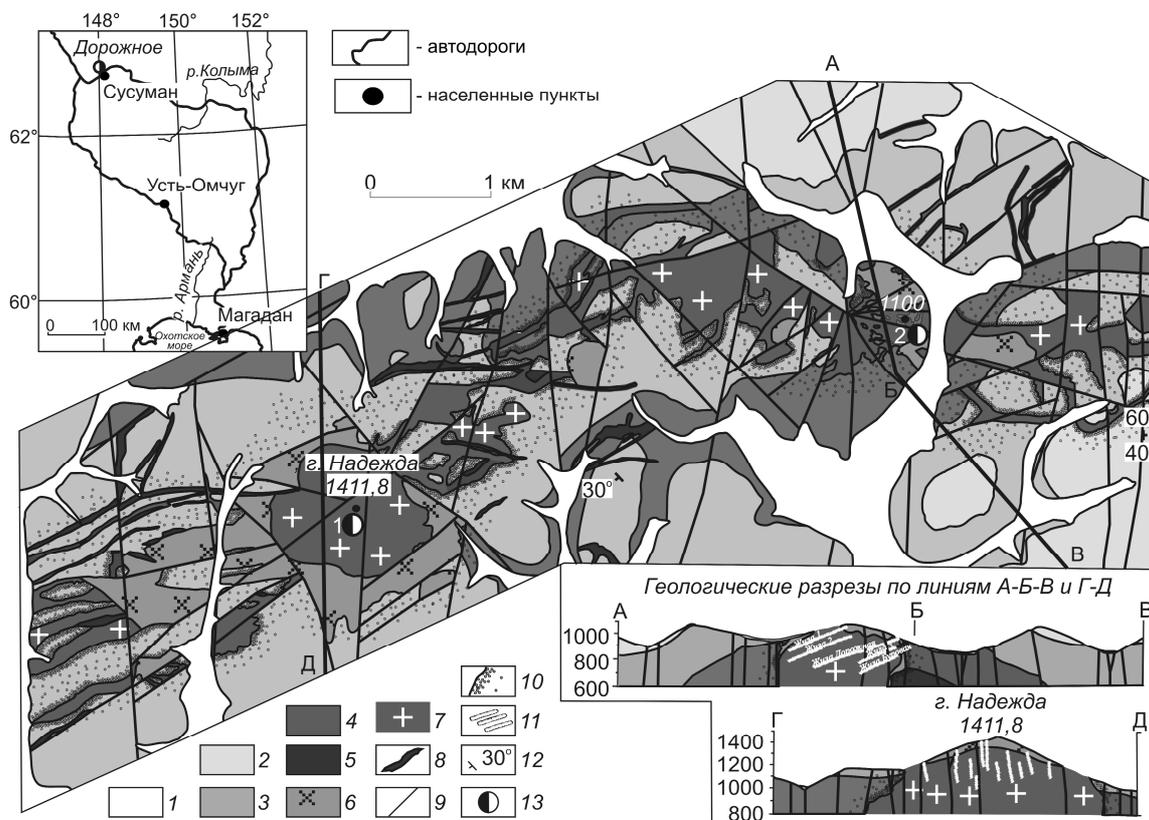


Рис. 1. Геологическая схема Сылыгтарского рудного поля, по материалам А.И.Калинина, 1992 г. с изменениями:

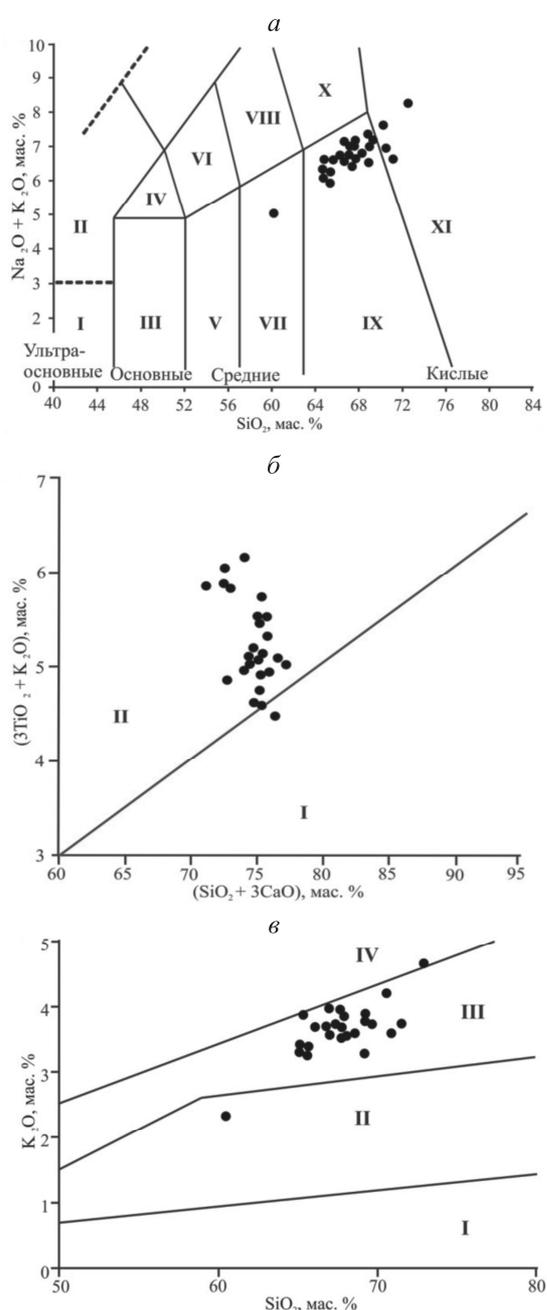
1 — нерасчлененные аллювиально-делювиальные отложения, αQ — валуны, галечники, гравий, пески, глины; 2 — переслаивание песчаников, алевролитов и глинистых сланцев,  $J_2jk_1$ ; 3 — переслаивание песчаников, глинистых сланцев, алевролитов, с редкими линзами гравелитов,  $J_2mn_2$ ; 4 — флишеидное переслаивание песчаников, алевролитов, глинистых сланцев,  $J_2mn_3$ ; 5 — тонкослоистые алевролиты и алевропесчаники с редкими прослоями серицито-кремнистых сланцев,  $J_{1-2ar}$ ; 6 — гранодиориты,  $\gamma\delta K_1$ ; 7 — гранодиорит-порфиры,  $\gamma\delta K_1$ ; 8 — дайки гранодиоритов,  $\gamma\delta K_1$ , гранодиорит-порфиров,  $\gamma\delta K_1$ , гранит-порфиров,  $\gamma K_1$ , риодацитов,  $\pi\zeta K_1$ , дацитов,  $\zeta K_1$ , диоритовых порфиров,  $\delta K_1$ ; 9 — разрывные нарушения I–III порядков, прослеженные на дневной поверхности, выявленные при дешифрировании АФС, подтвержденные геофизическими методами и геохимическим полем; 10 — контактовый метаморфизм; 11 — кварцевые и золоторудные жилы, зоны существенного кварцевого прожилкования; 12 — элементы залегания пород; 13 — изученные участки (1 — Надежда, 2 — Дорожный); в левом верхнем углу вставка с географическим положением участка исследований

ского гранитоидного массива. Ранее как объект такого типа [4] детально изучалось золоторудное месторождение Школьное [3], локализованное в относительно небольшом штоке интрузивных пород на Северо-Востоке РФ. Золотое оруденение Сылыгтарского массива отличается от него параметрами интрузива и размещением оруденения в различных эродированных его участках. Один из участков известен как месторождение Дорожное, которое еще в 1959 г. детально описал Л.В.Фирсов [18]. Не предполагая, что оно приурочено к выступу кровли крупного интрузива, он отнес его к типичной золото-кварцевой формации в штоке плагиигранит-порфиров. В 90-х годах прошлого столетия при переоценке запасов Сылыгтарского рудного поля геоло-

гами СВПГО А.И.Калининым, а позднее В.И.Шалупенко на площади выхода гранитоидов обнаружены и другие участки с геохимическими аномалиями Au. В 2009 г. нами при проведении тематических работ в рамках интеграционного проекта в этом районе выявлены сопровождающие золотое оруденение кварц-молибденитовые и кварц-касситеритовые жилы, а геофизическим отрядом оконтурен единый Сылыгтарский гранитоидный плутон площадью >90 км<sup>2</sup>, погружающийся на север под юрские осадочные толщи.

Территория исследований находится в Сусуманском районе Магаданской области на правобережье среднего течения руч. Дорожный (левый приток р. Верхний Нексикан) (рис. 1). Структурно пло-

щадь приурочена к центральной части Яно-Колымского орогенного пояса и является частью одного из крупнейших в Куларо-Нерском террейне Берелехского рудного района, ограниченного Чай-Юринским и Дебинским разломами глубокого заложения. Участки золоторудной минерализации локализованы на площади Сылгытарского гранитоидного массива и разделены разломом северо-западного простирания, по которому западный фланг (участок Надежда) приподнят относительно восточного (участок Дорожный).



Сылгытарский массив сложен преимущественно гранодиоритами, реже гранитами высококальциевой известково-щелочной серии, сформированными во внутриконтинентальных геодинамических обстановках (рис. 2). Гранитоиды по результатам лабораторных геофизических исследований образцов обладают пониженной плотностью, в среднем  $2,56-2,58 \text{ г/см}^3$ , низкой магнитной восприимчивостью до  $10 \cdot 10^{-6} \text{ СГСМ}$  и нулевой остаточной намагниченностью. Измененные осадочные породы экзоконтактовой зоны характеризуются резким повышением и дифференциацией всех петрофизических параметров — сопротивление от 600 до 6000 Ом, вызванная поляризуемость 3–8%, магнитная восприимчивость  $(20-40) \cdot 10^{-6} \text{ СГСМ}$ , остаточная намагниченность  $(10-60) \cdot 10^{-6} \text{ СГСМ}$ . По полевым геофизическим наблюдениям массив регистрируется единой локальной аномалией поля силы тяжести интенсивностью до  $-4 \text{ мГл}$ , спокойным слабopожительным аномальным магнитным полем напряженностью 30–70 нТл, осложненным знакопеременными локальными аномалиями интенсивностью от 50 до 200 нТл. Таким образом, он представляется единым телом площадью  $\sim 90 \text{ км}^2$ , завалированным с поверхности незначительными по мощности фрагментами контактово-измененных осадочных пород [19]. Интрузивные образования Сылгытарского массива формировались многоэтапно. Характерна закономерная смена пород среднего состава породами среднекислого и кислого, что указывает на длительность существования магматического очага.

На участке Дорожный интрузивное тело слабо вскрыто и пересечено серией малоамплитудных разрывных нарушений, на расположенном в 5 км западнее участка Надежда эрозионный срез значительный, что обусловлено приподнятостью этой терри-

**Рис. 2.** Классификационные характеристики пород Сылгытарского штокa с использованием аналитических данных А.И.Калинина, полученных в ЦКТЭ г. Магадан, 1993 г.:

*a* — составы магматических пород на классификационной диаграмме  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  [5, 26]: I — пикробазальты (перидотиты), II — базаниты (фоидиты), III — базальты (габбро), IV — трахибазальты (субщелочные габбро), V — базальтовый андезит (габбро-диорит), VI — трахиандезит (монцодиорит), VII — андезит (диорит), VIII — трахиандезит (монзонит), IX — дацит (гранодиорит), X — трахит, трахидацит (кварцевый монзонит), XI — риолит (гранит); *б* — геодинамические обстановки формирования магматических пород [9]. Поля диаграммы: I — островодужные, II — континентальные; *в* — соотношение  $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  в магматических породах. Поля диаграммы [29]: I — низкокальциевой толеитовой, II — среднекальциевой известково-щелочной, III — высококальциевой известково-щелочной, IV — шошонитовой серии

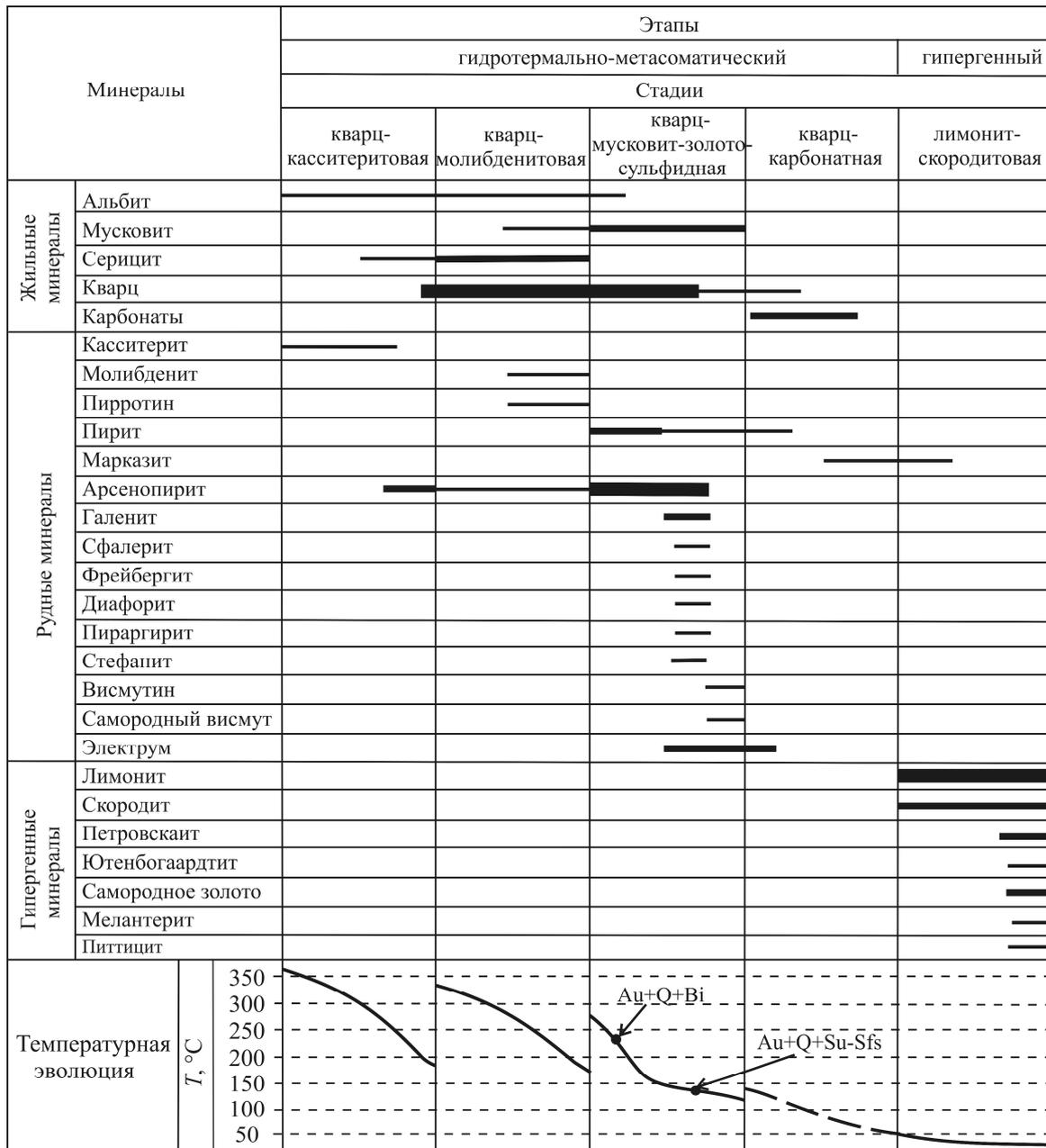


Рис. 3. Последовательность минералообразования золотых руд Сылгытарского интрузива:

толщина линий соответствует степени распространенности минералов

тории. Здесь выход интрузива на поверхность самый большой по площади и имеет изометричную, близкую к округлой, форму. Между участками расположен ряд слабо опоискованных протяженных выходов плутона (см. рис. 1). В рудном поле отмечаются разные по составу дайки (андезиты, дациты, диорит-порфириты) северо-восточного и широтного простирания, локализованные в трещинах отрыва.

В геохимических полях золотое оруденение выражено аномальными концентрациями Au, Ag, Sb,

As, Bi, Sn и W, сопоставимыми с геохимическими аномалиями месторождения Школьное [3]. Возраст гранитоидов Сылгытарского массива соответствует верхам поздней юры – раннего мела (K-Ar  $137 \pm 1,4$  Ma) [18], мусковита из золотоносных кварц-сульфидных жил — Ar-Ar  $136 \pm 1,2$  Ma [10], что указывает на сближенность во времени магматических и рудных образований.

На участке *Дорожный* широко проявлены пропилитизация, березитизация, а вблизи жил — грей-

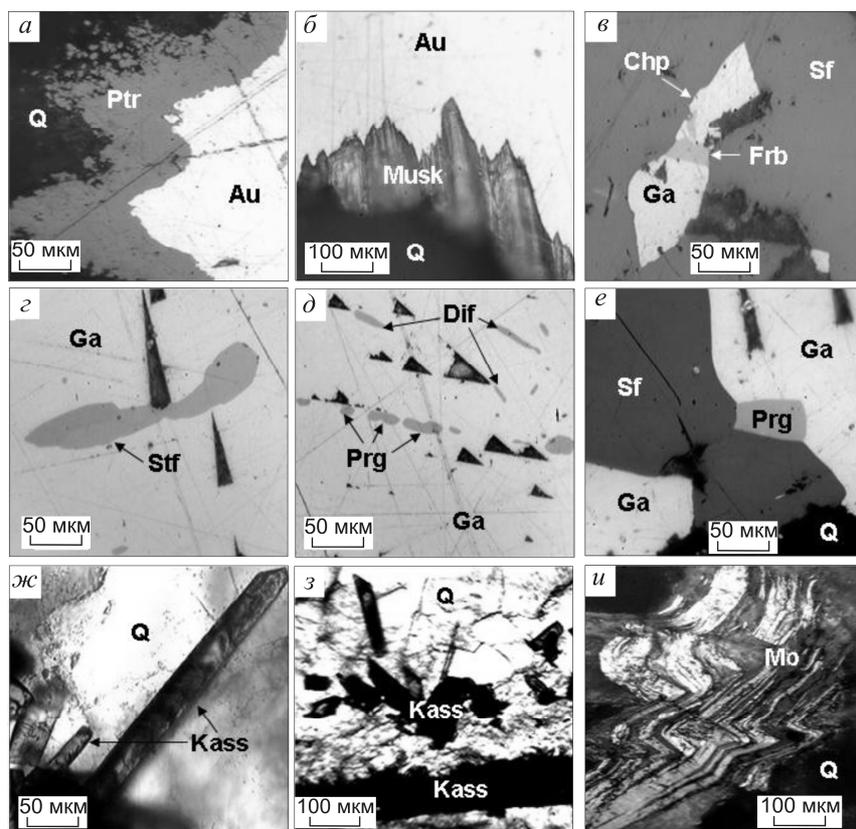


Рис. 4. Минеральные срastания в рудах Сылгытгарского интрузива:

*a* — кайма петровскита (Ptr) на электруме (Au) в кварце (Q); *б* — срastание электрума с мусковитом (Musk); *в* — включение галенита (Ga) в сфалерите (Sf), галенит срastается с фрейбергитом (Frb) и халькопиритом (Chp); *г* — включение стефанита (Stf) в галените; *д* — ламели пираргирита (Prg) и диафорита (Dif) в галените; *е* — срastание сфалерита, галенита и пираргирита; *ж-з* — срastания касситерита (Kass) с кварцем; *и* — молибденит (Mo) в кварце

зенизация, из рудных минералов преобладает пирит. Золотоносные кварцевые жилы представлены серией полого падающих ( $10-15^\circ$ ) тел мощностью 0,1–2,0 м, протяженностью до 800 м. Они заполняют контракционные (концентрические) трещины, возникшие при остывании магмы, и обтекают глыбы гранитоидов. При переходе из гранитов в роговики жилы разветвляются и выклиниваются, образуя псевдобрекчиевые текстуры. Средние содержания в рудных телах Au от 8 до 17, Ag от 10 до 350 г/т, Au:Ag  $\sim(1:1)-(1:20)$ . Преобладают жилы выполнения с массивной текстурой крупнозернистого кварца и полосами крупночешуйчатой слюды в призальбандовых участках. Сульфиды и самородное золото гнездово-вкрапленные.

На участке *Надежда* грейзенизация развита слабо, распространены хлорит-карбонатные пропилиты, из сульфидов преобладает арсенопирит. Пре-

рывистые кварцевые жилные тела и зоны прожилкования образуют штокверк, представленный крутопадающими в различных направлениях (радиальными) трещинами в гранитоидах, заполненными существенно кварцевым материалом. Содержания Au от 6 до 25 г/т, Ag до 300 г/т, Au:Ag  $\sim(1:1)-(1:15)$ . В рудах преобладают прожилковые текстуры. Арсенопирит содержит включения самородного Au и висмутовых минералов.

Пространственно-временные взаимоотношения жил различного минерального состава хорошо различимы. Ранние кварц-молибденитовые жилы, выявленные на участке *Дорожный*, пересечены тонкими оперяющими золото-кварц-сульфидными прожилками, а поздние существенно карбонатные жилы пересекают более ранние сульфидно-кварцевые, продуктивные на Au. В кварц-касситеритовых жилах на участке *Надежда* шестоватые агрегаты касситерита приурочены к

зальбандам, а арсенопирит отлагается позже в центральной части жил, заполняя друзовые пустоты в кварце. Минеральный состав руд и последовательность их отложения показаны на рис. 3.

Ниже приведены минералы золотых руд, имеющие важное генетическое значение.

Касситерит находится в тесном срastании с кварцем часто в виде хорошо ограненных кристаллов и игольчатых агрегатов (рис. 4, *ж*). Молибденит крупночешуйчатый (см. рис. 4, *и-з*) локализуется в кварце серовато-сиреневого цвета, типичном для кварц-молибденитовых жил. Минералы серебра — фрейбергит, стефанит, пираргирит, Bi-содержащий диафорит в заметных количествах развиты в рудах участка *Дорожный*. Они образуют включения (ламели) размером от 0,01 до 0,1 мм в галените (см. рис. 4, *д*). За счет этого в монофракциях галенита содержания Ag достигают 8000,0 г/т. По данным микрозондового анализа фрейбергит содержит Fe до

1. Химический состав минералов Au, Ag, Sb, Bi в рудах Сылгыгарского массива, мас. %

Cu	Sb	S	As	Ag	Fe	Zn	Au	Pb	Bi	Сумма	Формула минералов
<i>Стефанит</i> (участок Дорожный)**											
1,57	11,18	16,82	2,56	67,62	0	0	0	-	-	99,75	(Ag <sub>5,03</sub> Cu <sub>0,19</sub> ) <sub>3,22</sub> (As <sub>0,27</sub> Sb <sub>0,72</sub> ) <sub>1,61</sub> Sb <sub>3,77</sub>
-	14,71	17,09	-	67,89	-	-	-	-	-	99,69	Ag <sub>4,9053</sub> Sb <sub>0,942</sub> S <sub>4,153</sub>
<i>Пираргирит</i> (участок Дорожный)**; <i>фрейбергит</i> , <i>диафорит</i> (участок Надежда)*											
0	22,64	17,73	0	59,35	0	0	0	-	-	99,72	Ag <sub>2,99</sub> Sb <sub>1,01</sub> S <sub>3,0</sub>
17,15	26,15	22,54	0,32	27,40	5,63	0,34	0	-	-	100,53	(Ag <sub>4,75</sub> Cu <sub>5,04</sub> ) <sub>9,79</sub> (Fe <sub>1,87</sub> Zn <sub>0,10</sub> ) <sub>1,97</sub> (Sb <sub>4,04</sub> As <sub>5,07</sub> ) <sub>4,11</sub> S <sub>13,14</sub>
0,22	28,75	19,38	0	25,20	0	0	0	25,25	0,85	100,15	(Ag <sub>3,1</sub> Cu <sub>0,02</sub> ) <sub>3,14</sub> (Pb <sub>1,62</sub> Bi <sub>0,05</sub> ) <sub>1,67</sub> Sb <sub>3,14</sub> S <sub>8,04</sub>
<i>Петровскит</i> (участок Дорожный)**											
-	-	8,82	-	33,96	-	-	56,71	-	-	99,49	Au <sub>0,98</sub> Ag <sub>1,07</sub> S <sub>0,94</sub>
-	-	7,77	-	33,04	-	-	58,23	-	-	99,14	Au <sub>1,05</sub> Ag <sub>1,07</sub> S <sub>0,88</sub>
-	-	8,47	-	33,10	-	-	55,96	-	-	97,63	Au <sub>0,99</sub> Ag <sub>1,07</sub> S <sub>0,9</sub>
<i>Ютенбогардит</i> (участок Надежда)*											
-	-	10,98	-	57,91	-	-	30,55	-	-	99,44	Ag <sub>3,12</sub> Au <sub>0,95</sub> S <sub>1,98</sub>
-	-	10,46	-	54,18	-	-	35,18	-	-	99,82	Ag <sub>2,99</sub> Au <sub>1,06</sub> S <sub>1,94</sub>
<i>Электрум</i> (участок Дорожный)**											
-	-	-	-	41,90	-	-	56,45	-	-	98,35	Ag <sub>1,12</sub> Au <sub>0,88</sub>
-	-	-	-	42,22	-	-	54,48	-	-	96,70	Ag <sub>1,11</sub> Au <sub>0,89</sub>
<i>Диафорит</i> (первые два — участок Надежда*, третий — участок Дорожный)**											
-	1,78	16,02	-	18,91	-	-	-	25,95	36,20	98,86	Ag <sub>2,81</sub> Pb <sub>2,03</sub> (Bi <sub>2,89</sub> Sb <sub>0,24</sub> ) <sub>3,04</sub> S <sub>8,095</sub>
-	1,37	15,78	-	18,54	-	-	-	29,63	34,58	99,90	Ag <sub>2,79</sub> Pb <sub>2,32</sub> (Bi <sub>2,69</sub> Sb <sub>0,18</sub> ) <sub>2,87</sub> S <sub>8,010</sub>
-	1,74	15,14	-	15,11	-	-	-	37,43	27,98	97,40	Ag <sub>2,38</sub> Pb <sub>1,074</sub> (Bi <sub>2,28</sub> Sb <sub>0,24</sub> ) <sub>2,52</sub> S <sub>8,02</sub>
<i>Висмут</i> (первый — участок Надежда*, второй — то же**); <i>висмутин</i> (участок Надежда)*											
-	0,50	-	-	-	-	-	-	-	98,75	99,25	Висмут самородный
-	0,29	-	-	-	-	-	-	-	99,57	99,86	(Sb <sub>0,179</sub> Bi <sub>1,8</sub> ) <sub>1,98</sub> S <sub>3,006</sub> висмутин
-	4,31	19,38	-	-	-	-	-	-	76,12	99,81	

Примечание. Анализы выполнены на электронно-зондовом микроанализаторе «Камебакс»: С.М.Сандомирской, Л.Д.Андреевой, М.И.Шавыкиной (г. Москва, ЦНИГРИ)\*, Е.М.Горячевой, Т.В.Субботниковой (г. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН)\*\*; прочерк — элемент не определяется.

5,6 мас. % и Ag до 25,2 мас. % (табл. 1). В диафорите концентрация Bi составляет 1,1–1,2 мас. %. На участке Надежда в арсенипирите постоянно отмечаются мелкие (10–15 мкм) включения висмута и висмутин нередко в сростании с самородным золотом.

Самородное золото представлено преимущественно электрумом (550–700‰) с редкими включениями гипергенного высокопробного самородного золота. Массовые определения его пробности с помощью микрорентгеноспектрального анализа выявили двумодальное распределение с пиками в области 550–600 и 850–950‰. Выделения электрума чаще всего приурочены к зальбандам жил и находятся в сростании с крупночешуйчатой светлой слюдой (см. рис. 4, б). Электрум отлагается также в интстициях и по трещинам в кварце, встречается в сростках с арсенипиритом и галенитом. Размеры обособлений электрума преимущественно 0,03–3,0 мм. В кварцевых прожилках участка Надежда найдено самородное золото размером 0,5–0,8 мм. Единичными микрорентгеновыми оп-

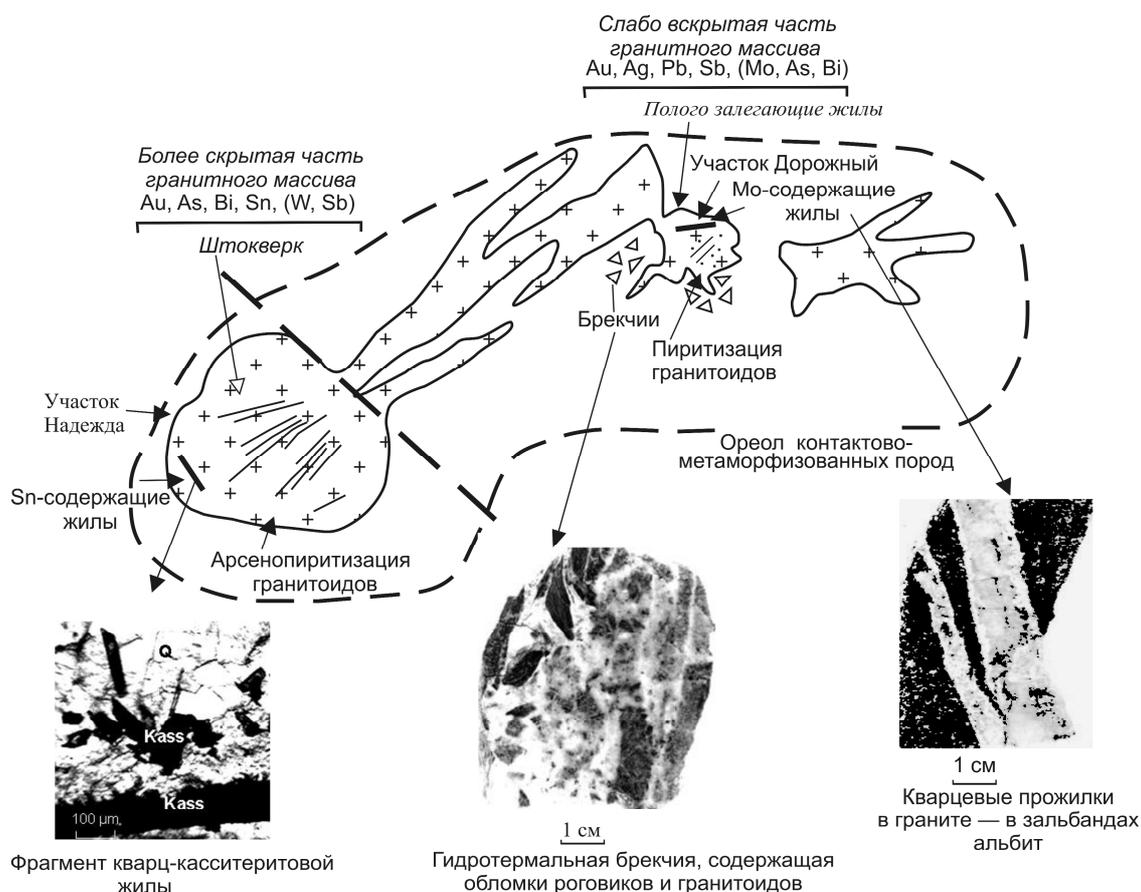


Рис. 5. Схематическая геологическая модель золотого оруденения в Сылгытарской гранитоидной интрузии

ределениями его состава (С.М.Сандомирская, ЦНИГРИ) установлены пробность 765–795‰ и микропримесь Hg до 0,5 мас. %.

Петровскит ( $\text{AuAgS}$ ) широко развит в зоне гипергенеза, обнаружен в штучных пробах из бортов канав [14]. Примерно 70% золотин в зоне окисления покрыты темными пленками этого минерала толщиной до 0,3 мм (см. рис. 4, а). Нередко хлопьевидный агрегат петровскита вблизи пленок проникает в ячеистый лимонитовый агрегат на глубину до 1 мм. Рентгенографические данные петровскита соответствуют эталонным из рентгенометрической картотеки JCPDS. Микрорентгеноспектральным анализом установлены вариации концентраций S (7,76–11,96), Ag (31,94–43,21), Au (49,09–58,32) мас. % (см. табл. 1). Петровскит, как и на большинстве месторождений Северо-Востока России, имеет гипергенный генезис [13, 15].

Построенная нами геологическая модель золотого оруденения (рис. 5) вполне согласуется с предложенной ранее в работе [26].

Микротермометрические исследования флюидных включений (ФВ) выполнены для золото-

кварц-сульфидных, кварц-молибденитовых жил участка Дорожный и кварц-касситеритовых участка Надежда. Измерения температур фазовых переходов и отнесение ФВ к генетическим типам проводились в соответствии с принятыми методиками [1, 2, 8, 12] и с использованием возможностей микротермокамеры THMSG-600 фирмы Linkam.

Первичные флюидные включения размером 4–15 мкм, пригодные для изучения, были отмечены в кварце всех указанных видов. Среди первичных и первично-вторичных ФВ по фазовому составу (при комнатной температуре) выделены три типа — газозо-жидкие, газовые и углекислотно-водные. Последние два типа ФВ преобладают в кварц-касситеритовом материале.

Первичные и первично-вторичные ФВ из кварца кварц-молибденитовых жил и кварц-касситеритовых прожилков формировались при широком диапазоне температур гомогенизации ( $T_{\text{гом}}$ ) — от 340 до 165°C ( $n$  45) и от 358 до 170°C ( $n$  30) соответственно, в то время как ФВ из кварца золото-кварц-сульфидных жил, напротив, узком — от 165 до 125°C ( $n$  20).

**2. Термо- и криометрические показатели индивидуальных флюидных включений в кварце рудных жил и прожилков Сылгытарского рудного поля**

Минеральная ассоциация	Тип ФВ	Температуры фазовых переходов, °С						Расчетные С солей, мас. %-экв. NaCl
		Т эвтектики	Т плавления			Т гомогенизации		
			льда	ГГ	СО <sub>2</sub>	СО <sub>2</sub>	Ж-Г	
Кварц-арсениопирит-молибденитовая	Двухфазовые газожидкие	-12	-4	н	н	н	339,5–268	6,45
		-22	-6,3				258–247	9,6
		-12	-7				198–165	10,49
Золото-кварц-сульфидная	То же	-3	-1,6	н	н	н	162–159	2,74
		-23	-3				154–150	4,96
		-27,3	н				139–126	н
Кварц-сульфидно-оловянная	То же	-22,7	-1,3	н	н	н	358–347	2,24
		-29,3	-5,1				330–212	8,0
		н	-3,6				170	5,71
	Углекислотноводные*	-34	-7,8	11,1	-60,1	8,5 (Ж)	328	8
		-34	-7	11,1	-59,8	-0,2 (Ж)	290	7,1
	Газовые	н	н	н	-60,4	8,8 (Ж)*	н	н
					-60,3	6,4 (Ж)		
-60,4					4,7 (Ж)			
-49,2					-26,6 (Г)			

Примечание. Каждая строчка в таблице характеризует группу включений (не менее 5) с близкими *PTX*-параметрами, присутствующих в одном или нескольких образцах; «н» — соответствующий фазовый переход отсутствует или неясно выражен; гомогенизация углекислоты: Ж — в жидкую, Г — в газовую фазы; \* — данные, полученные совместно с В.Ю.Прокофьевым на базе лаборатории рудных месторождений им. А.Г.Бетехтина (ИГЕМ РАН).

Флюидные включения из кварца золото-кварц-сульфидных и кварц-касситеритовых жил имеют близкие значения солёности при их разбросе от 2,24 до 10,49 мас. % экв. NaCl (*n* 21) (табл. 2). В ФВ из кварца кварц-молибденитовых жил солёность несколько повышена при более узком диапазоне значений от 6,45 до 11,7 мас. % экв. NaCl (*n* 15). Состав раствора, заключенного в ФВ в кварце из кварц-касситеритовых жил, можно оценить как Mg, Fe, NaCl (*T* эвтектики -29÷-34°C), в кварце из кварц-молибденитовых и золото-кварц-сульфидных — как NaCl (*T* эвтектики -22÷-27°C) до KHCO<sub>3</sub>, NaCO<sub>3</sub> и NaSO<sub>4</sub> (*T* эвтектики -3÷-12°C) (см. табл. 2).

В кварце кварц-касситеритовых жил ФВ содержат углекислоту, которая плавится преимущественно при температуре от -60,4 до -49,2°C. Применение Рамановской спектроскопии (дисперсионный Раман-микроскоп Lab Ram HR, г. Новосибирск) позволило идентифицировать в составе газовых фаз ФВ в кварце всех типов значительные количества CO<sub>2</sub> плотностью 0,4–0,8 г/см<sup>3</sup> [24], CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S (среднее соотношение массовых долей в % — 90:6:3:1 соответственно). Такое разнообразие газов — характерный признак для золоторудных объектов, приуроченных к интрузиям [11, 27, 28].

Наличие в кварце кварц-касситеритовых жил большого количества ФВ, наполненных только га-

зом, позволяет предполагать, что на момент рудообразования происходили вскипание и дегазация флюида. Давление, оцененное по известным методикам [2, 8, 20–23], существовавшее в рудной системе в момент образования крутопадающих кварц-касситеритовых жил, достигало 1860 бар, а пологозалегающих золото-кварц-сульфидных и кварц-молибденитовых — 790 бар.

Таким образом, на основании термометрических исследований ФВ в кварце из руд Сылгытарского рудного поля можно полагать, что они формировались из газонасыщенного гидротермального флюида в широком температурном диапазоне от 358 до 125°C при нестабильном уровне солёности от 11,7 до 2,24 мас. % экв. NaCl, активном участии CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S. При этом состав флюида изменялся от преимущественно Mg, Fe-хлоридного до Na, K-хлоридного и углекислотного. Полученные данные, согласно классификации В.Ю.Прокофьева [11], характеризуют рудную систему как закрытую, сформированную без связи с поверхностью. Основной составляющей флюидного давления таких систем является давление легкокипящих газов, состав которых отличается большим разнообразием.

Проведенные исследования позволяют отнести золотое оруденение Сылгытарского штока к гидротермальному плутоногенному золото-порфировому типу. На связь золотого оруденения с магматиче-

**3. Элементы минералого-геохимической зональности золотого оруденения  
Сылгытарского гранитоидного массива**

Участок	Высотная отметка, м	Околорудные изменения	Минеральный парагенезис	$T_{\text{гом}}, ^\circ\text{C}$	Au, %, среднее	Геохимическая характеристика
Дорожный	1100 (интрузив в стадии вскрытия)	Кварц-серицитовые с вкрапленностью преимущественно пирита	Кварц-молибденитовый	340–165	640	Mo (W)
			Электрум-кварц-сульфидно-сульфосольный	165–125		Au, Fe, Pb, Sb, Ag
Надежда	1300 (поднятый блок, срез интрузива ~250 м)	Кварц-серицитовые с вкрапленностью преимущественно арсениопирита	Кварц-касситеритовый	358–170	775	Sn, As (W)
			Золото-кварц-сульфидно-висмутовый	280–180*		Au, As, Bi

\*По фондовым данным А.И.Калинина (1993 г.), аналитик С.И.Белоглазов.

скими породами указывают:

локализация в контракционных и радиальных трещинах гранитоидов;

автоматоматические вторичные изменения пород интрузива — серицитизация, пропилитизация, беризитизация, в зальбандах жил — грейзенизация (крупночешуйчатый мусковит);

повышенные содержания Вi в рудах, вплоть до появления самостоятельных минеральных фаз, и их тесная ассоциация с самородным золотом;

широкий диапазон всех физико-химических параметров рудообразования, свидетельствующий о закрытой рудной системе.

Элементы геохимической и минералогической зональности (см. рис. 5; табл. 3) можно использовать для определения размаха оруденения. На слабо вскрытом участке Сылгытарского массива (участок Дорожный) в рудной минерализации повышены содержания Pb, Ag, Sb, что отражается в развитии галенита, Ag-Sb и Ag-Pb-Sb сульфосолей — пираргирита, стефанита, диафорита (см. табл. 1). Для этого блока характерно преобладание электрума 520–650‰ и пиритовой вкрапленности в березитах, сгущающейся в околожильном пространстве. В приподнятом блоке (участок Надежда) в рудной минерализации повышены содержания Вi, появляются самородный висмут и висмутин, а также Pb-Vi сульфосоли, содержания Sb и Pb значительно снижаются, в метасоматитах развит преимущественно арсениопирит, пробность золота 765–795‰.

Флюидные включения в кварце из жил на данных участках также указывают на разный уровень эрозионного среза Сылгытарского массива. В периферической части массива, подверженного наиболее раннему приконтактовому охлаждению, ФВ из кварца золото-кварц-сульфидных жил участка Дорожный гомогенизируются при низких температурах в узком диапазоне значений от 165 до 125°C ( $n$  20), при

этом давление в системе достигало 790 бар. Это говорит о значительном остывании системы к моменту отложения золота, что согласуется с расположением золотого оруденения в апикальной части интрузивного массива в контракционных трещинах вблизи кровли. Продуктивный кварц участка Надежда формировался в более высокотемпературном интервале (358–180°C) и при сравнительно высоком давлении (до 1860 бар), что свидетельствует о более глубоких процессах минералообразования.

Таким образом, полученные данные о температурном режиме рудоотложения и повышенной роли Sb, Ag и Вi в продуктивном парагенезисе, а также низкопробном самородном золоте в рудах различно вскрытых золоторудных проявлений Сылгытарского массива сближают их с месторождением Школьное [3], имеющим отчетливые признаки связи с гранитоидным интрузивом. Отнесение золотого оруденения Сылгытарского массива к золото-порфировой формации, установление смещения блоков плутона, в которых золотое оруденение проявлено на разных уровнях, позволяют прогнозировать на участке Дорожный наличие богатых руд на глубину до 300 м, а также направить поиски на выявление новых участков золотого оруденения в пределах выходов на поверхность сылгытарских гранитоидов.

*Работа выполнена при поддержке грантов ДВО РАН № 12-II-0-08-28, интеграционного проекта СО РАН и ДВО РАН № 48, гранта РФФИ № 13-05-90703.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисенко А.С. Изучение солевого состава газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.

2. *Ермаков Н.П., Долгов Ю.А.* Термобарогеохимия. – М.: Недра, 1979.
3. *Золоторудное* месторождение Школьное на Северо-Востоке России / А.В.Волков, Н.Е.Савва, А.А.Сидоров и др. // Геология рудных месторождений. 2011. № 1. Вып. 53. С. 3–31.
4. *Золоторудные* месторождения России / Ред. М.М.Константинов. – М.: Акварель, 2010.
5. *Классификация* магматических (изверженных) пород и словарь терминов. Рекомендации подкомиссии по систематике изверженных пород Международного союза геологических наук. – М.: Недра, 1997.
6. *Курбанов Н.К.* Полигенно-полихронные месторождения золота // Смирновский сборник-99. Основные проблемы рудообразования и металлогении (Москва 25 января 1999 г.). – М., 1999. С. 32–46.
7. *Маракушев А.А., Моисеенко В.Г.* Происхождение золоторудных кварцевых жил, связанных с гранитоидами // Тез. докл. Всерос. совещ. «Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики». Магадан, 1997. С. 131–132.
8. *Мельников Ф.П., Прокофьев В.Ю., Шатагин Н.Н.* Термобарогеохимия. – М.: Академический Проект, 2008.
9. *Пискунов Л.Л.* Геолого-петрологическая специфика вулканизма островных дуг. – М.: Наука, 1987.
10. *Предварительный* анализ хронологии мезозойского магматизма, тектоники и оруденения на Северо-Востоке России с учетом датировок  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  и данных по рассеянным элементам изверженных и оруденелых пород / Р.Дж.Ньюберри, П.У.Лейер, П.Б.Ганз и др. // Тр. Всерос. совещ. «Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики». Магадан, 2000. Т. 1. С. 181–205.
11. *Прокофьев В.Ю.* Геохимические особенности рудообразующих флюидов гидротермальных месторождений золота различных генетических типов. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000.
12. *Рёддер Э.* Флюидные включения в минералах. Т. 1. – М.: Мир, 1987.
13. *Савва Н.Е., Пальянова Г.А.* Генезис сульфидов золота и серебра на месторождении Улахан (Северо-Восток России) // Геология и геофизика. 2007. № 10. Т. 48. С. 1028–1042.
14. *Савва Н.Е., Колова Е.Е., Пальянова Г.А.* Условия образования петровскита на золоторудном месторождении Дорожное (Сусуманский район, Магаданская область) // Золото северного обрамления Пацифики. II Международный горно-геологический форум. Магадан, 2011. С. 68–69.
15. *Савва Н.Е., Пальянова Г.А., Колова Е.Е.* Минералы золота и серебра в зоне вторичного сульфидного обогащения (рудопоявление Крутое Северо-Востока России) // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2010. № 1. С. 33–45.
16. *Сидоров А.А.* Золото-порфировые месторождения Северо-Востока России // Тр. Всерос. совещ. «Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики». Магадан, 2000. С. 106–110.
17. *Сидоров А.А., Старостин В.И., Волков А.В.* Рудно-формационный анализ. – М.: МАКС Пресс, 2011.
18. *Фирсов Л.В.* Золоторудное месторождение Дорожное // Тр. ВНИИ-1. 1959. Вып. 54. С. 1–19.
19. *Шарафутдинов В.М., Хасанов И.М.* Изучение электрических характеристик ряда золоторудных месторождений Северо-Востока России // Современные проблемы науки и образования. 2010. № 2. С. 28–35.
20. *Шмонов В.М., Шмулович К.И.* Мольные объемы и уравнения состояния  $\text{CO}_2$  в интервале 100–1000°C и 2000–10 000 бар // ДАН СССР. 1975. Т. 217. № 4. С. 935–938.
21. *Bischoff J.L.* Densities of liquids and vapors in boiling  $\text{NaCl-H}_2\text{O}$  solutions: a PVTX summary from 300°C to 500°C // American Journal of Science. 1991. Vol. 291. P. 309–338.
22. *Bodnar R.J., Vityk M.O.* Interpretation of microthermometric data for  $\text{H}_2\text{O-NaCl}$  fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and application. Pontignino-Siena, 1994. P. 117–130.
23. *Brown P.E., Lamb W.M.* P-V-T properties of fluids in the system  $\text{H}_2\text{O} \pm \text{CO}_2 \pm \text{NaCl}$ : New graphical presentations and implications for fluid inclusion studies // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1989. Vol. 53. № 6. P. 1209–1222.
24. *Frezza M.L., Tecce F., Casagli A.* Raman spectroscopy for fluid inclusion analysis // Journal of Geochemical Exploration. 2012. Vol. 112. P. 1–20.
25. *Hollister V.F.* On a proposed plutonic porphyry gold deposit model // Nonrenewable Resources. 1992. Vol. 1. P. 293–302.
26. *La Bas M.J., Mair R.V., Streckeisen A., Zannettin B.A.* A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram // J. Petrol. 1986. Vol. 27. P. 745–750.
27. *Lang J.R., Baker T.* Intrusion-related gold systems: the present level of understanding // Mineralium Deposita. 2001. Vol. 36. P. 477–489.
28. *Thompson J.F.H., Newberry R.J.* Gold deposits related to reduced granitic intrusions // Society of Economic Geology Reviews 13. 2000. P. 377–400.
29. *Whiteford D.G., Nicholls I.A., Taylor S.R.* Spatial variations in the geochemistry of quaternary lavas across the Sunda arc in Java and Bali // Contrib. Mineral. Petrol. 1979. Vol. 70. P. 341–356.

УДК 553.44'3'9.044 (571.15)

© Т.В.Серавина, 2014

## ОБСТАНОВКИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД БЕРЕЗОВОГОРСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ, РУДНЫЙ АЛТАЙ

Т.В.Серавина (ФГУП «ЦНИГРИ»)

*Рассмотрено геологическое строение Березовогорского рудного поля и Майского полиметаллического месторождения. Показано, что в рудоносном разрезе преобладают кремнистые разности вулканогенно-осадочных пород с резкими фациальными переходами, свидетельствующими о существовании на период осадконакопления и рудоотложения сложнорасчлененного рельефа морского дна. Рудовмещающие породы, околорудные метасоматиты и рудные тела контакто-метаморфизованы. Перспективы расширения сырьевой базы и открытия новых месторождений в пределах рудного поля связаны с участками развития туфогенных кремнистых отложений, повышения мощности и фациального замещения их карбонатными породами, зон околорудных метасоматитов.*

*Ключевые слова:* Рудный Алтай, Березовогорское рудное поле, Майское месторождение, вулканогенно-осадочные породы, кремнистые туффиты, фациальные переходы, палеовпадина, полиметаллические руды.

Серавина Татьяна Валерьевна, okt@tsnigri.ru

## ENVIRONMENTS FOR THE LOCALIZATION OF POLYMETALLIC ORES BEREZOVOGORSKOYE ORE FIELD, ORE ALTAI

T.V.Seravina

*The article considers the geological structure of Berezovogorskoye ore field (Ore Altai) and Maiskoye polymetallic deposit. Established that the ore-bearing section is represented by differences of siliceous volcanic-sedimentary rocks. All volcanic and volcano-sedimentary rocks characterized by sharp facies transitions, which suggests that there in the period of sedimentation and ore deposition was difficult dismembered seafloor. The host rocks, near ore metasomatites and ore bodies suffered contact metamorphism. Prospects for expanding the resource base and opening new deposits of ore field associated with areas of development tuffogenic siliceous sediments, increase width and facies replacement of carbonate rocks, identifying zones near ore metasomatites.*

*Key words:* Ore Altai, Berezovogorskoye ore field, Maiskoye deposit, volcano-sedimentary rocks, siliceous tuffites, facies transitions, paleodepression, polymetallic ores.

Березовогорское рудное поле расположено в северо-западной части Змеиногорского рудного района. В его строении участвуют вулканогенно-осадочные породы базальтсодержащей риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации и ниже-среднедевонские субвулканические риодациты и андезиты [3]. Структура рудного поля представлена фрагментом северного крыла вулканотектонической депрессии, ядерная часть которой прорвана позднепалеозойскими гранитоидами. Их контакт с девонскими толщами рассматривается как южная граница поля. Вдоль северной границы развиты сланцы ордовик-силурийского метаморфического основания. На территории рудного поля установлены Майское и Тушканихинское месторождения, а также Восточно-Майское, Отрадинское, Никольское, Хлеб-никовское и другие рудопроявления, приуроченные к участкам развития крупных субвулканических тел и сопровождающих их вулканических проксимальных фаций кислого состава [2].

Ниже-среднедевонская (D<sub>1e</sub>-D<sub>2ef</sub>-gv) базальтсодержащая риолитовая известково-кремнисто-терригенная формация имеет трехчленное строение [6], а в пределах рудного поля представ-

лена нижней туфогенно-осадочной и средней риолитовой субформациями (рис. 1).

Туфогенно-осадочная субформация — рудовмещающая. Среди разновидностей пород в порядке распространенности встречаются известковистые, известковисто-доломитовые алевролиты и аргиллиты, глинистые углеродсодержащие известняки, глинистые, алевроглинистые иногда углеродсодержащие алевролиты, кремнистые туфогенные алевролиты, кремнистые туффиты, реже туфы и лавы кислого и среднего составов. В разрезе присутствуют фациально не выдержанные вулканогенно-кремнисто-терригенные породы, замещающиеся на коротком расстоянии известково-глинистыми и глинисто-известковистыми, реже доломит-известково-глинистыми.

Риолитовая субформация — надрудная, сложна преимущественно разнообломочными туфами риодацитов и риолитов, а также лавами и лавобрекчиями того же состава.

Интрузивные образования рудного поля — субвулканические тела риодацитов и андезитов.

Основные разности пород формации. Известковистые и глинистые алевролиты, иногда углеро-

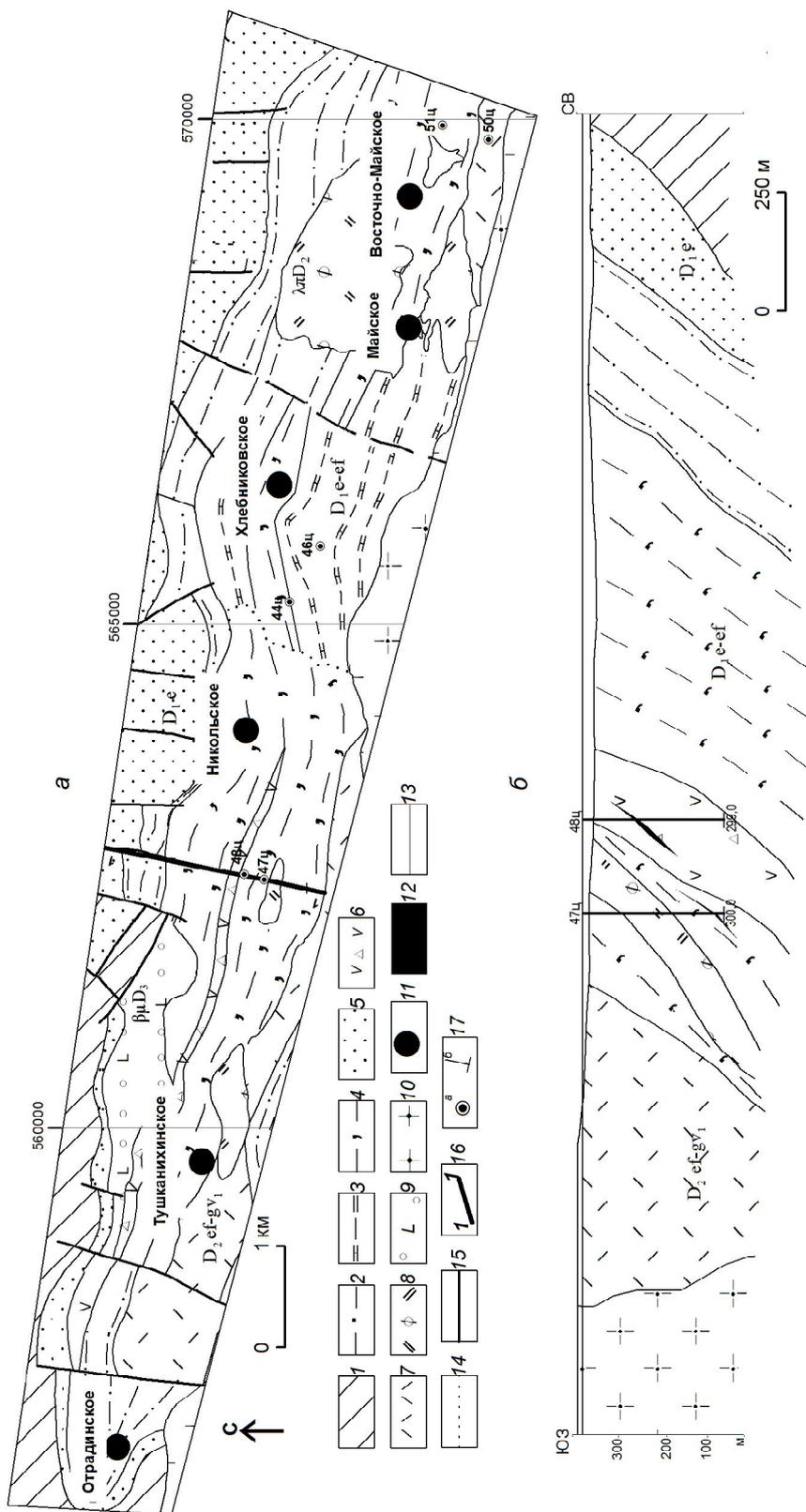


Рис. 1. Литолого-стратиграфическая карта (а), разрез по поikovому профилю 1 (б) Березовогорского рудного поля:

1 — нижнепалеозойская известково-терригенная метаморфизованная формация (кварц-хлоритовые, кварц-серпичит-хлоритовые сланцы); нижне-среднедевонская базальт-содержащая риолитовая известково-кремнисто-терригенная формация; 2-б — туфогенно-осадочная субформация (2 — алевролиты, 3 — известковистые, углеродисто-известковистые и доломитисто-известковистые алевролиты, 4 — переслаивание кремнистых туфогенных алевролитов с туффитами, туфами и лавами кислого состава, 5 — песчаники, 6 — туфы, лавы, лавобрекчии среднего состава); 7 — риолитовая субформация (туфы и лавы кислого состава); верхнедевонская риолитовая субвулканическая формация; 8 — субвулканические риодациты, 9 — субвулканические андезиты; 10 — габбро-гранодиорит-гранитная известково-щелочная формация (граниты биотит-роговообманковые); 11 — месторождения и рудопроявления; 12 — рудные тела без разделения на типы; 13 — геологические границы; 14 — фациальные границы; 15 — тектонические нарушения; 16 — скважины (а — на карте, б — на разрезе)

дистые известняки тонко-, мелкозернистые слоистой текстуры, которая обусловлена чередованием прослоев различного состава или различной зернистости. Карбонат (кальцит, реже доломит) составляет от 50 до 90% от массы пород. Переходы между разностями карбонатных пород постепенные.

Туфопесчаники обычно мелкозернистые, состоят из зерен кварца, плагиоклаза размером 0,1–0,3 мм. Цемент криптозернистый, кварц-хлорит-серицитовый.

Кремнистые туфогенные алевролиты и кремнистые туффиты тонкозернистые существенно кремнистые, сложены криптозернистыми агрегатами кварца с подчиненным количеством хлорита и серицита. Обломочный материал составляет не более 10–15% (иногда до 30%) от массы породы и представлен плагиоклазом, кварцем и альбитизированными породами. Плагиоклазы пелитизированы, серицитизированы.

Лавобрекчии риодацитов содержат обломки кварца, плагиоклаза и различных по составу преобразованных пород (до 80% от объема породы). Основная масса состоит из кварц-полевошпатового агрегата и вулканического стекла микролитовой структуры. Текстура основной массы флюидальная. В лавах и лавобрекчиях кислого состава повышены содержания K, Mg, Mn, Ba и понижены — Na, Al, Ti, Fe. Отношение K/Na составляет 3,64, K/Rb — 411. Из рудных элементов в повышенных концентрациях присутствуют Pb, Mo, Cd.

Андезиты обладают порфировой структурой. Фенокристаллы плагиоклаза размером от 0,3 до 2,0 мм образуют гломеропорфиновые сростки. Цветные минералы не сохранились, они полностью замещены хлоритом. Основная масса состоит из микролитов плагиоклаза и хлоритизированного вулканического стекла. Хлорит местами образует извилистые полосы, которые подчеркивают первичную флюидальную текстуру основной массы. В андезитах повышены содержания петрогенных элементов — Na, Mg, Ti, Mn и понижены — K, Al, Fe. Отношение K/Na составляет 0,14, K/Rb — 27,0.

Туфы андезитов имеют обломочную текстуру. Обломки (плагиоклаз размером 0,3–2,0 мм, редко кварц размером 0,1–0,2 мм) составляют 35% от общей массы породы. Плагиоклаз альбитизирован, серицитизирован, калишпатизирован, местами полностью замещен хлоритом. Основная масса серицитизирована, хлоритизирована, калишпатизирована, слабо окварцована и содержит вкрапленность рудного минерала. Хлорит образует неправильной формы фьяммевидные выделения, развитые по вулканическому стеклу. В основной массе отмечается флюидальность.

Структура риодацитов порфировая. В виде фенокристаллов отмечаются крупные зерна плагиоклаза размером 1,0–3,5 мм. Основная кварц-полевошпатовая масса тонко-мелкозернистая, часто окварцована. В породах повышены содержания петрогенных элементов — Mg, Ti, Mn, Fe и понижены — K, Na. Отношение K/Na 1,51 показывает преобладание K, отношение K/Rb составляет 554.

*Фашии вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород.* Субвулканические тела крупновкрапленных и афировых риодацитов приурочены к жерловой фашиальной зоне с вулканогенными породами кислого состава, лавобрекчии и крупнообломочные туфы риодацитов — к околожерловой, лавы и мелкообломочные туфы андезитов — к промежуточной зоне с вулканитами среднего состава. Жерловая и околожерловая фашии с вулканитами среднего состава в пределах рудного поля установлены в районе Тушканихинского месторождения. Различные туфогенные алевролиты, известняки, туффиты и туфопесчаники отлагались в прибрежно-морских условиях в удаленной зоне вулканизма.

Все литологические разновидности осадочных пород, слагающие формацию, образуют две неравные по объему группы. Первая отвечает карбонатсодержащим (смешанным) ( $\text{CO}_2 > 12\%$ ) породам, вторая — существенно силикатным ( $\text{CO}_2 < 12\%$ ). Они относятся к следующим литолого-фашиальным и генетическим типам:

механогенные отложения карбонатного глинисто-кремнистого и силикатного составов, глинисто-карбонатные турбидиты, тиховодные пелагические отложения силикатного состава;

хемогенные тиховодные пелагические карбонатные отложения со значительной долей эксгальационного материала;

В разрезе трудно выделить значительные участки, сложенные только одним из перечисленных типов отложений, удастся наметить лишь преобладание одного из них.

Наиболее высокие скорости осадконакопления типичны для терригенно-карбонатных пород. Господство в них карбонатных (шламовых) турбидитов, глинисто-карбонатный состав ритмично-слоистых образований, уменьшение содержания углеродистого вещества (вследствие резкого увеличения скорости осадконакопления) позволяют уверенно относить их к карбонатному флишу. Особенностью турбидитов является присутствие значительных количеств мелко-, тонкообломочного (шламового) материала в составе градационных ритмов. Появление в составе формации турбидитов указывает на общий глубоководный характер отложений. Судя по размерности обломочной фракции градационных серий,

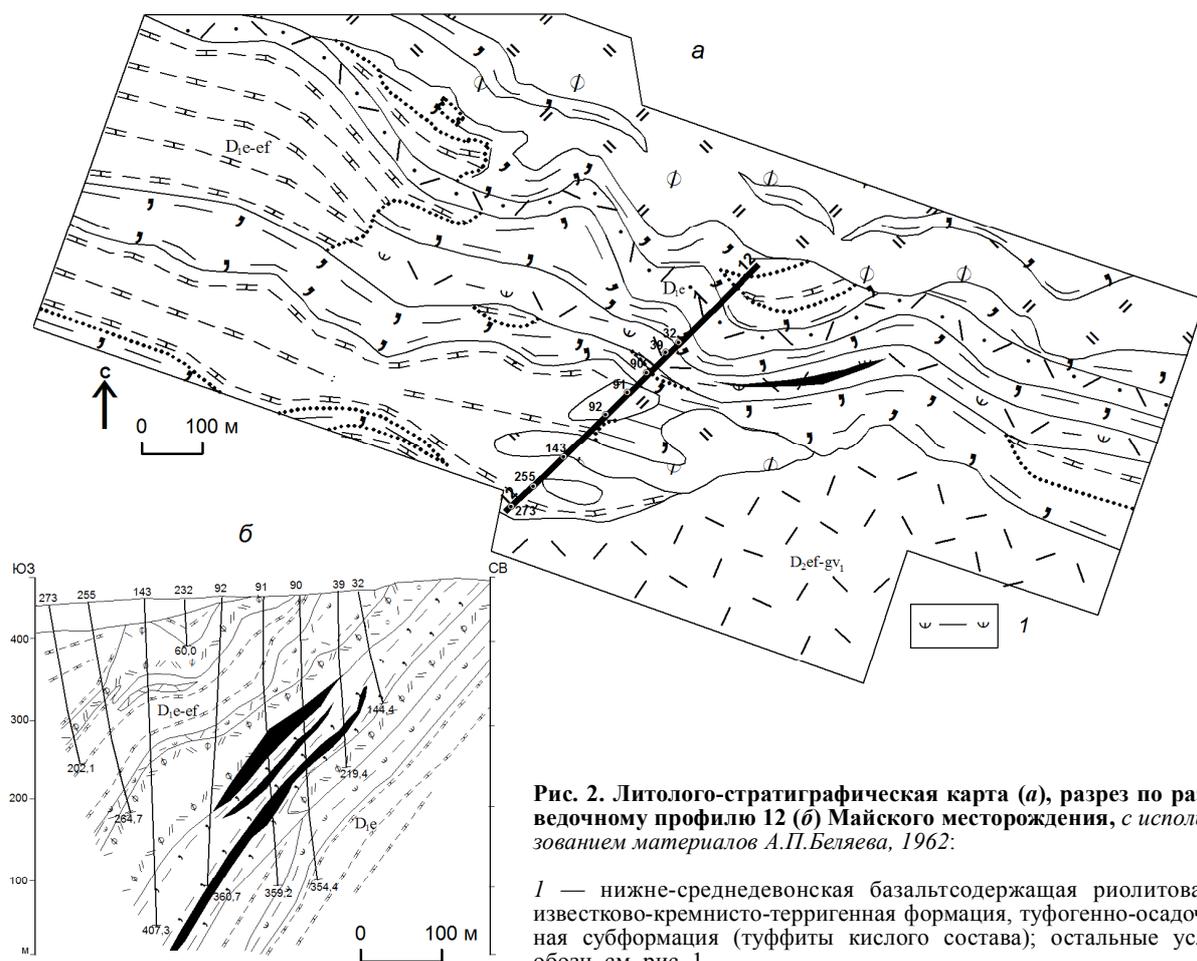


Рис. 2. Литолого-стратиграфическая карта (а), разрез по разведочному профилю 12 (б) Майского месторождения, с использованием материалов А.П.Беляева, 1962:

1 — нижне-среднедевонская базальтсодержащая риолитовая известково-кремнисто-терригенная формация, туфогенно-осадочная субформация (туффиты кислого состава); остальные усл. обозн. см. рис. 1

турбидиты принадлежат к дистальному типу. Часть их отлагалась, вероятно, из низкоплотных мутьевых потоков. Высокие скорости осадконакопления, по-видимому, следует рассматривать как неблагоприятный фактор для формирования синхронного полиметаллического оруденения.

К тиховодным пелагическим отложениям силикатного состава относятся углеродсодержащие кремнистые, алевритоглинистые породы. Причем алевритовая составляющая в них связана с эоловым выносом зрелого кварцевого материала, одновременное обогащение которым вместе с углеродистым планктонным материалом свидетельствует о сравнительно низких скоростях осадконакопления.

Отложения базальтсодержащей риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации по данным палеоструктурного анализа приурочены к конседиментационному прогибу, развивавшемуся длительно и многоэтапно, в котором сочетаются структурные элементы седиментационного и тектониче-

ского происхождения. На первом этапе обширный прогиб 1-го порядка разделился на ряд локальных структур (2-й порядок), вмещающих промежуточные вулканогенные и удаленные прибрежно-морские известняково-кремнисто-терригенные фации.

Становление конседиментационных структур происходило в результате быстрого некомпенсированного прогибания в жерловых и склоновых частях вулканических аппаратов и затем длительного выравнивания дна впадин. Палеовпадины несут унаследованный характер и в целом определяются рельефом жерловых, околожерловых и промежуточных фаций вулканитов.

Нижне-среднедевонские породы в современных структурах палеовпадины образуют пологие синклинали. Пликативные и тектонические структуры лишь осложняют конседиментационные.

В пределах рудного поля известно среднее по масштабам Майское месторождение. Его геологическое строение и вещественный состав руд служат

эталоном для поисков полиметаллического оруденения в пределах рудного поля. Описание месторождения приводится на основании материалов детальной разведки месторождения [1] и собственных наблюдений авторов.

Для рудовмещающего разреза типичны кремнистые разности вулканогенно-осадочных пород, состав и характерные особенности которых приведены выше, отметим лишь, что на месторождении преобладают туфогенные кремнистые алевролиты и туффиты, на флангах и по падению фациально замещающие карбонатными отложениями (рис. 2).

В разрезе месторождения присутствуют брекчии обрушения. Мощность их прослоев колеблется от 10 см до 15–20 м, а в отдельных случаях достигает 75–80 м. На восточном фланге месторождения они имеют наибольшие мощности. По латерали и падению брекчии постепенно фациально замещаются глинисто-кремнистыми алевролитами и туффитами. Сульфидная минерализация встречается как в цементе, так и в обломках брекчий в виде мелкой вкрапленности сфалерита, галенита, пирита и халькопирита.

Для Майского месторождения характерно широкое развитие пирокластических образований кислого состава при почти полном отсутствии эффузивных пород. По величине, характеру и составу обломков среди пирокластических пород выделяются: агломератовые туфы риодацитов, кристаллокластические и кристалло-литокластические среднеобломочные туфы, пеплово-витрокластические тонкообломочные туфы. Наиболее широко развиты кристаллокластические и кристалло-литокластические туфы на северном и южном участках месторождения. Агломератовые туфы распространены в северо-восточной части полосы «северных» туфов. При движении на запад обломки в них становятся более однородными и они сменяются кристаллолитокластическими и кристаллокластическими разностями. Это обусловлено, вероятно, механической дифференциацией пирокластического материала по мере удаления от очага эксплозии. Типичные пеплово-витрокластические туфы встречаются среди всех разностей туфов.

Субвулканические образования — альбитизированные риодациты, которым свойственна крупнопорфировая или фельзитовидная структура. Порфировые выделения в количественном отношении обычно преобладают над основной массой и состоят из полевого шпата, кварца и хлоритизированной роговой обманки.

Вмещающие породы месторождения контактово-метаморфизованы с образованием в различной степени ороговикованных пород, а участками скар-

ноидов. Последние характеризуются массивным тонкозернистым сложением и состоят из моноклинного пироксена — геденбергита, с которым ассоциируют мелкие зернышки и скопления аномального граната (андрадита). Всегда присутствуют в виде пя-тен буроватый тонкочешуйчатый стильпномелан и значительное количество кальцита, образующего участки неправильной формы и прожилковые выделения, около которых пироксен перекристаллизован в более крупнозернистый агрегат. Подобные участки являются более поздними образованиями в скарноидах.

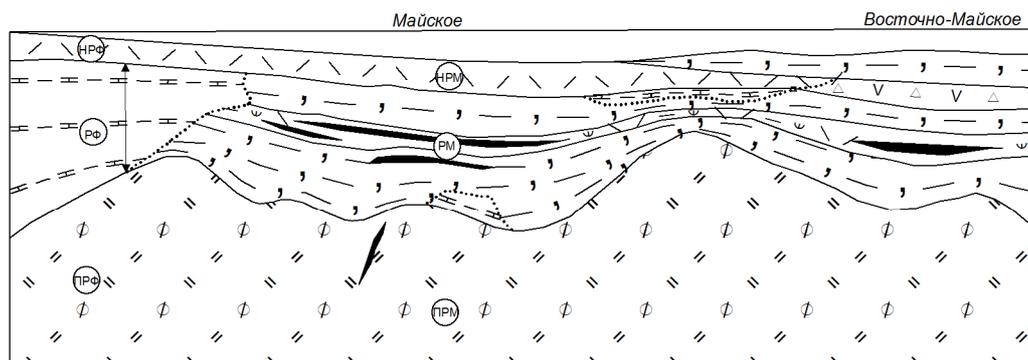
Осадочные и вулканогенные отложения месторождения локализованы в конседиментационной впадине, осложняющей палеопрогиб. Размер впадины (рис. 3), вмещающей рудные залежи Майского месторождения,  $1 \times 0,35$  км. Западный и восточный ее борта, по всей видимости, относительно крутые, южный и северный — довольно пологие. Ее дно осложнено более мелкими отрицательными структурами. Развитие происходило путем быстрого некомпенсированного прогибания в жерловых и склоновых частях вулканического аппарата.

Измененные породы месторождения представлены околорудными метасоматитами и продуктами их преобразования при контактовом метаморфизме. Отмечаются кварц-хлорит-серицитовые, хлорит-серицитовые, хлорит-кварцевые, кварц-хлоритовые, хлорит-тальк-карбонатные, мономинеральные хлоритовые и тальковые породы. Структура околорудных пород содержит неправильные и прожилковидные выделения рудных минералов (сфалерита, галенита, пирита).

Наиболее распространены кварцево-хлоритовые, хлорито-кварцевые и тальковые разности. Мономинеральные хлоритовые породы встречаются в виде небольших реликтовых участков среди тальковых пород, образуя постепенные переходы с ними через хлорит-тальковые и тальк-карбонатные. Особенность хлорит-тальковых и тальковых пород — наличие в них петельчатых выделений хлорито-тальково-карбонатных пород с гипсом.

Образование различных тальковых пород происходило в результате контактового метаморфизма за счет околорудных серицит-хлоритовых и существенно хлоритовых метасоматитов, как показано В.Б.Чекваидзе [7] для Корбалихинского месторождения.

Рудные тела имеют линзовидную форму и существенно свинцово-цинковый состав. Их особенностью является неравномерное содержание основных компонентов и очень низкие содержания Cu. Соотношение Cu:Pb:Zn — 1:6:12. Главные рудные минералы — сфалерит и галенит, второстепен-



**Рис. 3. Модель Майского месторождения:**

элементы рудного и околорудного пространства (в кружках): РМ – рудовмещающая, ПРМ – подрудная, НРМ – надрудная, РФ – рудная фланговая, ПРФ – подрудная фланговая, НРФ – надрудная фланговая формации; остальные усл. обозн. см. рис.1, 2

ные — пирит и халькопирит. Также отмечается наличие небольшого количества пирротина, образованного за счет пирита и блеклых руд.

Типичные окисленные руды на месторождении практически отсутствуют. Смешанные окисленно-сульфидные руды распространены ограниченно. Из окисленных минералов наиболее распространены, кроме гидроксидов Fe и Mn, смитсонит и церуссит. Англезит, аурикальцит и малахит встречаются редко и самостоятельных скоплений не образуют.

Первичные гидротермально-осадочные руды сложены пиритом зонального строения, колломорфной структуры, причем кварц в ассоциации с пиритом также имеет сферическое и радиально-лучистое строение, колломорфные структуры наблюдаются в сфалерите и халькопирите. Текстуры таких руд брекчиевые, линзовидные, слоистые, полосчатые.

Широко распространены гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая с реликтами колломорфной, разъедания, пересечения и петельчатая структуры, вкрапленные массивные, прожилково-вкрапленные текстуры главных рудных минералов прогрессивной стадии метаморфогенного этапа рудообразования.

Блеклая руда встречается в виде мономинеральных зерен размером от сотых до десятых долей миллиметра, редко около 1 мм среди тонкозернистого полиминерального агрегата, состоящего из сфалерита, галенита, халькопирита, кварца и барита.

Золото и серебро в рудах обычно связаны с сульфидами и блеклыми рудами, образуют в них твердые растворы, реже наблюдаются в самородной форме и в виде теллуридов золота и серебра. Свободные формы золота и серебра возникают в результате очищения от примесей, при контактовом метаморфизме, ранее сформированных сульфидов [3].

Пирротин ассоциируется с пиритом. Магнетит и гематит встречаются в оруденелых скарноидах, находящихся в тесной структурной связи с галенитом, сфалеритом и пиритом, образовавшимися на метаморфогенном этапе минерализации. Замещение галенита магнетитом происходит чаще от центра к периферии зерен. При травлении концентрированной соляной кислотой в магнетите обнаруживается аллотриоморфнозернистая структура. Гематит количественно преобладает над магнетитом, развивается по магнетиту или вокруг сульфидов в виде петельчатых образований. Сульфидно-окисные руды определяют типоморфный комплекс регрессивной стадии метаморфизма на месторождении, как было отмечено Г.В.Ручкиным для докембрийских месторождений [5].

Естественным продолжением месторождения на восток служит Восточно-Майское рудопроявление. Наши исследования последних четырех лет показали, что рудовмещающий разрез прослеживается без существенных изменений состава на восток (см. рис. 2). В пределах рудопроявления откартирована зона околорудно измененных пород кварц-серицитового и кварц-серицит-хлоритового составов. Пробуренная скважина вскрыла рудную зону с промышленными содержанием Pb, Zn и Ag, что подтвердило высокую перспективность восточного фланга Майского месторождения.

Таким образом, изложенный материал позволяет сделать следующие выводы:

рудовмещающие отложения рудного поля и Майского месторождения относятся к тиховодным пелагическим фациям с низкой скоростью осадконакопления;

для всех вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород характерны резкие фациальные переходы

ды, что свидетельствует о существовании на период формирования рудоносной формации сложнорасчлененного рельефа морского дна и барьеров, определяющих резкую смену режима осадконакопления;

рудотложение происходило в палеовпадине с достаточно крутыми бортами, что препятствовало размыву рудного вещества придонными течениями;

рудовмещающие породы, околорудные метасоматиты и рудные тела контактово метаморфизованы при температуре 600 С° (образование пироксеновых скарноидов, переход хлорита в тальк, появление пирротина за счет пирита);

на регрессивной стадии метаморфических преобразований возникла сульфидно-окисная ассоциация, не типичная для промышленных месторождений рудноалтайского типа, зато хорошо известная на свинцово-цинковых месторождениях, где проявлен региональный метаморфизм амфиболитовой фации (Горевское месторождение, Енисейский кряж);

перспективы расширения сырьевой базы и открытия новых месторождений рудного поля связаны с участками развития туфогенных кремнистых отложений, повышения мощности и фациального замещения карбонатными породами, зон околорудных метасоматитов. Наибольший интерес в настоящее время представляет восточный фланг Майского месторождения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев А.П.* О поисках слепых месторождений в закрытых районах // Разведка и охрана недр. 1962. № 8. С. 20–23.
2. *Государственная* геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:200 000. Изд. 2-е. Сер. Алтайская. Лист М-44-ХІ (Змеиногорск). Объяснительная записка / О.В.Мурзин, В.М.Чекалин, Н.В.Сыроежко и др. – СПб.: СПб. картфабрика ВСЕГЕИ, 2001.
3. *Кудрявцева Н.Г., Кузнецов В.В., Галямов А.Л.* Структурно-формационное районирование российской части Рудного Алтая как основа среднemasштабных прогнозных построений // Руды и металлы. 2011. № 3–4. С. 103–104.
4. *Кузнецов В.В., Кузнецова С.В.* Минералогические особенности колчеданно-полиметаллических месторождений российской части Рудного Алтая // Мат-лы Международной практической конференции по геологии, поискам и разведке полезных ископаемых. М., 2011. С. 58–59.
5. *Ручкин Г.В.* Стратиформные полиметаллические месторождения докембрия. – М.: Недра, 1984.
6. *Ручкин Г.В., Зайцев А.И., Кузнецов В.В., Галямов А.Л.* Методика прогнозно-металлогенических исследований для обоснования переоценки перспектив полиметаллического оруденения Рудного Алтая (Алтайский край) // Руды и металлы. 2011. № 3–4. С. 150–151.
7. *Чекваидзе В.Б.* Околорудные метасоматиты колчеданно-полиметаллических месторождений и их поисковое значение. – М.: Недра, 1981.

УДК 553.411. (571.5)

© Б.Н.Абрамов, 2014

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КЛЮЧЕВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ

Б.Н.Абрамов (ФГБУН Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН)

*Золотое оруденение Ключевского золоторудного месторождения парагенетически связано с заключительными стадиями образования даек амуджиканского комплекса (J<sub>3</sub>). Выявлено, что магматические очаги даек данного комплекса, ранних взрывных брекчий и сульфидно-кварц-турмалинового оруденения функционировали на глубинах, соответствующих нижней континентальной коре, и имели близкие значения степени дифференциации магматического очага, что указывает на образование их в одинаковых условиях.*

*Ключевые слова:* золотое оруденение, амуджиканский комплекс, магматический очаг.

*Абрамов Баир Намжилевич, b\_abramov@mail.ru*

## FORMING PARTICULARITIES OF ORE-MAGMATIC SYSTEM FROM KLUCHEVSKOY GOLD DEPOSIT, EASTERN TRANSBAIKALIA

B.N.Abramov

*Gold mineralization of Kluchevskoy gold deposit paragenetically associated with the final stages of the dikes formation from Amudzhikansky complex (J<sub>3</sub>). Revealed that the magma chambers of dikes of this complex, early explosive breccias and sulfide-quartz-tourmaline mineralization functioned at the depths corresponding lower continental crust and had similar values of the degree of differentiation of the magma chamber, that indicating about its formation in the same conditions.*

*Key words:* gold mineralization, Amudzhikansky complex, magma chamber.

Под рудно-магматической системой понимается эволюция во времени и в пространстве взаимосвязанных рудопроизводящих магматических тел и рудных образований [10]. Золотое оруденение Ключевского месторождения парагенетически связано с дайковым комплексом амуджикано-шахтаминского комплекса (J<sub>2-3</sub>). Новые данные по петрогеохимии интрузий и взрывных брекчий данного комплекса позволяют дополнить сведения о рудно-магматической системе месторождения.

Ключевское золоторудное месторождение, расположенное в южной части Алдано-Становой области, относится к числу крупных объектов золото-молибденового пояса [9]. Большой вклад в его изучение внесли М.Б.Бородаевская, Н.В.Петровская и др. Ими были изучены структура, петрогеохимические особенности пород и руд [2, 8].

В структурном плане месторождение приурочено к зоне широтного разлома, являющегося составной частью Могочинско-Бушулейского тектонического нарушения. На площади месторождения развиты интрузивные образования амананского (J<sub>2-3</sub>) и амуджиканского (J<sub>3</sub>) комплексов, трансирующие Могоча-Бушулейскую ветвь Монголо-Охотской сутуры (рис. 1) [6]. Интрузивные образования амуджиканского комплекса представлены штоками гранит-порфиров и дайками. Граниты отличаются порфировидной структурой и присутствием крупных выделений калиевого полевого шпата (до 15 см), реже плагиоклаза, биотита, амфи-

бола, кварца. Их абсолютный возраст, определенный Rb-Sr методом, составляет 146 млн. лет [5].

В районе месторождения в составе амуджиканского комплекса выделяются следующие разновидности даек (от ранних к поздним): диоритовые порфириты → гибридные порфиры → лампрофиры → ортоклазиты. Золотое оруденение парагенетически тесно связано с поздними дайками. Дайки диоритовых порфиритов имеют мощность до нескольких метров, протяженность до нескольких сотен метров. Их основная масса сложена плагиоклазом, в подчиненном количестве развиты кварц, калиевый полевой шпат. Вкрапленники состоят из роговой обманки и биотита. Мощность даек гибридных порфиров до 10 м, протяженность 500 м. Основная масса их сложена плагиоклазом и роговой обманкой. Вкрапленники — калиевый полевой шпат, часто с кварцевыми и роговообманковыми реакционными каемками. Дайки лампрофиров мощностью до нескольких метров состоят из полевого шпата, роговой обманки, пироксена, биотита, кварца. По соотношениям этих минералов выделяются разновидности лампрофиров — спессартит и керсантит. Дайки ортоклазитов маломощны, их протяженность до нескольких десятков метров. В минеральном составе наблюдаются ортоклаз, альбит, кварц. Дайки гибридных порфиров, лампрофиров и ортоклазитов по времени формирования близки к процессам рудообразования. Отмечаются пересечения дайками гибридных порфиров и лампрофиров кварц-турмалиновых жил, которые, в свою очередь,

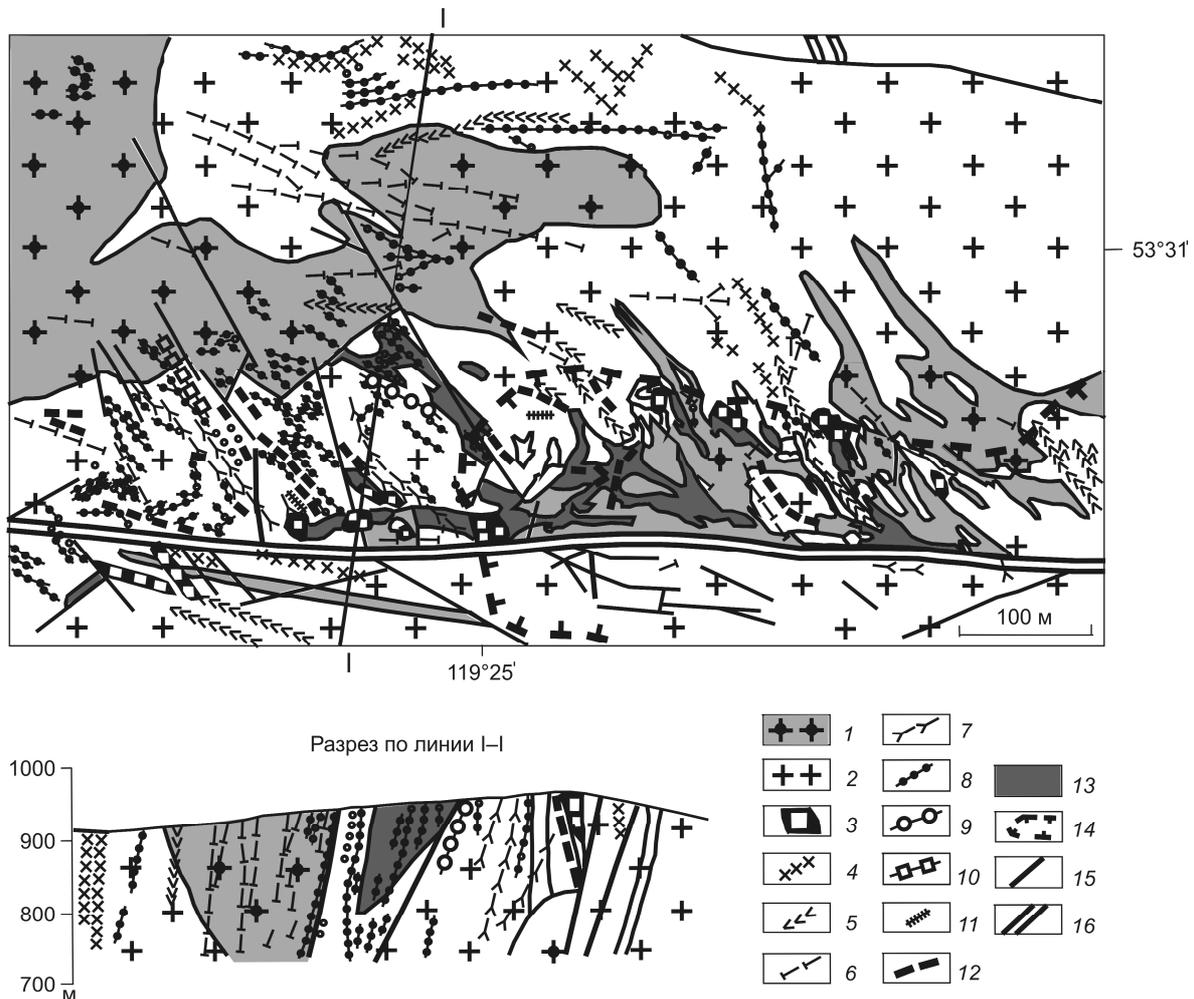


Рис. 1. Схема геологического строения Ключевского золоторудного месторождения:

1 — гранит-порфиры амуджиканского комплекса,  $J_3$ ; 2 — гранодиориты, кварцевые диориты амананского комплекса,  $J_{2-3}$ ; 3 — взрывчатые кварц-турмалиновые брекчии; дайковый комплекс: 4 — гранит-порфиры, 5 — диоритовые порфиры, 6 — гибридные порфиры; 7 — лампрофиры; жилы: 8 — кварц-пирит-турмалиновые, 9 — кварцево-сульфидные, 10 — кварцевые с полиметаллической минерализацией, 11 — кварц-карбонатные, 12 — кварц-турмалиновые; 13 — зоны метасоматически измененных пород (окварцевание, турмалинизация); 14 — контуры карьера; 15 — тектонические нарушения; 16 — широтный разлом

секутся сульфидными и кварц-карбонатными прожилками.

Характерной особенностью Ключевского месторождения является наличие конусо-, трубо- и жилообразных тел взрывчатых брекчий (ЭБ), пространственно приуроченных к периферийным частям штоков гранит-порфиров амуджиканского комплекса. Взрывчатые брекчии различаются по времени формирования, морфологии, масштабам выделений, составу цемента, размерам обломков. Брекчиевые тела в диаметре достигают 30–70 м. Размер обломочного материала колеблется от  $n$  мм до  $10n$  см. В крупных брекчиевых телах размер обломков от центральной части к периферии увели-

чивается. Наличие обломков «древних» брекчий в более «поздних» указывает на существование разновозрастных брекчий. В ранних ЭБ преобладает кварц-турмалиновый цемент, в поздних — хлорит-турмалин-актинолитовый, карбонат-хлорит-пиритовый и карбонатный. К поздним относятся брекчии, характеризующиеся повышенными концентрациями редкоземельных элементов. В них тонкие дробленные частицы кварц-турмалинового состава сцементированы карбонатным материалом. Образование части ЭБ происходило в периоды рудообразования, отмечаются сульфидизированные участки с содержаниями Au до нескольких грамм на 1 т. В Восточном Забайкалье в некоторых мезозойских

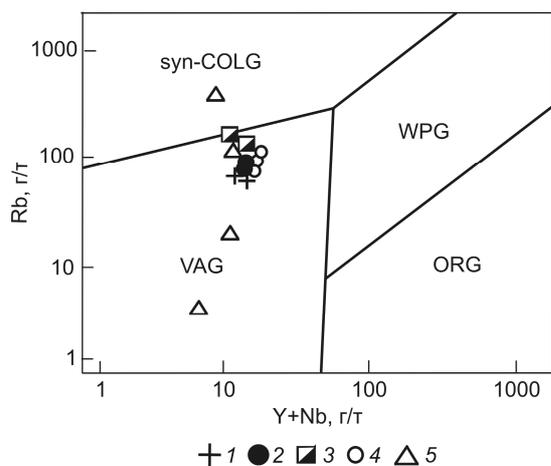


Рис. 2. Дискриминационная диаграмма Rb – (Y+Nb) для гранитоидов [11]:

поля гранитов на диаграммах: syn-COLG — коллизионные, WPG — внутриплитные, VAG — вулканических дуг, ORG — океанических хребтов; амуджиканский комплекс: 1 — гранит-порфиры, 2 — диоритовые порфиры, 3 — гибридные порфиры, 4 — лампрофиры, 5 — эксплозивные брекчии

золоторудных месторождениях с ЭБ связано основное золотое оруденение [1].

Положение интрузивных образований и эксплозивных брекчии амуджиканского комплекса на дискриминационной диаграмме Rb – (Y+Nb) свидетельствует о формировании их в островодужной обстановке (рис. 2).

Интрузивные образования амуджиканского комплекса имеют как сходные, так и отличительные петрохимические особенности. Гранитоиды по соотношениям петрохимических параметров соответствуют гранитам I-типа (рис. 3). По коэффициенту глиноземистости ( $al^c=1,33-1,50$ ) и коэффициентам окисленности железа дайки гибридных порфиров, лампрофиров, диоритовых порфиров и ранние ЭБ близки ( $F=0,30-0,32$ ), что говорит о сходных условиях их формирования [4]. В гранитах эти параметры имеют большие значения ( $al^c=3,47-3,82$ ,  $F=0,76-0,79$ ), что свидетельствует об образовании их в окислительной обстановке. Поздние ЭБ отличаются очень высоким коэффициентом окисленности железа ( $F=12,44$ ), что объясняется образованием их в окислительной обстановке (табл. 1).

Характерная особенность интрузий амуджиканского комплекса — повышенные содержания  $K_2O$ . На диаграмме  $K_2O - SiO_2$  они соответствуют магматическим образованиям высококальциевой известково-щелочной серии, а некоторые дайки гибридных порфиров и лампрофиров — шошонитовой серии (рис. 4).

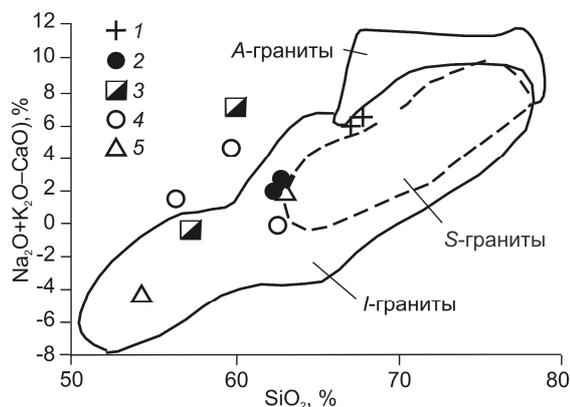


Рис. 3. Диаграмма  $(Na_2O+K_2O-CaO) - SiO_2$  для гранитоидов:

усл. обозн. см. рис. 2

Морфологически рудные образования представлены жилами, жильными и штокверковыми зонами. Основные концентрации золота сосредоточены в центральном штокверке (1000×300 м). Главный рудный минерал — пирит, второстепенные — халькопирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, антимонит, молибденит, золото.

Рудная минерализация подразделяется на несколько стадий (от ранних к поздним): молибденит-кварцевая → сульфидно-кварц-турмалиновая (наиболее распространенная) → кварц-пиритовая → кварц-полиметаллическая → карбонатно-кварцевая [6, 7]. Установлено, что температуры образования минералов молибденит-кварцевой стадии соответствовали 390–450°C, кварц-турмалиновой — 290–365°C,

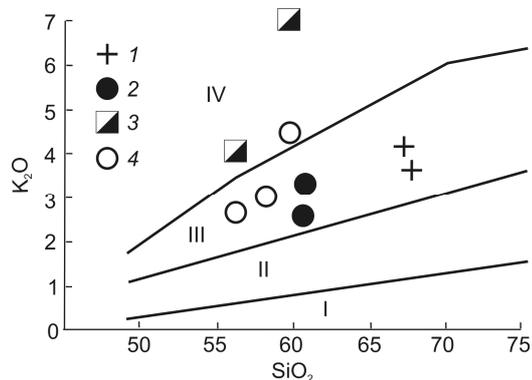


Рис. 4. Соотношение  $K_2O - SiO_2$  в интрузивных и эксплозивных образованиях Ключевского золоторудного месторождения:

поля интрузивных серий на диаграмме: IV — шошонитовая, III — высококальциевая известково-щелочная, II — среднекальциевая известково-щелочная, I — островодужная толеитовая; остальные усл. обозн. см. рис. 2

**1. Содержания петрогенных компонентов в интрузивных и эксплозивных образованиях  
Ключевского золоторудного месторождения, мас. %**

Породы	Гибридные порфиры		Эксплозивные брекчии с кварц-турмалиновым цементом		Граниты амуджиканского комплекса		Диоритовые порфиры		Эксплозивные брекчии с карбонатным цементом	Лампрофиры		
SiO <sub>2</sub>	59,70	56,40	62,60	59,80	67,80	67,30	62,10	62,20	54,5	59,30	57,00	56,00
TiO <sub>2</sub>	0,60	0,50	0,25	0,54	0,35	0,33	0,49	0,53	0,06	0,63	0,57	0,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,40	12,80	11,70	14,10	15,00	14,70	14,40	14,90	4,30	14,50	13,70	14,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,87	1,05	4,56	1,16	1,28	1,23	1,21	3,07	16,54	1,03	0,85	2,02
FeO	5,80	3,48	1,84	3,76	1,68	1,56	3,64	2,48	1,33	3,88	4,48	4,76
MnO	0,11	0,09	0,08	0,07	0,03	0,04	0,10	0,03	0,04	0,09	0,10	0,12
MgO	2,54	3,26	3,24	5,06	1,40	1,06	4,84	5,06	1,49	4,75	6,48	7,84
CaO	0,42	4,82	3,37	3,61	2,68	2,49	4,24	4,24	4,37	3,07	5,76	5,07
Na <sub>2</sub> O	0,24	0,25	3,07	3,79	4,53	4,19	3,07	3,19	0,13	2,07	3,20	3,93
K <sub>2</sub> O	7,06	4,00	0,18	4,00	3,57	4,10	3,38	2,69	0,01	4,39	3,00	2,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,16	0,14	0,23	0,16	0,13	0,13	0,14	0,12	0,31	0,16	0,16	0,20
ППП	6,79	13,38	6,60	3,84	1,25	2,35	1,74	1,75	13,33	6,23	4,42	2,83
∑	99,69	100,17	97,72	99,89	99,70	99,48	99,35	100,26	96,41	100,10	99,72	100,27
<i>a</i> <sup>l</sup>	1,41	1,63	1,33	1,41	3,47	3,82	1,49	1,40	0,22	1,50	1,16	0,97
<i>F</i>	0,32	0,30	0,30	0,31	0,76	0,79	0,33	1,23	12,44	0,26	0,19	0,42

Примечание.  $a^l = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$ ;  $F = \text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO}$ .

кварц-пиритовой — 250°C, карбонатно-кварцевой — 130–140°C [6]. Среднее содержание сульфидов в рудах составляет 10–15%. Наиболее продуктивны на золото кварц-пиритовая и кварц-полиметаллическая ассоциации. В рудах среднее содержание Au 2–3 г/т. Абсолютный возраст околорудных березитов (K-Ar метод по серициту) составляет 150±5 млн. лет [5].

В процессе исследований выявлено сходство корреляционных связей Au с другими элементами в рудах сульфидно-кварц-турмалиновой ассоциации и в ЭБ с кварц-турмалиновым цементом, что указывает на единые процессы образования в них золота (табл. 2).

Метасоматические изменения вмещающих пород, связанные с рудообразованием выразились в процессах турмалинизации, окварцевания, серици-

тизации и сульфидизации. Мощность таких зон достигает 10 м.

Для оценки глубины формирования и степени дифференциации магматических очагов использованы Eu/Eu\* и Eu/Sm отношения (табл. 3) [3]. Как показывают расчеты, магматические очаги интрузивных образований амуджиканского комплекса и ЭБ с кварц-турмалиновым цементом возникли в пределах нижней континентальной коры (Eu/Sm 0,19–0,21) (см. табл. 2) [3]. Они имеют близкие значения степени дифференциации магматических очагов (Eu/Eu\* 0,64–0,81). Магматические очаги ЭБ с карбонатным цементом более дифференцированы (Eu/Eu\* 0,49–0,51), образование их происходило на меньших глубинах, соответствующих верхней континентальной коре (Eu/Sm 0,10) (см. табл. 2) [3]. Распределение редкоземельных элементов (РЗЭ)

**2. Среднее содержание и корреляционные связи ( $r > 0,5$ ) Au с другими элементами в сульфидно-кварц-турмалиновых рудах и эксплозивных брекчиях с кварц-турмалиновым цементом**

Типы руд	Число проб	Au, от-до среднее	Элементы, имеющие с Au значимые корреляционные связи ( $r > 0,5$ )
Сульфидно-кварц-турмалиновые руды	37	$\frac{0-9,02}{1,99}$	Cu, Sn, As, Cd
Эксплозивные брекчии	23	$\frac{0,01-2,14}{0,39}$	Cu, Cd, Sn, Ag

Примечание. Содержание Au определялось сцинтилляционным и атомно-абсорбционным методами в аналитических лабораториях ОАО «ЛИЦИМС» (г. Чита).

3. Содержание редких, рудных и редкоземельных элементов в породах и рудах Ключевского золоторудного месторождения, г/т

Элементы	Кварц-турмалиново-сульфидные руды		Гибридные порфиры		Эксплозивные брекчи с кварц-турмалиновым цементом		Граниты амуджиканского комплекса		Диоритовые порфиры		Лампрофиры				Эксплозивные брекчи с карбонатным цементом		
Zn	98	71	60	44	27	64	52	39	-	66	80	-	-	-	-	-	-
As	3060	47	1500	140	39	55	49	22	430	1270	1150	-	-	-	-	-	-
Pb	138	40	41	150	35	22	49	-	24	60	55	-	-	-	-	-	-
Rb	3	110	6	108	64	99	84	110	96	20	4	-	-	-	-	-	-
Sr	248	390	320	400	560	490	470	370	460	420	220	-	-	-	-	-	-
Zr	83	100	75	110	110	120	120	105	110	50	40	-	-	-	-	-	-
Nb	4	5	4	6	6,4	3,9	6,1	6	6,4	3	3	-	-	-	-	-	-
Sn	98	1	8	-	-	1,4	1,5	-	2,6	11	19	-	-	-	-	-	-
Sb	160	14	14	9	4	3	4	20	9	21	284	-	-	-	-	-	-
Ba	38	420	8	760	800	760	680	800	520	940	280	-	-	-	-	-	-
Au	0,50	0,32	0,32	0,01	0,01	0,65	-	0,02	-	4,05	0,01	-	-	-	-	-	-
La	8,2	19,90	3,60	18,9	17,00	16,60	11,90	15,80	18,10	315,00	282,00	-	-	-	-	-	-
Ce	17,6	36,50	14,30	38,00	32,70	36,80	37,80	38,90	43,70	530,00	514,00	-	-	-	-	-	-
Pr	<2	3,10	<0,2	2,70	2,50	2,70	2,00	2,90	3,60	39,00	51,00	-	-	-	-	-	-
Nd	8,4	13,80	4,10	12,40	10,90	12,40	10,80	13,00	15,10	136,00	141,00	-	-	-	-	-	-
Sm	2,3	2,50	<1,0	2,10	1,60	2,10	1,90	2,30	2,60	18,60	17,70	-	-	-	-	-	-
Eu	0,50	0,48	0,13	0,46	0,33	0,40	0,38	0,47	0,59	1,95	1,81	-	-	-	-	-	-
Gd	2,10	2,24	<1,0	1,70	1,26	1,65	1,41	1,89	2,16	7,90	6,50	-	-	-	-	-	-
Tb	<0,50	0,37	<0,4	<0,4	0,39	0,40	0,40	0,36	0,39	<1	0,58	-	-	-	-	-	-
Dy	2,30	2,24	0,50	1,40	0,91	1,30	1,20	1,50	1,70	3,90	3,20	-	-	-	-	-	-
Ho	0,52	0,33	<0,20	0,28	0,20	0,23	0,26	0,30	0,32	0,78	0,62	-	-	-	-	-	-
Er	1,50	0,89	4,10	0,82	0,51	0,70	0,56	0,78	0,86	1,50	0,76	-	-	-	-	-	-
Tm	<0,30	0,13	<0,10	<0,10	0,09	0,10	0,13	0,12	0,15	<0,30	<0,30	-	-	-	-	-	-
Yb	1,13	0,73	0,35	0,76	0,51	0,60	0,56	0,70	0,89	1,15	0,85	-	-	-	-	-	-
Lu	0,15	0,12	<0,10	0,11	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15	0,19	0,18	-	-	-	-	-	-
Y	13,10	8,90	3,80	8,80	5,60	8,10	7,90	8,50	10,50	14,60	12,10	-	-	-	-	-	-
ΣLREE	25,8	59,50	17,90	59,60	49,60	56,10	51,70	57,60	65,40	884,00	847,00	-	-	-	-	-	-
ΣHREE	16,40	11,05	8,25	10,77	6,99	9,83	9,72	10,53	12,87	18,22	14,51	-	-	-	-	-	-
ΣTR	57,80	92,18	30,88	88,43	71,98	83,68	77,51	87,65	100,81	1070,57	1032,30	-	-	-	-	-	-
(La/Yb) <sub>n</sub>	5,03	18,93	17,41	42,85	18,40	19,20	12,50	15,60	14,10	184,99	199,82	-	-	-	-	-	-
Eu/Eu*	0,69	0,61	-	0,74	0,69	0,78	0,64	0,67	0,74	0,81	0,51	-	-	-	-	-	-
Eu/Sm	0,22	0,19	-	0,22	0,21	0,22	0,19	0,20	0,22	0,22	0,10	-	-	-	-	-	-

Примечание: ΣLREE — сумма легких РЗЭ (La–Pr), ΣHREE — сумма тяжелых РЗЭ (Ho–Lu, Y), ΣTR — сумма РЗЭ. Рудные и редкие элементы определены Б.Ж.Жалсаравым методом РФА; редкоземельные элементы — Л.А.Левантуевой, Т.И.Каванцевой методом ASP-AES в аналитическом центре Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ). Содержание Au определено сцинтилляционным и атомно-абсорбционным методами в лабораторно-исследовательском центре по изучению минерального сырья (ОАО «ЛИЦИМС», г. Чита); «-» — нет данных.

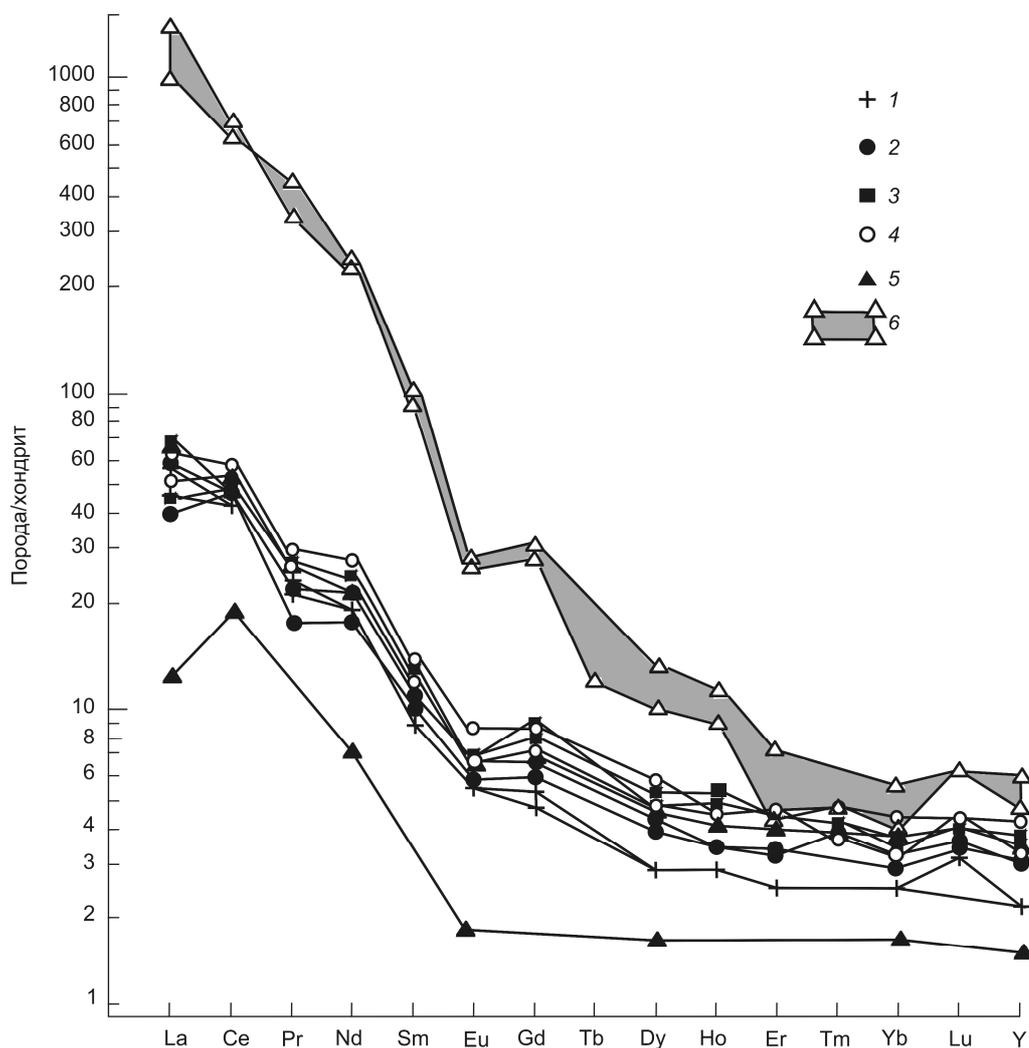


Рис. 5. Спайдер-диаграмма распределения редкоземельных элементов в интрузивных и эксплозивных образованиях Ключевского золоторудного месторождения:

1 — гранит-порфиры; 2 — диоритовые порфиры; 3 — гибридные порфиры; 4 — лампрофиры; 5 — эксплозивные брекчии с кварц-карбонатным цементом, 6 — поля значений эксплозивных брекчий с карбонатным цементом

указывает на близкие глубины образования и степени дифференциации магматических очагов интрузий амуджиканского комплекса и некоторых ЭБ. Поздние ЭБ с карбонатным цементом характеризуются повышенными концентрациями РЗЭ (рис. 5). Магматические очаги кварц-турмалин-сульфидных руд по степени дифференциации ( $Eu/Eu^* 0,69$ ) по глубинам функционирования магматических очагов ( $Eu/Sm 0,22$ ) близки к магматическим очагам даек гибридных порфиров, лампрофиров, диоритовых порфиритов и ранних ЭБ.

Таким образом, магматические очаги даек амуджиканского комплекса, ранних ЭБ и руд сульфидно-кварц-турмалиновой ассоциации формировались на

глубинах, соответствующих нижней континентальной коре ( $Eu/Sm=0,19-0,22$ ). Магматические очаги этих пород имели близкие значения степени дифференциации магматического очага ( $Eu/Eu^* 0,61-0,74$ ), коэффициентов глиноземистости ( $al^c 1,33-1,50$ ) и коэффициентов окисленности железа ( $F 0,30-0,32$ ). В отличие от них магматические очаги гранитов амуджиканского комплекса характеризовались большими значениями коэффициентов глиноземистости и окисленности железа ( $al^c 3,47-3,82$ ,  $F 0,76-0,79$ ). Магматические очаги поздних ЭБ функционировали на глубинах, отвечающих верхней континентальной коре ( $Eu/Sm 0,09-0,10$ ). При этом они имели очень высокие значения степени окисленности железа ( $F$

12,44), что можно объяснить образованием их в окислительной обстановке.

С заключительными этапами образования даек амуджиканского комплекса (лампрофирами, гибридными порфирами) парагенетически связано золотое оруденение. Образование ЭБ связано с интрузиями амуджиканского комплекса. Выявлено, что эксплозивные брекчии формировались во все периоды рудного процесса. В ранних ЭБ отмечается кварц-турмалиновый цемент, в поздних — карбонатный. В поздних брекчиях повышены концентрации редкоземельных элементов. Золотое оруденение в рудах сульфидно-кварц-турмалиновой ассоциации и в рудных брекчиях возникло в ходе единых процессов рудообразования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов Б.Н.* Условия формирования и рудоносность флюидно-эксплозивных образований золоторудных месторождений Восточного Забайкалья // Докл. РАН. 2011. Т. 440. № 1. С. 67–71.
2. *Бородаевская М.Б.* Некоторые особенности петрогенезиса формации малых интрузий послеверхнеюрского возраста в одном из районов Восточного Забайкалья // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1956. № 6. С. 70–91.
3. *Винокуров С.Ф.* Европиевые аномалии в рудных месторождениях и их геохимическое значение // Докл. РАН. 1996. Т. 346. С. 792–795.
4. *Ефремова С.В., Стафеев К.Г.* Петрохимические методы исследования горных пород. Справочное пособие. – М.: Недра. 1985.
5. *Комаров П.В., Томсон И.Н.* Возрастная последовательность оруденения и плутогенные циклы на примере Восточного Забайкалья // Отечественная геология. 1995. № 10. С. 26–56.
6. *Криволицкая Н.А., Гонгальский Б.И.* Ключевское месторождение // Месторождения Забайкалья. М., 1995. Т. 1. Кн. 2. С. 33–40.
7. *Криволицкая Н.А.* Парагенетические ассоциации минералов и условия образования руд Ключевского месторождения золота (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология рудных месторождений. 1997. № 4. С. 344–361.
8. *Петровская Н.В., Андреева М.Г.* Минералогические особенности Ключевского золоторудного месторождения (Восточное Забайкалье) // Тр. ЦНИГРИ. 1958. Вып. 25. Кн. 1. С. 32–66.
9. *Смирнов С.С.* Очерк металлогении Восточного Забайкалья. – М.: Геолтехиздат, 1944.
10. *Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Китаев Н.А.* Золотосные рудно-магматические системы Забайкалья. – Новосибирск: Гео, 2006.
11. *Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G.* Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // Petrol. 1984. Vol. 25. P. 956–983.

# ПРОГНОЗ И ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ



УДК 004.4:553.411 (575.14)

© М.У.Исоков, Т.Р.Салиев, 2014

## ПРИМЕНЕНИЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫЗЫЛАЛМА, УЗБЕКИСТАН

М.У.Исоков, Т.Р.Салиев (Государственное предприятие «Научно-исследовательский институт минеральных ресурсов» Госкомгеологии РУз)

*Рассмотрены применение современных горно-геологических информационных систем (ГГИС) и результаты исследовательской работы для инженерного обеспечения горного производства на примере золоторудного месторождения Кызылалма золото-сульфидно-кварцевого геолого-промышленного типа.*

*Ключевые слова: ГГИС, блочное моделирование, месторождение, подсчет запасов.*

*Исоков Максуд Узакович, gpniiimr@evo.uz, Салиев Тимур Рашидович, timur\_saliev@mail.ru*

## THE APPLICATION OF MINING-GEOLOGICAL INFORMATION SYSTEMS BY THE EXAMPLE OF KYZYLALMA GOLD DEPOSIT, OZBEKISTAN

M.U.Isokov, T.R.Saliev

*The application of modern mine-geological information systems (MGIS) and the results of the research work for the engineering support of mining production on the example of Kyzylalma gold field, gold sulphidic and quartz geological and industrial type.*

*Key words: MGIS, block modeling, deposit, resource estimation.*

Рентабельность горных предприятий во многом определяется состоянием запасов. Современные методы управления ресурсами и запасами основываются на применении информационных технологий. Одно из направлений их применения для решения различных информационно-аналитических задач — горно-геологические информационные системы. Интегрированные системы ГГИС высокого класса позволяют решать многие проблемы, возникающие на различных стадиях геологоразведочных работ и проектирования. С помощью мощного математического аппарата, заложенного в таких системах, и проводимых на их основе расчетных процессов можно моделировать динамику развития горных работ. По результатам вычисления статистических характеристик устанавливается зависимость производительности блока по добыче руды от ее промышленных запасов в блоке на конец запланированного периода отработки из числа эксплуатационных блоков, подлежащих отработке. На этом основании определяется необходимое количество блоков с промышленными запасами руды со средними содержаниями в них полезного компонента, которые обеспечивают необходимые плановые показатели горного предприятия по количеству руды заданного качества. Особое внимание при этом отводится созданию информацион-

ного банка данных по различным стадиям проведения горно-геологических работ [4].

В настоящее время практически все крупные горные предприятия в той или иной мере используют в своей работе интегрированные ГГИС. По функциональному наполнению, имея много общего с традиционными ГИС, эти системы отличаются рядом особенностей, главными из которых являются: изначальная ориентировка на решение 3D-задач в связи с естественной трехмерностью (объемностью) размещения геологических показателей и атрибутов в недрах месторождения; применение широкого комплекса методов математического моделирования для описания строения залежей; необходимость автоматизированного создания многослойных детальных карт, планов и разрезов масштабного ряда от 1:100 до 1:5000; наличие модулей или подсистем решения специальных технологических задач (от подсчета объемов и запасов до календарного планирования и оптимизации добычи); возможность визуализации динамических, изменяющихся во времени моделей для наглядного графического представления результатов работы.

Практически все ведущие ГГИС имеют ядро в виде собственных СУБД с оригинальным форматом хранения данных, хотя в последнее время наметилась тенденция к переходу на MS Access, SQL,

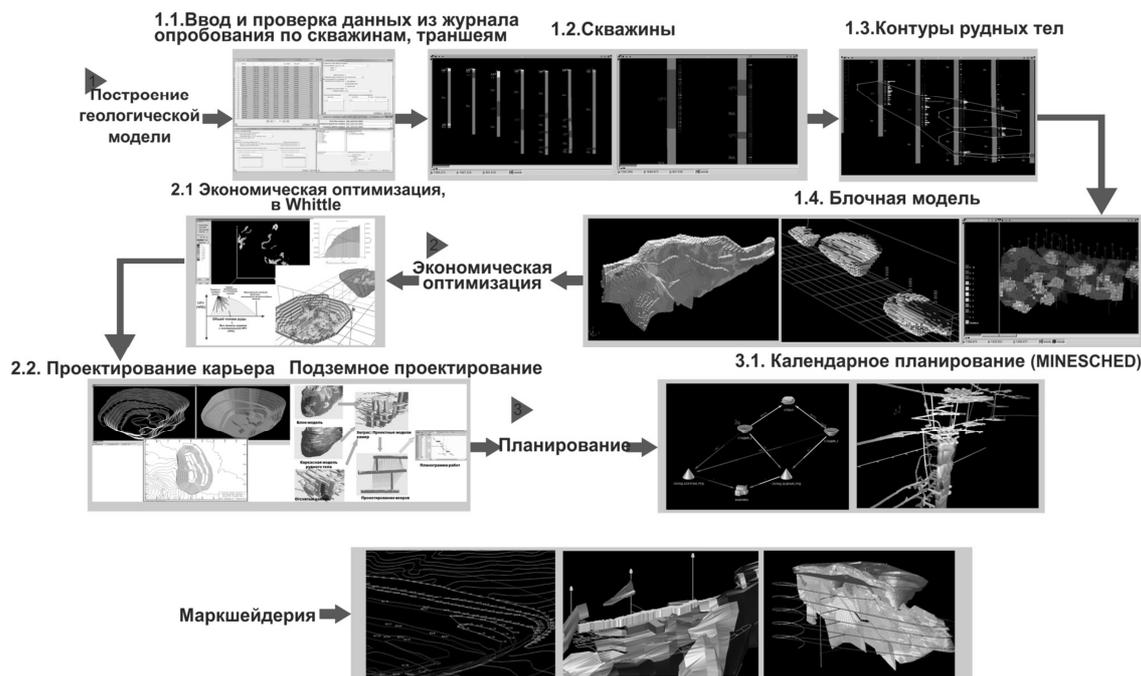


Рис. 1. Этапы работ в горно-геологических интегрированных системах на примере ГГИС Surpac и GEMS

Oracle и установлению тесного взаимодействия с другими базами данных через механизм ODBC. Обычный набор пространственных типов данных: точки (points), траектории опробования (drillholes), полилинии и полигоны (strings, polygons), сети триангуляции, регулярные решетки и блоки (grids, blocks), нерегулярные сеточные модели данных и сети конечных элементов (meshes), каркасные модели (solids) [1].

Для подсчета запасов некоторых типов осадочных и россыпных месторождений бывает достаточно построить по 2D-точкам сеть триангуляции Делоне и двойственную ей диаграмму Вороного, чтобы потом с приемлемой точностью оценить запасы полезного компонента. В общем случае, однако, необходимо выполнять построение полностью трехмерной блочно-каркасной модели, учитывающей тектонические нарушения, структурно-текстурные особенности массива, размытость границ рудных тел с вмещающими пустыми породами [1].

Частой проблемой горнорудных предприятий, которые прежде не использовали ГГИС, является то, что вся информация (геологические карты, разрезы, проекции на вертикальную и горизонтальную плоскости и т.д.) не обеспечена возможностью ее оперативной актуализации. В процессе эксплуатационной разведки и ведения добычных работ эти материалы постоянно детализируются. Кроме того, при изменении цен на добываемое сырье расчетные кондиции, обеспечивающие прибыль предприятия, могут изме-

няться. С помощью ГГИС можно решать эти проблемы как посредством стандартных модулей, которые используются в системах, так и посредством интеграции с внешними графическими приложениями (AutoCAD, Mapinfo и т.д.). Использование соответствующих плагинов позволяет произвести как импорт, так и экспорт данных в эти приложения.

Работа с интегрированными системами, включающими геологическую, маркшейдерскую, горную и экономическую части, может быть представлена в виде этапов (рис. 1), которые необходимо пройти для получения результатов при использовании системы.

Выделяются следующие этапы:

из журналов опробования вводятся данные по скважинам, канавам, траншеям, подземным горным выработкам (местонахождение пробы, интервал и результаты опробования);

по результатам опробования выделяются рудные интервалы (композиции) в зависимости от кондиций (бортовое содержание, минимальный рудный интервал, максимальный безрудный интервал и т.д.). По ним оконтуриваются рудные тела на погоризонтных планах и вертикальных разрезах, после чего строятся трехмерные каркасные модели рудных тел (solid); параллельно отстраивается геологическая модель месторождения (основные структуры, рудовмещающие породы) для последующего уточнения и корректировки параметров рудных тел;

модель месторождения для геологической оптимизации разбивается на блоки (блочная модель) с

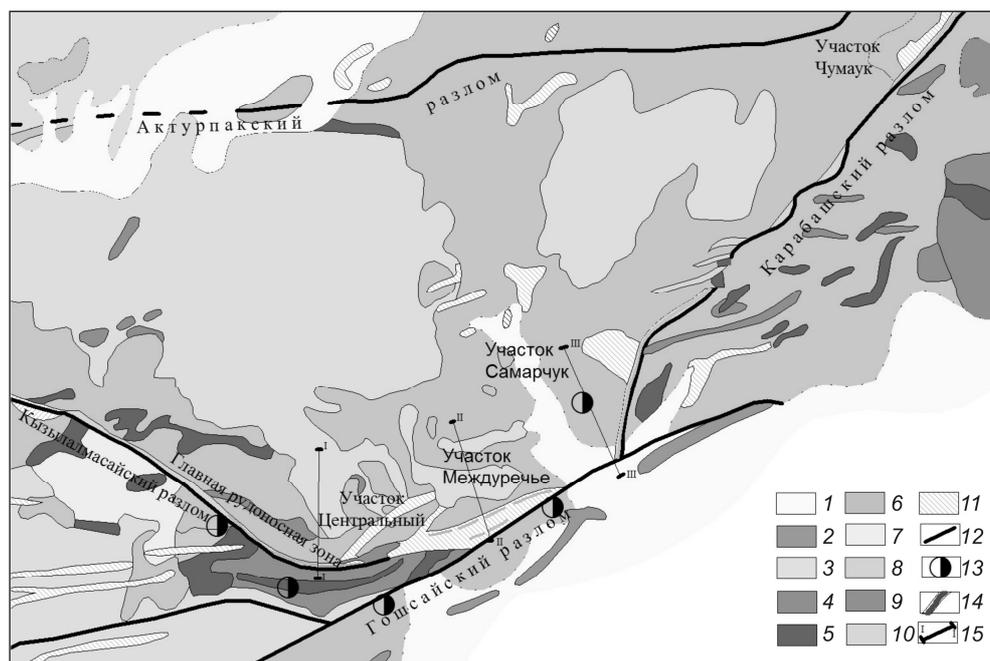


Рис. 2. Геологическая карта золоторудного месторождения Кызылалма, составил Н.Ф.Рафиков по материалам О.В.Белоплотовой, М.О.Сулейманова:

1 — современные рыхлые отложения; 2 — известняки палеогеновые; 3 — трахидацитовые порфиры, туфы, туфолавы, игнимбриды трахидацитового состава; 4 — фельзиты, гранит-порфиры, граносиениты и кварцевые диоритовые порфириды; 5 — сиенит-диоритовые порфириды; 6 — туфы, лавы, игнимбриды дацит-андезитового состава; 7 — габбро-диориты; 8 — граниты; 9 — метаморфические сланцы; 10 — кварцевые жилы и зоны интенсивного окварцевания (>50%); 11 — гидротермально измененные породы; 12 — разломы, тектонические трещины; 13 — золоторудные участки; 14 — золоторудные тела; 15 — шахты (1 — Главная, 2 — Вентиляционная, 3 — Разведочная)

последующим подсчетом запасов (поддерживает все известные методы подсчета). Программное обеспечение позволяет вносить данные о всех физико-механических свойствах вмещающих пород и руд, что облегчает возможность сортировки последних. Далее блочная модель импортируется в программу экономической оптимизации (промышленный стандарт технико-экономической оптимизации карьера), при помощи которой по заданным экономическим параметрам отстраивается оптимальный (с экономической точки зрения) контур карьера. Определяются оптимальные граница открытой и подземной отработки месторождения;

оптимальный контур возвращается из экономического блока в исходную программу, где отстраивается проектный контур карьера с бермами, дорогами с учетом уклона и углов бортов карьера. Кроме того, имеются возможности проектирования и проведения подземных горных выработок, проектирования и сортировки отвалов вскрышных пород и забалансовых руд (маркшейдерский модуль);

проектный контур карьера и (или) план подземной отработки месторождения передается специалистам для календарного (долгосрочного и опера-

тивного) планирования и ведения горных работ с расстановкой оборудования (модуль планирования горных работ — MINESCHED);

параллельно могут проводиться работы по сбору информации и фактическому состоянию горных работ, создаваться проекты буровзрывных работ БВР [3].

В зависимости от поставленных геологических и технико-экономических задач реализуются необходимые этапы вышеописанной технологии.

В Научно-исследовательском институте минеральных ресурсов Госкомгеологии РУз с помощью ГИС «Suprac», продукта компании GEMCOM (в настоящее время GEOVIA), являющейся одним из общепризнанных мировых лидеров в области программного обеспечения горно-геологического профиля, проведена исследовательская работа для инженерного обеспечения горного производства на шахтах Разведочная и Главная золоторудного месторождения Кызылалма золото-сульфидно-кварцевого геолого-промышленного типа [2].

Месторождение Кызылалма Кызылалмасайского рудного поля расположено в 10 км от г. Ангрен в Ташкентской области (рис. 2). Рудное поле приуро-

чено к восточному флангу Шаваз-Дукентского вулканотектонического грабена, на севере ограниченного серией разломов северо-восточного простирания, на юге — Гошсайским разломом. На востоке структура прерывается Бабайгаудорской кальдерой, выполненной пермскими риолитами. В пределах рудного поля развиты средне-верхнекаменноугольные вулканы среднего состава, залегающие на каледонских и герцинских гранитоидах. Каледонские гранитоиды содержат множество блок-ксенолитов ордовик-нижнесилурийских глинистых сланцев.

Минерализованные зоны месторождения Кызылалма и рудопроявлений рудного поля контролируются северо-западным Кызылалмасайским, субширотным Гошсайским, северо-восточным Карабашским разломами и далее, за Туячавульским разломом, — зоной северо-восточного простирания, прослеживающейся до р. Дукент, где она погружается под риолиты. Эта система минерализованных разломов вписывается в тектоническую динамопару крупных левосторонних сдвигов ограничивающих разломов.

При приближении Кызылалмасайского разлома на северо-западном фланге к зоне Кызкурганского первый расщепляется и затухает. Описываемый блок (Кызылалмасайский) включает почти все промышленные рудные скопления. Левобережный блок (междуречье Карабау–Дукент), ограниченный с юга Туячавульским разломом, прослеживается до р. Дукентсай. В его пределах на левом борту р. Карабау к северо-западному контакту Алтындыкской экструзии приурочено золото-серебряное рудопроявление Левобережное.

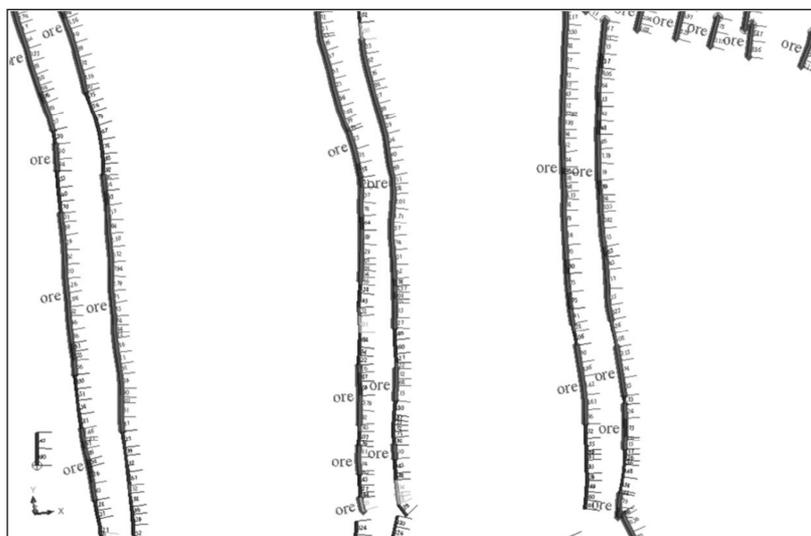


Рис. 3. Композиты для каркасной модели рудных тел

Минерализованная зона месторождения Кызылалмасай на всем своем протяжении располагается в расщепленных двуслюдяных каледонских гранитах, насыщенных дайковыми образованиями, и лишь частично — на их контакте с вулканитами нижней и средней пачек наadakского комплекса. На северо-западном фланге в Кызылалмасайском разломе она представлена серией крутопадающих на северо-восток жил и прожилков кварца, сосредоточенных в зоне метасоматически преобразованных пород шириной до 150 м и протяженностью ~1500 м. В северо-западном направлении зона расщепляется, теряясь в осветленных пропилитизированных, интенсивно выветрелых породах. Повышенные содержания золота в ней отмечены на Северо-Западном участке, где Кызылалмасайский разлом меняет простирание на запад–северо-западное.

На месторождении установлены тела двух морфологических типов: удлиненные ленто- и линзообразные с изгибами по простиранию и падению, а также небольшие по простиранию тела столбооб-

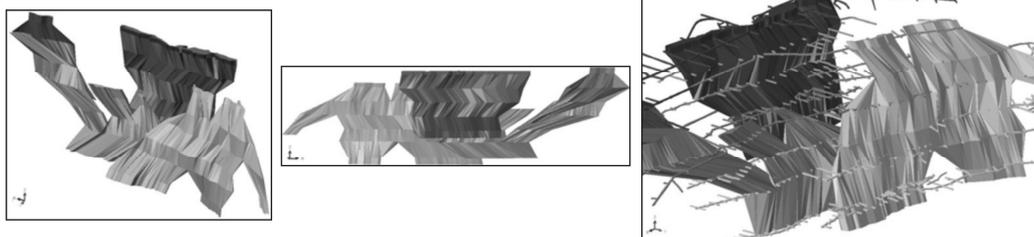


Рис. 4. Трехмерные каркасные модели рудных тел

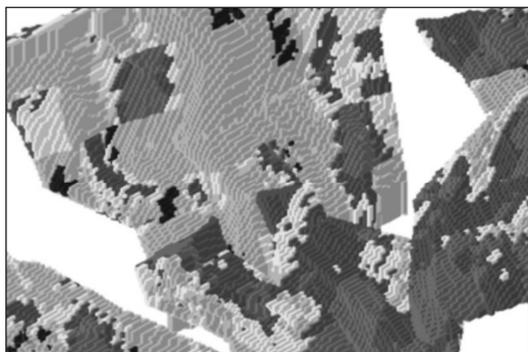


Рис. 5. Фрагмент блочной модели

разной формы [5]. Границы рудных тел не совпадают с границами зон окварцевания и определяются по данным опробования.

Для создания базы данных использована первичная информация по разведке месторождения Кызылалма, в которую вошли планы опробования канав, штольни 10 и шести шахтных горизонтов. Ввод данных осуществлялся посредством MS Excel при перехлестном набивании. Каждая таблица вводится двумя операторами, затем третий оператор проверяет наличие ошибок и только потом таблица пополняет базу данных MS Access. Эта схема снижает риск как случайных, так и систематических ошибок при вводе информации. На основе созданной базы данных по требуемым кондициям выделялись рудные интервалы (рис. 3). Рудные интервалы служили основой для последующего каркасного моделирования рудных тел, которое осуществлялось с учетом геолого-структурных особенностей месторождения по контурам, интерпретированным по планам (в основном) и разрезам (рис. 4).

По результатам геостатистического моделирования построена блочная модель с проинтерполированными по каждому блоку значениями признака (признаков), на основе которой проведен многовариантный подсчет запасов золота и серебра (рис. 5). Результаты подсчета запасов руды и металла методом блочной модели апробированы экспертным методом параллельных горизонтальных разрезов, неоднократно получавшим положительную оценку в Государственной комиссии по запасам. Сопоставление показало, что основные подсчетные показатели по месторождению находятся в пределах допустимых технических погрешностей, %: по руде 2, по запасам золота 7, серебра 5,5. Различия в итоговых запасах золота и серебра обусловлены неодинаковыми подходами в выделении и ограничении проб с ураганными содержаниями благородных металлов.

Таким образом, создание электронных баз данных графических и аналитических материалов разного направления (порядка), применение на их ос-

нове современных ГГИС позволяют оперативно учитывать изменение конъюнктуры мирового рынка, горно-геологические параметры месторождений, т.е. максимально оптимизировать условия эффективной технологии разработки.

Построенная модель месторождения может использоваться для подсчета его запасов, оперативной корректировки данных по блочной модели в связи с поступающей информацией, оптимального проектирования горнодобывающего предприятия, а также кратко-, средне- и долгосрочного планирования горных работ на действующем предприятии.

Современные ГГИС для моделирования месторождений — эффективный инструмент обработки и анализа геологоразведочной информации. Однако их использование осложняется спецификой получения, обработки, хранения и представления геологических данных на конкретных месторождениях, что делает необходимой адаптацию ГГИС непосредственно к каждому объекту.

Блочное моделирование с применением индикаторного кригинга позволяет снизить влияние рассеянных высоких содержаний на пространства, для которых содержания определяются пробами из популяций с более низким фоном содержаний. В случае пространственного совмещения популяций это дает более достоверный результат.

Практическое построение блочных моделей месторождений на основе ГГИС с многовариантными методами подсчета запасов и геостатистическим моделированием позволяет применять к ним международные классификации запасов (Международная Рамочная Классификация ООН, кодекс JORC и т.д.). В соответствии с последними блочная модель может дополнительно оцениваться по категориям достоверности в связи с имеющейся информацией. В результате категория запасов может быть снижена, что дает возможность учитывать риски использования первичных геологоразведочных данных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев П.В. Развитие горно-геологических информационных систем <http://www.gisa.ru/12217.html>.
2. Геолого-промышленные типы, оценка и разведка золоторудных месторождений Узбекистана. Методические рекомендации / В.Я.Зималина, И.М.Голованов, М.У.Исоков и др. — Ташкент: Фан, 2008.
3. Данные компании GEMCOM (GEOVIA).
4. Ляшенко В.И. Развитие методов управления запасами руд при подземной разработке месторождений сложной структуры // Горный журнал. 2005. № 6.
5. Рудные месторождения Узбекистана / Под ред. И.М.Голованова. — Ташкент: Фан, 2001.

# АППАРАТУРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ



УДК 622.7:553.411 (571.15)

© С.С.Беговатов, Н.А.Махнева, А.В.Власов, 2014

## ИСТОРИЯ ОСВОЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ РУДЫ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЭЛЬДОРАДО В ЕНИСЕЙСКОМ КРЯЖЕ

**С.С.Беговатов, Н.А.Махнева, А.В.Власов (ООО «Соврудник»)**

*Золоторудное месторождение Эльдорадо находится в Северо-Енисейском районе Красноярского края. За время освоения объекта (130 лет) постоянно возникал вопрос о его рентабельности, добычу руды неоднократно останавливали. Перед освоением месторождения важную роль играют выбор технологии переработки руд, схема транспортировки и объемы производства. Выбор оптимальной схемы позволяет не только полностью отработать запасы, но и увеличивать их, переводя из подземных в открытые.*

*Ключевые слова: золоторудное месторождение, ренгенорадиометрическая сепарация (РРС), дробильно-сортировочный комплекс (ДСК), опытно-промышленный комплекс, кучное выщелачивание.*

*Беговатов Сергей Степанович, geolog@sovrudnik.ru, Махнева Наталья Андреевна, mna@krasgeolsjemka.ru, Власов Андрей Витальевич, direktor@krasgeolsjemka.ru*

## HISTORY OF DEVELOPMENT AND TECHNOLOGY OF ORE ENRICHMENT OF THE GOLD FIELD ELDORADO IN YENISEY RIDGE

**S.S.Begovatov, N.A.Makhneva, A.V.Vlasov**

*Gold field Eldorado in North-Yenisei area of Krasnoyarsk region. During the field mining (130 years) constantly there is a question of its disputable profitability. Ore production repeatedly stopped. During field mining an important role is played by technology of ores processing choice, scheme of transportation and output. The choice of the optimum scheme allows not only to work out the reserves, but also to increase them, transferring from underground to open cut mining.*

*Key words: gold field, rengen-radiometric separation (RRS), crushing and sorting complex (CSC), trial complex, compact leaching.*

Золоторудное месторождение Эльдорадо в Северо-Енисейском районе Красноярского края известно с 1883 г., когда на водоразделе верховьев рек Севогликона и Актюлика почти одновременно были оформлены отводы на рудное золото — Эльдорадо, Сакраменто, Колхида, Монте-Карло, Альпийский, Водораздельный, Сан-Франциско. Уже в 1886 г. на месторождении было добыто 8,4 кг рудного золота при содержании в руде 17,1 г/т. В 1900 г. добыча была остановлена из-за нерентабельности. Повторная эксплуатация месторождения совместно с разведкой проводилась в 1936–1955 гг. В эти годы осуществлялись разведка кварцевых жил и отработка богатых участков мелкими карьерами и подземным способом. В 1955 г. добыча руды была остановлена по причине нерентабельности ее отработки. На 1 января 1955 г. на месторождении добыто 56,3 тыс. т руды, 749,2 кг золота со средним его содержанием в руде 13,3 г/т. Всего за период 1886–1970 гг. добыто 824,4 кг металла.

В 1968–1973 гг. (А.И.Аверченков) впервые дана оценка золотоносности месторождения на рудную

массу — кварц+сланцы. Предварительно разведана Первая жильная зона месторождения Эльдорадо, которое в результате признано рентабельным для отработки открытым способом и рекомендовано к детальной разведке.

В 1978–1983 гг. (В.С.Гонтарь) ПГО «Красноярскгеология» проведена детальная разведка месторождения, обоснованы и утверждены постоянные кондиции и в соответствии с ними подсчитаны и утверждены ГКЗ СССР запасы рудного золота для открытой и подземной добычи. При обосновании кондиций для подсчета запасов рассматривались три варианта переработки руды месторождения Эльдорадо: строительство фабрики полного цикла на месторождении с переработкой на месте; получение на месте концентрата с последующей его переработкой на существующей золотоизвлекательной фабрике (ЗИФ) в районном центре — пос. Северо-Енисейск; транспортировки всей руды на ЗИФ в пос. Северо-Енисейск, связанный с месторождением грунтовой дорогой длиной 65 км. Предпочли вариант первичной переработки руды на месте с получении

ем концентратов и последующей их переработкой на Северо-Енисейской ЗИФ. После утверждения запасов в 1983 г. разработка месторождения продолжена уже в промышленных масштабах Северо-Енисейским АОТ «Золото». Добытая руда перевозилась для переработки на ЗИФ в пос. Северо-Енисейск. В 1998 г. предприятие обанкротилось.

Золотодобывающая компания *ООО «Соврудник»* начала функционировать в 1999 г. практически с нуля. Отсутствие горной техники, специалистов по открытой разработке рудных месторождений, а также удаленность объекта от фабрики сдерживали ее развитие. В том же 1999 г. получена первая лицензия на право добычи рудного золота на месторождении Эльдorado и добыта первая руда, переработка которой осуществлялась на Северо-Енисейской ЗИФ. Получены первые 192 кг золота.

В 1999 г. компанией проведены лабораторные исследования руды на обогатимость методом сухого обогащения рентгенометрическими сепараторами. Учитывая хорошие результаты исследования, был разработан проект строительства опытно-промышленного комплекса месторождения Эльдorado. Планировались добыча и переработка руды в объеме 500 тыс. т в год при содержании Au 2,6 г/т.

После двойного дробления и грохочения предусматривалось разделение руды на две фракции: сортируемый класс (300 тыс. т, 60%) с содержанием Au 2,6 г/т и несортируемый (200 тыс. т, 40%) с таким же содержанием Au. Сортируемый класс после сепарации разделяется на концентрат (90 тыс. т, 18% от общей массы руды) с содержанием Au 3,9 г/т и хвосты (210 тыс. т, 42% от общей массы руды) с содержанием Au 0,8 г/т.

После сепарации концентрат (90 тыс. т) смешивается с несортируемым классом (200 тыс. т), и вся руда в количестве 290 тыс. т (58% от общей массы руды) с содержанием Au 2,9 г/т перевозится в пос. Северо-Енисейск для переработки на ЗИФ. Хвосты в объеме 210 тыс. т с содержанием Au 0,8 г/т складированы в специальный отвал карьера Эльдorado.

Технологические испытания на промплощадке карьера Эльдorado проводились силами *ООО «Соврудник»* при постоянном присутствии представителей разработчиков сепараторов и выполнении выданных ими указаний. Выдерживались все рекомендованные технические параметры сепарации — производительность, гранулометрический состав, толщина слоя на конвейерной ленте и проч.

Работа рентгенометрических сепараторов основана на выявлении неоднородности в руде. Поскольку прибор золото из-за низкой его концентрации не учитывает, было установлено корреляционное отношение определяемых элементов —

кварц (жильный), железо (пирротин, пирит), мышьяк (арсенопирит), свинец (галенит). После определения этих элементов в каждом подаваемом образце образцы рассортировывались и соответствующие признакам рудных поступали в руду. Содержание Au в концентрате зависит от степени неравномерности перечисленных показателей и не зависит от среднего содержания Au в руде. В целях обеспечения Северо-Енисейской ЗИФ рудой решено до завершения отработки технологии сухого обогащения богатую руду карьера Эльдorado возить сразу на ЗИФ, а настройку технологии проводить на бедной руде, учитывая, что установление параметров полезных компонентов от качества руды не зависит. Фактические показатели работы сортировочного комплекса за первые три года приведены ниже.

В 2002 г. общая переработка дробильно-сортировочного комплекса составила 98 494 т (100%) руды с содержанием Au 1,44 г/т. Масса несортируемого класса 49 445 т (50,2%) с содержанием 1,31 г/т. На сортировку поступило 49 049 т (49,8%) руды с содержанием Au 1,57 г/т. Масса полученного концентрата 26 006 т (26,4%) с содержанием Au 2,3 г/т, хвостов — 23 043 т (23,4%) с содержанием 0,8 г/т. На ЗИФ отправлено 75 451 т (76,6% от общей массы руды) с содержанием Au 1,64 г/т.

В 2003 г. общая переработка дробильно-сортировочного комплекса составила 262 814 т (100%) с содержанием Au 1,4 г/т. Несортируемый класс — 145 479 т (55,4%) с содержанием 1,33 г/т. На сортировку поступило 117 335 т (44,6%) с содержанием 1,47 г/т. Масса концентрата 33 371 т (12,7%) с содержанием Au 2,46 г/т, хвостов — 83 964 т (31,9%) с содержанием 1,26 г/т. На ЗИФ отправлено 178 850 т (68% от общей массы руды) с содержанием Au 1,54 г/т.

В 2004 г. общая переработка ДСК — 298 484 т (100%) с содержанием Au 1,41 г/т. Несортируемый класс — 294 388 т (98,6%) с содержанием 1,41 г/т. На сортировку поступило 4096 т (1,4%) с содержанием 1,47 г/т. Масса концентрата 1234 т (0,4%) с содержанием Au 2,29 г/т, хвостов — 2862 т (1,0%) с содержанием 1,1 г/т. На ЗИФ отправлено 295 622 т (99,0% от общей массы руды) с содержанием Au 1,41 г/т.

По результатам трехлетней работы РРС в промышленных масштабах сделаны следующие выводы: обогащение руды рентгенометрическими сепараторами происходит, но проектное содержание Au 3,9 г/т в концентратах не достигнуто; плановое содержание Au 0,8 г/т в хвостах сепарации также не достигнуто; при увеличении объемов переработки до проектных количество несортируемого класса руды значительно возрастает (до 98,6%); проектная производительность дробильно-

сортировочного комплекса в 500 тыс. т руды в год не достигнута. В итоге — применение РРС для обогащения руды в концентрат экономически не эффективно.

В 2004 г. ООО «Соврудник» изучены возможность и целесообразность обогащения руд месторождения Эльдorado по способу кучного выщелачивания (ККВ). Исследования и разработка регламента выполнены ОАО «Иргиредмет». Регламентом предусматривается переработка бедной руды карьера Эльдorado с вовлечением хвостов сепарации в переработку на ККВ, богатая руда перевозится в пос. Северо-Енисейск на ЗИФ.

За пять лет эксплуатации месторождения на промплощадке построены вахтовый поселок, комплекс кучного выщелачивания, дробильный комплекс, ремонтная база, боксы, заправочная станция, закуплены горная техника и оборудование. Выполнялись вскрышные работы. При согласовании проекта разработки месторождения Эльдorado в части охраны недр Центральная комиссия по разработке Роснедра рекомендовала пересмотреть кондиции, поскольку с момента их утверждения в 1983 г. цена на золото увеличилась более чем в 50 раз, и подготовить технико-экономическое обоснование глубины открытых горных работ.

В 2010–2011 гг. по результатам геологоразведочных работ, приведенным в отчете «Результаты детальной разведки золоторудного месторождения Эльдorado в 1978–1983 гг. с подсчетом запасов на 01.07.1983 г.», компанией обоснованы ТЭО кондиций и пересчитаны запасы рудного золота месторождения Эльдorado. В обоснование кондиций положены балансовые запасы месторождения по состоянию на 1 января 2010 г. Горнотехническое,

технологическое и экономическое обоснование кондиций выполнено с учетом фактических показателей карьерной добычи руды на месторождении, обогащения руды на Северо-Енисейской ЗИФ и по способу кучного выщелачивания.

В основу пересчета запасов рудного золота взяты графические и необходимые текстовые материалы, вошедшие в состав отчета «Результаты детальной разведки... 1983 г.». Пересчет запасов для открытой добычи выполнен с применением параметров, обоснованных ТЭО кондиций 2010 г.

Возникшие в последнее десятилетие предпосылки не только технического, но и экономического характера (современные технические средства, усовершенствованная рациональная система обогащения руды, рост цены на золото и т.д.) создали благоприятные условия для вовлечения в открытую разработку той части запасов, которая ранее была утверждена для подземной добычи. Согласно ТЭО 1983 г., глубина открытых горных работ ограничивалась горизонтом +590 м. В ТЭО кондиций 2010 г. обоснована целесообразность углубления дна карьера до горизонта 520 м. Полученный прирост запасов позволил увеличить срок службы карьера на пять лет при сохранении его производительности по добыче руды на уровне 1000 тыс. т в год. Параметры кондиций и подсчитанные по ним запасы утверждены ФБУ ГКЗ.

Компанией ООО «Соврудник» разработан проект отработки запасов до горизонта 520 м. Производится разноска бортов под новый проект. Для продления срока службы карьера и укрепления рудной базы получена лицензия на право геологического изучения и добычи рудного золота на Эльдорадинской площади.

УДК 553.411.068.5 (571.6)

© И.В.Кузнецова, 2014

## ПРОБЛЕМЫ ВЫДЕЛЕНИЯ НАНОРАЗМЕРНОГО ЗОЛОТА ПРИ РОССЫПНОЙ ЗОЛОТОДОБЫЧЕ НА ПРИМЕРЕ ПРИАМУРЬЯ

И.В.Кузнецова (Институт геологии и природопользования ДВО РАН)

*На примере золотоносных россыпей Приамурья рассмотрены проблемы извлечения наноразмерного золота и определения его содержания в гравитационных концентратах, полученных при дражной и гидравлической добыче. Экспериментально установлено, что практически не извлекается золото наноразмерное и в сростках с другими минералами. Комплексные исследования форм выделения и распределения наноразмерного золота в рудах месторождений показывают возможность существенного наращивания ресурсного потенциала металла.*

*Ключевые слова:* наноразмерное золото, золотоносные россыпи, минералы-концентраты золота.

Кузнецова Инна Владимировна, kuzia67@mail.ru

## THE PROBLEMS OF NANOGOLD EXTRACTION DURING THE MINE FROM PLACERS IN CASE OF PRIAMURIE

I.V.Kuznetsova

*On the example of goldfields of Priamurie region issues related to nanogold extraction were reviewed, along with the problems of its content determination among gravitation concentrates, which were obtained as a result of drag-and hydro-mining. Experimentally proven, almost all nanogold and gold in intergrowths with other minerals cannot be sufficiently extracted. It is demonstrated that complex investigations of allocations and distributions of nano-sized gold ore deposits allow us to assert the possibility of substantial increase in the resource potential of this noble metal.*

*Key words:* nanogold, gold-placer mine, minerals-concentrators of gold.

Добыча золота в Приамурье ведется более 100 лет и за это время многие из россыпей обрабатывались по нескольку раз. Главная причина плохого извлечения благородного металла состоит в том, что основное количество золота пылевидное, либо закапсулировано в других минералах. Если раньше проблемы, связанные с невидимым золотом, считались незначительными (из-за наличия легко перерабатываемых богатых руд), то по мере вовлечения в переработку бедных упорных руд эта точка зрения изменилась.

В 90-х годах прошлого столетия среднее содержание Au в обрабатываемых отдельным способом песках уменьшилось в 2–3 раза, а в дражной горной массе снизилось на 28% и составило 180 мг/м<sup>3</sup> [17]. Средняя крупность золота в перерабатываемой продуктивной массе при этом уменьшилась в 2,5–3 раза, что привело к увеличению в ней доли мелкого золота до 40%, а в отдельных россыпях до 94% [8, 14]. Значительное сокращение балансовых запасов россыпного золота, а также резкое снижение прироста разведанных запасов за последние годы (не более 35% от объемов добычи) вызвало вовлечение в разработку техногенных образований (эфельных отвалов и хвостов шлихообогатительных установок) [4, 9].

Как известно, золото относится к числу немагнитных минералов, но часто значительное его коли-

чество, теряемое при гравитационном обогащении, связано с минералами железа — покрыто оксидами и гидроксидами железа и титанистого железняка, содержит их вкрапления или пленки («ржавое» золото, золото «в рубашке»), что обуславливает слабо- и среднемагнитные свойства (за счет железной матрицы) таких частиц золота. Так, по некоторым данным, частота встречаемости примесей железа в самородном золоте составляет до 97,9%, в россыпях магнитными свойствами обладает до 28,14% золота, в хвостах обогащения рудного золота — от 42,67 до 100% [3]. Это определяет высокие потери золота в магнитную фракцию при обработке золоторудных и россыпных месторождений. Вовлечение в промышленную эксплуатацию отходов горнорудного производства требует создания и применения нестандартных технологических схем переработки руды [7]. Помимо установления исходного состава концентрата, изучаются свойства минералов и их поведение в технологическом процессе.

Шлиховое золото, выделяемое в концентраты методами гравитационного обогащения руд на центробежных гравиконцентраторах, драгах, при последующем обогащении их на концентрационных столах и других устройствах обычно доводится, в зависимости от природы руд, до следующего состава (% от массы): золота 10–20, серебра 1–40, свинца, сурьмы и мышьяка в сумме 1–20, магнетита, ильменита,

циркона, граната, касситерита 5–80. Наличие в концентратах высоких содержаний упорных золотосодержащих минералов (углерода, ильменита, магнетита) может создать определенные сложности при проведении пробирного анализа [16].

Известно, что основные потери при добыче россыпного и рудного золота приходится на мелкое, пластинчатое, пылевидное и связанное золото с размером частиц от миллиметра до нескольких нанометров [13]. Причем часто при повторной и последующей отработке россыпи количество добытого ценного компонента мало изменяется, что свидетельствует об относительном постоянстве технологических потерь металла [4]. По современным оценкам и многочисленным публикациям, старательские артели, использующие традиционные промысловые приборы, теряют от 20 до 50% свободного золота [2]. Применение шлюзов мелкого наполнения или отсадочной технологии позволяет уменьшить потери, но не решает эту проблему, поскольку извлечение мелких классов золота остается низким:  $-0,25+0,1$  мм — 76%,  $-0,1+0,05$  мм — 48%,  $-0,05$  мм — 18% [1]. Технологии извлечения россыпного золота несовершенны и не предусматривают извлечения тонкого, а также наноразмерного золота. Связанное (закапсулированное в других минералах) золото на сегодняшний день также практически не извлекается. В балансе золота в горной массе отвалов из различных россыпей доля связанного золота по отношению к свободному по разным оценкам составляет в среднем 60–90% [13, 15]. Это приводит к большим потерям драгоценного металла и частичному накоплению его в техногенных отвалах.

За десятки лет добычи и переработки руд и горной массы россыпей в стране образовалась огромная масса отходов в виде отвалов и хвостохранилищ, содержание ценных компонентов в которых позволяет рассматривать их как реальный дополнительный ресурс благородных металлов [18]. Ресурсный потенциал техногенных золотосодержащих объектов России оценивается во многие сотни

### 1. Усредненное содержание минералов в тяжелой фракции шлиха из россыпи руч. Веселый Нижнеселемджинского золотоносного узла, мас. %

Минералы	Фракции, %				Общий вес 100%
	Магнитная 1,32	Электромагнитная 49,29	Немагнитная тяжелая 48,61	Легкая 0,78	
Ильменит	-	30,06	-	-	30,06
Циркон	-	3,38	24,63	-	28,01
Галенит	-	2,43	21,58	-	24,01
Монацит	-	9,82	-	-	9,82
Рутил	-	2,41	-	-	2,41
Касситерит	-	0,51	1,24	-	1,75
Пирит	-	Знаки	1,26	-	1,26
Магнетит	0,93	-	-	-	0,93
Кварц лимонитизированный	-	-	-	0,79	0,79
Гранат	-	0,56	-	-	0,56
Мартит	0,4	Знаки	-	-	0,4
Хромит	-		-	-	Знаки
Лимонит	-		-	-	
Эпидот	-		-	-	
Колумбит	-		-	-	
Висмутит	-		-	Знаки	
Au, мг	-		-	0,09	

тонн Au, что соответствует 55–60% от объемов добытого в стране золота. Количество золота в техногенных отвалах страны составляет не менее 18% от запасов россыпного золота. По данным Г.С.Мирзаханова [10], перспективы техногенных россыпных месторождений золота только юга Дальнего Востока России можно оценивать в объеме 10–200% от изъятых запасов.

В целях оценки качества минерального сырья и обоснования наиболее перспективных для отработки месторождений золота, в том числе и техногенных, работы по выявлению новых объектов уже на ранних стадиях геологического изучения недр должны сопровождаться исследованиями вещественного состава руд и их технологических особенностей. Надежная оценка бедных и техногенных россыпей невозможна без знания минералов-концентраторов золота и определения в них содержания тонкого и наноразмерного золота [5]. Для возможной переоценки промышленной золотоносности аллювиальных и техногенных россыпей необходимы дополнительные минералого-геохимические и экспериментальные исследования.

Под руководством В.Г.Моисеенко проведены экспериментальные исследования проб гравитационных концентратов, полученных в результате дражной и гидравлической отработки россыпей

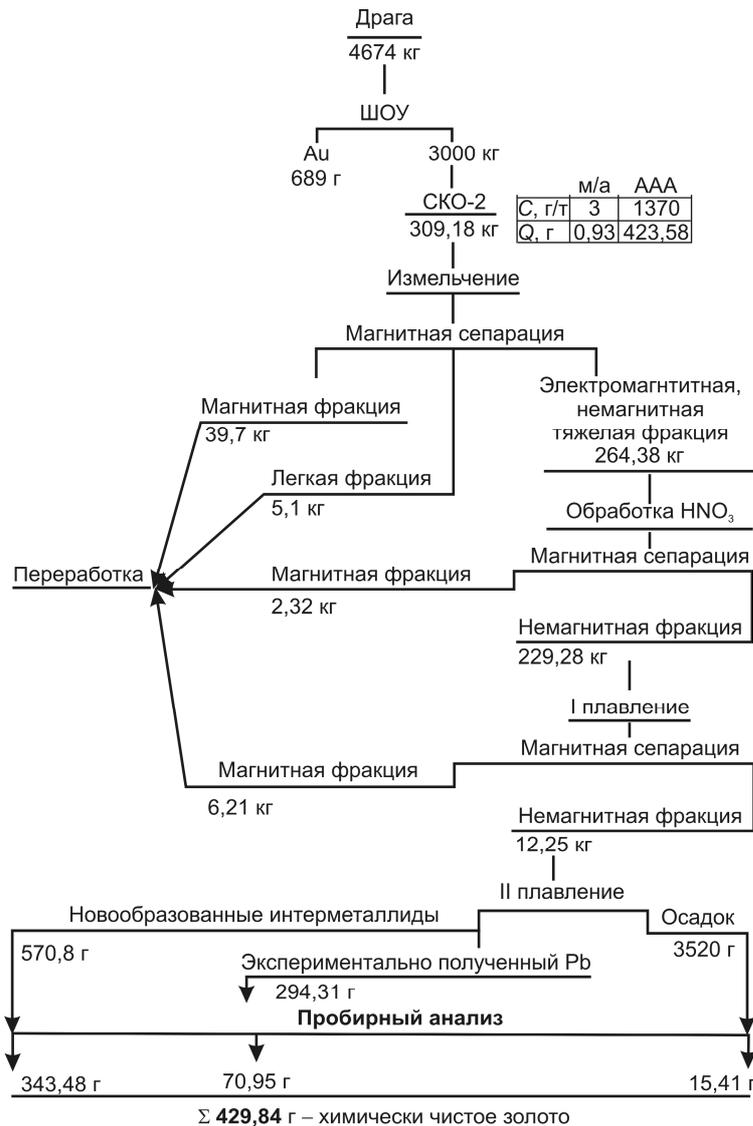


Рис. 1. Схема экспериментальных работ:

С — содержание Au; Q — запасы; м/а — данные минералогического анализа; AAA — данные атомно-абсорбционного анализа

Приамурья. В концентратах содержится большое количество тяжелых минералов железа и свинца. В процессе золотодобычи основная масса самородного золота из концентрата (материала съемок) извлекалась методом гравитационного дообогащения. В отходах шлихообогатительной установки (ШОУ) осталось закапсулированное в минералах микрометровое и наноразмерное золото, которое традиционными методами практически не извлекается.

При дражной отработке россыпи руч. Веселый (Нижнеселемджинский золотоносный узел, Приамурье) промыто 4777 м<sup>3</sup> породы, получен гравитационный концентрат (съемка) 4675 кг, из которого при обогащении на ШОУ извлекли 689 г свободного

золота. Остался так называемый обеззолоченный шлик массой 3 т, в котором среднее содержание Au по данным атомно-абсорбционного анализа составило 32 г/т. Этот промпродукт был дополнительно сконцентрирован на концентрационном столе СКО-2 до массы 309,18 кг и взят для исследования остаточного золота (рис. 1). Основной минеральный состав пробы — ильменит (30%), циркон (28%), галенит (24%), монацит (10%). В небольших количествах присутствуют рутил, касситерит, пирит, магнетит, гранат, мартит (табл. 1).

По данным минералогического анализа среднее содержание в концентрате свободного остаточного Au размерностью >50 мкм составило 3 г/т. Общее содержание Au в этом материале по данным атомно-абсорбционного анализа 1370 г/т. Сравнение этих результатов позволяет полагать, что 95% золота в концентрате пылевидное и закапсулировано в золотосодержащих минералах.

Трудности в обнаружении примесных элементов в минералах, в особенности золота, во многом обусловлены низкими его содержаниями и ограниченными в связи с этим техническими возможностями их изучения. Не всегда удается выявить самородное золото в минералах-концентраторах растровым электронным микроскопом, так как данная марка микроскопа дает возможность обнаружить содержание Au >0,01% и частицы размером >40 нм. В то же время определение золота в

составе минералов атомно-абсорбционным и пробирным анализами однозначно подтверждает наличие невидимого Au в минералах-концентраторах.

Последующее щадящее измельчение материала пробы до крупности <0,5 мм позволило высвободить из матрицы золото, находящееся в сростках с минералами, которое при использовании шлюзовых технологий теряется полностью [11]. В процессе дробления пробы часть сростков и минералов-концентраторов разрушилась с высвобождением заключенного в них самородного золота. По результатам промывки количество такого золота по данным минералогического анализа (размерностью >50 мкм) составило 896 г/т (табл. 2.). Часть галенита в пробе

**2. Минералогический состав тяжелой фракции шлиха из россыпи руч. Веселый  
Нижнеселемджинского золотоносного узла после измельчения и промывки**

Минералы	Фракции, %				Общий вес 100%
	Магнитная 16,6	Электро- магнитная 58,8	Немагнитная тяжелая 22,1	Легкая 2,5	
Ильменит	-	52,31	-	-	52,31
Галенит	0,35	0,69	16,68	-	17,72
Мартит	11,07	-	-	-	11,07
Лимонит, гетит	1,38	2,48	-	-	3,86
Магнетит	3,46	-	-	-	3,46
Циркон	-	0,14	2,97	-	3,11
Гранат	-	2,49	-	-	2,49
Кварц желез- ненный	-	-	-	2,42	2,42
Рутил	-	Знаки	0,97	-	0,97
Монацит	-	0,07	0,83	-	0,9
Пирит	0,35	0,48	-	-	0,83
Касситерит	-	-	0,69	-	0,69
Англезит	-	-	Знаки	-	Знаки
Au самородное	-	25,08 мг в аналитической навеске 28 г	-	-	896 г/т

разрушилась, и его содержание уменьшилось до 17,72% (см. табл. 1, 2.). При этом увеличилось количество железистых минералов, %: ильменита до 52,31, мартита до 11,03, магнетита до 3,46, лимонита и гетита до 3,86.

Далее материал пробы разделялся на фракции магнитной и электромагнитной сепарацией. Из общего концентрата отделялись легкая и магнитная фракции с низкой концентрацией золота, массой 44,8 кг. Основное количество золота осталось в электромагнитной и немагнитной тяжелых фракциях (264,38 кг), которые и легли в основу дальнейших экспериментов (см. рис. 1).

Для выделения из оставшегося концентрата связанного и тонкого золота проведена постадийная термохимическая обработка. Предварительная обработка исходного материала кислотой позволяет еще до основных стадий обогащения разрушить часть минералов и удалить из концентрата растворившиеся компоненты матрицы. Пробу прокипятили с 30%-ным раствором  $\text{HNO}_3$ . При этом минералы-концентраторы золота (пирит и галенит) разрушились. При разложении вышеназванных минералов высвобождается закапсулированное в них химически устойчивое тонкодисперсное и наноразмерное самородное золото в нейтральной форме, которое не реагирует с  $\text{HNO}_3$  и выпадает в осадок. В результате такой обработки в раствор кроме примесей может перейти и золото, находящееся в минерале в ионной форме. Анализ кислотной вытяжки показал, что содержание золота в ионной форме составляет 0,02% от общего его содержания.

Осадок, полученный после кислотной обработки пробы, сплавлялся с едким натром при 450–600°C. Плавень выщелачивали водой. Полученный в результате реакции щелочной раствор содержал ионное золото в количестве 0,054% от его массовой доли в пробе. Из полученного осадка удаляли магнитную фракцию. Оставшийся концентрат содержал видимое золото размером <1 мм, представленное сростками пластинчатых и игольчатых форм.

Для дальнейшего разложения упорных минералов полученный после сплавления и выщелачивания остаток подвергали повторной термохимической обработке с добавлением в шихту восстановителя в количестве 10%. В результате всех операций в раствор перешло 97% исходного состава матрицы и в осадке концентрация золота увеличилась в 36 раз. Образовался богатый концентрат, в котором преобладали сфероидные выделения различного состава (от собственно Au до Au-Pb и Pb-Au) и крупные сростки драгметаллов ячеисто-сотового строения [6, 12]. Если до опыта в пробе фиксировалось незначительное количество видимого золота (3 г/т), то в процессе эксперимента произошло разрушение минералов-концентраторов с высвобождением золота и его укрупнение от наноразмерного до тонкого и крупного, вплоть до возникновения самородков.

Применение изложенного подхода позволило выделить из отходов ШОУ, обогащенных минералами железа и свинца, дополнительно 429,84 г химически чистого золота и более точно определить содержание тонкого и наноразмерного золота

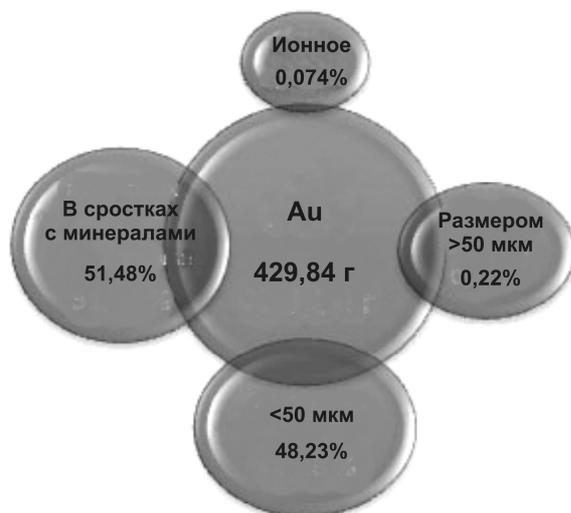


Рис. 2. Доизвлеченное в процессе эксперимента золото из гравитационного концентрата, полученного после ШОУ при дражной отработке россыпи руч. Веселый

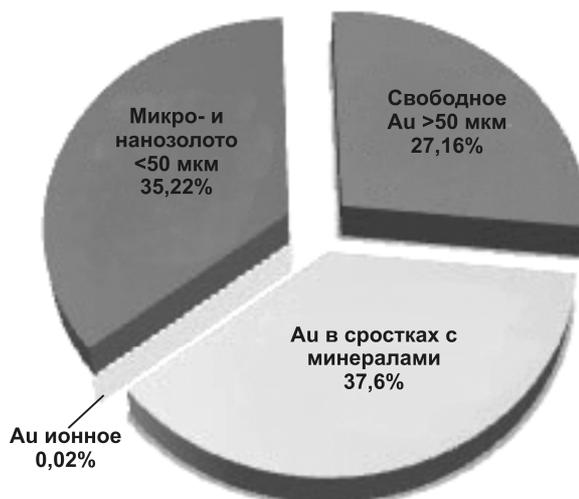


Рис. 3. Содержание различных форм самородного золота в гравитационном концентрате из россыпи руч. Веселый

в гравитационных концентратах. В исследованном концентрате доля остаточного свободного золота (размерность  $>50$  мкм) составила 0,2%, золота в сростках с другими минералами — 51,48%, ионного, входящего в решетку минералов-концентраторов, — 0,074%, микрометрового и наноразмерного ( $<50$  мкм), закапсулированного в минералах-концентраторах, — 48,25% (рис. 2).

Полученные экспериментальные данные позволяют рассчитать соотношение самородного золота по размерности в дражных концентратах из россыпи руч. Веселый. При гравитационной отработке россыпи в концентрате содержится свободное золото размерностью  $>50$  мкм 59%; золото в сростках с другими минералами 21%; золото в ионной форме 0,03%; микрометровое и наноразмерное золото ( $<50$  мкм) 19,97% (рис. 3).

На примере Нижнеселемджинского золотоносного узла установлено, что при дражной и гидравлической отработках россыпей золота извлекается в основном свободное золото размером  $>50$  мкм. Следовательно, при традиционных методах добычи россыпного золота не извлекается из гравиконцентратов 41% золота — тонкое и наноразмерное, а также золото в сростках с другими минералами.

В результате проведенных исследований на материале из различных россыпей Приамурья подобраны физико-химические параметры, позволяющие высвободить и концентрировать благородные металлы из шлихов сложного состава, обогащенных минералами железа и свинца. Показано, что труднообогатимые магнитные и немагнитные

отходы гравитационной отработки золоторудных и россыпных месторождений можно эффективно использовать для дополнительного извлечения Au при условии применения принципиально новых технологических и технических решений.

Предложенный подход может быть использован как один из способов пробоподготовки для комплексных концентратов и отвалных продуктов золотодобычи с повышенным содержанием свинец- и железосодержащих минералов в целях более точного определения в них количества тонкого и наноразмерного золота. В перспективе его можно будет применить при переоценке запасов Au в россыпных (в том числе техногенных) и рудных месторождениях золота. Найденные приемы по определению содержания связанного, тонкого и наноразмерного золота в минералах и их выделению отработаны на реальных концентратах различного состава и заверены на Красноярском аффинажном заводе.

Полученные нами результаты, подтвержденные на примере различных россыпей Приамурья, свидетельствуют о значительных перспективах доизвлечения наноразмерного золота из россыпей, а также о необходимости создания оптимальных условий и способов переработки минеральных комплексов и упорных концентратов для более полного извлечения из них золота. Комплексные исследования форм выделения и распределения наноразмерного золота в рудах месторождений позволяют утверждать о возможности существенного наращивания ресурсного потенциала этого благородного металла.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 12-05-00738а) и ДВО РАН (грант 12-ША08-182).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Афанасенко С.И., Лазариди А.Н. Золотая жила техногенных отвалов // Золотодобыча. Иркутск, 2009. № 133. С. 33–35.
2. Золото Бурятии / П.А.Рошкетаяев, А.Г.Миронов, Г.И.Дорошкевич и др. – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2004.
3. Ковлеков И.И. Техногенное золото Якутии. – М.: МГУ, 2002.
4. Костромин М.В., Юргенсон Г.А., Позлутко С.Г. Проблемы дражной разработки континентальных россыпей. – Новосибирск: Наука, 2007.
5. Кузнецова И.В. Геология, тонкодисперсное и наноразмерное золото в минералах россыпей Нижнеселемджинского золотоносного узла (Приамурье): Дис... канд. геол.-минер. наук. – Благовещенск, 2011.
6. Кузнецова И.В., Моисеенко В.Г. Поведение золота и свинца в зоне гипергенеза // Руды и металлы. 2011. № 2. С. 24–27.
7. Лодейщиков В.В. Извлечение золота из упорных сульфидных и углисто-сульфидных руд: аналитический обзор. – Иркутск: ОАО «Иргиредмет», 2007.
8. Макаров А.В. Золото техногенных россыпей Красноярского края (геологические и технологические аспекты) // Разведка и охрана недр. 1997. № 10. С. 10–14.
9. Макаров В.А. Условия формирования техногенных золотосодержащих объектов и особенности методики их геолого-технологической оценки: Автореф. дис... д-ра геол.-минер. наук. – Красноярск, 2001.
10. Мирзаханов Г.С. Условия формирования, принципы прогноза и оценки ресурсов техногенных образований отработанных россыпей золота (на примере юга Дальнего Востока): Автореф. дис... д-ра геол.-минер. наук. – Благовещенск, 2005.
11. Моисеенко В.Г., Остапенко Н.С., Миронюк А.Ф. Нетрадиционный подход к отработке техногенных золотосодержащих россыпей // Горный журнал. 2006. № 4. С. 66–68.
12. Моисеенко В.Г., Кузнецова И.В. Роль наночастиц золота, серебра и свинца в образовании месторождений благородных металлов // ДАН. 2010. Т. 430. № 3. С. 377–381.
13. Наноминералогия. Ультра- и микродисперсное состояние минерального вещества / Н.П.Юшкин, А.М.Асхабов, Е.А.Голубев и др. – СПб.: Наука, 2005.
14. Прусс Ю.В. Проблема учета запасов «мелкого» и «тонкого» золота россыпей // Разведка и охрана недр. 1987. № 12. С. 22–23.
15. Рыбакова О.И. Разработка комбинированной технологии извлечения тонкого золота из отвальных продуктов. – Смоленск: Изд. Смоленского региона ИРА, 2003.
16. Совершенствование технологии переработки песков и методики оценки россыпей, содержащих упорные формы золота / К.А.Брик, В.В.Мурзин, В.В.Киселева и др. // Научные доклады (препринт). – Свердловск, 1989.
17. Шохин В.Н., Лопатин А.Г. Гравитационные методы обогащения: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1993.
18. Чантурия В.А., Вигдергауз В.Е. Инновационные технологии переработки техногенного минерального сырья // Горный журнал. 2008. № 6. С. 71–74.

УДК 622.243.955:550.812.1 (571.62)

© А.С.Тарасов, В.И.Куторгин, 2014

## ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ВИБРОВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ ПРИ РАЗВЕДКЕ РОССЫПИ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ р. УОРГАЛАН, ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ

А.С.Тарасов, В.И.Куторгин (ФГУП «ЦНИГРИ»)

*По результатам опытно-методических работ на россыпном месторождении доказана возможность применения вибровращательного бурения при разведке и оценке запасов. Приведены преимущества вибровращательного бурения в сравнении с ударно-канатным.*

*Ключевые слова: россыпь, вибровращательное бурение, разведка, достоверность результатов.*

*Тарасов Александр Сергеевич, tarasov@tsnigri.ru*

## RELIABILITY OF RESULTS OF VIBRO-ROTATIONAL DRILLING AT INVESTIGATION OF A SCATTERING OF PRECIOUS METALS OF RIVER OF UORGALAN, KHABAROVSKIY REGION

A.S.Tarasov, V.I.Kutorgin

*By results of skilled and methodical works on a rossypny field possibility of application of vibro-rotational drilling is proved at investigation and an assessment of stocks. Advantages of vibro-rotational drilling in relation to shock rope are given.*

*Key words: scattering, vibro-rotational drilling, investigation, reliability of results.*

Опытно-методические работы по бурению скважин вибровращательным способом (ВВБ) станком «Соник» («Sonic») фирмы «BOART LONGYEAR» производились в 2012–2013 гг. по договору с ОАО «Артель старателей «Амур». Цель работ — определение возможности использования данного бурового комплекса при разведке россыпей золота и платины, в том числе для заверки результатов разведки месторождения скважинами ударно-канатного бурения (УКБ).

Работы выполнены на разведанном нижнем участке платиноносной россыпи р. Уоргалан. Участок служит продолжением аллювиального россыпного месторождения платиноидов р. Кондер, приурочен к долинным отложениям р. Уоргалан (бассейн р. Мая), сформированным на значительном удалении (>20 км) от коренного источника. Россыпь образовалась при неоднократном перемыве аллювиальных и гетерогенных отложений. Максимальные концентрации шлиховой платины связаны с древними этапами развития долины, преимущественно плиоцен-раннечетвертичным и в меньшей степени ранне-, среднечетвертичным временем. Район работ характеризуется островным развитием многолетне-мерзлых пород.

Оценка и разведка участка россыпного месторождения р. Уоргалан проведены буровым способом, который в течение более двух десятков лет довольно успешно применяется при разведке месторождения Кондер-Уоргалан, что в целом подтверждается результатами эксплуатационных работ. Скважинами УКБ (БУ-20-2УШ) участок разбурен вкрест простирания россыпи по сети (300–500)×(20–40) м. Проходка скважин осуществлялась в основном с опере-

жающей обсадкой трубами с внутренним диаметром 197 мм, в устойчивых отложениях — без обсадки. Опробование по скважинам велось с интервалами 0,4 м.

Продуктивный пласт с кондиционными параметрами приурочен главным образом к приплотиковой части древних отложений поймы, первой надпойменной террасы и правого террасовала. По простиранию долины средняя мощность отложений 10,0–25,2 м. Коренной плотик повсеместно представлен трещиноватыми или слабо разрушенными алевритами. Его поверхность в пойменной части долины сглаженная, волнистая, осложненная на отдельных интервалах западинами и выступами останцов-гребней, на террасах и террасовале — неровная. Нижняя граница пласта в основном совпадает с границей коренных пород, в связи с чем рельеф плотика россыпи отображает поверхность коренного дна долины.

Россыпь с основным балансовым приплотиковым пластом по параметрам и сложности строения относится к месторождениям группы 2.1 [2]. Это объекты с выдержанным по ширине и мощности пластом, относительно неравномерным распределением концентраций металла (коэффициенты вариаций 60–160%) и довольно редкими относительно бедными участками.

Результаты 1-го этапа опытно-методических работ при бурении скважин установкой «Соник» диаметром 125 мм не позволили сделать однозначный вывод о применимости его для разведочных и заверочных работ на россыпных месторождениях платины. В первую очередь, это было обусловлено небольшим объемом рядовых проб, в 2,5 раза мень-

ше, чем по скважинам УКБ. Поэтому на 2-м этапе опытные работы по бурению и опробованию скважин были продолжены с увеличением диаметра керна до 152 мм. Для более достоверной оценки разведочных данных в каждой точке разведочных линий бурили кусты, состоящие чаще из двух, реже трех скважин. В плане скважины ВВБ располагались в основном по треугольнику вокруг скважин УКБ на расстоянии от 1 до 2 м.

Теоретический объем пробы керна диаметром 152 мм по сравнению с разведочными скважинами УКБ примерно в 1,6 раза меньше. Всего в сопоставлении участвует 21 куст, в котором 22 скважины УКБ и 46 ВВБ. Отобрано, промыто и использовано в сопоставлении 1213 проб скважин УКБ и 2712 проб скважин «Соник».

Технология бурения как в мерзлых, так и в талых породах станком УКБ выработана многолетней практикой, что достаточно полно отражено во многих методических руководствах [1, 6 и др.]. Предварительное отмучивание извлеченного шлама с интервала опробования проводилось непосредственно у станка с осторожным сливом мутной воды. Обезвоженный шлам пересыпали из бака в специальные ведра с тщательным его обмывом. Каждая проба в ведре сопровождалась биркой с указанием номера скважины и интервала опробования. Пробы со всей скважины отправляли на прииск «Кондер» для обработки на приборе ПОУ-4-3М в стационарных условиях.

Бурение скважин станком «Соник» проводилось без очистного агента «всухую» рейсами по 1,6 м, иногда по 0,8 м, в исключительных случаях по 2,4 м. Проходка за одну 12-часовую смену достигала 30–50 м в зависимости от геолого-литологической характеристики пород. Производительность УКБ в аналогичных геологических условиях, по крайней мере, в 3–4 раза ниже. В балансе затрат времени чистое бурение станком «Соник» составляет ~47%, спуск снаряда и его подъем — по 18%, извлечение керна — 17%, на подготовительные операции по обсадке скважины, собственно обсадку и переезд на следующую скважину затрачивается не более 18% от общего времени бурения. Длина бурильных и обсадных труб 3 м. Соединение труб гладкое — «труба в трубу» без муфт и замков. Длина резьбы 90 мм.

После углубки скважины на 2–3 м в нее опускается обсадная труба, диаметр которой больше диаметра пробуренной скважины на 29–30 мм. Обсадная труба опускается в скважину с вибрацией и вращением, т.е. она «задавливается» до забоя. При этом со стенок скважины порода обрушается («соскребается») на забой и из-за вибрации уплотняется, что делает ее практически неотличимой от по-

роды керна. Поэтому после завершения очередного рейса бурения, подъема бурового снаряда на поверхность и перед закреплением пробуренного интервала обсадными трубами на забой сбрасывается специальная метка-маркер — обычный деревянный брусок сечением 40×40 или 40×50 мм, длиной 100–120 мм. Затем в скважину опускается буровой снаряд с колонковой трубой длиной 3 или 6 м. Снаряд с вращением и вибрацией доходит до забоя по обрушенной породе, которая поступает внутрь колонковой трубы. Далее скважина углубляется на величину рейса (интервала) — 1,6 м.

Поскольку заданная длина рейса (1,6 м) не является кратной длине обсадных труб (3,0 м), башмак обсадной колонны в процессе бурения скважины может либо отставать от забоя скважины, либо опережать его на некоторую величину, как правило, не более 1,0 м, в зависимости от характеристики буримых пород и устойчивости стенок скважины.

При проведении обсадки скважины обрушенная с ее стенок порода накрывает метку. При бурении очередного интервала колонковая труба сначала заполняется шламом, а потом, после прохождения метки, — керном. Таким образом, при вытеснении колонковой трубы границу между керном и шламом можно определить визуально. При очередной обсадке трубами на забое скважины образовывался слой породы, находящийся в колонковой трубе над керном и отделенный от него меткой-маркером, который выбрасывали в отвал.

Из колонковой трубы длиной 3 м под действием высокочастотной вибрации извлекали керн, заполняя им полиэтиленовые рукава. Разгрузка колонковой трубы проводится в полиэтиленовые рукава по 0,8 м. При этом чаще всего длина извлекаемого керна больше пробуренного целикового интервала. Главная причина несоответствия длины извлеченного керна и интервала бурения — эффект разрыхления породы с плотной массой при разгрузке керна вследствие высокочастотной вибрации бурового инструмента и колонковой трубы. В зависимости от литологического состава линейный выход керна превышал величину пробуренного интервала скважины в 1,25–1,6 раза.

В геологическом балке рукава разрезали, полученный керн с интервала 1,6 м делили равномерно на четыре части (в соответствии с интервалами бурения 0,4 м). Геолог фотографировал керн и документировал его на компьютере с визуальным определением гранулометрического и литологического составов, а также других характеристик пород.

Промывка и обработка керновых проб, как и шлама из скважин УКБ, производилась промывочной установкой ПОУ-4 (ПОУ-4-3М) с доводкой

1. Результаты опробования основного приплотикового пласта по скважинам УКБ и кустам скважин ВВБ в сопряженных точках

Номер разведочной линии	Номер скважины	УКБ						ВВБ						Коэффициенты			
		Глубина скважины до границы коренных пород, м	Интервалы продуктивного пласта, м	Мощность, м	Среднее содержание, мг/м <sup>3</sup>	Вертикальный запас, мг/м <sup>2</sup>	Число скважин в кусте	Средняя глубина скважин до границы коренных пород, м	Интервалы продуктивного пласта, м	Мощность, м	Среднее содержание, мг/м <sup>3</sup>	Вертикальный запас, мг/м <sup>2</sup>	Мощность торфов	Мощность песков	Среднее содержание, мг/м <sup>3</sup>	Вертикальный запас, мг/м <sup>2</sup>	
	50-1	20,0	19,2-20,8	19,2	108	173	2	20,0	18,0-20,4	18,0	2,4	175	420	0,94	1,50	1,62	2,43
	54-1	19,6	16,4-20,8	16,4	1039	4572	2	19,6	17,2-20,4	17,2	3,2	648	2074	1,05	0,73	0,62	0,45
	58-1	21,6	19,2-22,4	19,2	150	480	3	20,8	17,6-21,2	17,6	3,6	293	1055	0,92	1,13	1,95	2,20
	60-1	18,8	15,2-19,2	15,2	255	1020	3	18,4	15,2-19,2	15,2	4,0	364	1456	1,00	1,00	1,43	1,43
	62-1	22,0	20,8-23,2	20,8	3162	7588	3	22,8	18,8-24,4	18,8	5,6	1366	7650	0,90	2,33	0,43	1,01
	64-1	23,2	20,8-23,2	20,8	1311	3146	3	22,8	20,4-23,2	20,4	2,8	2055	5754	0,98	1,17	1,57	1,83
	66-1	23,6	21,2-24	21,2	1385	3878	2	24,4	22,4-24,4	22,4	2,0	509	1018	1,06	0,71	0,37	0,26
	68-1	23,6	22-24,4	22,0	854	2050	2	23,2	19,2-24,0	19,2	4,8	416	1997	0,87	2,00	0,49	0,97
	70-1	23,6	21,6-24	21,6	890	2136	2	23,6	21,6-24,4	21,6	2,8	616	1725	1,00	1,17	0,69	0,81
	72-1	23,2	20,8-24	20,8	668	2138	2	23,2	21,2-24,0	21,2	2,8	668	1870	1,02	0,88	1,00	0,87
	74-1	22,4	20,8-23,2	20,8	1309	3142	2	22,0	19,6-23,2	19,6	3,6	898	3233	0,94	1,50	0,69	1,03
	76-1	23,6	20-24	20,0	175	700	2	22,8	18,8-22,8	18,8	4,0	225	900	0,94	1,00	1,29	1,29
	78-1	23,6	23,2-24	23,2	388	310	2	23,6	21,2-23,6	21,2	2,4	371	890	0,91	3,00	0,96	2,87
	80-1	21,2	20-22	20,0	738	1476	2	21,2	18,4-22,8	18,4	4,4	514	2262	0,92	2,20	0,70	1,53
	82-1	22,4	21,2-23,2	21,2	2378	4757	2	22,0	20,8-23,2	20,8	2,4	1710	4104	0,98	1,20	0,72	0,86
	84-1	22,4	20-22,8	20,0	478	1340	2	22,4	20,0-22,4	20,0	2,4	432	1037	1,00	0,86	0,90	0,77
	86-1	22,4	20-23,8	20,0	433	1645	2	22,0	19,6-23,2	19,6	3,6	620	2232	0,98	0,95	1,43	1,36
	88-1	19,2	15,6-17,6	15,6	115	230	2	19,2	15,6-17,2	15,6	1,6	194	310	1,00	0,80	1,68	1,35
	90-1	14,8	13,6-16	13,6	523	1255	2	14,4	11,2-15,2	11,2	4,0	467	1868	0,82	1,67	0,89	1,49
	92-1	11,2	10-11,2	10,0	256	307	2	12,0	10,0-11,6	10,0	1,6	440	704	1,00	1,33	1,72	2,29
80	62	18,0	15,6-18,4	15,6	574	1607	2	17,6	14,8-17,2	14,8	2,4	509	1222	0,95	0,86	0,89	0,76
<b>В целом</b>	<b>440,4</b>			<b>397,2</b>	<b>55,0</b>	<b>43 950</b>		<b>438,0</b>		<b>381,6</b>	<b>66,4</b>		<b>43 781</b>				
<b>Среднее</b>	<b>21,0</b>			<b>18,91</b>	<b>2,62</b>	<b>2093</b>		<b>20,86</b>		<b>18,17</b>	<b>3,16</b>		<b>2084</b>		<b>1,21</b>	<b>0,82</b>	<b>1,00</b>

Приплотиковый (основной) пласт

**2. Результаты опробования части основного приплотикового пласта, расположенного над коренными породами, по скважинам УКБ и кустам скважин ВВБ в сопряженных точках**

Номер разведочной линии	Номер скважины	УКБ						ВВБ						Коэффициенты				
		Глубина скважины до границы коренных пород, м	Интервалы продуктивного пласта, м	Мощность, м		Среднее содержание, мг/м <sup>3</sup>	Вертикальный запас, мг/м <sup>3</sup>	Число скважин в кусте	Средняя глубина скважин до границы коренных пород, м	Интервалы продуктивного пласта, м	Мощность, м		Среднее содержание, мг/м <sup>3</sup>	Вертикальный запас, мг/м <sup>3</sup>	Мощность торфов	Мощность песков	Среднее содержание, мг/м <sup>3</sup>	Вертикальный запас, мг/м <sup>3</sup>
				торфов	песков						торфов	песков						
	50-1	20,0	19,2-20,8	19,2	0,8	114	91	2	20,0	18,0-20,4	18,0	2,0	89	178	0,94	2,50	0,78	1,96
	54-1	19,6	16,4-20,8	16,4	3,2	672	2150	2	19,6	17,2-20,4	17,2	2,4	815	1957	1,05	0,75	1,21	0,91
	58-1	21,6	19,2-22,4	19,2	2,4	106	255	3	20,8	17,6-21,2	17,6	3,2	301	964	0,92	1,33	2,84	3,78
	60-1	18,8	15,2-19,2	15,2	3,2	259	828	3	18,4	15,2-19,2	15,2	3,2	431	1378	1,00	1,00	1,66	1,66
	62-1	22,0	20,8-23,2	20,8	1,2	3924	4709	3	22,8	18,8-24,4	18,8	4,0	1785	6808	0,90	3,33	0,45	1,45
	64-1	23,2	20,8-23,2	20,8	2,4	1311	3146	3	22,8	20,4-23,2	20,4	2,4	2330	5592	0,98	1,00	1,78	1,78
	66-1	23,6	21,2-24	21,2	2,4	962	2309	2	24,4	22,4-24,4	22,4	1,6	533	852	1,06	0,67	0,55	0,37
	68-1	23,6	22-24,4	22,0	1,6	1121	1793	2	23,2	19,2-24,0	19,2	4,0	466	1863	0,87	2,50	0,42	1,04
	70-1	23,6	21,6-24	21,6	2,0	1040	2080	2	23,6	21,6-24,4	21,6	2,0	777	1554	1,00	1,00	0,75	0,75
	72-1	23,2	20,8-24	20,8	2,4	642	1540	2	23,2	21,2-24,0	21,2	2,0	867	1734	1,02	0,83	1,35	1,13
52	74-1	22,4	20,8-23,2	20,8	1,6	1606	2569	2	22,0	19,6-23,2	19,6	2,4	1301	3123	0,94	1,50	0,81	1,22
	76-1	23,6	20-24	20,0	3,6	188	678	2	22,8	18,8-22,8	18,8	4,0	225	900	0,94	1,11	1,20	1,33
	78-1	23,6	23,2-24	23,2	0,4	558	223	2	23,6	21,2-23,6	21,2	2,4	371	890	0,91	6,00	0,66	3,99
	80-1	21,2	20-22	20,0	1,2	678	814	2	21,2	18,4-22,8	18,4	2,8	693	1940	0,92	2,33	1,02	2,38
	82-1	22,4	21,2-23,2	21,2	1,2	3447	4136	2	22,0	20,8-23,2	20,8	1,2	3166	3799	0,98	1,00	0,92	0,92
	84-1	22,4	20-22,8	20,0	2,4	490	1177	2	22,4	20,0-22,4	20,0	2,4	432	1037	1,00	1,00	0,88	0,88
	86-1	22,4	20-23,8	20,0	2,4	444	1066	2	22,0	19,6-23,2	19,6	2,4	845	2029	0,98	1,00	1,90	1,90
	88-1	19,2	15,6-17,6	15,6	2,0	115	230	2	19,2	15,6-17,2	15,6	1,6	194	310	1,00	0,80	1,69	1,35
	90-1	14,8	13,6-16	13,6	1,2	423	507	2	14,4	11,2-15,2	11,2	3,2	481	1538	0,82	2,67	1,14	3,03
	92-1	11,2	10-11,2	10,0	1,2	256	307	2	12,0	10,0-11,6	10,0	1,6	440	704	1,00	1,33	1,72	2,29
80	62	18,0	15,6-18,4	15,6	2,8	574	1607	2	17,6	14,8-17,2	14,8	2,4	509	1222	0,95	0,86	0,89	0,76
	<b>В целом</b>	<b>440,4</b>		<b>397,2</b>	<b>41,2</b>		<b>32 107</b>		<b>438,0</b>									
	<b>Среднее</b>	<b>21,0</b>		<b>18,91</b>	<b>1,96</b>	<b>779</b>	<b>1528</b>		<b>20,86</b>									
															<b>0,96</b>	<b>1,29</b>	<b>0,97</b>	<b>1,26</b>

Примечание. Доля металла в части пласта над коренными породами по УКБ 73,1%, по ВВБ 92,2%.

3. Результаты опробования части основного приотликового пласта, расположенного в коренных породах, по скважинам УКБ и кустам скважин ВВБ в сопряженных точках

Номер развешенной линии	Номер скважины	УКБ				ВВБ						Коэффициенты						
		Глубина скважины до границы коренных пород, м	Интервалы продуктивного пласта, м	Мощность, м		Среднее содержание, мг/м <sup>3</sup>	Вертикальный запас, мг/м <sup>3</sup>	Число скважин в кусте	Средняя глубина скважин до границы коренных пород, м	Интервалы продуктивного пласта, м	Мощность, м		Среднее содержание, мг/м <sup>3</sup>	Вертикальный запас, мг/м <sup>3</sup>	Мощность торфов	Мощность песков	Среднее содержание, мг/м <sup>3</sup>	Вертикальный запас, мг/м <sup>3</sup>
52	50-1	20,0	20-20,8	20,0	0,8	102	82	2	20,0	20-20,4	20,0	0,4	604	242	1,00	0,50	5,92	2,95
	54-1	19,6	19,6-20,8	19,6	1,2	2018	2422	2	19,6	19,6-20,4	19,6	0,8	146	117	1,00	0,67	0,07	0,05
	58-1	21,6	21,6-22,4	21,6	0,8	281	225	3	20,8	20,8-21,2	20,8	0,4	227	91	0,96	0,50	0,81	0,40
	60-1	18,8	18,8-19,6	18,8	0,8	240	192	3	18,4	18,4-19,2	18,4	0,8	98	78	0,98	1,00	0,41	0,41
	62-1	22,0	22-23,2	22,0	1,2	2399	2879	3	22,8	22,8-24,4	22,8	1,6	526	842	1,04	1,33	0,22	0,29
	64-1	23,2	23,2-23,2	23,2	0,0	0	0	3	22,8	22,8-23,2	22,8	0,4	404	162	0,98	0,00	0,00	0,00
	66-1	23,6	23,6-24	23,6	0,4	3922	1569	2	24,4	24-24,4	24,0	0,4	415	166	1,02	1,00	0,11	0,11
	68-1	23,6	23,6-24,4	23,6	0,8	321	257	2	23,2	23,2-24	23,2	0,8	168	134	0,98	1,00	0,52	0,52
	70-1	23,6	23,6-24	23,6	0,4	139	56	2	23,6	23,6-24,4	23,6	0,8	214	171	1,00	2,00	1,54	3,05
	72-1	23,2	23,2-24	23,2	0,8	747	598	2	23,2	23,2-24	23,2	0,8	170	136	1,00	1,00	0,23	0,23
	74-1	22,4	22,4-23,2	22,4	0,8	716	573	2	22,0	22-23,2	22,0	1,2	92	110	0,98	1,50	0,13	0,19
	76-1	23,6	23,6-24	23,6	0,4	55	22	2	22,8	22,8-22,8	22,8	0,0	0	0	0,97	0,00	0,00	0,00
	78-1	23,6	23,6-24	23,6	0,4	217	87	2	23,6	23,6-23,6	23,6	0,0	0	0	1,00	0,00	0,00	0,00
	80-1	21,2	21,2-22	21,2	0,8	827	662	2	21,2	21,2-22,8	21,2	1,6	201	322	1,00	2,00	0,24	0,49
	82-1	22,4	22,4-23,2	22,4	0,8	776	621	2	22,0	22-23,2	22,0	1,2	254	305	0,98	1,50	0,33	0,49
	84-1	22,4	22,4-22,8	22,4	0,4	408	163	2	22,4	22,4-22,4	22,4	0,0	0	0	1,00	0,00	0,00	0,00
	86-1	22,4	22,4-23,8	22,4	1,4	414	579	2	22,0	22-23,2	22,0	1,2	169	203	0,98	0,86	0,41	0,35
	88-1	19,2	19,2-19,2	19,2	0,0	0	0	2	19,2	19,2-19,2	19,2	0,0	0	0	1,00	0,00	0,00	0,00
	90-1	14,8	14,8-16	14,8	1,2	623	748	2	14,4	14,4-15,2	14,4	0,8	412	330	0,97	0,67	0,66	0,44
92-1	11,2	11,2-11,2	11,2	0,0	0	0	2	12,0	12-12	12,0	0,0	0	0	1,07	0,00	0,00	0,00	
80	62	18,0	18-18,4	18,0	0,4	271	108	2	17,6	17,6-17,6	17,6	0,0	0	0,98	0,00	0,00	0,00	
<b>В целом</b>	<b>440,4</b>		<b>440,4</b>	<b>13,8</b>		<b>11 843</b>			<b>438,0</b>			<b>437,6</b>		<b>3409</b>				
<b>Среднее</b>	<b>20,97</b>		<b>20,97</b>	<b>0,66</b>	<b>858</b>	<b>564</b>			<b>20,86</b>			<b>20,84</b>	<b>258</b>	<b>162</b>	<b>0,99</b>	<b>0,96</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>

Примечание. Доля металла в части пласта в коренных породах по УКБ 26,9%, по ВВБ 7,8%.

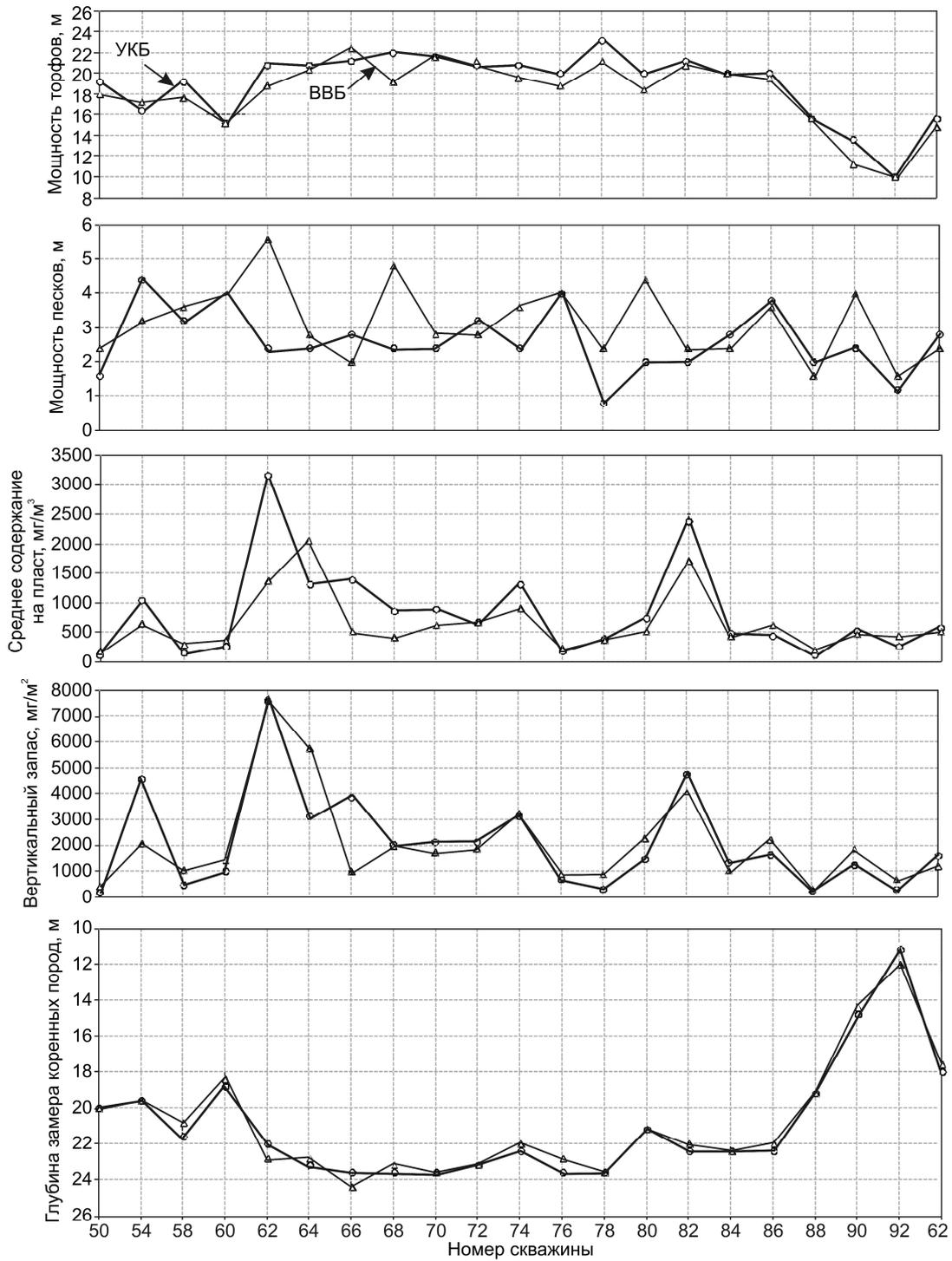


Рис. 1. Сопоставление по линиям 52 и 80 основных параметров металлоносного пласта и положения плотика россыпи р. Ургалан по данным УКБ и кустов скважин ВВБ

концентрата на вибростоле RP-4 (ST-1). Пробы с повышенной глинистой составляющей предварительно дезинтегрировали вручную специальным дезинтегратором. После обработки проб по каждой

скважине регулярно осуществляли контрольное опробование хвостов промывки на ПОУ и стола, а также контроль галечного отвала.

Шлихи от промывки керновых и шламовых

проб из скважин ВВБ и УКБ по интервалам опробования 0,4 м отправлялись в минералогическую лабораторию для анализа. Из шлихов выделялись шлиховая платина и золото. После их взвешивания поинтервально рассчитывались концентрации металла с учетом данных контрольного опробования галечных отвалов и хвостов промывки.

По результатам поинтервального опробования определены границы продуктивного пласта и коренных пород, мощности торфов и песков, средние содержания металла по пласту, вертикальные запасы. Эти данные положены в основу сравнения результатов опробования по сопряженным скважинам УКБ и ВВБ. Сравнивали параметры продуктивных пластов при различных способах бурения сопряженных скважин, в том числе по каждой скважине ВВБ в точке бурения и кустам в целом. Сопоставление проведено как в целом по продуктивному пласту, так и по отдельным его частям: в рыхлой части пласта над коренными породами и в части пласта, расположенного в коренных породах.

Сравнительный анализ результатов опробования выполнен по основным параметрам продуктивного пласта: мощности торфов и песков, концентрации металла в пласте, положение границы коренных пород и продуктивного пласта относительно коренных пород (табл. 1–3). Рассчитаны относительные коэффициенты по соотношению параметров «Соник»/УКБ. Таким образом, по сопряженным отдельным скважинам и кустам со скважинами УКБ сравнивались следующие параметры: глубина залегания продуктивных приплотиковых пластов, мощности торфов и песков, средние содержания металла на пласт и вертикальные запасы, а также глубина скважин до границы коренных пород (рис. 1).

При сравнении единичных скважин ВВБ и УКБ отмечаются значительные колебания коэффициентов по концентрациям металла в целом по пласту: по содержаниям от 0,36 до 8 (в среднем 0,84–1,23), по кустам 0,37–1,95 (в среднем 0,82); по вертикальным запасам от 0,2 до 3,23 (в среднем 0,82–1,29), по кустам 0,26–2,87 (в среднем 1,0). По мощности торфов и песков колебания сравнительных коэффициентов заметно меньше как по отдельным скважинам, так и кустам: по торфам в пределах 0,82–1,06 (в среднем 0,96), по пескам — 0,73–3,0 (среднее 1,21). Значительный разброс коэффициентов по концентрациям металла при сравнении единичных скважин ВВБ и УКБ, несмотря на стабильные сравнительные параметры по мощности торфов и песков, связан в основном с заметной разницей объемов интервальных проб по этим скважинам. Тем не менее, статистическая оценка расхо-

ждений параметров продуктивного пласта скважин ВВБ и скважин УКБ по совокупности трех критериев [3] (по критерию знаков, критерию Стьюдента, критерию Фишера) показывает, что расхождения носят преимущественно случайный характер.

Относительно повышенные содержания металла по данным скважин УКБ объясняются, по-видимому, искусственным обогащением пласта из-за технических погрешностей при желонении. Обогащение происходит за счет металла, который просаживался с вышележащих горизонтов рыхлых отложений и более полно извлекался желонкой только в спаевой и плотиковой частях разреза. Такие случаи часто отмечаются во многих методических пособиях [1, 3–5 и др.].

Учитывая неоднозначность полученных значений параметров продуктивного пласта при сравнении единичных скважин, для большей достоверности вибровращательного бурения необходимо бурить кусты скважин ВВБ и при сравнительном анализе при заверочных работах сопоставлять данные опробования сопряженных кустов скважин ВВБ и скважин УКБ.

Для приплотикового пласта высотные отметки верхней границы по сопряженным скважинам УКБ и кустам скважин ВВБ довольно близки (см. табл. 1, рис. 1), что и подтверждается сравнительными коэффициентами по мощности торфов (0,82–1,09). При этом в 62% случаев продуктивный пласт керновым опробованием выявляется раньше, чем по УКБ, в остальных случаях верхняя граница чаще совпадает (24%) и в 14% ниже, чем по УКБ. Мощность песков по керну скважин в 57% случаев больше, чем по УКБ (коэффициенты 1,13–3,0), в 33% — меньше (коэффициенты 0,71–0,95) и в 10% совпадает. При сопоставлении содержаний металла в 57% сопряженных скважин концентрации металла по колонковым скважинам уменьшаются (коэффициенты 0,37–0,96) и в 38% — увеличиваются (коэффициенты 1,29–1,72). Вертикальные запасы в 62% скважин «Соник» больше, чем по УКБ (коэффициенты 1,01–2,87), в 38% — меньше (0,26–0,97). В целом по вертикальному запасу получены в основном относительно близкие коэффициенты — в 67% скважин они варьируют от 0,7 до 1,53 (среднее 1,0).

Что касается положения отметок коренных пород по данным УКБ и керна бурения, то расхождения в целом незначительны (от 0 до 0,8 м) и имеют устойчивый случайный характер. Относительно границы плотика россыпи верхняя граница продуктивного пласта в 28,6% скважин ВВБ располагается выше отметки коренных пород,

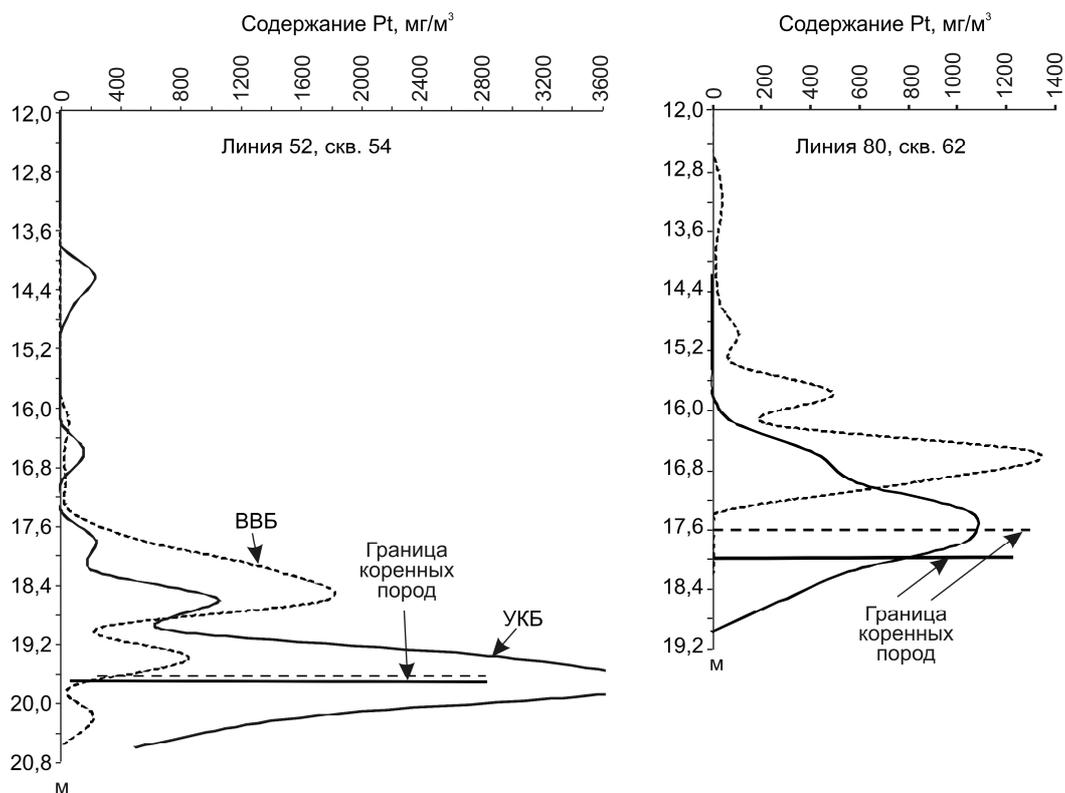


Рис. 2. Распределение содержаний шлиховой платины в разрезе россыпи по данным УКБ и кустов скважин ВВБ

в 71,4% — ниже, по УКБ в 14,3% скважин верхняя граница пласта над коренными породами, а в 85,7% скважин — в коренных породах.

Важно отметить, что по данным кернового опробования над коренными породами содержится 92% запасов, а по данным УКБ — 73%, т.е. наблюдается устойчивая тенденция просадки ~20% промышленных запасов в коренные породы при ударно-канатном способе разведки россыпей (см. табл. 2, 3).

Распределение концентраций металла по стволу скважин и положение пласта относительно коренных пород по скважинам УКБ и ВВБ представлено на рис. 2.

По всем скважинам ВВБ и УКБ проведен ситовой анализ шлиховой платины в интервалах продуктивного пласта по классам крупности.

Из практики разведки и эксплуатации россыпей известно, что при ситовом анализе золота и платины количество весьма мелкого металла (-0,25 мм) по данным разведки заметно меньше, чем при эксплуатации [1, 5]. В большинстве случаев это связывали с тем, что в процессе опробования скважин УКБ весьма мелкий металл теряется во время предварительной грубой ручной пробурки шламовых проб непосредственно у бурового станка, а

последующие промывка и доводка концентрата проводятся на лотке в полевых условиях. Подобные результаты, но еще более разительные, получены авторами отчета при анализе опытных работ 1-го этапа, когда шламовые пробы УКБ обрабатывались и промывались в полевых условиях по старой технологии. По ситовым анализам шлиховой платины из скважин УКБ фракции -0,2 мм составляли 16,34%, по сопряженным скважинам ВВБ работ 1-го этапа фракции -0,25 мм — 40,6%.

Шламовые пробы и керн при работах 2-го этапа обрабатывались и промывались в одних и тех же условиях, в промывочном цехе прииска Кондер, т.е. с тщательной дезинтеграцией на приборах типа ПОУ и доводкой концентрата на концентрационном столе, что объясняется вполне сопоставимыми показателями по фракциям (рис. 3).

Разница в количестве весьма мелкого металла (класс -0,25 мм) незначительна: по УКБ сумма этого металла 19,4%, по вращательному бурению — 22,4%. Содержание более крупного металла +0,25–0,5 мм также сопоставимо по сопряженным скважинам УКБ и «Соник» (соответственно 84,4 и 86,1%). Металл класса +0,5 мм скважинами УКБ зафиксирован в количестве 14,9%, в скважинах «Соник» — 12,9%, т.е. содержание его также прак-

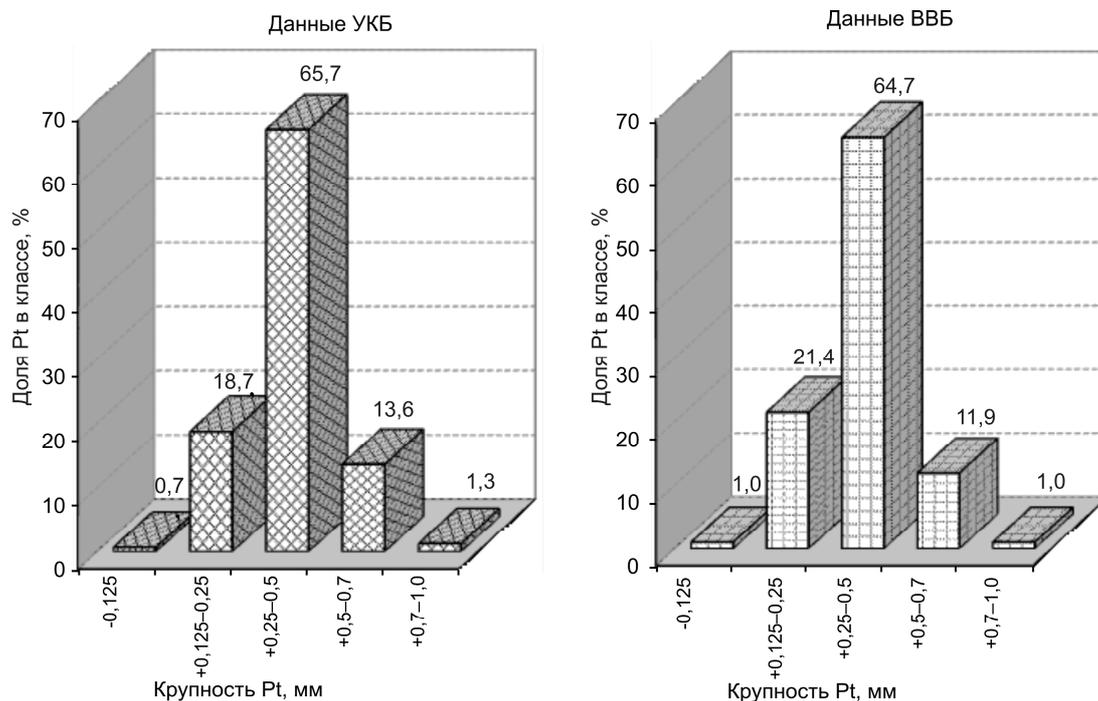


Рис. 3. Распределение шлиховой платины основного пласта по классам крупности по результатам бурения скважин УКБ и ВВБ

тически одинаково; разница в количестве весьма мелкого металла (класс  $-0,25$  мм) незначительна.

Сравнивая виды бурения, а также результаты опробования, отметим ряд преимуществ вибровращательного бурения при геологоразведочных работах на россыпях благородных металлов по сравнению с УКБ:

более точно устанавливаются границы продуктивного пласта относительно дневной поверхности и плотика россыпи;

точнее определяется характер распределения металла в вертикальном разрезе россыпи, в том числе его количество над коренными породами и в коренных породах;

при определении мощности продуктивного пласта практически исключается эффект искусственного растяжения или прессования пласта;

проверена на практике возможность фотодокументации керна и непосредственного описания породы с использованием компьютера в полевых условиях;

бурение «всухую» позволяет оперативно упаковывать керновые пробы без потерь для их транспортировки в места возможного хранения и последующей обработки;

установка «Соник» обеспечивает высокие механические скорости бурения практически по всем породам геологического разреза как в мерз-

лых, так и в талых условиях их залегания без риска нарушения объема или целостности керна;

достигается высокая степень механизации вспомогательных операций;

отпадает необходимость применения очистных агентов, исключается внешнее загрязнение;

достигаются легкость управления процессом бурения, относительная безопасность всех процессов бурения, комфортные условия работы.

Таким образом, главный вывод по результатам выполненных работ сводится к тому, что кусты скважин вибровращательного бурения вполне могут использоваться для разведочных и заверочных работ при разведке и оценке россыпных месторождений благородных металлов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Методика* разведки россыпей золота и платиноидов / И.Б.Флеров, В.И.Куторгин, Ю.С.Будилин и др. – М.: ЦНИГРИ, НТК «Геоэксперт», 1992.
2. *Методические* рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Россыпные месторождения. – М.: ФГУ ГКЗ Роснедра, 2007.
3. *Опробование* руд коренных месторождений золота / В.П.Кувшинов, В.Н.Иванов, Ю.А.Бакулин и др. – М.: ЦНИГРИ, НТК «Геоэксперт», 1992.

4. *Россыти платиновых металлов* / Под ред. Н.Г.Паттык-Кара// Россыпные месторождения России и других стран СНГ. М., 1997. С. 127–165.
5. *Системы оценки и разведки россыпных месторождений золота и платиноидов на основе многофакторных моделей* / В.И.Куторгин, В.А.Джобадзе, А.С.Тарасов и др. – М.: ЦНИГРИ, 2002.
6. *Ударно-канатное бурение на разведке россыпных месторождений. Методические указания.* – Магадан: Магаданское книжное изд-во, 1979.

УДК 622.7/17:553.81

© В.А.Чантурия, Г.П.Двойченкова, О.Е.Ковальчук, А.С.Тимофеев, 2014

## ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ОТВАЛЬНЫХ ХВОСТАХ ОБОГАЩЕНИЯ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

В.А.Чантурия (ФГБУ ИПКОН РАН), Г.П.Двойченкова (ФГБУ ИПКОН РАН, СВФУ),  
О.Е.Ковальчук (НИГП АК «АЛРОСА»), А.С.Тимофеев (ФГБУ ИПКОН РАН)

*Исследованы минералогический и гранулометрический составы отвальных хвостов обогащения алмазосодержащего сырья. Изучены закономерности распределения минералов по классам крупности в тяжелой и легкой фракциях хвостовых отложений. Установлена равномерность распределения тяжелых минеральных фракций по глубине их залегания. Выявлены факторы, позволяющие рекомендовать отвальные хвосты обогащения кимберлитов как техногенные алмазосодержащие образования.*

*Ключевые слова:* минералогия, алмаз, кимберлит, фракция, месторождение, отвальные хвосты.  
Чантурия Валентин Алексеевич, vchan@mail.ru, Двойченкова Галина Петровна, dvoigp@mail.ru, Ковальчук Олег Евгеньевич, oleg.kovalchuk@mail.ru, Тимофеев Александр Сергеевич, timofeev\_ac@mail.ru

## SPECIAL ASPECTS OF MINERAL COMPOSITION AND DISTRIBUTION OF MINERAL COMPONENTS IN THE FINAL TAILINGS OF BLUE GROUND PROCESSING

V.A.Chanturiya, G.P.Dvoychenkova, O.E.Kovalchuk, A.S.Timofeev

*Their vestigation of the mineralogical and granulometric composition of the final tailings of blue ground processing are described. The regularities of the distribution of minerals on size grades, heavy and light suites of tail deposits are studied. The uniformity of distribution of heavy mineral fraction through the depth of tail deposits is determined. The factors, allowing to recommend the final tailings of blue ground processing as a technogenic diamond-bearing formations are revealed.*

*Key words:* mineralogy, diamond, kimberlite, fraction, deposit, final tailings.

Отвальные хвосты алмазоизвлекающих фабрик представляют собой водные суспензии тонкоизмельченного кимберлитового сырья, из которого максимально полно извлечены алмазные кристаллы. Однако существующие технологии переработки не дают возможности в полном объеме извлекать алмазы мелких классов  $-2+0,5$  мм, что позволяет рассматривать зернистые фракции отвальных хвостов как перспективное техногенное алмазосодержащее сырье, требующее оценки целесообразности вовлечения его в повторную переработку. Высокое содержание ассоциаций измененных минералов кимберлита, тонкодисперсных фракций и тонкослоистых силикатов, свойственное большинству месторождений алмазосодержащего сырья, предполагает наличие минеральных ассоциаций, способных изменять природные свойства поверх-

ности алмазных кристаллов и образовывать устойчивые к осаждению суспензии в объеме хвостохранилища [3, 4, 6–8]. С учетом изложенного определение качественных и количественных характеристик минерального состава отвальных хвостов алмазоизвлекающих фабрик — актуальная задача для оценки возможности их вовлечения в повторную переработку.

Авторами в лабораториях НИГП АК «АЛРОСА» и ИПКОН РАН выполнен комплекс экспериментальных исследований по определению минералогического состава песковых и тонкодисперсных фракций отвальных хвостов обогащения алмазосодержащего сырья, а также закономерностей распределения минеральных компонентов по глубине их залегания. Алмазосодержащий материал, используемый в качестве объекта исследова-

## 1. Гранулометрический состав отвальных хвостов

Проба	Глубина, м	Содержание, вес. %							
		>2	-2+1	-1+0,5	-0,5+0,25	-0,25+0,05	-0,05+0,01	-0,01+0,001	<0,001
1	0,2	0,40	1,49	25,44	43,79	24,48	3,21	1,16	0,04
	0,5	0,00	0,02	1,68	12,32	17,61	38,39	27,70	2,27
	1,0	0,01	3,28	35,40	34,42	20,34	3,65	2,83	0,08
	2,0	0,00	0,41	10,57	31,03	51,04	4,22	2,66	0,07
	3,5	0,00	1,80	25,27	28,18	29,16	5,27	9,94	0,37
	5,0	0,62	2,32	23,13	23,86	28,04	10,11	11,14	0,77
2	6,0	0,01	0,45	17,49	26,67	33,21	12,56	8,65	0,96
	0,5	3,56	1,72	9,95	30,70	44,45	3,62	5,97	0,01
	1,0	0,00	0,00	0,03	0,21	30,03	62,08	7,57	0,07
	1,5	0,00	0,45	16,25	33,82	39,68	5,57	4,00	0,23
	2,5	0,00	0,00	0,05	0,24	31,04	17,63	48,58	2,45
	3,2	0,00	0,58	9,60	11,78	28,52	12,73	29,76	7,03
	4,0	0,31	1,96	23,45	23,64	26,83	10,95	11,39	1,47
	5,0	0,00	1,76	22,62	23,55	28,35	7,00	15,39	1,32
	6,0	1,52	1,05	11,90	26,92	37,45	8,60	11,58	0,99
	7,0	0,08	1,52	17,86	25,89	29,61	9,55	14,65	0,84
3	11,0	0,00	1,02	18,40	24,24	40,74	7,91	2,72	4,97
	12,0	1,50	0,97	5,22	9,79	43,10	20,38	15,81	3,23
	0,3	4,8	3,2	21,6	25,9	28,8	12,1	3,5	0,2
	1,0	0,0	0,4	5,9	40,1	46,5	4,5	2,6	0,0
	1,5	8,9	1,0	2,3	19,0	47,1	17,7	3,9	0,1
	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,8	66,6	14,5
	3,5	0,0	0,0	0,5	1,8	40,7	31,8	22,1	3,1
	4,5	0,0	0,0	0,1	0,5	16,8	58,6	18,1	6,0
	6,0	0,1	0,1	1,7	11,0	51,5	15,8	17,8	2,0
	7,5	0,0	0,2	2,2	9,5	45,3	15,2	24,1	3,6
10,0	0,0	0,5	4,2	11,5	36,4	17,5	28,2	1,7	
	12,0	0,0	0,0	1,0	6,0	23,4	33,8	29,2	6,6

ний, отобран сотрудниками НИГП АК «АЛРОСА» из керна колонковых скважин, вскрывших отвальные хвосты на всю мощность их залегания по всему разрезу хвостовых отложений обогатительной фабрики. Изучались пробы трех скважин (далее по тексту пробы 1, 2, 3), каждая из которых представлена образцами с разной глубины залегания.

При визуальном осмотре проб выявлено, что алмазосодержащие хвостовые отложения состоят из разнозернистого песчано-глинистого материала с однотипным строением и незначительной вариацией мощностей выделенных слоев. В лабораторных условиях проанализировано распределение материала по размерам минеральных частиц, при этом впервые определялся гранулометрический состав рудного материала хвостовых отложений с разделением на классы крупности достаточно узкого интервала: 2+1, -1+0,5, -0,5+0,1, -0,1+0,05, -0,05+0 мм. Выход крупных классов установлен методом взвешивания, а фракции от -0,05 до +0,01, -0,01 до +0,001 мм выделены способом седиментации. В каждой из исследуемых проб по глубине залегания хвостовых отложений найдено процентное соотноше-

ние классов крупности (табл. 1). На рис. 1 даны результаты изучения среднего гранулометрического состава хвостовых отложений. Из табл. 1 и приведенных диаграмм видно, что материал проб представлен в основном мелкими классами крупности, равномерно распределенными по объему проб и содержащими до 50% тонкодисперсных фракций (-0,05 мм).

Минеральный состав отвальных хвостов изучался с помощью рентгенографического анализа с использованием методов дифрактометрии и термического анализа, при этом количество минеральных компонентов в образцах рассчитано с применением принципа, согласно которому площадь и интенсивность максимумов на дифрактограммах прямо пропорциональны содержанию минерала, соответствующего этим максимумам.

Исследуемые пробы отвальных хвостов классифицированы как кальцит-доломитовая ассоциация с повышенным содержанием кварца (рис. 2). Кроме того, в отдельных пробах диагностированы полевые шпаты. Собственно кимберлитовые минералы — флогопит и серпентин — сосредоточены

в основном на глубине до 5 м, а минералы группы смектитов и хлоритов в среднем на глубине >2 м. Среднее содержание флогопита и серпентина составляет ~10%, смектитов и хлоритов не превышает 8–12%.

В связи с трудностью диагностирования рентгеноаморфных фаз стандартным рентгенофазовым анализом глинистая фракция дополнительно исследована методом термографии с использованием термоаналитических характеристик минеральных компонентов при изменении температуры от 0 до 1600°C. Дифрактограммы рентгенографического анализа глинистой фракции из пробы класса -0,05 мм приведены на рисунках 3, а, б и 4, а. Рентгеноаморфная фаза крупностью <0,001 мм дополнительно исследована методом термографического анализа (см. рис. 4, б).

Характер пиковых скачков на дифрактограммах позволил диагностировать в образцах хлорит, смешанослойные образования, смектиты, минералы группы слюд и гидрослюд, а также тонкодисперсный кварц с примесью талька. Кроме того, на полученных термограммах фракции <0,001 мм видно, что при  $T$  674°C четко определяется серпентин, а при  $T$  808°C — карбонаты (см. рис. 4, б).

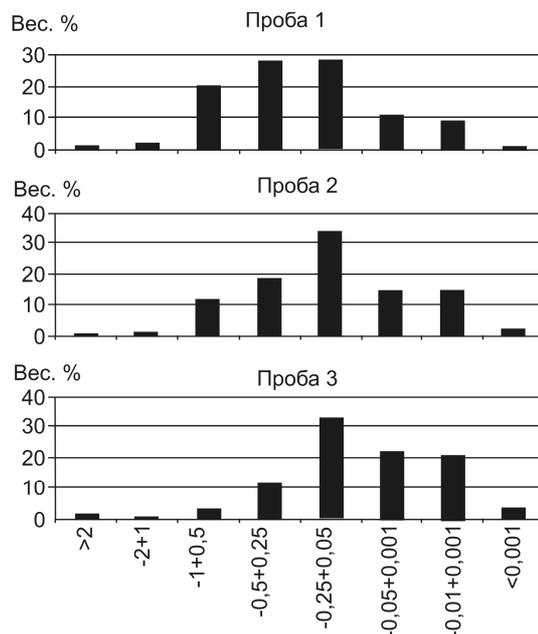


Рис. 1. Средние содержания гранулометрических классов крупности в усредненных пробах отвальных хвостов

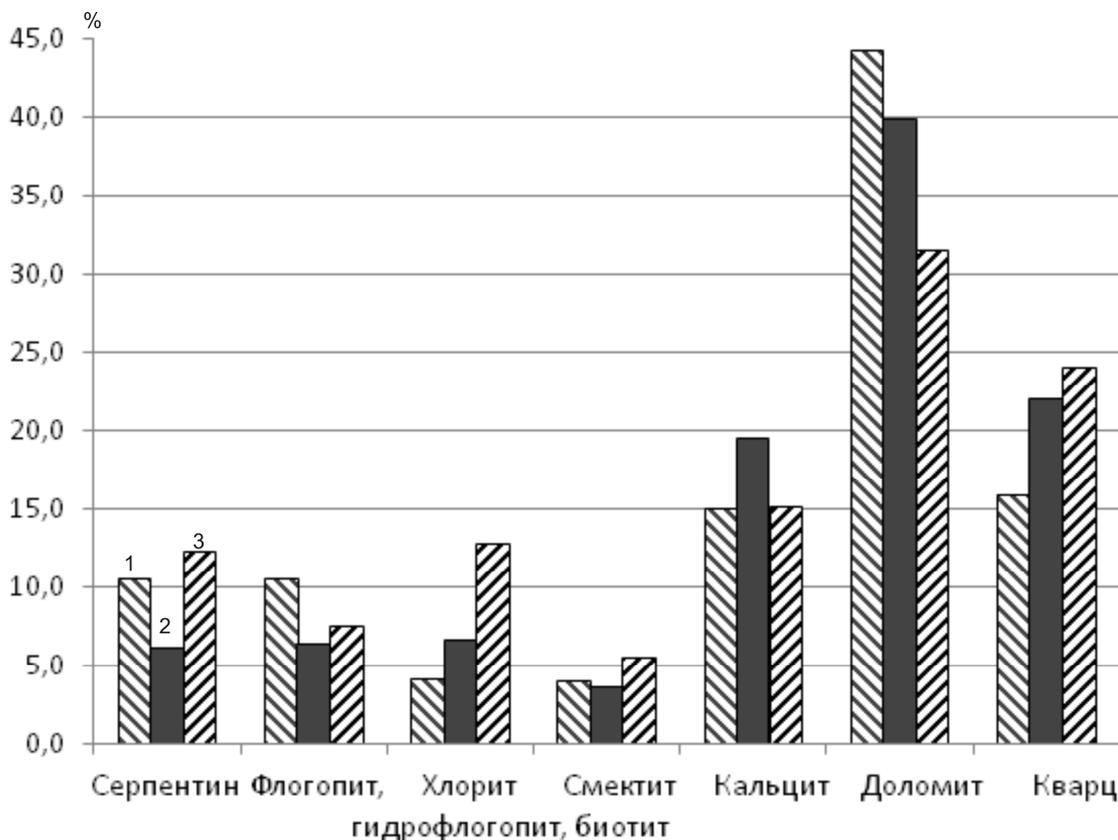
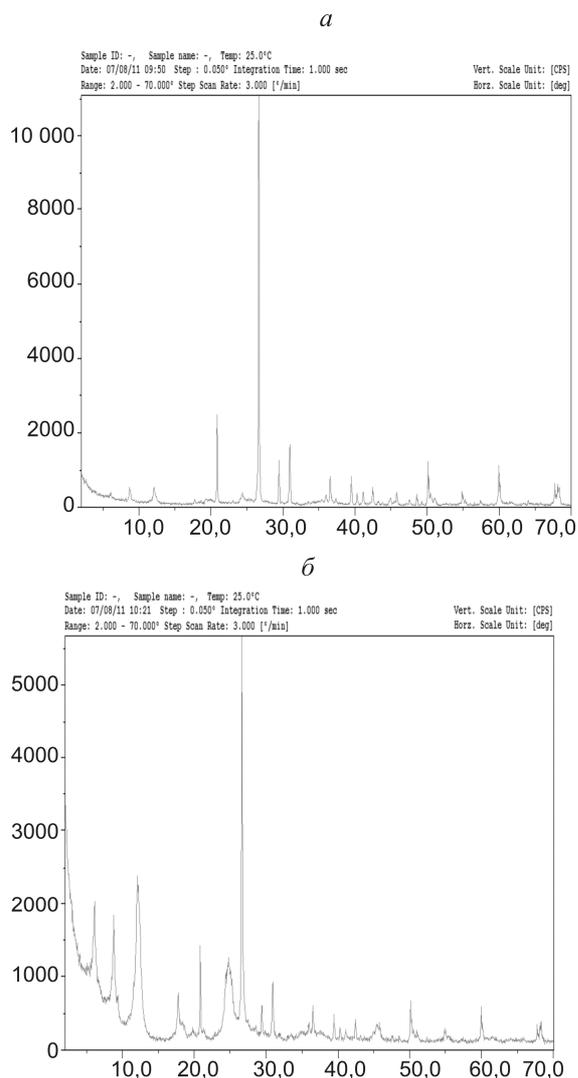


Рис. 2. Содержание минералов в исследованных пробах (1, 2, 3) отвальных хвостов



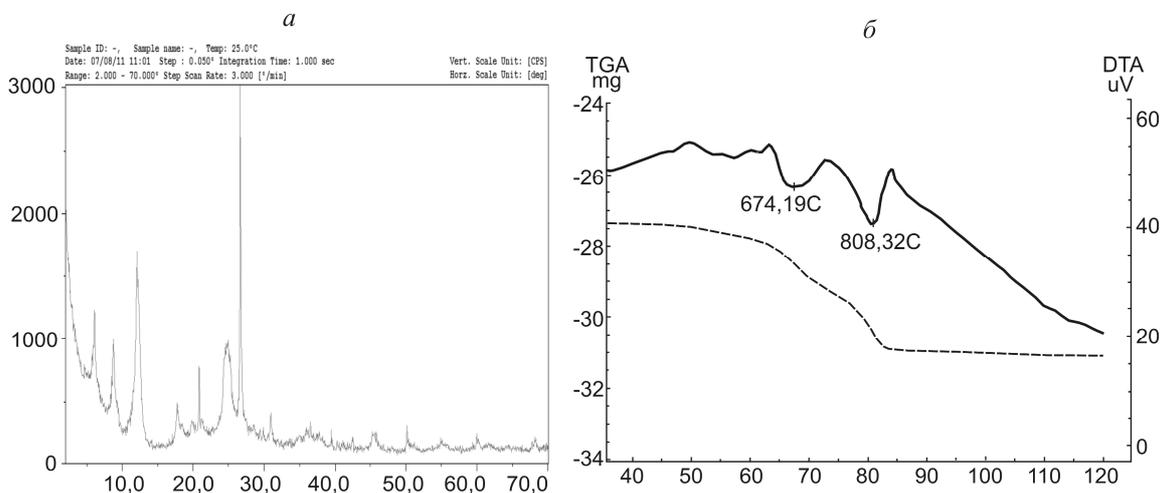
**Рис. 3. Дифрактограммы исследованных образцов по фракциям:**

*a* —  $-0,05+0,01$  мм; *б* —  $-0,01+0,001$  мм

Аналитическими исследованиями подтверждены данные рентгенографического анализа, что позволило диагностировать содержание серпентина и карбонатов в изученных образцах глинистой фракции на уровне 70 и 35% соответственно и идентифицировать глинистую фракцию как серпентин-карбонатную ассоциацию. Сводные результаты минералогических исследований приведены в табл. 2.

Таким образом, при экспериментальных исследованиях отвальных хвостов обогащения алмазосодержащего сырья диагностированы основные минералы песковых и тонкодисперсных фракций хвостовых отложений, а также отмечена равномерность их распределения по узким гранулометрическим классам крупности. На основании минералогического анализа в пробах из отвальных хвостов обогащения установлены минеральные ассоциации — производные основных минералов кимберлитов. По имеющимся в литературе данным об основных минералах кимберлитов и их вторичных изменениях [1, 2, 5], а также полученным результатам минералогических исследований выявлено, что отвальные хвосты по сравнению со средним составом исходного алмазосодержащего сырья характеризуются повышенным содержанием кальцит-доломитовых минеральных образований с высоким (до 50%) количеством тонкодисперсных серпентин-карбонатных глинистых фракций. Наличие последних необходимо учитывать при разработке способов подготовки исследуемого алмазосодержащего сырья к обогащению. В тонкосолистых силикатах преобладают хлориты, смектиты, серпентин и сапонитовые фракции с содержанием до 15% рентгеноаморфной фазы. В целом основной мине-

**Рис. 4. Дифрактограмма (а) и термограмма (б) исследованного образца фракции  $<0,001$  мм**



ральный состав хвостовых отложений аналогичен таковому исходного алмазосодержащего сырья. Вышеуказанные отличия обусловлены процессами изменений основных минералов кимберлита при выносе из них или привносе отдельных компонентов, а также валентности некоторых ионов в условиях переработки алмазосодержащих кимберлитов и последующем хранении отвальных хвостов.

Однако для оценки возможности повторного обогащения алмазосодержащих хвостовых отложений, кроме granulометрической характеристики и определения минерального состава каждого из выделенных классов, не меньшее значение имеет характер распределения минеральных компонентов в объеме рудной массы по глубине ее залегания. Поскольку алмазные кристаллы концентрируются в тяжелой фракции минерального сырья, выделенной при плотности разделения  $2,8 \text{ г/см}^3$ , немаловажен также анализ распределения диагностированных минералов по их плотности и глубине залегания.

Экспериментальная оценка распределения минералов по глубине залегания отвальных хвостов выполнена на тяжелых и легких фракциях, выделенных с применением тяжелосредней сепарации в лабораторных условиях. В изученных разрезах по всей мощности залегания отвальных хвостов содержание тяжелой фракции в классе  $-2+0,5 \text{ мм}$ , начиная от прослойки глинистого алеврита (глубина  $0,5 \text{ м}$ ), с глубиной постепенно возрастает. Характер приведенных кривых (рис. 5) свидетельствует о том, что с увеличением глубины хвостовых

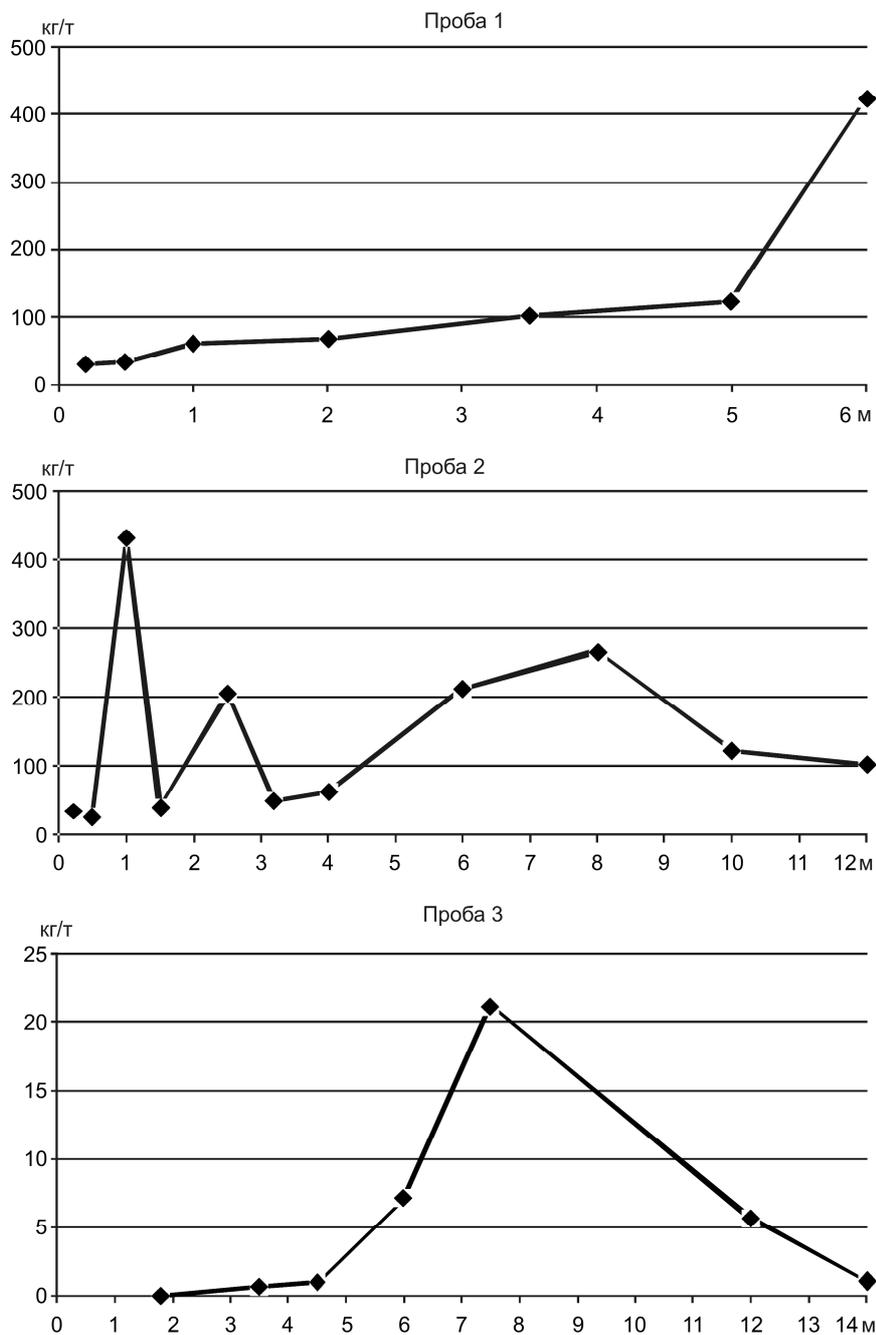


Рис. 5. Содержание тяжелой фракции минералов в исследованных пробах по глубине хвостовых отложений

отложений постепенно повышается содержание тяжелой фракции с максимумом в интервале глубин 3–8 м.

Как показали результаты минералогического анализа проб, в тяжелой фракции алмазосодержащих отложений преобладает гранат с достаточно равномерным распределением по разрезам, присутствуют флогопиты и сидерит, содержание которых увеличивается с глубиной залегания, магнетит,

## 2. Результаты минералогического анализа глинистой фракции отвальных хвостов

№ № п/п	Исследуемые пробы	Содержание минералов в пробе, %											
		Рентгенографический анализ										Термографи- ческий анализ	
		Глубина отбора, м	Размер фракции, мм	Хлорит	Флогопит, гидрофлогопит, биотит	Смектит, смешанослойные образования	Серпентин	Кварц	Кальцит	Доломит	Полевые шпаты	Сумма	Рентгеноаморфная и аморфная фазы
1	Средняя	-	2	-	7,1	1,4	7,03	13,2	1,8	32,53	67,47	70	26
2	-0,05+0,01	11,4	3,9	3,2	16,5	4,1	9,3	18,2	-	66,6	33,4	-	-
3	-0,01+0,001	13,5	0,7	сл	14,9	1,8	5,2	-	-	46,1	53,9	-	-
4	<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Средняя	7	10,2	-	-	5,7	11,5	16,2	2,7	46,3	53,7	64	20
6	-0,05+0,01	-	1,6	-	3,4	32,7	5	12,1	-	54,7	45,3	-	-
7	-0,01+0,001	2,9	0,4	-	6,3	24,1	3,3	7,2	-	44,2	55,8	-	-
8	<0,001	1,7	-	сл	15,4	9,9	0,2	1,6	-	29,6	70,4	-	-
9	Средняя	-	2,2	-	7,9	2,9	8,2	19	-	40,2	59,8	80	24
10	-0,05+0,01	8,2	1,5	-	8,9	2,5	6,7	16,2	-	44	56	-	-
11	-0,01+0,001	8,6	0,2	-	11,8	3,1	2,1	10,8	0,6	37,2	62,8	-	-
12	<0,001	1,9	сл	1,5	12,1	1,5	сл	4,3	-	21,3	78,7	-	-
13	Средняя	-	1,4	-	6,2	3,6	11,2	32	-	54,4	45,6	60	34
14	-0,05+0,01	3,2	3	-	13,8	1,3	8,7	23,5	-	53,4	46,6	-	-
15	-0,01+0,001	2,3	1,3	0,7	10,3	1,9	11,1	16,4	-	44	56	-	-
16	<0,001	2,2	0,3	5	17	1,7	-	5,8	-	32	68	-	-
17	Средняя	9	0,2	-	5,3	6,3	11,1	40,7	-	63,6	36,4	60	34
18	-0,05+0,01	11,7	0,4	-	19,6	5,4	8	22,2	-	67,2	32,8	-	-
19	-0,01+0,001	8	-	4,3	16,5	4,8	3,8	10,8	-	48,1	51,9	-	-
20	<0,001	3,1	-	3,9	18,2	2	-	1,8	-	28,9	71,1	-	-
21	Средняя	8	-	-	5,5	9,4	5	21,4	1,5	50,8	49,2	45	30
22	-0,05+0,01	6,5	0,3	сл	11,3	13,7	6,4	14,7	сл	52,9	47,1	-	-
23	-0,01+0,001	3,9	сл	4,9	5,8	10,6	3	7,1	5,3	35,8	64,2	-	-
24	<0,001	4,4	0,3	5,1	16,3	3,4	-	1,7	-	31,2	68,8	-	-
25	Средняя	13	0,6	-	5,5	4,5	7,7	13,2	2,4	46,9	53,1	64	35
26	-0,05+0,01	19,3	0,8	-	19,3	4,9	7,3	24,6	-	66,1	33,9	-	-
27	-0,01+0,001	16,1	сл	3,7	18,3	2,9	3,3	11	-	55,3	44,7	-	-
28	<0,001	сл	-	-	14,5	сл	10,6	-	-	25	75	-	-

пирит, родохрозит, фиксируются хромшпинелид и хромит. Состав легкой фракции довольно постоянный, преобладают обломки карбонатных пород, отмечаются кварц, серпентин, обломки кимберлитов. Из породообразующих минералов доминируют карбонаты. Идентичные закономерности распределения минералов по тяжелой и легкой фракциям, а также тяжелой фракции по глубине залегания характерны и для исходного рудного сырья.

Итак, выявлены следующие факторы, позволяющие рекомендовать исследованные хвостовые отложения в качестве вторичного сырья для дополнительного извлечения ценных компонентов:

схожесть основного минерального состава и закономерностей его распределения в хвостовых отложениях и исходном рудном сырье;

равномерное распределение минеральных классов крупности как по глубине хвостовых отложений, так и в объеме отдельных проб;

высокий процент тяжелой минеральной фракции, сконцентрированной в равномерно залегающих пластах хвостовых продуктов, что предопределяет аналогичное распределение алмазных кристаллов в отвальных хвостах.

Для хвостовых отложений, рекомендованных в качестве техногенных алмазосодержащих образо-

ваний, необходима разработка технологии их повторной переработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зинчук Н.Н., Харькив А.Д., Котельников Д.Д., Соболева С.В. Флогопит и продукты его изменения в кимберлитовых породах Якутии // Минералы и парагенезисы минералов горных пород и руд. Л., 1979. С. 69–76.
2. Котельников Д.Д., Домбровская Ж.В., Зинчук Н.Н. Основные закономерности выветривания силикатных пород различного химического и минералогического состава // Литология и полезные ископаемые. 1995. № 6. С. 594–601.
3. Механизм пассивации и активации поверхности алмазов при переработке алмазосодержащих руд / В.А.Чантурия, Э.А.Трофимова, Ю.П.Диков и др. // Обогащение руд. 1999. № 3. С. 36–39.
4. Связь поверхностных и технологических свойств алмазов при обогащении кимберлитов / В.А.Чантурия, Э.А.Трофимова, Ю.П.Диков и др. // Горный журнал. 1998. № 11–12. С. 52–56.
5. Стадийность и направленность преобразования серпентина и флогопита в кимберлитах трубки Катоба (Ангола) / Д.Д.Котельников, Н.Н.Зинчук, Ю.Б.Стегницкий и др. // Изв. вузов. Геология и разведка. 2005. № 2. С. 16–23.
6. Чантурия В.А., Трофимова Э.А., Богачев В.И., Двойченкова Г.П. Минеральные и органические образования на природных алмазах, условия формирования, методы их удаления // Горный журнал. 2010. № 7. С. 68–72.
7. Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Ковальчук О.Е., Коваленко Е.Г. Изменение технологических свойств алмазов в условиях переработки вторично измененных кимберлитов // Руды и металлы. 2013. № 3. С. 48–55.
8. Surface properties of diamonds in kimberlites processing / V.Chanturiya, V.Zuev, E.Trofimova et al. // XXI International Mineral Processing Congress Edited by Paolo Massacci University of Rome «La Sapienza» Department of Chemical, Raw Material and Metallurgical Engineering, Rome, Italy, 2000. Vol. B. P. 9–16.

УДК 552.323.6 (571.56)

© А.В.Дроздов, К.Н.Егоров, А.И.Мельников, 2014

## ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КИМБЕРЛИТОВ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД НА ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТРУБКИ УДАЧНАЯ

**А.В.Дроздов (Институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА»), К.Н.Егоров, А.И.Мельников (Институт земной коры СО РАН)**

*Рассмотрены особенности строения и формирования крупнейшего месторождения алмазов трубки Удачная с существующим диапазоном изменения прочностных показателей кимберлитов и вмещающих осадочных пород. Изложен механизм саморазрушения кимберлитов в результате стрессовой коррозии и воздействия поверхностно-активных веществ, а также шелушения вмещающих кембрийских пород, обусловленного особенностями обстановок осадкообразования.*

*Ключевые слова: месторождение алмазов, кимберлиты, вмещающие осадочные породы, трещиноватость, прочность, коэффициент крепости.*

*Дроздов Александр Викторович, DrozdovAV@alrosa.ru, Егоров Константин Николаевич, egorov@crust.irk.ru, Мельников Александр Иванович, mel@crust.irk.ru*

## EVALUATION OF STRENGTH CHARACTERISTICS OF KIMBERLITES AND COUNTRY ROCKS ON DEEP HORIZONS OF DEPOSIT PIPE UDACHNY

**A.V.Drozdov, K.N.Egorov, A.I.Melnikov**

*The morphology and formation of the largest diamond deposit with the existing variation range of strength characteristics of kimberlites and enclosing basic sediments on pipe Udachny were considered. Mechanism of kimberlites self-destruction because of stress corrosion and under the influence of surface-active materials, as well as rocks peeling due to conditions of sediment formation in the Cambrian stratum is stated.*

*Key words: diamond deposit, kimberlites, country sedimentary rocks, fracturing, strength, hardness coefficient.*

Месторождение трубки Удачная обладает рядом генетических, структурно-тектонических, криогидрогеологических и нефтегазоносных особенностей, а именно: низкой устойчивостью блоков

пород в приконтактных частях кимберлитовых тел, структурообразующих зонах нарушений, межтрубочном пространстве, переменной обводненностью породных блоков и другими не менее важными

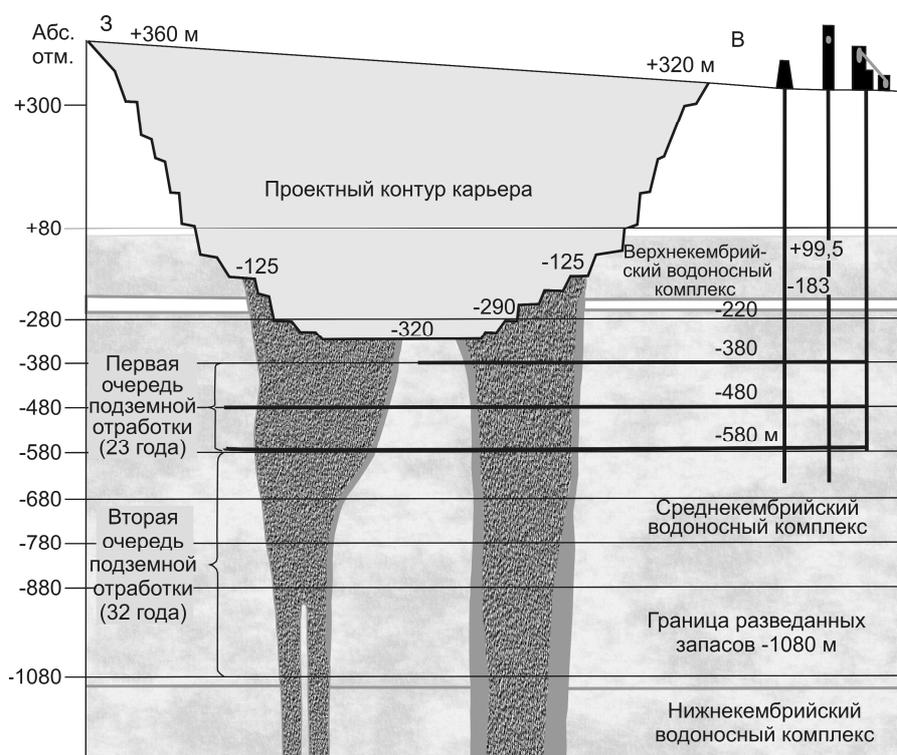


Рис. 1. Схема комбинированной отработки месторождения трубки Удачная:

жирные линии — выработки первого пускового комплекса

ми деталями его строения и показателями свойств. Особенностью вскрываемых подкарьерных интервалов месторождения является наличие опасных зон воздействия геомеханических, гидрогеодинамических, газодинамических факторов. На глубоких горизонтах месторождения количество разнопрочностных блоков и интервалов, зависящих от тектонических нарушений по приконтактовым и структурообразующим зонам, значительно увеличивается.

Трубка Удачная — одно из крупнейших алмазных месторождений в России с глубиной открытой отработки до 610 м и дальнейшим освоением нижележащих горизонтов подземным способом (рис. 1). Предусматриваемая производительность подземного рудника 4 млн. т в год. Общая криогеологическая, геомеханическая и газовая ситуация в районе не имеет аналогов в отечественной и мировой практике. Рудный комплекс объекта состоит из двух сопряженных кимберлитовых трубок — Западной и Восточной, четырех структурно сопряженных сателлитных «слепых» кимберлитовых тел и шести кимберлитовых жил [5]. В верхней части разреза обе основные кимберлитовые трубки соприкасаются друг с другом и начиная с глубин 250–270 м расходятся в пространстве. В строении вме-

щающих толщ месторождения участвуют вендские, кембрийские карбонатные и терригенно-карбонатные отложения, а также четвертичные образования различного генезиса. Дочетвертичные породы осадочного чехла интродуцированы пластовыми телами и дайками долеритов.

Месторождение трубки Удачная расположено в четком разломном узле, образованном пересекающимися диагональными системами региональных тектонических нарушений (северо-восточной и северо-западными), осложненными мелкими околотрубными локальными разрывами [3]. Северо-восточная система более мощная и ранняя, так как контролирует местоположение мелких кимберлитовых тел и жил вблизи двоянных трубок. На глубоких горизонтах эта система четко выражена зонами дробления, окварцевания и пиритизации пород, мелкими параллельными разрывами или крупными трещинами. Особенно четко зоны дробления северо-восточной системы разрывных нарушений наблюдаются в западном теле трубки. Посттубочные зоны разрывных нарушений преимущественно северо-западного направления связаны с пермтриасовыми и позднемезозойскими тектономагматическими активизациями секут трубку Удачная и околотрубные вмещающие породы.

На основании изучения структуры околотрубного пространства и внутреннего строения кимберлитового комплекса трубки установлены три этапа формирования разрывных нарушений и рудного узла в целом [5]. Первый этап связан с северо-восточной системой разрывных нарушений. На втором этапе произошла смена полей напряжений, обусловленная формированием северо-западных дизъюнктивных нарушений и одновременной активизацией северо-восточной системы разломов. Широкое развитие сколовых нарушений северо-восточного направления приводило к пульсационному раскрытию зияющих пустот (раструбов) и

## 1. Прочностные показатели вмещающих пород глубоких горизонтов

Интервал глубин, м	Породы	Предел прочности, МПа		Коэффициент сцепления, МПа	Угол внутреннего трения, ф, град.
		$\sigma_{сж}$ при сжатии	$\sigma_r$ при растяжении		
500–600	Доломиты, известняки, доломиты известковистые, известняки окварцованные, брекчия карбонатная	<u>3,2–95,5*</u> 40,67	<u>1,2–8,0</u> 4,66	<u>3,1–84,8</u> 13,49	<u>11,5–40,0</u> 31,33
600–700		<u>5,0–87,0</u> 40,19	<u>1,1–9,8</u> 4,43	<u>1,7–88,1</u> 14,11	<u>14,9–40,0</u> 32,39
700–800	Доломиты, известняки, доломиты известковистые, мергели, ангидриты, брекчия карбонатная	<u>4,8–124,9</u> 50,53	<u>1,3–12,1</u> 5,85	<u>5,5–31,4</u> 13,48	<u>13,1–40,1</u> 32,39
800–900	Доломиты, известняки, известняки доломитизированные, мергели	<u>3,9–98,6</u> 48,89	<u>1,1–9,1</u> 5,69	<u>3,1–88,2</u> 21,85	<u>16,8–41,1</u> 30,94
900–1000	Доломиты, известняки, известняки мраморизованные, известняки окремненные	<u>4,1–128,8</u> 48,38	<u>2,5–9,7</u> 5,3	<u>5,2–40,3</u> 16,75	<u>12,3–40,7</u> 29,03
1000–1100	Доломиты, известняки, известняки мраморизованные	<u>5,0–91,1</u> 48,96	<u>2,0–9,0</u> 5,17	<u>5,4–36,8</u> 13,67	<u>19,5–42,3</u> 32,05
1100–1200	Известняки, известняки мраморизованные, окремненные, брекчия карбонатная, доломиты	<u>12,9–55,8</u> 33,89	<u>2,4–7,3</u> 5,11	<u>6,4–14,2</u> 9,47	<u>20,3–39,0</u> 31,29
1200–1300	Известняки, известняки окремненные	<u>5,0–46,2</u> 30,42	<u>2,12–9,3</u> 5,79	<u>9,3–13,0</u> 10,63	<u>29,0–38,0</u> 34,78
1300–1400	Известняки, доломиты окремненные, известняки окремненные, брекчия карбонатная	<u>3,8–55,8</u> 36,55	<u>2,89–11,5</u> 5,95	<u>5,9–12,8</u> 10,0	<u>28,0–39,7</u> 33,87
1400–1500	Известняки, доломиты окремненные, известняки окремненные, брекчия карбонатная	<u>4,3–87,4</u> 34,99	<u>2,6–9,4</u> 6,22	<u>8,1–16,1</u> 11,69	<u>27,6–40,9</u> 35,71
1500–1600	Доломиты окремненные, известняки окремненные, брекчия карбонатная	<u>48,9–50,4</u> 49,65	<u>5,8–9,8</u> 7,8	<u>14,2–14,8</u> 14,5	<u>27,7–36,0</u> 31,85
1600–1700	Известняки окремненные	57,2	6,1	16,2	36,4

\*(min–max)/ среднее.

периодическому внедрению в них основного объема кимберлитовых фаз трубок. На третьем этапе активизировалась северо-западная система разломов и внедрились позднепалеозойские – раннемезозойские дайки долеритов [5].

В результате длительной эволюции земной коры и многократного тектонического воздействия на рудные тела (сжатия, растяжения, перемещений переменного знака вдоль нарушений и т.д.) изменились геодинамическая напряженность породных блоков и физико-механические свойства кимберлитов. По-видимому, не случайно зоны разрывных нарушений, зафиксированных в западном и восточном телах, совпадают с участками кимберлитов с наименьшей крепостью. В западном теле трубки Удач-

ная это линейные зоны северо-западного направления, а в восточном — субмеридиональная зона.

На верхних горизонтах трубки эта закономерная связь несколько нарушается, поскольку крепость кимберлитов связана с криогенным воздействием на рудный и породный массивы, а также более интенсивной их трещиноватостью в приконтактных участках с вмещающими породами. В зонах тектонических нарушений, где наиболее активно происходил водообмен при взаимодействии системы «рассол–порода», отмечаются следы значительного водонасыщения кимберлитов [4]. О глубокой пропитке рассолами таких кимберлитов свидетельствует состав водных вытяжек (после замачивания образцов в дистилляте).

Вскрываемый разрез осадочных толщ в пределах месторождения представлен в основном карбонатными породами — известняками, глинистыми и доломитизированными известняками, доломитами, известковистыми доломитами и мергелями. В нижней части известняково-доломитовой толщи наблюдается обильное окварцевание и окремнение пород. Заметим, что вмещающие породы до горизонта -780 м характеризуются частым чередованием субгоризонтальных пластов и пропластков мощностью от нескольких миллиметров до 4–5 м. Поэтому в процессе проходки подземных горных выработок при снятии давления в кровельной части возможно отслоение (по плоскости напластования) разнообъемных плиток или кусков отдельных литологических разностей с их последующим обрушением.

Изучение физико-механических свойств разных типов кимберлитов и вмещающих осадочных пород выполнялось на всех этапах освоения месторождения, начиная с разведки верхних горизонтов, и продолжается в настоящее время при строительстве подземного рудника. Обобщенные данные по прочностным показателям основных литологических разностей вмещающих пород трубки Удачная для подкарьерных интервалов до разведанных глубин приведены в табл. 1 [2, 6]. Анализ имеющихся данных показывает, что значительный разброс частных значений сопротивления одноосному сжатию характерен для осадочных пород всех возрастных подразделений.

Следует также подчеркнуть, что использование данных только лабораторных исследований пород в большинстве случаев не корректно. В частности, коэффициенты крепости пород в естественном залегании отдельных блоков для условий объемного сжатия (а не по лабораторным данным разрушенного керна) как по вмещающим осадочным отложениям, так и по кимберлитам значительно выше. Специалистами давно отмечено, что данные лабораторных определений и натурных наблюдений обычно различаются. Это происходит главным образом за счет влияния факторов физического (морозного) выветривания (промерзание-оттаивание) керна и снятия геодинамических напряжений. К сожалению, образцы, поступающие на лабораторные исследования, проходят естественный цикл «заморозки-оттайки», что существенно сказывается на их состоянии и последующих данных прочностных показателей [7]. Поэтому для практического использования необходим дифференцированный подход к оценке тех или иных свойств пород, в частности по обоснованию коэффициентов крепости пород, структурного ослабления и других физико-механических показателей.

Рассмотрим основные природные и техногенные факторы, сказывающиеся на прочностных показателях пород и устойчивости подземных выработок строящегося рудника. Инженерно-геологические особенности месторождения трубки Удачная определяются анизотропией прочностных свойств как кимберлитов разных типов (фаз внедрения), так и разновозрастных вмещающих отложений. В ходе эксплуатационно-разведочных работ было установлено следующее уникальное явление: поднятые на поверхность керны кимберлита первоначально (до 2–3 ч) отличались высокой крепостью, однако через 4 ч и более разрушались на мелкие кусочки. Наиболее ярко процесс саморазрушения проявился для дейтеропорфирового кимберлита (третья фаза внедрения) трубки Удачная-Восточная. Спонтанное разрушение образцов керна кимберлита отмечалось особенно в летний период под воздействием солнечных лучей. Нарушение сплошности керна начиналось с образования густой сети трещин на поверхности образцов. При этом последние как бы «набухают», увеличиваясь в объеме в результате отслаивания серии тонких скорлуповидных пластинок, чешуек по всей поверхности керна. За сравнительно короткий срок (не более 4–5 ч) образцы постепенно рассыпались на очень мелкие фрагменты. Подобные явления также наблюдались при отработке трубки Мир. Одним из факторов, способствующих понижению прочности кимберлитов, является активное воздействие на них природных рассолов. Данное предположение подтверждено экспериментальными работами по обработке высококонцентрированными рассолами разных типов кимберлитов трубки Удачная, некоторых гидротермальных минералов кимберлитов, а также осадочных пород [4].

Исходя из имеющихся данных, можно констатировать, что один из вероятных механизмов саморазрушения кимберлитов — стрессовая коррозия, которая означает процесс медленного роста сети трещин в результате комбинационного действия на породу контактирующей жидкости (рассолов) и давления (тектонических напряжений). Рассолы, выступающие в роли поверхностно-активных веществ, проникают в мельчайшие капиллярные трещины кимберлитов, находящихся в состоянии повышенных геодинамических напряжений. В результате значительно понижается поверхностная энергия породы, контактирующей с рассолами, что может вызывать самопроизвольное диспергирование. Выделенные участки «аномальных» кимберлитов со свойствами саморазрушения частично совпадают с зонами тектонических нарушений в рудных телах.

Обобщение полученных данных по прочностным показателям кимберлитов в первом эксплуата-

ционном блоке для подземной отработки месторождения позволило выявить следующее. К примеру, значения коэффициентов крепости кимберлитов (по М.М.Протождяконову) [1] в интервале с абсолютными отметками -320...-380 м имеют большой разброс (от 1 до 12) и существенно отличаются от проектных. Поэтому планирование горнодобычных работ с использованием буровзрывного способа и последующим обрушением руды следует осуществлять с учетом разнообразия этого показателя свойств кимберлитов.

Отметим еще одну особенность вскрываемого разреза на месторождении. Одним из опасных и осложняющих факторов, с которыми столкнулись шахтостроители при проходке отдельных участков вертикальных и горизонтальных горных выработок, в частности на горизонте -580 м (удачнинская свита нижнего – среднего кембрия), является естественное шелушение осадочных вмещающих пород с последующим обрушением значительных объемов горной массы (до 850 м<sup>3</sup>) из кровельной и прибортовых частей. При беглом обзоре отдельных участков выработок фиксировалась субвертикальная или наклонная трещиноватость осадочных отложений. Первоначально это объясняли структурно-тектонической обстановкой во вскрываемых породных массивах. При более детальном изучении строения карбонатных толщ выявилась иная картина происхождения этих вывалов.

Вскрытые на руднике Удачный в удачинской свите подземными горными выработками опасные по устойчивости зоны, которые характеризуются вывалами больших объемов пород, связаны не со структурно-тектонической обстановкой на месторождении, а с фациально-седиментационными условиями осадкообразования кембрийских толщ. Изучение структурно-тектонической позиции месторождения трубки Удачная [3] позволило выделить особую гидрогеологическую структуру — Далдынскую флексуру, обладающую повышенными фильтрационно-емкостными показателями пород в интервале известняково-доломитовой толщи, с которой в основном связано обводнение месторождения. Фиксируются строматолитовые штоко- и шарообразные карбонатные постройки, способные образовывать вывалы. Они прослеживаются в основном к юго-востоку от месторождения в периферийной части карбонатной толщи рифового барьера. Для прогнозирования подобных опасных зон необходим полный фациально-седиментационный анализ всех материалов по местам вскрытия подземными горными выработками ниже-среднекембрийских отложений удачинской свиты в рифогенной Далдынской структуре.

Для расчета устойчивости уступов и бортов карьеров или стенок подземных горных выработок следует учитывать такие показатели физико-механических свойств пород: объемную плотность, сцепление и угол внутреннего трения. Последние две величины должны характеризовать свойства горных пород не в образце, а в массиве, поэтому требуется проведение натуральных испытаний. Физико-механические свойства вмещающих пород и кимберлитов алмазных месторождений определяются на образцах небольших размеров и характеризуют прочность отдельных литологических разностей или типов кимберлитов. Прочностные показатели горного массива или его частей, сложенных теми же породами, значительно ниже, чем в образце, в основном за счет литогенетической и тектонической нарушенности. Они устанавливаются по результатам натуральных испытаний или с помощью коэффициента структурного ослабления ( $\lambda$ ). Переход от сцепления в образце ( $C_0$ ) к сцеплению пород в массиве ( $C_M$ ) выражается зависимостью:  $C_M = \lambda C_0$ .

Коэффициент структурного ослабления связан рядом факторов, а именно: прочностью пород в монолите, структурным строением массива и его тектонической нарушенностью, механической неоднородностью горного массива и т.д. Он определяется экспериментально, аналитически или методом аналогии. На алмазных месторождениях Якутии натурные испытания проводятся при их разведке в подземных горных выработках и в бортах эксплуатируемых карьеров, при этом коэффициент структурного ослабления имеет различный диапазон изменений. Натурные испытания прочностных свойств вмещающих пород в карьере Удачный осуществлялись в откосах уступов, которые при разработке месторождения подвергаются техногенному (буровзрывному) воздействию. Поэтому трещиноватость отложений в местах проведения экспериментов оказалась несколько выше, чем в целике, а прочность ниже. Диапазон изменений коэффициента структурного ослабления для пород трубки Удачная достаточно широк — от 0,03 до 0,36 (табл. 2) [9].

Основным прочностным показателем крепости пород считается сопротивление исследуемого образца одноосному сжатию, или коэффициент крепости [1]. По результатам статистического анализа имеющихся данных физико-механических исследований образцов по разным скважинам уточнен коэффициент крепости вмещающих пород месторождения. В лабораторных условиях проанализировано >350 проб по определению прочности пород на одноосное сжатие ( $\sigma_{сж}$ ) для анализируемых интервалов глубин. Полученные значения прочности осадочных толщ варьируют в пределах 17,5–

## 2. Коэффициенты структурного ослабления, полученные при испытаниях в карьере Удачный

Номера испытаний	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\lambda_k$	0,29	0,24	–	–	0,16	–	0,18	0,21	0,051	0,18	0,09
$\lambda_p$	0,2	–	0,25	0,36	–	0,32	–	–	–	–	–
Номера испытаний	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
$\lambda_k$	–	0,27	0,049	–	0,29	0,17	0,20	0,22	0,11	0,16	0,12
$\lambda_p$	0,196	–	–	0,12	–	–	–	–	–	–	–
Номера испытаний	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
$\lambda_k$	0,15	0,091	0,041	–	–	0,05	0,11	0,064	0,074	0,078	0,24
$\lambda_p$	–	–	–	0,121	0,266	–	–	–	–	–	–

Примечание.  $\lambda_k$ ,  $\lambda_p$  — коэффициенты структурного ослабления, определенные при сдвиге ( $\lambda_k$ ) и отрыве ( $\lambda_p$ ).

95,4 МПа, т.е. коэффициент крепости для вмещающих пород (по шкале М.М.Протоdjяконова) [1] колеблется от 1,7 до 9,5. Максимальные его значения соответствуют окремненным породам в интервале кембрийской известняково-доломитовой толщи. Средневзвешенное значение коэффициента крепости находилось по формуле [7]:

$$f = \frac{\sum f_i n_i}{\sum n_i},$$

где  $f$  — средневзвешенное значение коэффициента крепости, по М.М.Протоdjяконову [1];  $f_i$  — исходный коэффициент крепости;  $n_i$  — число определений.

Ниже приводятся результаты обработки и пересчетов средневзвешенных значений коэффициентов крепости, полученных по результатам испытаний в лабораторных условиях. Расчеты выполнены для основных и первоочередных выработок строящегося рудника Удачный на горизонтах -380, -480, -580 м и между интервалами -380...-480 м (спи-

ральный съезд). Для примера показана гистограмма коэффициента крепости пород в интервале -380...-480 м (рис. 2).

Результаты статистического пересчета существующих определений показывают, что средневзвешенные значения коэффициента крепости (по М.М.Протоdjяконову) [1] во вскрываемых интервалах разреза осадочных толщ значительно выше, чем в представленных проектных материалах, и составляют на горизонтах: -580 м — 4,6, -480 м — 7,7, -380 м — 5,3, между -380...-480 м — 5,7.

Таким образом, оценка прочностных показателей кимберлитов и вмещающих осадочных отложений на месторождении трубки Удачная говорит о большом диапазоне их значений, что существенно отличается от проектных величин. Наличие разнопрочностных блоков, участков и зон, зависящих от многих природно-технологических факторов, небезопасно для ведения подземных горных работ. Поэтому необходима детализация и корректировка проектных решений при строительстве подземного рудника и на алмазодобывочных работах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горная энциклопедия в 5-ти томах / Под ред. Е.А.Козловского. — М.: Советская энциклопедия, 1984–1991.
2. Дроздов А.В., Иост Н.А., Лобанов В.В. Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии. — Иркутск: ИрГТУ, 2008.
3. Дроздов А.В., Мельников А.И. Оценка структурно-тектонической обстановки — основа газогидродинамического районирования месторождения (на примере трубки Удачной) // Маркшейдерия и недропользование. 2011. № 4 (54). С. 35–39.
4. Дроздов А.В., Егоров К.Н., Мельников А.И. Оценка взаимодействия системы «рассол-горная порода» в условиях активных геодинамических процессов на

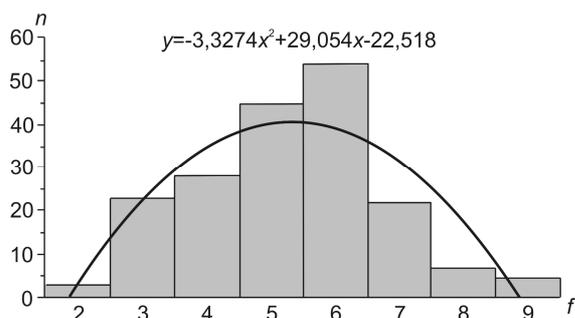


Рис. 2. Гистограмма коэффициента крепости пород в интервале -380...-480 м

- коренных алмазных месторождениях Якутии // Маркшейдерия и недропользование. 2013. № 6 (68). С. 16–21.
5. *Егоров К.Н., Мельников А.И.* Структурно-вещественная эволюция системы кимберлитовых тел трубки Удачная // Руды и металлы. 2012. № 1. С. 53–59.
6. *Коноваленко В.А.* Справочник физико-механических свойств горных пород алмазных месторождений Якутии. – Новосибирск: СО РАН, 2012.
7. *Курилко А.С.* Экспериментальные исследования влияния циклов замораживания-оттаивания на физико-механические свойства горных пород. – Якутск: СО РАН, 2004.
8. *Статистика: Учебник / Под ред. А.Е.Суринова.* – М.: РАГС, 2005.
9. *Термо- и геомеханика алмазных месторождений / А.А.Козеев, В.Ю.Изаксон, Н.К.Звонарев.* – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1995.

**ВЫХОДИТ ИЗ ПЕЧАТИ**

УДК 553.411 (571.5)

*Иванов А.И. Золото Байкало-Патомы (геология, оруденение, перспективы). — М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2014. — 216 с. 95 ил. 8 табл. 104 библ.*

Обосновываются полихронность золотого оруденения Байкало-Патомской металлогенической провинции, его связь с рифейско-палеозойской историей развития региона. Рассмотрены этапы и обстановки формирования месторождений рудного золота. В качестве основного рудоподготовительного этапа выдвигается линейная складчатость, обусловившая формирование золотоносных рудоконтролирующих зон рассланцевания и железомagneзиальной карбонатизации (бурошпатизации). Показано, что последующая переработка золотоносных пород при региональном метаморфизме приводит к перераспределению золота, а завершается формирование золоторудных объектов позднее при внедрении гранитоидов Ангаро-Витимского батолита.

Приводится опыт прогнозирования разноранговых золоторудных месторождений в конкретных ландшафтных условиях путем выявления рудоконтролирующих структур каждого из этапов их формирования с учетом достоверности ранее проведенных поисковых работ. Разработана методика поисковых работ для выявления рудных объектов в сложных ландшафтных условиях — на залесенных, задернованных, заболоченных склонах и водоразделах с развитием многолетней мерзлоты, когда информативный слой делювия перекрыт дальнепринесенными отложениями.

Polychronic nature of the gold mineralization in the Baikal-Patoma metallogenic province as an inherent part of Riphean-Paleozoic episode of the region's geologic history is displayed. Episodes and formative environments of the bedrock gold deposits are portrayed. Linear folding is considered as a key pre-depositional precursor enabling formation of gold-bearing schistosity zones and Fe-Mg carbonatization (the brown spar zones). As demonstrated, subsequent regional metamorphic reworking of the gold-bearing rocks results in re-distribution of the metal with formation of gold accumulations coeval to the Angara-Vitim batholiths granites as a final.

The book contains case histories concerning prognoses of gold deposits of various rank located in certain landscapes by revealing structural ore controls inherent in every formative episode and taking into consideration reliability of the predecessors' results. A set of techniques and methods is developed to explore for ore deposits in complicated landscaped (mostly drift-covered poorly exposed areas — forested and bogged slopes and watersheds in taiga within the permafrost boundaries).

Рекомендовано к изданию секцией геологии Ученого совета ФГУП ЦНИГРИ 28 мая 2014 г.

Отв. редактор В.А. Нарсеев

*Контактный телефон 8 (495) 315-43-47 (Мосолова Галина Леонидовна)*