

# **РУДЫ** **и** **МЕТАЛЛЫ**



научно-технический журнал

**1**  
**2018**

# **и РУДЫ МЕТАЛЛЫ**



научно-технический журнал

**№ 1 январь – март 2018**

**Главный редактор А.И.Иванов**

Заместитель главного редактора А.И.Черных

Заместитель главного редактора В.С.Жаркова

## **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

С.С.Вартанян

А.Г.Волчков

Ю.К.Голубев

Н.А.Горячев

В.С.Звездов

А.А.Кременецкий

С.Г.Кряжев

В.В.Кузнецов

Н.П.Похиленко

В.Ф.Проскурин

Г.В.Седельникова

А.В.Толстов

В.Ю.Фридовский

## **УЧРЕДИТЕЛЬ**

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ

ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ

ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

РОСНЕДРА МИНИСТЕРСТВА ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Решением Высшей аттестационной комиссии  
Министерства образования и науки Российской Федерации  
журнал включён в «Перечень ведущих рецензируемых  
научных журналов и изданий, в которых должны быть  
опубликованы основные научные результаты диссертаций  
на соискание учёной степени доктора и кандидата наук»

Москва ЦНИГРИ 2018

**РУДЫ И МЕТАЛЛЫ**

**ISSN 0869-5997**

Выходит 4 раза в год





# СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

## ПРИКЛАДНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЯ

**Антипин И.Ин., Антипин И.И.**

Среднемасштабное  
алмазопрогнозирование на примере  
Центрально-Сибирской субпровинции

04

## APPLIED METALLOGENY

**Antipin I.In., Antipin I.I.**

Medium-scale diamond forecasting  
exemplified by the Central Siberian  
subprovince

**Устинов В.Н., Антащук М.Г.,  
Загайный А.К., Кукуй И.М.,  
Лобкова Л.П., Микоев И.И., Антонов С.А.**

Перспективы выявления  
месторождений алмазов на севере  
Восточно-Европейской платформы

11

**Ustinov V.N., Antaschuk M.G.,  
Zagainy A.K., Kukui I.M.,  
Lobkova L.P., Mikoev I.I., Antonov S.A.**

Prospects of diamond deposits discovery  
in the north of the East-European Platform

## МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Мишенин С.Г., Дак А.И.,  
Мальковец В.Г., Утюпин Ю.В.,  
Яворская Г.З., Яныгин Ю.Т.**

Проблемы организации и производства  
опережающих геолого-геофизических  
и прогнозно-минерагенических  
исследований в отдалённых районах  
Сибири и Арктики

27

## PROGNOSIS, PROSPECTING AND EXPLORATION: TECHNIQUES AND METHODS

**Mishenin S.G., Dak A.I.,  
Malkovets V.G., Utyupin Yu.V.,  
Yavorskaya G.Z., Yanygin Yu.T.**

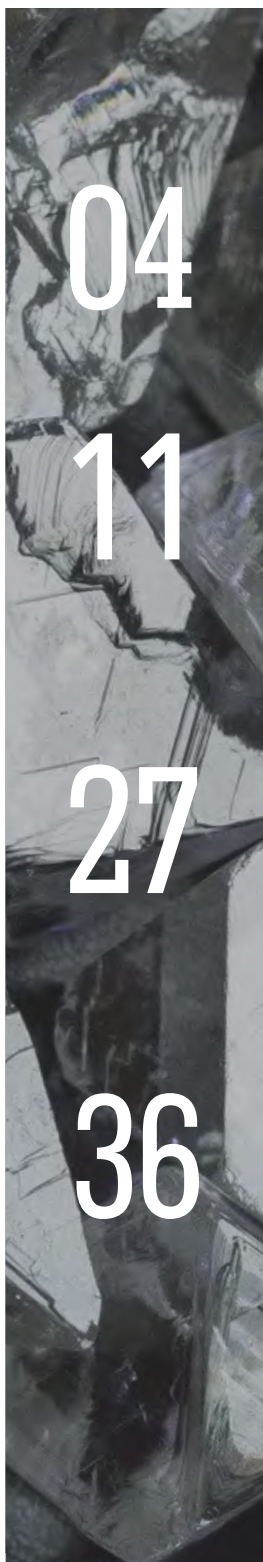
Problems of advanced geological-  
geophysical and forecasting-mineragenic  
studies arrangement and implementation  
in remote Siberian and Arctic regions

**Рожченко В.А.**  
О методике изучения  
золотосодержащих руд при проведении  
поисковых работ на примере проявления  
Лог 26 Топольнинского рудного поля,  
Алтайский край

36

**Rozhchenko V.A.**

The methodology of gold-bearing  
ore study in prospecting – an example  
from Log 26 occurrence  
of the Topolninsky ore field, Altai territory



**Чернышов А.И., Лоскутов И.Ю.,  
Кичеева А.В., Подлипский М.Ю.**

Потенциальная хромитовосность  
ультрамафитов Эргакского массива,  
Северо-Восток Западного Саяна

47

**Chernyshov A.I., Loskutov I.Yu.,  
Kicheeva A.V., Podlipsky M.Yu.**

Chromite potential of ultramafites  
from Ergak massif,  
Northeast of the Western Sayany

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Синкина Е.А., Гаврилов Р.Ю.**

Объёмная модель пирротиновой  
минерализации золоторудного  
месторождения Чёртова Корыто,  
Патомское нагорье

54

GEOLOGY OF ORE DEPOSITS

**Sinkina E.A., Gavrilov R.Yu.**

3-d model of Chertovo Koryto  
gold deposit pyrrhotite mineralization,  
Patom highland

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

**Левченко Е.Н., Веремеева Л.И.,  
Горлова О.Е.**

Техногенное минеральное сырьё:  
особенности вещественного состава  
и технологических свойств, геолого-  
технологическое картирование

64

COMPREHENSIVE USE  
OF MINERALS

**Levchenko E.N., Veremeeva L.I.,  
Gorlova O.E.**

Technogenic mineral materials:  
composition and technological  
property features, geological  
and technological mapping

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

Николай Николаевич Горностаев –  
первый директор ЦНИГРИ

76

PAGES OF HISTORY

Nikolay Gornostaev –  
first director of the TSNIIGRI

НОВОСТИ, ИНФОРМАЦИЯ

82

NEWS, INFORMATION

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ

А.А.Черемисина

85

OUR CONGRATULATIONS

A.A.Chermisin

ПАМЯТИ

Нарсеева В.А.

86

IN MEMORIUM

Narseev V.A.



## СРЕДНЕМАСШТАБНОЕ АЛМАЗОПРОГНОЗИРОВАНИЕ НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНО-СИБИРСКОЙ СУБПРОВИНЦИИ

*Проведён анализ традиционного, специализированного на алмазы, минерагенического районирования, выявлены его недостатки. Предложен новый подход к районированию и прогнозированию на основе корово-мантийного диапиризма и линеаментной тектоники. Даны характеристики и границы прогнозно-поисковых объектов иерархического ряда, имеющие конкретное геологическое обоснование. Определены сквозные прогнозные критерии алмазоносных кимберлитовых полей, которые свойственны всем известным алмазоносным полям Центрально-Сибирской субпровинции. Выделены площади, благоприятные для проявления кимберлитового магматизма.*

*Ключевые слова: эндогенная и экзогенная минерагения, прогнозные критерии, алмазоносный район, кимберлитовое поле, корово-мантийный диапир, линеаментные зоны.*

Основа любого прогнозирования – минерагенический анализ и построенные на его основе минерагенические карты. При этом существуют две их разновидности – эндогенная и экзогенная. По ряду полезных ископаемых последние рассматриваются совместно, и объектом прогнозирования являются рудно-россыпные районы, узлы и т.д.

На платформах, и тем более в связи с поисками месторождений алмазов, обстановка кардинально изменяется. Для эндогенной минерагении имеются разные этапы тектономагматизма (основного, ультраосновного), в том числе и совмещённые в пространстве, характеризующиеся своими особенностями структурно-тектонического контроля и геохимической специализации. Для экзогенной минерагении на платформах имеет место перекрытие коренных источников алмазов другими образованиями, причём неоднократно. Индикаторные минералы кимберлитов (ИМК), в том числе и алмазы, располагаются на различных стратиграфических уровнях, отличающихся палеогеографическими и литодинамическими условиями формирования промежуточных коллекторов и в большинстве случаев не совпадающих в плане. Такое положение при использовании единой минерагенической карты не позволяет выделять площади по принципу этапов их развития. Приходится учитывать всю совокупность процессов, протекавших в пределах площади в течение всей истории её развития, и выделять минерагенические провинции, области, зоны и т.д. по преобладающим признакам, а это уже чисто субъективный фактор и такое районирование имеет условный характер. В настоящее время именно на такой основе строятся все прогнозные карты алмазоносности. Для региональных построений данный метод может использоваться, но для средне-

### Антипин Иван Инпинетович

кандидат геолого-минералогических наук  
заведующий отделом  
AntipinIn@alrosa.ru

### Антипин Иван Иванович

инженер-геолог  
заведующий лабораторией

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

масштабных и крупномасштабных – нет. Ярким примером этого служит Среднемархинский район, где минералогия кайнозойских и мезозойских отложений не сопоставима и прогнозирование по первым не позволило в своё время выявить находящиеся здесь богатые кимберлитовые тела и россыпи алмазов. При внимательном анализе имеющихся прогнозных карт отчётливо просматривается определённая доля искусственности не только в размещении и границах алмазоносных районов, полей, узлов, но и в их непосредственном выделении по пространственному положению ореолов ИМК и алмазов в промежуточных коллекторах. В данном случае эндогенные критерии являются только вспомогательными. Очевидно, что именно недоучёт эндогенных критериев прогнозирования – причина многих отрицательных результатов поисковых работ на закрытых территориях.

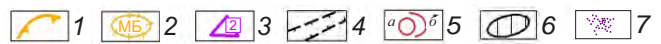
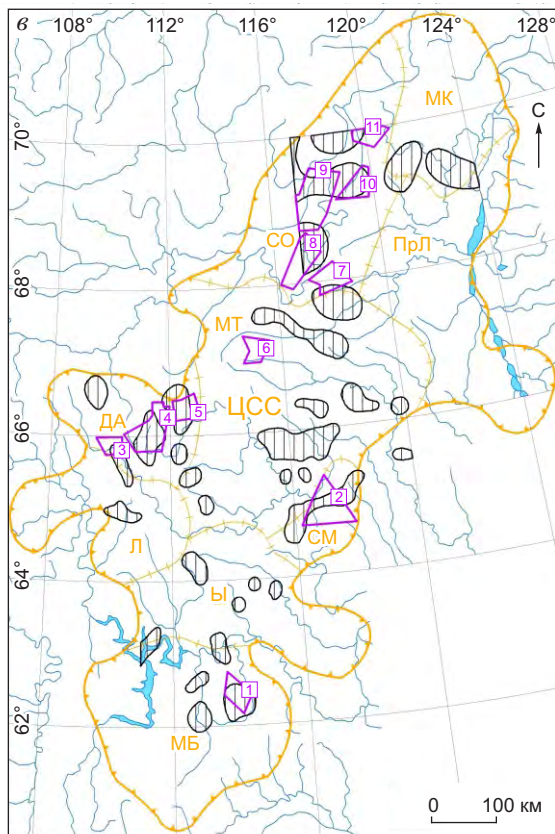
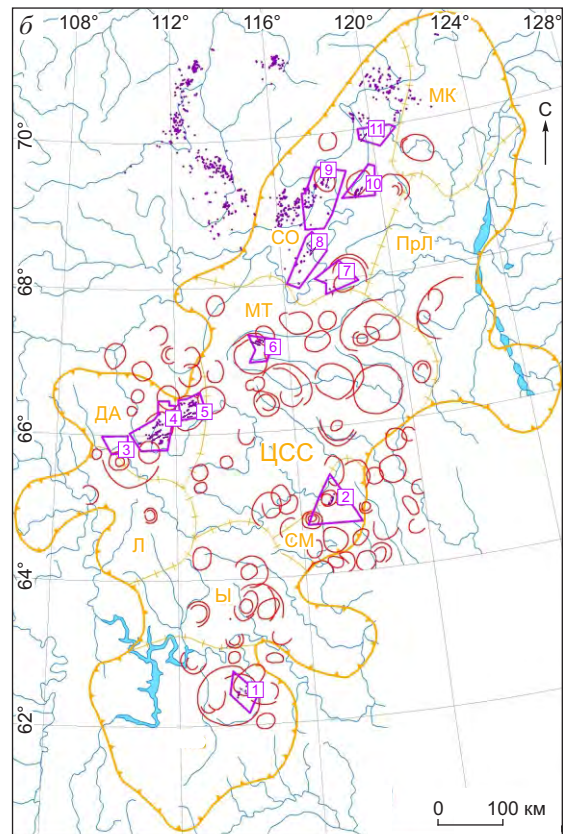
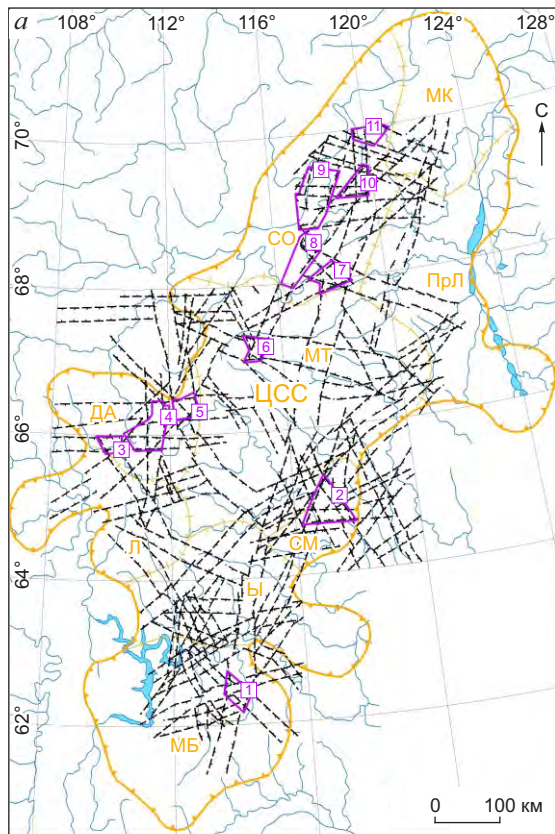
В то же время, следует ясно представлять, что эндогенные критерии зависят от принятой за основу гипотезы кимберлитообразования и кимберлитовнедрения. В настоящее время в этой области очевиден огромный разброс существующих взглядов, опирающихся на те или иные факты. В соответствии с этим проявленность прогнозных критериев, отражающих процессы кимберлитообразования и кимберлитовнедрения, будет иметь в каждом случае свои специфические черты.

Преобладающая среди геологов, в том числе и в производственных организациях, гипотеза мантийного происхождения кимберлитов имеет много противоречий, а самое главное, в ней отсутствуют конкретные критерии среднемасштабного прогнозирования проявлений кимберлитового магматизма. За критерии в этом случае принимается геологическое строение территорий расположения известных кимберлитовых полей. Отсюда вытекает их разнообразие (каждое поле имеет свои критерии), а в итоге границы полей проводятся по положению ореолов ИМК и алмазов. На закрытых территориях ореолы ИМК имеют длительную историю экзогенной эволюции, причём об отдельных её периодах продолжительностью 50–70, а то и более миллионов лет авторы не имеют данных. За это время произошла основная денудация кимберлитовых тел, ИМК и алмазы могли быть значительно перемещены и не отражать истинного положения кимберлитовых полей. К тому же, существуют территории с неинформативными

промежуточными коллекторами ИМК. К ним можно отнести захороняющие алеврито-аргиллитовые и карбонатные толщи, а также площади непосредственного залегания пород траппового комплекса на вмещающих кимберлиты породах.

При отсутствии какого-либо внятного объяснения связи мантийного кимберлитового магматизма с геологическим строением территории полей принимаемые за критерии геологические особенности не обладают локализирующими свойствами. Используемые геофизические методы для изучения строения осадочного чехла и фундамента сводятся к выделению неких аномальных участков без какого-либо обоснования их связи с кимберлитовым магматизмом. Границы аномальных участков часто не совпадают с контурами известных кимберлитовых полей, а формирование фундамента и вмещающей толщи чехла разорвано по времени с кимберлитовнедрением. Кроме того, внедрившиеся кимберлиты имеют настолько малый объём, что ожидать каких-нибудь изменений в связи с ними на этом уровне невозможно. Исходя из вышеизложенного перспективы плодотворного выявления кимберлитовых полей на закрытых территориях Сибирской платформы весьма и весьма низки, что и подтверждается всей практикой алмазопроисловых работ.

Однако к этой проблеме возможен и другой подход, основанный на гипотезах корового генезиса кимберлитов или наличия кимберлитового очага в коровых условиях. Он базируется на предположении о возникновении источника алмазоносных пород в корово-мантийном диапире, образованном за счёт мелко-среднемасштабных плюмов (в отличие от трапповых суперплюмов, в том числе и Тунгусского). Диапиры, сопровождаемые проработкой вмещающих пород, формируют в коре и верхней мантии области высоких сопротивлений, отчётливо выделяющиеся геофизическими методами исследования и, соответственно, имеющие конкретные границы. Пространственное совпадение областей высоких сопротивлений в земной коре и районов кимберлитового магматизма отмечалось ещё в 1998 г. О.Л.Полторацкой. Пути проникновения магмы на поверхность или в верхние горизонты земной коры служат региональные и трансрегиональные линейные зоны (особенно их узлы пересечения), выделяемые совместным анализом тектонических нарушений по результатам геологических, гео-



**Рис. 1. СХЕМЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЕЙ ЦЕНТРАЛЬНО-СИБИРСКОЙ СУБПРОВИНЦИИ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНОЙ ТЕКТониКИ (а), СРЕДНЕСКАЛЬНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР (б), ОБЛАСТЕЙ РАЗУПЛОТНЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ, ПО А.В.МАНАКОВУ (в):**

1 – контур алмазоносной Центрально-Сибирской среднепалеозойской субпровинции (ЦСС); 2 – границы алмазоносных (потенциально алмазоносных) районов (МБ – Мало-ботубинский, Ы – Ыгыаттинский, Л – Ляхарчанский, СМ – Среднемархинский, МТ – Муно-Тюнгский, ДА – Далдыно-Алакитский, СО – Среднеоленёкский, ПрЛ – Приленский, МК – Молодо-Кютюнгдинский); 3 – контуры известных кимберлитовых полей (1 – Мирнинское, 2 – Накынское, 3 – Моркокинское, 4 – Алакит-Мархинское, 5 – Далдынское, 6 – Верхне-Мунское, 7 – Севернейское, 8 – Чомурдахское, 9 – Восточно-Укуитское, 10 – Верхнемоторчунское, 11 – Мерчимденское); 4 – основные зоны разуплотнения по дешифрированию космоснимков; 5 – кольцевые (а), полукольцевые (б) структуры по дешифрированию космоснимков; 6 – участки регионального разуплотнения пород кристаллической коры; 7 – кимберлитовые трубки

физических исследований и дешифрирования КС, АФС (рис. 1, а). Указанные зоны образуют определённую тектоническую решётку, являются наиболее древними по заложению (архей-раннепротерозойского возраста) (W.N.Hoobs, 1904) и в то же время наиболее проницаемыми тектоническими элементами за счёт многократного подновления. Дополнительным фактором при прогнозировании служило наличие кольцевых структур и участков разуплотнения земной коры (см. рис. 1, б, в). Эмпирическая проверка предложенной гипотезы на территории алмазоносных кимберлитовых полей подтверждает её. На основе такого подхода сформулирован иерархический ряд алмазоносных минерагенических объектов поисков (таблица).

В данном варианте иерархического ряда каждый таксон имеет конкретные геологические границы, не допускающие двоякого толкования. Отсутствует понятие алмазоносная зона, которая традиционно связывалась с региональными зонами

разломов, такими как Вилюйско-Мархинская, Далдыно-Оленёкская и др., поскольку последние имеют второстепенное значение, и кимберлитовый магматизм в их пределах может проявиться только при пересечении ими района влияния корово-мантийного диапира. Отсутствует и такой неопределённый таксон, как куст алмазоносных (потенциально алмазоносных) коренных тел. К тому же, он традиционно выделяется только после обнаружения конкретных тел и, в сущности, имеет только теоретическое прогнозное значение. Так как иерархический ряд включает объекты, имеющие геологическую природу, то данный подход к районированию приобретает генетический смысл.

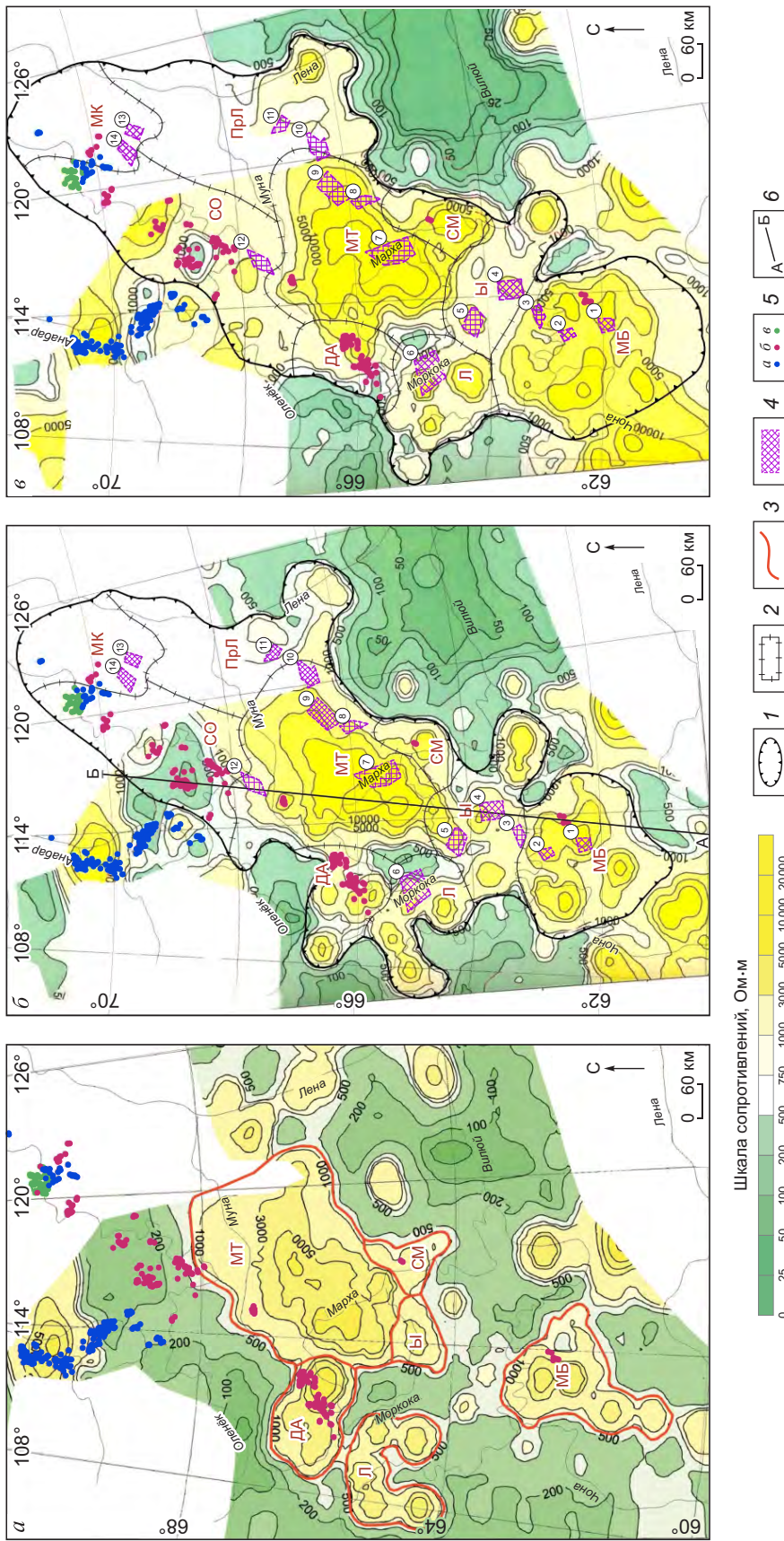
Подобная концепция минерагенического районирования позволила авторам конкретизировать границы Центрально-Сибирской субпровинции и алмазоносных районов, выделить с различной степенью вероятности площади, благоприятные

#### ИЕРАРХИЧЕСКИЙ РЯД АЛМАЗОНОСНЫХ МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПОИСКОВ

Объекты	Характеристика объекта
Алмазоносная (потенциально алмазоносная) провинция	Эквивалентна понятию «древняя платформа»
Алмазоносная (потенциально алмазоносная) субпровинция	Крупный (десятки, первые сотни тысяч квадратных километров) геоблок древней платформы, ограниченный в плане серией сближенных корово-мантийных диапиров, отражённых в земной коре областями высоких (>1000 Ом-м) сопротивлений, и имеющий близкий возраст алмазоносных коренных пород
Алмазоносный (потенциально алмазоносный) район	Крупный блок субпровинции, ограниченный в плане границами одного корово-мантийного диапира
Алмазоносное (потенциально алмазоносное) поле	Естественная группировка пространственно сближенных кимберлитовых тел, связанных происхождением с развитием единой вертикальной «стволовой» зоны повышенной проницаемости, ограниченная блоком узла пересечения линеаментных зон в пределах района
Алмазоносное (потенциально алмазоносное) тело	Трубка взрыва, дайка, силл, шток кимберлитов
Месторождение	Трубка взрыва, дайка, силл, шток коренных пород, концентрация и запасы алмазов в которых делают добычу экономически выгодной

Примечание. За основу, с изменениями авторов, взяты иерархический ряд, утверждённый решением экспертного совета ПНО «Якуталмаз» 14.11.92, и разработки В.И.Ваганова 1995–2000 гг.





**Рис. 2. СХЕМЫ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ЦЕНТРАЛЬНО-СИБИРСКОЙ СУБПРОВИНЦИИ ДЛЯ ГЛУБИН 34 (а), 20 (б), 9,5 (в) км; (данные по геоэлектрическим характеристикам по О.Л.Полторацкой, 1998):**

1 – контур Центрально-Сибирской субпровинции; 2 – границы алмазоносных районов (МБ – Малообтубовинский, Ы – Ыгыттинский, Л – Лахарчанский, СМ – Среднемархинский, МТ – Муно-Тунгуский, ДА – Далдино-Алакитский, СО – Среднеоленский, ПрЛ – Приленский, МК – Молодо-Кютюндгинский); 3 – предполагаемые границы алмазоносных районов; 4 – контуры прогнозируемых площадей в ранге кимберлитовых полей (1 – Дзюку-Уллахская, 2 – Ботубовинская, 3 – Улу-Тогинская, 4 – Холмолохская, 5 – Верхне-Ыгыттинская, 6 – Лахарчанская, 7 – Улегиенская, 8 – Лахарчанская, 9 – Сикельдянская, 10 – Линденская, 11 – Кюлюнгкенская, 12 – Улахан-Мякская, 13 – Средне-Молодинская, 14 – Верхне-Молодинская); 5 – кимберлиты мезозойские (а), палеозойские (б), неустовленного возраста (в); 6 – линия разреза АБ

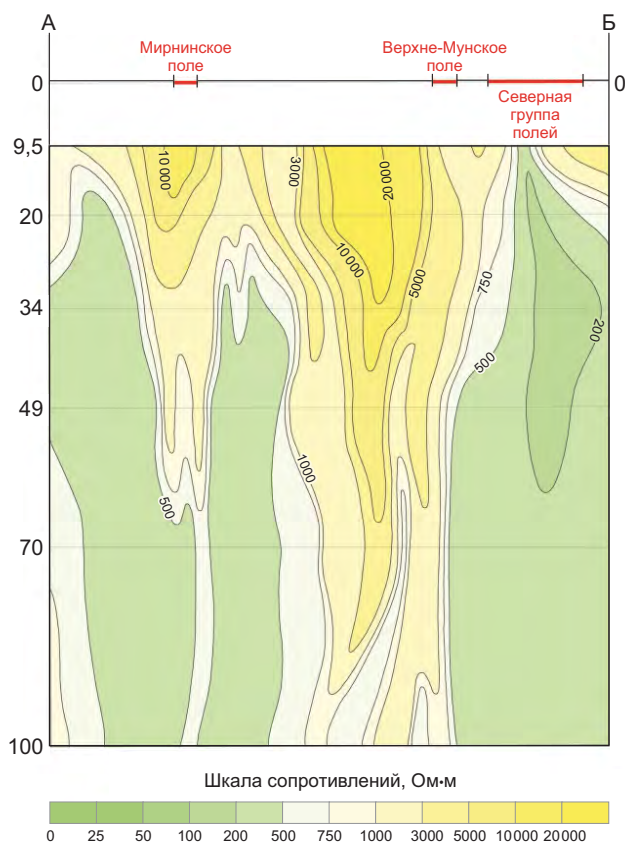


Рис. 3. ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ АБ ДЛЯ ЦЕНТРАЛЬНО-СИБИРСКОЙ СУБПРОВИНЦИИ

для проявления кимберлитового магматизма. С учётом того, что на разных уровнях земной коры и верхней мантии размеры в плане диапиров различны (рис. 2, 3), а разломы, служащие путями проникновения кимберлитовой магмы в земной коре, носят листрический характер, границы субпровинции и районов проведены на глубине 20 км. Это уровень средней коры. По сравнению с другими горизонтами он наиболее полно отражает геоэлектрическую характеристику разреза, и выше него большинство разрывных нарушений проходят в субвертикальной плоскости. То есть в данном случае выделенные границы дают возможность телескопировать их на поверхность.

Анализ гипотез кимберлитового образования и кимберлитовнедрения с учётом имеющейся фактографической основы результатов геофизических, структурно-тектонических, палеогеографических, минералогических построений позволяет сделать вывод о том, что для проявления кимберлитового магматизма необходимы два основных условия:

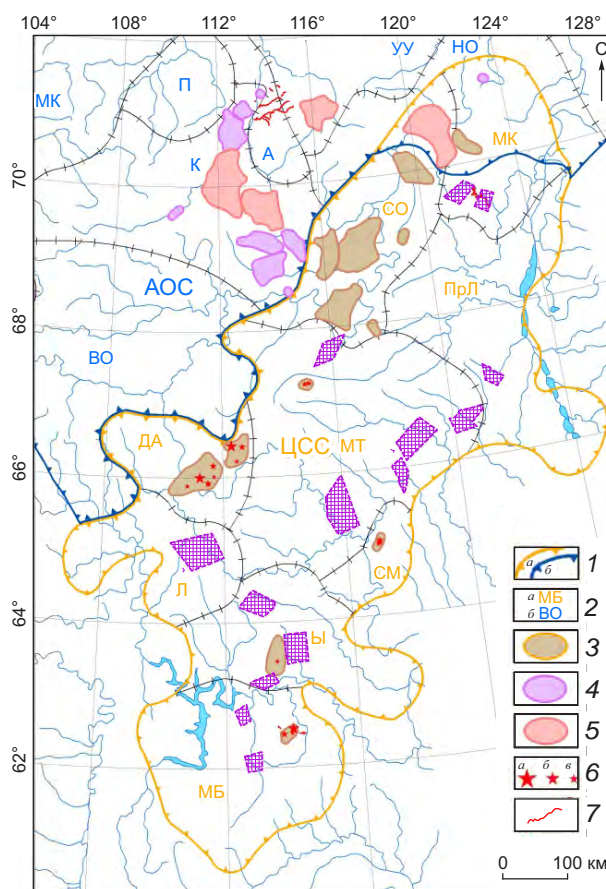


Рис. 4. ПРОГНОЗНО-МИНЕРАГЕНИЧЕСКАЯ СХЕМА ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯКУТИИ:

1 – алмазоносные субпровинции: а – Центрально-Сибирская среднепалеозойская (ЦСС), б – Анабаро-Оленёкская мезозойская (АОС); 2 – алмазоносные (потенциально алмазоносные) районы: а – среднепалеозойские (МБ – Малоботуобинский, Ы – Ыгьяттинский, Л – Лахарчанский, СМ – Среднемархинский, МТ – Муно-Тюнгский, ДА – Далдыно-Алаakitский, СО – Среднеолёнокский, ПрЛ – Приленский, МК – Молодо-Кютюнгдинский), б – мезозойские (ВО – Верхне-Оленёкский, МК – Маймеча-Котуйский, К – Куонамский, П – Попигайский, А – Анабарский, УУ – Уеле-Уджинский, НО – Нижне-Оленёкский); известные кимберлитовые поля: 3 – среднепалеозойские, 4 – мезозойские, 5 – смешанного возраста; б – коренные месторождения крупные (а), средние (б), мелкие (в); 7 – россыпные месторождения алмазов; остальные усл. обозн. см. рис. 1

наличие на территории корово-мантийного диапира ультраосновных пород с сопутствующими ему осложнениями земной коры и верхней мантии и наличие участков проницаемости в коре и осадочном чехле в пределах диапира.

В соответствии с этими условиями выделены следующие прогнозные критерии эндогенного минерагенического алмазопроисхождения районирования, с учётом которых составлена прогнозно-минерагеническая схема Центрально-Сибирской субпровинции (рис. 4):

- кимберлитовые тела;
- области повышенной мощности литосферы;
- области высоких сопротивлений в кристаллической коре;
- участки регионального разуплотнения пород кристаллической коры;
- региональные линеаментные зоны, установленные по дешифрированию КС и АФС;
- узлы пересечения линеаментных зон;
- кольцевые и полукольцевые линеаменты, обнаруженные по дешифрированию КС.

Прогнозные критерии экзогенного минерагенического районирования рассматриваются на основе минералогического районирования с учётом палеогеографических обстановок отдельных

этапов седиментогенеза. Они дают возможность оценить вероятность выявления кимберлитового поля в пределах участка, выделенного по эндогенным критериям и благоприятного для развития кимберлитового магматизма. К ним относятся:

- россыпи и россыпепроявления алмазов в промежуточных коллекторах;
- ореолы ИМК в промежуточных коллекторах (с учётом их значимости):
  - а) прямого размыва кимберлитовых тел;
  - б) переотложенные из древних коллекторов с признаками поступления ИМК из коренных источников;
  - в) переотложенные из древних коллекторов без признаков прямого поступления ИМК из коренных источников;
- контуры ближайших к ореолам ИМК и россыпям алмазов палеоподнятий (областей денудации) на период формирования ореолов (россыпей).

## MEDIUM-SCALE DIAMOND FORECASTING EXEMPLIFIED BY THE CENTRAL SIBERIAN SUBPROVINCE

I.In.Antipin, I.I.Antipin (NIGP ALROSA)

*Analysis of traditional, diamond-specific mineragenic regionalization was carried out, its drawbacks were identified. A new approach to regionalization and forecasting based on crust/mantle diapirism and lineament tectonics is proposed. Characteristics and boundaries of hierarchic series of forecasting-prospecting targets with specific geological substantiation are given. Cross-cutting forecast criteria of diamondiferous kimberlite fields inherent in all known diamondiferous fields of the Central Siberian subprovince are determined. Areas favourable for kimberlite magmatism are defined.*

*Keywords: endogenic and exogenic minerageny, forecast criteria, diamondiferous area, kimberlite field, crust/mantle diapir, lineament zones.*





## ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ НА СЕВЕРЕ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

*На севере Восточно-Европейской платформы разрабатываются месторождения им. М.В.Ломоносова и им. В.П.Гриба, в которых сосредоточено 22,4% балансовых запасов алмазов России. Они располагаются в пределах Карело-Кольского мегакратона (субпровинции), где к настоящему времени достоверно установлены алмазоносные магматиты пяти этапов тектоно-магматической активизации. Выполненные авторами прогнозно-минерагенические исследования подтверждают высокий алмазоносный потенциал территории, что подчёркивается наличием комплекса прогностических критериев алмазоносности: структурно-тектонических, глубинных (геофизических), минералогических, фациально-динамических и др. Наибольшими перспективами на открытие коренных месторождений алмазов обладают территории Зимнебережного, Северо-Карельского и Восточно-Карельского районов. В качестве перспективных, но слабо опосредованных и требующих доизучения рассматриваются площади в области сочленения Балтийского щита и Русской плиты, а также в пределах последней. Сформулированы и охарактеризованы прогнозно-поисковые, методические и инвестиционные проблемы, препятствующие восполнению минерально-сырьевой базы алмазов, предложены основные пути их решения.*

*Ключевые слова: Карело-Кольская алмазоносная субпровинция, кимберлитовые и лампроитовые поля, ореолы рассеяния, поисковые обстановки, алмазы.*

**Введение.** Территория северной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП) в пределах Карело-Кольской алмазоносной субпровинции и прилегающих площадей – одна из наиболее перспективных в России для поисков месторождений алмазов. Она расположена в Северо-Западном федеральном округе (СЗФО) Российской Федерации. По состоянию на 01.01.2016 г. балансовые запасы алмазов СЗФО составляют 22,4% от общероссийских. Он отличается выгодным географическим положением, развитой инфраструктурой, наличием высококвалифицированных кадров. В подобных условиях разработка месторождений алмазов, даже при значительно более низких, чем в Якутии, содержаниях может оказаться рентабельной.

В настоящее время в пределах Карело-Кольской субпровинции обнаружено более 100 кимберлитовых тел, включая коренные месторождения алмазов им. М.В.Ломоносова и им. В.П.Гриба (рис. 1). Для сравнения – на территории Якутии, где ежегодная добыча составляет ~25% от мировой, найдено около 1000 кимберлитовых трубок, среди которых 17 – месторождения. Таким образом, статистика показывает, что в северо-западной части ВЕП 7% трубок являются месторождениями, на территории Якутии – около 2%. Несмотря на наличие комплекса благоприятных пред-

**Устинов  
Виктор Николаевич<sup>1</sup>**  
доктор геолого-минералогических наук  
заведующий лабораторией  
alrosaspb@mail.ru, ustinov@tsnigri.ru

**Антащук  
Михаил Георгиевич<sup>1</sup>**  
старший научный сотрудник  
antashchuk@tsnigri.ru

**Загайный  
Александр Константинович<sup>1</sup>**  
ведущий научный сотрудник  
zagayny@tsnigri.ru

**Кукуй  
Ирина Михайловна<sup>2</sup>**  
старший научный сотрудник  
KukuyIM@alrosa.ru

**Лобкова  
Людмила Петровна<sup>1</sup>**  
ведущий научный сотрудник  
lobkova@tsnigri.ru

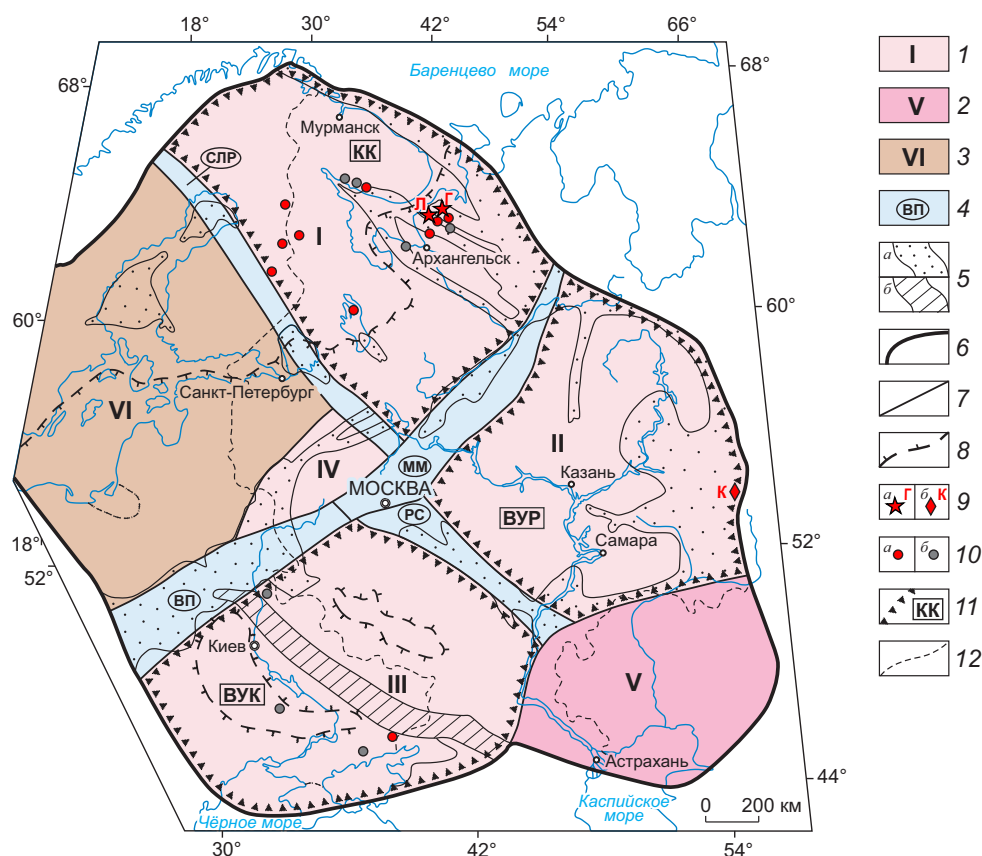
**Микоев  
Игорь Иванович<sup>1</sup>**  
кандидат геолого-минералогических наук  
ведущий научный сотрудник  
mikoiev@tsnigri.ru

**Антонов  
Сергей Александрович<sup>1</sup>**  
старший научный сотрудник  
antonov@tsnigri.ru

<sup>1</sup> ФГУП Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, Лаборатория геологических методов прогнозирования и поисков, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Научно-исследовательское геологическое предприятие (НИГП) АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Санкт-Петербург





**Рис. 1. ОСНОВНЫЕ СТРУКТУРЫ ФУНДАМЕНТА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ:**

1 – области позднеархейской консолидации (архоны): Карело-Кольский мегаблок (I), Волго-Уральский мегаблок (II), Воронежско-Украинский мегаблок (III), Тверской блок (IV); 2 – архейский (предположительно) Прикаспийский мегаблок (V) с глубиной залегания фундамента >5 км; 3 – Свекофеннская подвижная область (Скандинавско-Белорусский мегаблок (VI) раннепротерозойской консолидации (протон); 4 – межблоковые подвижные пояса: Саво-Ладожско-Рыбинский (СЛР), Московско-Мезенский (ММ), Волыно-Подольский (ВП), Рязано-Саратовский (РС); 5 – основные рифтогенные структуры: а – рифейские (авлакогены, впадины, перикратонные прогибы), б – палеозойские (Днепровско-Донецкий авлакоген); б – граница Восточно-Европейской платформы (алмазоносной провинции); 7 – главные (межблоковые) разломы; 8 – область развития венд-палеозойского платформенного чехла (Русская плита); 9 – месторождения алмазов: а – коренные (Г – им. В.П.Гриба, Л – им. М.В.Ломоносова), б – россыпные (К – Красновишерский район); 10 – поля кимберлитов (а), родственных пород (б); 11 – алмазоносные субпровинции: Карело-Кольская (КК), Волго-Уральская (ВУР), Воронежско-Украинская (ВУК); 12 – государственная граница Российской Федерации

посылок и признаков алмазоносности, на территории СЗФО площадью около 2 млн км<sup>2</sup> за последние 20 лет не было открыто ни одного месторождения.

В течение многих лет комплексное изучение алмазоносности северной части ВЕП осуществляли специалисты отдела алмазов ЦНИГРИ, ВСЕГЕИ, НИГП АК «АЛРОСА» и др. Следует отметить, что кроме имеющихся публикаций [5, 6, 9, 11, 14, 16 и др.], результаты работ изложены в основном в производственных отчётах и известны достаточно узко-

му кругу специалистов. В ходе исследований нами установлены предпосылки и признаки алмазоносности, выполнено прогнозно-минерагеническое районирование с выделением перспективных площадей различного ранга, разработаны рекомендации по очередности и методике проведения поисковых работ и т.д.

В данной статье авторами кратко обобщается имеющаяся информация об уровне изученности территории в отношении алмазоносности, о методике и результатах прогнозно-минерагенических

построений, основных проблемах и возможных способах их решения.

**Современное состояние изученности алмазности.** В 1930–1960 гг. геологоразведочные работы, связанные с алмазностью, на северо-западе ВЕП носили эпизодический характер. Широкий круг научных вопросов, касающихся выявления региональных и локальных критериев алмазности, решался в рамках тематических исследований в 1970-х – начале 1990-х гг. коллективами под руководством Ю.Д.Смирнова и М.В.Михайлова (ВСЕГЕИ), Б.И.Прокопчука (ЦНИГРИ), С.А.Скороспелкина (Росгеофизика), А.В.Синицына. Параллельно проводились алмазопоисковые работы, которые отличались наибольшей интенсивностью с 1976 г. по 1996 г. В этот период были открыты большинство известных на сегодняшний день кимберлитовых тел, в том числе месторождения алмазов им. М.В.Ломоносова (1980 г.), им. В.П.Гриба (1996 г.), алмазные кимберлиты Кимозера (1992 г.) и другие проявления. С развалом СССР произошло резкое сокращение государственного финансирования ГРП на алмазы.

В начале 1990-х годов в алмазопоисковых работах участвовали крупные зарубежные компании «Эштон Майнинг», «Де Бирс», а также частные российские предприятия (некоторые с зарубежным капиталом) ООО «Мста-алмаз», АОЗТ «Горизонт», ЗАО «Петро-Дайм» и др.

В течение последних 20 лет ГРП на алмазы в регионе велись главным образом за счёт средств недропользователей. Основной объём работ с 2001 г. выполнен предприятиями группы АК «АЛРОСА» в пределах Зимнебережного района Архангельской области. За это время было выявлено 16 неалмазных кимберлитовых трубок и силлов [9]. За пределами Зимнебережного алмазного района открытий не было.

Отметим некоторые важные аспекты степени изученности СЗФО (за пределами Зимнебережного района), её полноты и надёжности. В настоящее время практически вся территория Северо-Запада России покрыта государственной геологической съёмкой масштаба 1:200 000. Во второй половине 1980-х годов шлихоминералогические работы масштаба 1:1 000 000–1:500 000 для выделения перспективных на обнаружение кимберлитов участков проводились в Новгородской, Псковской, Ленинградской, Вологодской областях. Большая часть индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) оп-

ределялась визуально, без применения микрозондового анализа, что не позволяет использовать эти материалы для прогнозно-поисковых построений.

В пределах северной части ВЕП проводились аэрогеофизические съёмки масштаба от 1:10 000 до 1:200 000. Съёмки масштаба 1:10 000 выполнены на локальных площадях на Кольском полуострове, Онежско-Ладожском перешейке и Мстинской площади. Съёмками масштаба 1:25 000 покрыты достаточно большие площади в Мурманской, Ленинградской, Псковской и Новгородской областях, а в Карелии примерно четверть территории. Съёмки масштабов 1:50 000–1:100 000 проведены в южной части Карелии, на большей части Вологодской области, а также на севере Псковской. В 1990-е годы заверка выделенных локальных аномалий бурением часто не проводилась из-за недостаточного финансирования ГРП. Например, из 179 аномалий на Оятьской и Мстинской поисковых площадях бурением заверено 17, а из 139 выделенных перспективных аномалий на Тихвинской – только 11.

Вся территория СЗФО покрыта гравиметрической съёмкой масштаба 1:200 000, а отдельные её части, в основном где проводились поиски алмазных месторождений, – съёмкой масштабов 1:25 000 и 1:50 000.

Электроразведочные работы, в результате которых получены сведения о строении платформенного чехла и кристаллического фундамента, осуществлялись методами МТТ, МТП, МТЗ, ВЭЗ, причём крайне неравномерно. Сейсморазведочные работы выполнялись в ограниченном объёме на востоке Ленинградской, а также в Архангельской и Новгородской областях.

Подавляющее большинство известных на сегодняшний день тел кимберлитов, лампроитов и родственных пород в северной части ВЕП вскрыты при заверке бурением локальных геофизических аномалий. Исключения составляют Мельские силлы и трубка Болванцы, обнаруженные в обнажениях при съёмочных работах. К ним также относятся алмазные кимберлиты Кимозера, выходящие на дневную поверхность и дренируемые современными водотоками. Они были выявлены по ореолам рассеяния ИМК при проведении шлиховых поисков. Дайки лампроитов Костомукши вскрыты карьером при разработке железорудного месторождения. Некоторые кимберлитовые трубки района Каави-Куопио в Финляндии были найдены по ореолам рассеяния ИМК в морене [18].

С использованием обширного массива имеющихся данных в 2012–2014 гг. ФГУП ЦНИГРИ в рамках государственного контракта выполнены исследования по объекту «Ревизионные работы по локализации перспективных на коренные источники алмазов площадей территории Северо-Западного федерального округа с разработкой оптимальных геологоразведочных комплексов». В результате выделены 29 площадей, перспективных для локализации кимберлитовых (лампроитовых) полей, составлена карта прогноза алмазоносности СЗФО масштаба 1:1 000 000 и выполнено районирование территории по условиям ведения поисков. Кроме того, на 16 площадях была рекомендована постановка работ по ГДП-200 в связи с тем, что их изученность не позволяет с должной степенью обоснованности локализовать площадь ранга прогнозируемого кимберлитового поля.

Таким образом, территория характеризуется неравномерной геолого-геофизической изученностью и весьма слабой опробованностью на алмазы (за исключением Зимнебережного района) применительно к прогнозно-поисковым работам масштаба 1:200 000 и крупнее. В первую очередь, это относится к шлихоминералогическому опробованию погребённых продуктивных горизонтов, а также к изученности глубинными и аэрогеофизическими методами.

**Минерагеническое районирование Карело-Кольской субпровинции.** На основании исследования проявлений алмазоносного магматизма в различных алмазоносных провинциях разработана система алмазоносных (потенциально алмазоносных) таксонов: провинция, субпровинция (область), минерагеническая зона, район, поле, куст (группа) тел, месторождение (трубка, дайка, штокверк) [1, 6, 10, 11, 14 и др.]. Модель каждого из таксонов представляет собой совокупность достаточно устойчивых предпосылок и признаков алмазоносности, к основным из которых относятся: структурно-тектонические, глубинные (геофизические), магматические, минералогические и палеогеографические. В соответствии с приведённой выше классификацией на территории ВЕП авторами выделены минерагенические таксоны различного ранга.

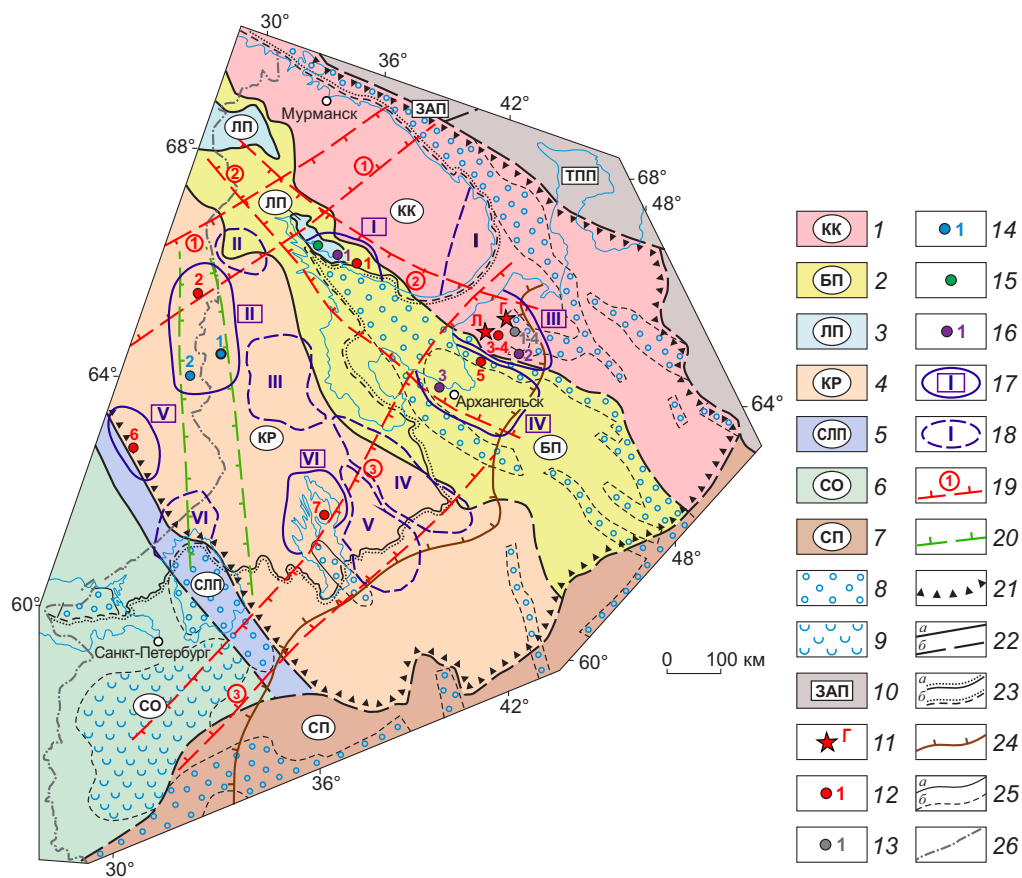
*Алмазоносная провинция* – древняя платформа, в пределах которой имеются коренные алмазные породы и связанные с ними россыпи. Восточно-Европейская платформа представляет со-

бой одноимённую провинцию, которая включает, как правило, несколько *алмазоносных субпровинций* с близкими возрастом кратонизации, интенсивностью проявления процессов тектоно-магматической активизации (ТМА) и рядом других характеристик.

На северо-западе ВЕП выделяется Карело-Кольский мегакратон, состоящий из Карельского, Кольского (Кольско-Кулойского) позднearerхейских кратонов и разделяющего их Беломорского подвижного пояса, также стабилизировавшегося в позднем архее и частично переработанного в раннем протерозое. Мегакратон соответствует одноимённой (Карело-Кольской) алмазоносной субпровинции. На его площади к настоящему времени достоверно установлены алмазоносные магматиты пяти этапов тектоно-магматической активизации: позднекарельского (~1900 млн лет), среднерифейского (1230), байкальского (750), каледонского (560), герцинского (360–390 млн лет). Множественность эпох проявления алмазоносного магматизма ставит Карело-Кольский мегакратон в ряд перспективных субпровинций мира.

*Алмазоносная минерагеническая зона* – линейная высокопроницаемая структура обычно древнего заложения, неоднократно активизирующаяся и контролирующая процессы коро-мантийного энергопереноса. Зоны характеризуются насыщенностью телами основного, ультраосновного и щёлочно-ультраосновного составов, в том числе кимберлитами и (или) лампроитами (алмазоносными и неалмазоносными), а также наличием ореолов рассеяния ИМК. Их протяжённость от нескольких сотен до 1,5 тыс. км и более при ширине 50, 100 км и более. Часто такие структуры не имеют геологических границ и проявлены линейным расположением магматических тел близкого возраста. Данный таксон в пределах субпровинций не всегда выделяется или проявлен недостаточно чётко. Примером служит меловая кимберлитоконтролирующая зона (тренд, коридор) Лукапа в Анголе, к которой приурочено подавляющее большинство кимберлитовых трубок, в том числе все коренные месторождения алмазов.

В пределах Карело-Кольской алмазоносной субпровинции подобная чётко проявленная структура отсутствует. К ней можно отнести среднепалеозойскую Ковдорско-Зимнебережную зону ТМА (рис. 2). Она, скорее всего, состоит из двух ветвей, представляющих собой активизированные плечи



**Рис. 2. ПОЛОЖЕНИЕ ПОЛЕЙ КИМБЕРЛИТОВ И РОДСТВЕННЫХ ПОРОД В СТРУКТУРАХ ФУНДАМЕНТА КАРЕЛО-КОЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ СУБПРОВИНЦИИ:**

основные структуры фундамента Карело-Кольской алмазоносной субпровинции и прилегающих территорий: 1 – Кольско-Кулойский кратон (архон), 2 – Беломорский подвижный метаморфический пояс (архон), 3 – Лапландско-Колвицкий гранулитовый (коллизийный) пояс – Главный Беломорский шов (протон), 4 – Карельский кратон (архон), 5 – Саво-Ладожско-Рыбинский подвижный метаморфический пояс (протон), 6 – Свеккофеннская подвижная область (протон), 7 – Среднерусский подвижный метаморфический пояс (протон); 8 – авлакогены, впадины, выполненные рифей-нижневендскими отложениями; 9 – области архейской коры, переработанной в раннем протерозое; 10 – платформы, граничащие с ВЕП: Западно-Арктическая (ЗАП), Тимано-Печорская (ТПП); проявления кимберлитов и родственных им пород: 11 – месторождения алмазов (Г – им. В.П.Гриба, Л – им. М.В.Ломоносова), 12 – кимберлитовые поля с установленной алмазоносностью (1 – Ермаковское, PZ<sub>2</sub>, 2 – Куусамо, RF<sub>3</sub>, 3–4 – Черноозерское, Золотицкое, PZ<sub>2</sub>, 5 – Чидвинско-Ижмозерское, PZ<sub>2</sub>, 6 – Каави-Куопио, V–E, 7 – Кимозерское, KR<sub>2</sub><sup>2</sup>), 13 – кимберлитовые поля с неустановленной алмазоносностью (1–4 – Мельское, Мегорское, Верхотинское, Кепинское), 14 – лампроит-кимберлитовые поля с установленной алмазоносностью (1 – Костомукшское, RF<sub>2</sub>, 2 – Кумо-Лентира, RF<sub>2</sub>), 15 – Порьегубское лампроитовое поле с неустановленной алмазоносностью, KR<sub>2</sub><sup>3</sup>, 16 – поля родственных кимберлитам пород с неустановленной алмазоносностью (1 – Умбинское пикритов-мелилититов, PZ<sub>2</sub>, 2 – Суксомское пикритов-мелилититов, PZ<sub>2</sub>, 3 – Ненокское мелилититов, PZ<sub>2</sub>); 17 – алмазоносные районы (I – Терскобережный, II – Западно-Карельский, III – Зимнебережный, IV – Архангельский, V – Центрально-Финляндский, VI – Северо-Онегозерский); 18 – прогнозируемые районы (I – Восточно-Кольский, II – Северо-Карельский, III – Центрально-Карельский, IV – Восточно-Карельский, V – Южно-Карельский, VI – Вяртсильский); основные зоны тектоно-магматической активизации: 19 – среднепалеозойские (1 – Хибино-Ботнический рифт, 2 – Ковдорско-Зимнебережная, 3 – Ильменско-Мезенская), 20 – рифейская (Ладожско-Куусамская); 21 – граница Карело-Кольской субпровинции; 22 – глубинные разломы, разделяющие крупнейшие блоки фундамента (а – достоверные, б – предполагаемые); 23 – граница отложений Русской плиты (а – на дневной поверхности, б – под акваториями); 24 – граница области экономической целесообразности поисков среднепалеозойских кимберлитов (мощность перекрывающих отложений >200 м); 25 – геологические границы (а – достоверные, б – предполагаемые); 26 – государственная граница Российской Федерации



(борта) рифейского Беломорского авлакогена. Кимберлитоконтролирующей является северо-восточная ветвь, к которой приурочены алмазоносные кимберлиты Терского и Зимнего Берега.

Предполагается также наличие рифейской Ладожско-Куусамской зоны ТМА, трассирующейся в северо-северо-западном направлении от Ладожского озера вдоль российско-финляндской границы на расстояние >500 км при ширине до 100 км. К ней приурочены дайки лампрофиров оз. Суоярви, лампроит-кимберлитовые поля Костомукшское, Кухмо-Лентира и кимберлитовое поле Куусамо.

*Алмазоносная область* соответствует крупному древнему блоку земной коры (кратону, раннедокембрийскому подвижному поясу), в пределах которого установлены разновозрастные проявления коренной алмазоносности. На территории рассматриваемой субпровинции чётко обособляются три алмазоносные области – Кольско-Кулойская, Карельская и Беломорская, отвечающие одноимённым архейским структурам. В пределах каждой из них имеются алмазоносные кимберлитовые тела.

*Алмазоносный район* объединяет группу пространственно сближенных алмазоносных кимберлитовых (лампроитовых) полей, сформировавшихся в близких геолого-структурных обстановках. При этом проявления коренных алмазоносных пород могут быть разновозрастными. Если алмазоносный район только прогнозируется, то под этим термином нами понимается территориально обособленный площадной ореол рассеяния ИМК или группа сближенных ореолов ближнего или умеренного переноса, которые располагаются в пределах территории с благоприятными геофизическими и структурно-тектоническими предпосылками проявления кимберлитового магматизма.

На территории Карело-Кольского мегакратона выделены шесть алмазоносных районов: Зимнебережный, Терскобережный, Архангельский, Западно-Карельский, Северо-Онегозерский, Центральнo-Финляндский. Ещё шесть районов прогнозируются на основании комплекса благоприятных предпосылок и признаков алмазоносности: Восточно-Кольский, Северо-Карельский, Центральнo-Карельский, Восточно-Карельский, Южно-Карельский, Вяртсильский (см. рис. 2).

*Алмазоносное поле* (площадь от первых сотен до первых тысяч квадратных километров) – естественная группировка пространственно сближенных одновозрастных тел единой генетической при-

надлежности. В состав полей входят *группы (или кусты) тел*.

Выполненные авторами прогнозно-минерагенические исследования Карело-Кольской субпровинции подтверждают её высокий алмазоносный потенциал, что подчёркивается наличием комплекса прогнозных критериев (предпосылок и признаков) алмазоносности (табл. 1).

Наиболее благоприятными особенностями глубинного строения (рис. 3) и основными структурно-тектоническими факторами размещения известных кимберлитовых и лампроитовых районов и полей северной части ВЕП являются:

- значительная мощность литосферы (>150 км);
- низкий тепловой поток (<30 мВт/м<sup>2</sup>);
- депрессии и их склоны, локальные прогибы, а также зоны резких перепадов глубин (ступеней) в рельефе поверхности Мохоровичича и внутренней границы К<sub>2</sub>;
- блоки, характеризующиеся высокими значениями электрического сопротивления и плотности земной коры, а на их фоне – субвертикальные зоны проводимости и разуплотнения горных пород;
- повышенные скорости сейсмических волн по поверхности Мохоровичича;
- глубинные разломы, разделяющие блоки с различным строением земной коры;
- зоны ближних (десятки километров) краевых дислокаций рифейских, активизированных в палеозое, авлакогенов, а в их пределах – узлы пересечения с поперечными разломами и области чередования осложняющих авлакогены выстугов и грабенов;
- зоны ТМА, наиболее перспективны среди которых зоны палеозойского (особенно среднепалеозойского) возраста;
- раннепротерозойские интра- и перикратонные прогибы;
- область сочленения Балтийского (Фенноскандинавского) щита и Русской плиты («флексура Полканова»).

Для Карело-Кольского мегакратона характерно широкое развитие полифациальных разновозрастных ореолов и ареалов рассеяния ИМК, в которых обнаружены алмазы, пиропы, хромшпинелиды и хромдиопсиды, образующие определённые ассоциации. По минеральному составу выделены полиминеральные, биминеральные и практически мономинеральные ассоциации, образованные

скоплениями хромшпинелида или пирропа. Сделан вывод о том, что ареалы рассеяния на территории Карело-Кольской субпровинции сформировались за счёт размыва, во-первых, кимберлитов, во-вторых, кимберлитов и лампроитов, в-третьих, кимберлитов, лампроитов и родственных пород [15].

В пределах субпровинции изучены >70 площадных ореолов рассеяния; в их составе выделены локальные ореолы, которые образуются чаще всего в результате размыва групп тел. Важным критерием прогнозирования служит удалённость ореолов рассеяния от искомым коренных источников: ближняя, умеренная, дальняя (рис. 4).

С учётом распределения минералогических шлейфов рассеяния, возникших вследствие размыва коренных пород различного состава, можно реконструировать латеральную зональность их распространения в пределах Карело-Кольской субпровинции и оценить перспективность площадей их предполагаемого развития. Центральная часть Карельского кратона не перспективна на выявление коренных источников алмазов, поскольку ИМК в терригенных коллекторах здесь не выявлены. В краевых его частях следует с большей вероятностью ожидать наличие алмазоносных кимберлитов, отличающихся комплексной ассоциацией минералов. По мере приближения к центральным частям кратона увеличивается возможность совместного нахождения лампроитов и кимберлитов с существенно хромшпинелидовой ассоциацией индикаторных минералов. Шлейфы рассеяния, отвечающие по составу кимберлитам, лампроитам и родственными породам, сформировались за счёт совмещения ассоциаций минералов, в различной степени удалённых от первоисточников. В целом такие ареалы соответствуют областям развития лампрофиров, коматиитов и тому подобных пород в пределах контуров их площадей.

Комплексный минерагенический анализ позволяет говорить о существовании на территории не выявленных коренных источников алмазов в ранге алмазоносного района, поля и куста тел. Наибольшими перспективами открытия коренных месторождений алмазов на Северо-Западе РФ обладают территории, выделяемые в ранге алмазоносных районов – Зимнебережный, Северо-Карельский, Восточно-Карельский. Поисковые работы проводятся в настоящее время в пределах первых двух. В качестве перспективных, но слабо опоискованных и требующих доизучения рассматриваются площа-

ди, расположенные в области сочленения щита и плиты (Пашская, Южно-Онегозерская, Нижне-Онежская) и на территории Русской плиты (Сухона-Двинско-Пинежская).

**Типы поисковых обстановок.** Особенность северной части ВЕП – преобладание поисковых обстановок так называемого «канадского» типа, для которых типично широкое распространение отложений материковых оледенений. Для кимберлитов Зимнебережного алмазоносного района, развитых на закрытых территориях Русской плиты, характерны наличие мощных кратерных фаций кимберлитов, относительно слабая их выраженность в геофизических полях и низкие концентрации минералов-спутников в перекрывающих отложениях, что существенно отличает их от якутских кимберлитов.

Северная часть ВЕП характеризуется разнообразными и крайне сложными поисковыми обстановками, что делает необходимым проведение районирования территории по условиям ведения поисков и разработки эффективных комплексов методов для каждого типа ландшафтно-геологической поисковой обстановки (ЛГПО). При выделении типов ЛГПО определяющими являются возраст и состав пород кимберлитовмещающего цоколя, а также литолого-фациальный состав и мощность перекрывающих образований. Взаимоотношения этих параметров рассматриваются в зависимости от времени проявления прогнозируемого алмазоносного магматизма.

В пределах Карело-Кольского мегакратона выделяется три типа ЛГПО: карельский, ладожский, шенкурский. Основой для их выделения является, прежде всего, геологическое строение территории, и, по сути, они соответствуют таким крупным структурам, как Балтийский щит, Русская плита и переходная зона в области их сочленения (рис. 5).

Для Балтийского щита характерно широкое распространение полифациальных четвертичных отложений, залегающих на архейско-протерозойских образованиях кристаллического фундамента. Мощность четвертичных отложений изменяется в пределах от 0,5 до 225 м, возрастая в депрессиях коренного ложа. В составе четвертичного покрова преобладают моренные и водно-ледниковые отложения различных оледенений, которые образуют специфические формы денудационного и аккумулятивного рельефа.

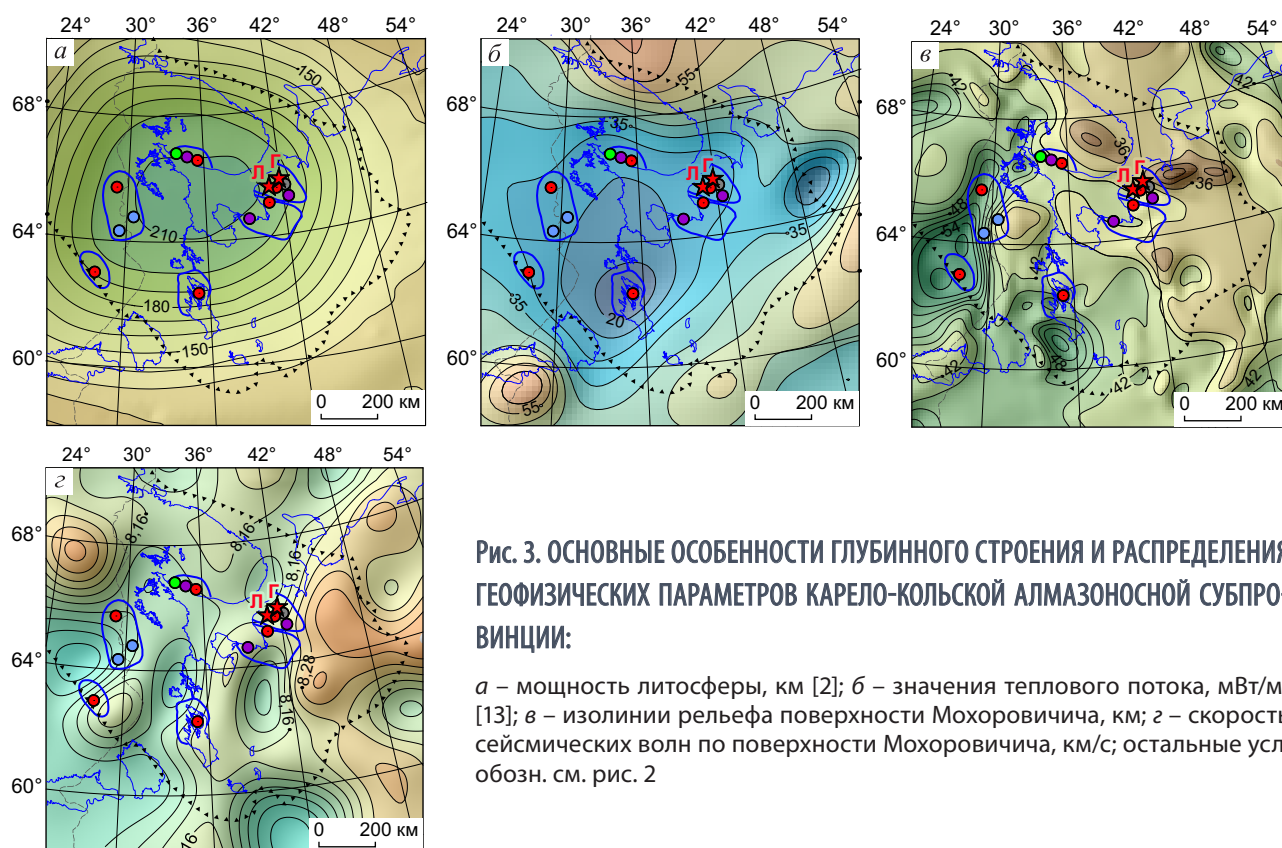
Для повышения эффективности поисков в условиях развития ледниковых отложений по орео-

1. МИНЕРАГЕНИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ КАРЕЛО-КОЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ СУБПРОВИНЦИИ

Область	Район	Минерагенические таксоны коренной алмазонасности		Глубинные физико-геологические неоднородности					Структурно-тектонические факторы						Минералогические и фациально-динамические факторы			Типы пород, алмазонасность
		Поле, проявление (возраст)		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	
Кольско-Кулойская	Зимне-бережный	Золотицкое, Верхотинское, Кепинское, Мельское, Метгорское (PZ <sub>3</sub> )	+	+	+	+	+	±	-	+	+	+	+	Хромдиопсид, пироп, хромшпинелид	БУ Д НУ	+	Кимберлиты и родственные породы, есть месторождения	
			-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	Хромдиопсид, пироп, пикроильменит, хромшпинелид	БУ НУ	+		Кимберлиты
			+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Хромдиопсид, пироп, хромшпинелид	БУ	-		
Беломорская	Терско-бережный	Умбинское (PZ <sub>1</sub> )	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	Хромдиопсид, пироп, хромшпинелид	БУ	-	Кимберлиты, убогоалмазные	
		Порьегубское (KR <sub>3</sub> <sup>2</sup> )	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+	Хромдиопсид, хромшпинелид	БУ	-		Щелочные пикриты, мелилиты, не установлена
	Чидвинско-Ижмозерское (PZ <sub>2</sub> )	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	Хромдиопсид, пироп, хромшпинелид	Д НУ	+	Пикриты, мелилитовые кимберлиты, убогоалмазные		
	Архангельский	Ненокское (PZ <sub>2</sub> )	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	Пикроильменит, пироп				

Карельская																	
Северо-Карельский	Прогнозируются	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	Хромшпинелид, хромдиопсид, пироп, пикроильменит, алмаз	БУ	+	Кимберлиты
Западно-Карельский	Куусамо (RF <sub>3</sub> )	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	Хромшпинелид, хромдиопсид, пироп, пикроильменит	БУ	+	Кимберлиты, микроалмазы
	Костомукшское (RF <sub>2</sub> )	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	Пироп, хромдиопсид, хромшпинелид	БУ НУ	+	Кимберлиты, лампроиты, убогоалмазные
Центрально-Карельский	Кумо-Лентира (RF <sub>2</sub> )	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	Хромдиопсид, хромшпинелид	БУ	-	Кимберлиты, лампроиты, предполагается
	Прогнозируются	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Пироп, хромшпинелид	БУ НУ	-	Кимберлиты, лампроиты
Восточно-Карельский	Прогнозируются	-	-	±	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Пироп, хромдиопсид, хромшпинелид	БУ	+	Кимберлиты
Центрально-Финляндский	Каави-Куопио (V-€)	+	+	±	+	+	-	+	+	+	+	+	+	Хромдиопсид, пироп, пикроильменит	БУ	-	Кимберлиты, низкоалмазные
Вяртсильский	Прогнозируются	+	+	±	+	+	-	+	+	+	+	+	+	Пироп, пикроильменит	БУ НУ	-	Кимберлиты
Южно-Карельский	Прогнозируются	±	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Пироп, хромшпинелид	НУ	-	Кимберлиты
Северо-Онегозерский	Заонежское (PR <sub>1</sub> )	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Хромшпинелид	БУ НУ	+	Кимберлиты, низкоалмазные

Примечание. Приведённые в таблице проявления кимберлитов и родственных пород размещаются в пределах области с мощной литосферой (>170 км) и низкими (<30 мВт/м²) значениями теплового потока. «+» – фактор проявления; «-» – фактор не проявлен; «±» – фактор проявления; «-» – фактор не проявлен; «±» – фактор проявления. Глубинные физико-геологические неоднородности: 1 – депрессия поверхности Мохоровичича; 2 – аномалия проводимости на фоне высокого электрического сопротивления земной коры; 3 – участки разуплотнения в пределах блока земной коры повышенной плотности; 4 – погружение магнитоактивной поверхности (участки размагничивания); 5 – краевые зоны региональных магнитных аномалий. Структурно-тектонические факторы: 1 – области раннеархейской (саамской) стабилизации; 2 – проториговые структуры; 3 – зоны краевых дислокаций рифейских авлакогенов; 4 – зоны ТМА (возраст); 5 – глубинные разломы; 6 – кольцевые структуры. Минералогические и фашиально-динамические факторы: 1 – преобладающий минеральный состав в ореолах рассеяния; 2 – дальность переноса ореолов: ближняя и умеренная (БУ), дальняя (Д), не установленного ранга (НУ), 3 – нахождение алмазов в ореолах.



**Рис. 3. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАРЕЛО-КОЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ СУБПРОВИНЦИИ:**

*a* – мощность литосферы, км [2]; *б* – значения теплового потока, мВт/м<sup>2</sup> [13]; *в* – изолинии рельефа поверхности Мохоровичича, км; *г* – скорость сейсмических волн по поверхности Мохоровичича, км/с; остальные усл. обозн. см. рис. 2

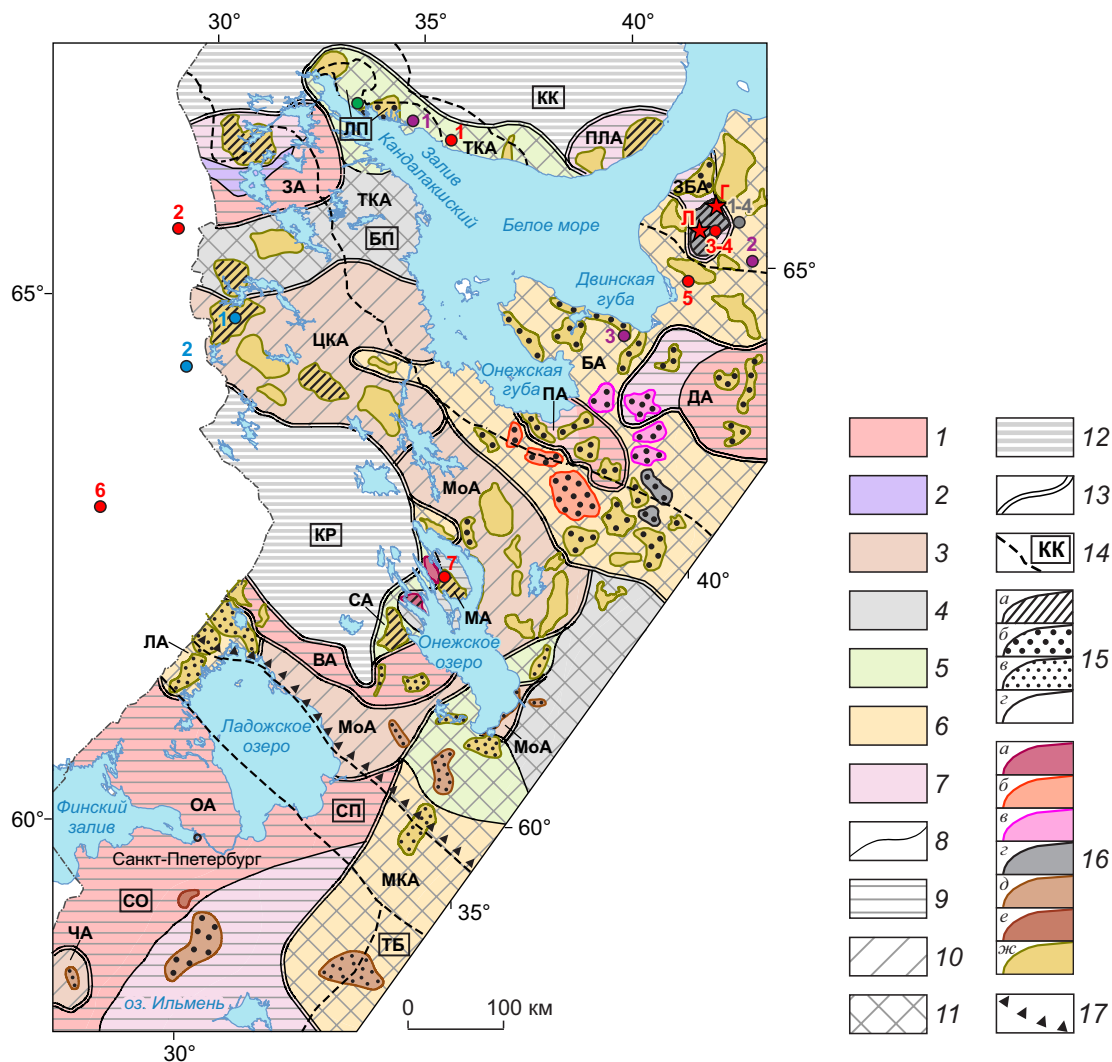
лам рассеяния ИМК опробованию должны предшествовать работы по составлению карт и схем различного содержания, соответствующих масштабу проводимых исследований: четвертичных отложений, геоморфологическая, поверхности дочетвертичных образований и др.

В пределах перспективных поисковых площадей с мощностью четвертичных отложений до 20 м рекомендуется проведение шлихового опробования по водотокам с шагом 1,0–0,5 км, а также водораздельных частей путём проходки копушей и шурфов. На площадях с мощностью четвертичных отложений от 20 до 50 м, в условиях широкого развития отложений гляциального комплекса, целесообразно шлиховое опробование аллювиальных отложений и ледниковых образований по профилям, ориентированным вкрест направления перемещения ледника [3, 4]. Сеть опробования должна обеспечивать надёжное выявление ореолов, соответствующих рангу кимберлитового поля. Расстояние между профилями от 4–8 до 20 км, шаг опробования от 1–2 до 4 км. В состав работ включается проходка шурфов и картировочных скважин со шлиховым и литохимическим опробованием.

С поисковой точки зрения наиболее информативны отложения основных морен, в которых формируются ореолы рассеяния ближнего переноса. При опробовании флювиогляциальных образований возможно выявление ореолов умеренного и дальнего переноса [5]. На наиболее перспективных участках проводится мелкообъёмное опробование в целях обнаружения алмазов.

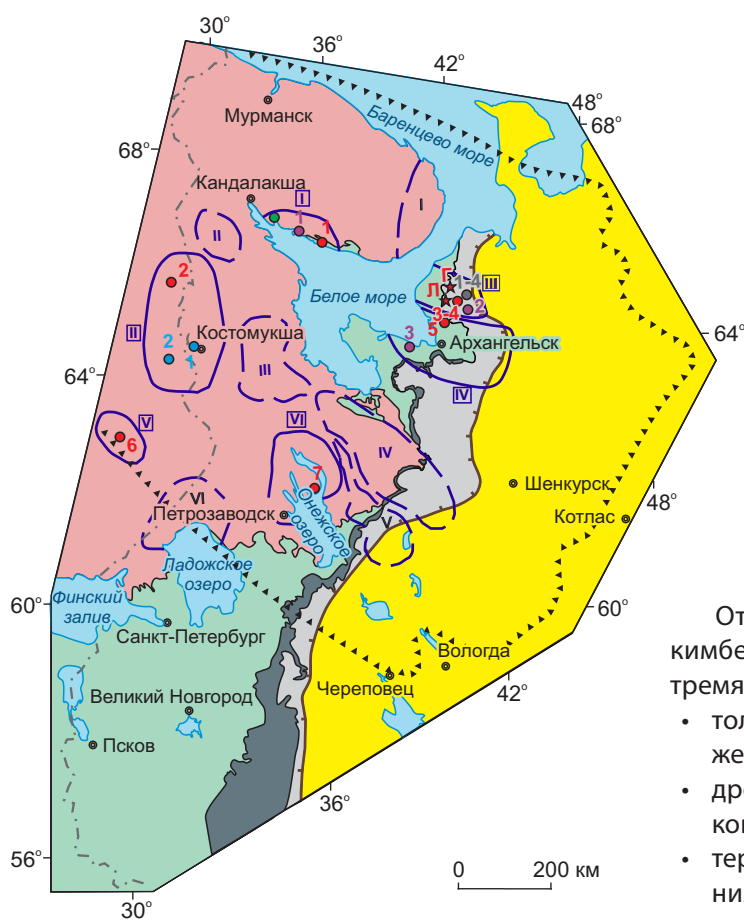
На территории, характеризующейся карельским типом ЛГПО, не исключено проявление алмазоносных магматитов всех пяти установленных в Карело-Кольской субпровинции эпох – от раннекарельской до среднепалеозойской. Предполагается обнаружение трубок различных размеров, возможно, корневых эродированных частей диаметром, даек и тел сложной морфологии с разной степенью алмазоносности. Пример такого проявления – Кимозерское тело и кимберлиты Финляндии.

Область сочленения Балтийского щита и Русской плиты (см. рис. 5) выделяется условно и ограничивается на западе распространением плитных образований ВЕП, а на востоке – так называемой линией экономической целесообразности проведения работ, соответствующей изопаките 200 м для



**Рис. 4. КАРТА РАЙОНИРОВАНИЯ КАРЕЛО-КОЛЬСКОЙ СУБПРОВИНЦИИ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ ПО ТИПАМ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ КИМБЕРЛИТОВЫХ МИНЕРАЛОВ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ АЛМАЗОВ:**

ассоциации ИМК в терригенных коллекторах: 1 – пироповая, 2 – пироп-пикроильменитовая, 3 – пироп-хромшпинелидовая, 4 – хромшпинелидовая, 5 – хромдиопсид-хромшпинелидовая, 6 – пироп-хромдиопсид-хромшпинелидовая, 7 – пироп-хромдиопсид-хромшпинелид-пикроильменитовая (комплексная); 8 – границы распространения минералогических ассоциаций; ареалы рассеяния ИМК в терригенных коллекторах, сформированные за счёт размыва коренных источников алмазов: 9 – кимберлитовых (Зареченский – ЗА, Пулоньский – ПЛА, Зимнебережный – ЗБА, Прибрежный – ПА, Двинский – ДА, Матвеевский – МА, Ведлозерский – ВА, Оредежский – ОА), 10 – кимберлитовых и лапроитовых (Центрально-Карельский – ЦКА, Межозерный – МоА, Чудской – ЧА), 11 – кимберлитовых, лапроитовых и родственных пород (Топозерско-Кандалакшский – ТКА, Беломорский – БА, Суйсарский – СА, Ладожский – ЛА, Мстинско-Кенозерский – МКА); 12 – площади, в пределах которых ИМК не установлены; 13 – границы распространения ареалов рассеяния ИМК; 14 – крупнейшие структуры кристаллического фундамента: Кольско-Кулойский кратон (архон) – КК, Беломорский подвижный метаморфический пояс (архон/протон) – БП, Лапландский гранулитовый пояс – Главный Беломорский шов (протон) – ЛП, Карельский кратон (архон) – КР, Саво-Ладожско-Рыбинский подвижный метаморфический пояс (протон) – СП, Свекофенская подвижная область (протон) – СО, Тверской блок (архон) – ТБ; 15 – перенос ИМК от коренного источника (а – ближний, умеренный, б – умеренный, дальний, в – дальний, г – не установлен); 16 – возраст отложений, вмещающих ореолы рассеяния ИМК (а – PR<sub>1</sub>, Q, б – V, Q, в – V, C, Q, г – C, Q, д – D, Q, е – D, ж – Q); 17 – граница Карело-Кольской субпровинции (фрагмент); остальные усл. обозн. см. рис. 2



1 2 3 4

**Рис. 5. ТИПЫ ПОИСКОВЫХ ОБСТАНОВОК:**

1 – карельский, 2 – ладожский (а – четвертичные, б – среднепалеозойские терригенные и четвертичные, в – среднепалеозойские терригенные, карбонатные и четвертичные отложения, перекрывающие прогнозируемые кимберлитовые тела), 3 – шенкурский; 4 – границы типов поисковых обстановок; остальные усл. обозн. см. рис. 2

Отложения, перекрывающие прогнозируемые кимберлитовые тела, могут быть представлены тремя типами разрезов:

- только четвертичные разнофациальные отложения;
- древние терригенные и четвертичные ледниковые отложения;
- терригенные отложения, карбонатные отложения и четвертичные отложения ледникового комплекса (табл. 2).

Если для первого типа разрезов при мощности четвертичных отложений до 30–50 м возможно выявление ореолов в морене и современном аллювии водотоков, то для более сложного (и широко распространённого) комплекса перекрывающих отложений (второй и третий типы) при мощности древних терригенных и карбонатных отложений >20 м вероятность обнаружения ореолов ИМК при шлиховом опробовании поверхностных отложений ничтожно мала. Это положение полностью подтверждается практикой проведения шлиховых поисков в районе известных кимберлитовых тел и месторождений алмазов на Северо-Западе России.

Отсутствие контрастных ореолов ИМК в области сочленения Балтийского щита с Русской плитой (в районе Карбонового Уступа) обусловлено не только слабой изученностью территории специализированными на алмазы шлихоминералогическими методами, но и низкой информативностью поверхностных четвертичных образований и отсутствием данных о наличии ИМК в базальных горизонтах древних терригенных коллекторов.

отложений, перекрывающих прогнозируемые алмазоносные объекты палеозойской эпохи кимберлитообразования.

В пределах области сочленения возможность выявления кимберлитов различных эпох ограничивается, прежде всего, нарастающей в юго-восточном направлении мощностью образований чехла платформы. Представляется, что на современном уровне изученности по имеющимся данным об алмазоносности разновозрастных проявлений в регионе целесообразно выполнение работ по выявлению как среднепалеозойских кимберлитов, близких по времени образования алмазоносным породам Зимнего Берега, так и более древних.

Полифациальные четвертичные образования различной мощности распространены повсеместно. На дочетвертичную поверхность выходят неметаморфизованные платформенные терригенные отложения венда, кембрия, терригенно-карбонатные и карбонатные образования ордовика, девона, каменноугольной системы и перми. Рифейские образования, залегающие на поверхности кристаллического фундамента, выполняют авлакогены.

## 2. ТИПЫ ПОИСКОВЫХ ОБСТАНОВОК СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Типы поисковых обстановок (структуры)	Характеристика перекрывающих отложений	Возраст образований кимберлитовмещающего цоколя
1. Карельский (Балтийский щит)	Четвертичные отложения полифациальные	Архейско-протерозойский кристаллический фундамент
2. Ладожский (область сочленения щит-плита)	Четвертичные отложения полифациальные	Венд-палеозойские терригенные и карбонатные образования чехла платформы
	Среднепалеозойские терригенные и четвертичные образования	Архейско-протерозойский кристаллический фундамент, венд-палеозойские терригенные и карбонатные образования чехла платформы
Среднепалеозойские терригенные, карбонатные и четвертичные образования		
3. Шенкурский (Русская плита)	Четвертичные отложения полифациальные	Позднепалеозойские терригенные и карбонатные образования чехла платформы

На перспективных площадях, характеризующихся распространением сложнопостроенного комплекса перекрывающих прогнозируемые тела отложений (второй и третий типы разрезов) мощностью >20 м, целесообразно шлиховое опробование базальных горизонтов разновозрастных отложений, залегающих на породах кимберлитовмещающего цоколя, по керну скважин (картировочных и пройденных при заверке аномалий), горным выработкам (шурфы, канавы и др.) и естественным обнажениям. Опробование полифациальных четвертичных образований необходимо проводить в районах выходов древних коллекторов на дочетвертичную поверхность и в областях их размыва современными водотоками. Сеть скважин и горных выработок выбирается в соответствии с задачами и детальностью исследований. Работы по опробованию предваряются и сопровождаются составлением специализированных карт – палеогеографических, литолого-фациальных и др.

На территории Русской плиты не исключается выявление алмазосных тел постпермского (мезозойского) возраста. Поверхность кимберлитовмещающего (для среднепалеозойских трубок взрыва) цоколя здесь перекрыта мощным чехлом верхнепалеозойских образований, что делает нерентабельной возможную отработку месторождений среднепалеозойского или более древнего возраста. Представленный здесь шенкурский тип ЛГПО (см. рис. 5) характеризуется площадным развитием мощных толщ карбонатных отложений среднего–позднего карбона и преимущественно

терригенных образований перми, перекрытых четвертичными отложениями различной фациальной принадлежности.

В пределах выделяемых алмазоперспективных площадей (например, Сухона-Двинско-Пинежской на востоке Карело-Кольской субпровинции) целесообразны поиски по методике шлихового опробования, применяемой для районов развития ледниковых и водно-ледниковых образований мощностью до 50 м.

Для установления признаков проявления мезозойского (постпермского) кимберлитового магматизма необходимо шлиховое, в том числе мелкообъемное, опробование терригенных коллекторов алмазов раннего триаса и (возможно) юры.

**Проблемы выявления месторождений алмазов на севере Восточно-Европейской провинции.** В настоящее время существуют проблемы, значительно замедляющие открытие месторождений алмазов на Северо-Западе РФ. Их можно объединить в три группы: прогнозно-поисковые, методические и инвестиционные.

*Прогнозно-поисковые проблемы:*

- на уже известных перспективных площадях, выделяемых в результате прогнозно-поисковых работ масштаба 1:500 000–1:200 000, во многих случаях не выполнен комплекс геолого-геофизических исследований, достаточный для постановки поисковых работ;
- на ряде перспективных площадей поисковые работы не завершены – не проведена заверка аномалий бурением;



- фонд относительно легко открываемых месторождений алмазов на большей части территории к настоящему времени исчерпан. Для дальнейших поисков на перспективных площадях необходимо выполнить их районирование по условиям ведения работ с определением рационального комплекса ГРР.

Решение задачи реализации алмазоносного потенциала Северо-Западного региона РФ видится в осмысленном, методически усовершенствованном подходе к прогнозно-поисковым и поисковым работам, а именно пошаговом приближении к искомому объекту по схеме кимберлитовое поле – куст тел – трубка на уже выделенных площадях ранга района и поля путём применения всего комплекса исследований, предусмотренного требованиями для прогнозно-поисковых работ масштаба 1:200 000–1:50 000 и детальных поисков.

*Методические проблемы:*

- практически не задействованы минералогические методы оценки потенциала коренных источников с использованием редких и рассеянных элементов в пиробах из ореолов рассеяния;
- отсутствие методики выявления погребённых слабоэродированных трубок со слабым геофизическим сигналом;
- недостаточное применение методов комплексной обработки космических снимков;
- для территории Карбонового Уступа (область сочленения Балтийского щита и Русской плиты) отсутствие необходимых картографических основ для осуществления прогнозно-поисковых работ (карт литолого-фациальных, размещения древних коллекторов алмазов, палеогеографических времени формирования ореолов рассеяния ИМК, условий ведения поисковых работ для каждой эпохи кимберлитообразования);
- недостаточное количество новых методических разработок, которые могли бы способствовать выявлению месторождений, не соответствующих традиционным моделям и др.

Для примера рассмотрим более подробно не решённые методические вопросы в рамках первых двух названных проблем. При поисковых работах и оценке продуктивности прогнозируемых коренных источников по ИМК из ореолов рассеяния необходимо учитывать, что применение минералогического критерия часто не соответствует реальной алмазоносности коренных источников.

В результате гипергенеза, даже без участия процессов пересортировки зёрен в ходе их эволюции, минеральный состав ИМК в ореолах и процентное соотношение высокохромистых пиропов могут существенно отличаться в коллекторах по сравнению с коренными источниками. При оценке составов кимберлитовых минералов в ореолах, наряду с указанными возможными изменениями «первичной» минеральной ассоциации ИМК, необходимо также иметь в виду, что для мелких классов (<1 мм) гранатов в кимберлитах характерна повышенная доля фиолетовых (высокохромистых) разновидностей по сравнению с более крупными классами [17]. В связи с этим в процессе транспортировки и дифференциации зёрен по размеру и удельному весу также происходит изменение соотношений высоко- и низкохромистых пиропов.

Существуют поисковые ситуации, когда содержание пиропов алмазного парагенезиса не позволяет объяснить установленную алмазоносность кимберлитовых тел. Так, в кимберлитах месторождения им. М.В.Ломоносова из трубки Северной группы Золотицкого поля присутствуют 14,5% пиропов алмазного парагенезиса, хотя она в два раза беднее алмазами, чем кимберлиты Южной группы, которые в выборке из 88 пиропов вообще не содержат представителей алмазного парагенезиса [12]. Объяснение было найдено в распределении редких и рассеянных элементов в пиробах этих тел, которое свидетельствует о более интенсивном воздействии на литосферную мантию в районе Северной группы процессов расплавленного метасоматоза, вызвавших внедрение астеносферного диапира и приведших к уничтожению значительной части алмазов.

Кимберлиты трубки им. В.П.Гриба и тел Пачугского куста при примерно одинаковом содержании пиропов алмазного парагенезиса (6,7% и 6,3% соответственно) характеризуются алмазоносностью, различающейся в 30–50 раз. Это, соответственно, отражается в распределении редких элементов в пиробах из месторождения им. В.П.Гриба, которое указывает на умеренное проявление процессов мантийного метасоматоза, что благоприятно для образования и сохранения алмазов. В распределении в пиробах из трубок Пачугского куста редких элементов (Ti, Ga, Zr, Y, Ni) отразилось интенсивное воздействие процессов горячего расплавленного метасоматоза, которое могло привести к уничтожению алмазов в мантии [12].

При поисках слабоэродированных кимберлитовых тел на закрытых территориях северной части ВЕП возможны ситуации, когда коренные источники с низкими содержаниями ИМК слабо проявляются в ореолах рассеяния и не отражаются в геофизических полях. В таких поисковых обстановках могут находиться не выявленные к настоящему времени месторождения алмазов. Из практики алмазопроисловых работ известно, что многие крупные и уникальные месторождения не соответствуют традиционным моделям. Примерами служат, прежде всего, уникальная по объёму запасов трубка Джваненг (Ботсвана) и месторождения Накынского поля, которые не проявляются в виде локальных геофизических аномалий. Поэтому для обнаружения таких месторождений требуется использование других современных поисковых методов и более совершенной геофизической аппаратуры, а также большие объёмы буровых работ. Наиболее перспективен геоэлектрохимический метод, основанный на выявлении ореолов рассеяния элементов-индикаторов кимберлитов в подвижных формах [7, 8]. К сожалению, после проведения опытных исследований и получения обнадеживающих результатов данная методика не нашла своего применения.

*Инвестиционные проблемы* заключаются в сокращении программ по изучению алмазоносности за счёт средств госбюджета, постепенном уходе компаний из СЗФО и сокращении финансирования их работ. Это обусловлено, прежде всего, тем, что в пределах легкодоступных открытых и полукрытых территорий, не требующих значительных инвестиций, отсутствуют площади для выполнения поисков на средства мелких и средних инвесторов. Исследования на удалённых и закрытых территориях, где необходимо выполнение дорогостоящих аэрогеофизических, буровых и других работ, осуществляются только крупными компаниями (например, АЛРОСА и Лукойл), обладающими финансовыми ресурсами и производственным потенциалом.

Среди путей решения существующих проблем и задач по укреплению МСБ алмазов в европейской части России следует отметить, во-первых, необходимость выполнения прогнозно-поисловых работ на перспективных территориях в ранге прогнозируемого района и поля и составление карт прогноза масштаба 1:200 000 с врезками масштаба 1:50 000 за счёт средств госбюджета. Во-вторых, це-

лесообразна организация поддержки профильных предприятий малого и среднего бизнеса для разработки, усовершенствования и апробации методов поисков месторождений алмазов за счёт средств бюджета и государственной компании АЛРОСА. В-третьих, важна научно-методическая поддержка мелких и средних геологоразведочных компаний на начальном этапе поисловых работ, как это делает геологическая служба Финляндии, что привлекает инвесторов в страну, в том числе и из России. В-четвёртых, важна целевая подготовка геологов-алмазников, которая в последние годы не проводится в нужном объёме. Следствием этого является падение геологической эрудиции молодых специалистов и общего уровня качества поисловых и тематических работ. Последние международные конференции демонстрируют наметившееся отставание алмазной науки в России от ведущих западных стран. В-пятых, целесообразно разработать государственную программу развития сырьевой базы алмазодобывающей промышленности России, в том числе европейской части, и создать экспертный Совет по воспроизводству МСБ алмазов из специалистов не только компании АЛРОСА, но и других алмазодобывающих компаний, профильных институтов и ОАО «Росгеология». В-шестых, следует рассмотреть весь комплекс полученных данных по алмазоносности европейской части РФ, прежде всего СЗФО, и принять решение о необходимости проведения полноценных поисловых работ на существующих перспективных площадях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ваганов В.И.* Алмазные месторождения России и мира. – М.: Геоинформмарк, 2000.
2. *Глазнев В.Н.* Комплексные геофизические модели литосферы Фенноскандии. – Апатиты: ЗАО «КазМ», 2003.
3. *Голубев Ю.К.* Особенности проведения поисловых работ на алмазы в областях развития ледниковых отложений // Тр. ЦНИГРИ. 1987. Вып. 218. С. 66–70.
4. *Голубев Ю.К.* Особенности формирования ореолов рассеяния современного аллювия областей четвертичных покровных оледенений // Тр. ЦНИГРИ. 1991. Вып. 250. С. 72–82.
5. *Голубев Ю.К., Щербакова Т.Е., Колесникова Т.И.* Особенности проведения шлихо-минералогических поислов алмазных месторождений в условиях «закрытых» территорий северо-запада Российской Федерации // Отечественная геология. 2009. № 2. С. 11–22.

6. Загайный А.К., Устинов В.Н., Журавлев В.А. Структурно-тектонические факторы размещения проявлений кимберлитового и лампроитового магматизма северо-запада Восточно-Европейской платформы // Геология алмаза – настоящее и будущее (геологи к 50-летию юбилею г. Мирный и алмазодобывающей промышленности России). – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2005. С. 79-86.
7. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. Министерство геологии СССР. – М.: Недра, 1983.
8. Коротков А.И. Гидрогеохимический анализ при региональных геологических и гидрогеологических исследованиях. – Л.: Недра, 1983.
9. Малютин Е.И., Голубев Ю.К., Ваганов В.И. Состояние, проблемы и пути реализации алмазного потенциала Северо-Западного федерального округа // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2012. № 5. С. 2–7.
10. Методическое руководство по прогнозированию и поискам месторождений алмазов. – М.: ЦНИГРИ, 2005.
11. Прогнозно-поисковые системы для месторождений алмазов / В.И.Ваганов, В.А.Варламов, А.А.Фельдман и др. // Отечественная геология. 1995. № 3. С. 42–53.
12. Саблуков С.М., Саблукова Л.И., Гриффин В.Л. Распределение редких элементов в глубинных минералах кимберлитов как признак плюмовых процессов на Севере Русской платформы // Глубинный магматизм, его источники и плюмы. Тр. IX междунар. семинара. Миасс, 2009. С. 135–170.
13. Светов А.П., Свириденко Л.П. Центры эндогенной магматической активности и рудообразования Фенноскандинавского щита (Карельский регион). – Петрозаводск: КНЦ РАН, 2005.
14. Устинов В.Н. О перспективах алмазоносности Северо-Западного региона России (Ленинградская, Новгородская, Псковская области) // Геологические аспекты минерально-сырьевой базы АК «АЛРОСА»: современное состояние, перспективы, решения. Мирный, 2003. С. 196–200.
15. Устинов В.Н. Терригенные коллекторы алмазов Сибирской, Восточно-Европейской и Африканской платформ. – СПб.: Наука, 2015.
16. Устинов В.Н., Зинчук Н.Н., Герасимчук А.В., Лукьянова Л.И. Региональные исследования АК «АЛРОСА» на алмазы на северо-западе Российской Федерации // Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее (АЛМАЗЫ-50). – СПб., 2005. С. 355–358.
17. Харьков А.Д. Минералогические основы поисков алмазных месторождений. – М.: Недра, 1978.
18. Lehtonen M., Marmo J. Glacial dispersion study of kimberlitic material in Quaternary till from the Lahtojoki pipe, Eastern Finland // 8th International Kimberlite Conference Long Abstract. 2003. P. 1–5.

## PROSPECTS OF DIAMOND DEPOSITS DISCOVERY IN THE NORTH OF THE EAST- EUROPEAN PLATFORM

V.N.Ustinov<sup>1</sup>, M.G.Antaschuk<sup>1</sup>, A.K.Zagainy<sup>1</sup>, I.M.Kukui<sup>2</sup>, L.P.Lobkova<sup>1</sup>, I.I.Mikoev<sup>1</sup>, S.A.Antonov<sup>1</sup> (<sup>1</sup> TsNIGRI, <sup>2</sup> NIGP ALROSA)

*Lomonosov and Grib deposits containing 22,4% of the Russian total diamond reserves are mined in the north of the East-European Platform. These deposits are located within Karelian-Kola megacraton (subprovince) where diamondiferous magmatites belonging to five stages of tectonomagmatic activization have been proved to date. Predictive-mineragenic studies performed by the authors confirm the high diamond potential of the area which is reflected by a complex of diamond potential predictive criteria: structural-tectonic, deep (geophysical), mineralogical, facial-dynamic, etc. Territories of Zimniberezhny, North-Karelian and East-Karelian regions are the most prospective ones for primary diamond deposits discovery. The areas within the junction of the Baltic Shield and the Russian Platform, as well as within the latter, are considered as prospective but underexplored requiring additional studies. Forecasting-prospecting, methodical and investment problems which hinder diamond mineral base replenishment are formulated and characterized, their main solutions are suggested.*

*Keywords: Karelian-Kola diamondiferous subprovince, kimberlite and lamproite fields, dispersion haloes, prospecting environments, diamonds.*

Методы и методики прогноза, поисков,  
оценки и разведки месторождений

## ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОИЗВОДСТВА ОПЕРЕЖАЮЩИХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ПРОГНОЗНО-МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОТДАЛЁННЫХ РАЙОНАХ СИБИРИ И АРКТИКИ

*Рассмотрены методические вопросы проведения прогнозно-минерогенических исследований, конечным результатом которых является выделение обоснованных и подготовленных площадей для постановки поисковых работ на алмазы и другие виды твёрдых полезных ископаемых. Проанализированы основные аспекты использования пространственных данных, производства полевых шлихоминералогических работ и аналитических исследований минералов. Обоснована необходимость двухэтапной реализации прогнозно-минерогенических работ.*

*Ключевые слова: прогнозно-минерогенические работы, алмазопысковые работы, прогнозирование, опробование, пространственные данные, таксон, алмаз.*

Вопросы обоснования и подготовки на современном уровне площадей под постановку поисковых работ на алмазы и многие другие виды полезных ископаемых становятся всё более актуальными по мере исчерпания фонда перспективных поисковых участков. В связи с этим возрастает потребность в проведении опережающих геолого-геофизических или прогнозно-минерогенических исследований, конечным результатом которых является выделение обоснованных и подготовленных площадей для поисковых работ. Данное направление развития геологоразведочных работ особенно важно для арктических районов России, труднодоступных территорий Сибирской платформы, горных районов, т.е. для всех районов со слабой инфраструктурой и сложной логистикой. Участки поисковых работ в таких районах должны быть максимально локализованы и обоснованы в целях снижения логистических затрат и прямых потерь от опосредованного локализации площадей. Кроме того, должны быть определены основные и сопутствующие виды твёрдых полезных ископаемых, ожидаемые типы месторождений и обоснованы наиболее рациональные комплексы полевых работ в разных поисковых обстановках.

АО СНИИГГиМС в последние годы в рамках различных государственных контрактов выполнены или выполняются комплексные геолого-геофизические работы, которые можно отнести к опережающим геолого-геофизическим или прогнозно-минерогеническим работам масштабов 1:200 000–1:500 000. Так, в 2012–2014 гг. осуществлены поисковые работы на алмазы в Тычанском алмазоносном районе Красноярского края, а в 2017 г. завершаются ра-



**РУДЫ  
И  
МЕТАЛЛЫ**



### Мишенин Сергей Григорьевич<sup>1</sup>

кандидат геолого-минералогических наук  
заведующий отделом геологии алмаза  
mishenin-sg@mail.ru

### Дак Алексей Иванович<sup>1</sup>

кандидат геолого-минералогических наук  
заведующий группой  
минералогических исследований  
a\_dak@mail.ru

### Мальковец Владимир Григорьевич<sup>2</sup>

кандидат геолого-минералогических наук  
старший научный сотрудник  
vladimir.malkovets@gmail.com

### Утюпин Юрий Валерьевич<sup>1</sup>

кандидат физико-математических наук  
ведущий научный сотрудник  
yuraut@yandex.ru

### Яворская Гелена Здиславовна<sup>1</sup>

ведущий инженер-программист  
gelena2002@list.ru

### Яныгин Юрий Тимофеевич<sup>1</sup>

ведущий геолог  
yury.yanygin@yandex.ru

<sup>1</sup> АО «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», г. Новосибирск

<sup>2</sup> ФГБУН «Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева» СО РАН, г. Новосибирск



боты в Илимо-Катангском районе Иркутской области. Несмотря на узкую специализацию опережающих алмазопроисковых работ, многие выводы, полученные в ходе их проведения, можно распространить и на другие твёрдые полезные ископаемые.

Целевое назначение опережающих алмазопроисковых работ – выявление, локализация и оценка перспектив продуктивности объектов ранга кимберлитовое поле, а также обоснование комплекса поисковых работ, необходимых для вскрытия тел потенциально алмазонасных пород. Особенностью данных работ является достаточно большая исходная площадь поисков, как правило, соответствующая в минералогическом плане алмазонасному району (несколько десятков тысяч квадратных километров), в пределах которой следует выделить и оценить перспективные участки, гарантированно охватывающие объекты ранга кимберлитовое поле. Размеры последних на Сибирской платформе варьируют от первых десятков квадратных километров (монокластерные поля типа Верхне-Моторчунского кимберлитового поля) до двух-трёх тысяч квадратных километров (поликластерные поля типа Алакит-Мархинского).

На основании накопленного нами опыта проведения опережающих геолого-геофизических работ выделены три проблемы по их организации, подготовке и выполнению.

1. Главная проблема в рудной геологии (в том числе на алмазопроисковых работах) при решении прогнозно-поисковых задач и оценке значительных по площади территорий – выделение рудолокализирующих структурно-вещественных неоднородностей (СВН) земной коры (преимущественно в её верхней части). Под СВН понимается часть объёмного пространства горных пород, отличающегося от вмещающих пород вещественным составом и/или физическими параметрами и являющегося целостным системным образованием, существующим в неразрывном единстве с окружающей геологической средой.

В частности, при решении алмазопрогнозных задач объектом поиска служит кимберлитовое поле как естественная группировка пространственно сближенных кимберлитовых тел, происхождение которых связано с единым глубинным источником – вертикальной «стволовой» зоной повышенной проницаемости (флюидно-магматической колонной) в литосфере. Установление признаков локализации данной СВН и является задачей про-

гноза. Предполагаемые неоднородности земной коры под кимберлитовыми полями, как правило, не очень контрастны, поэтому требуют для выделения использования достаточно сложных алгоритмов анализа данных, зависящих от качества исходной информации.

Имеется множество примеров выделения СВН, характерных для кимберлитовых полей, различными геолого-геофизическими методами [3, 4 и др.]. Многие из них получены нами в последние годы при выполнении алмазопроисковых работ. Наиболее информативны для этих целей – пространственные данные, полностью охватывающие район работ, собранные при достаточной и регулярной плотности наблюдений надлежащего качества, обеспечивающие при их анализе достоверное выделение тех или иных признаков и предпосылок проявления кимберлитов и родственных им пород. К пространственным данным можно отнести: аномальные гравитационное и магнитное поля, площадные распределения электромагнитных, сейсмоакустических и структурных параметров, данные площадной обработки дистанционных зондирований, цифровые модели рельефа и гидросети, карты распределения геохимических, минералогических и других индикационных параметров геосреды, которые можно реализовать в площадном представлении для изучаемой территории.

В общем случае, как показывает наработанный нами опыт, системное использование и анализ пространственных данных позволяют представить структурно-тектонический каркас территории с выделением разноранговых тектонических, структурных и вещественных неоднородностей земной коры, благоприятных для проявления кимберлитов и родственных им пород, на стадии выполнения прогнозных работ. Пространственные данные в комплексе с материалами минералогических исследований дают возможность локализовать объекты полевого изучения и сконцентрировать геологоразведочные работы следующих стадий в пределах наиболее перспективных участков.

Существует много разновидностей алгоритмов информационно-статистического и таксономического суммирования предпосылок и признаков, позволяющих ранжировать территорию по степени благоприятности для проявления глубинного щёлочно-ультраосновного магматизма, т.е. решить задачу прогноза. Нами опробовались алгоритмы как входящие в состав известных пакетов программ,

так и собственной разработки и было установлено, что данные методы количественного прогноза значительно уменьшают число ошибок 1-го и 2-го родов (соответственно пропуск кимберлитового поля и исследование пустых площадей). При этом изучалась устойчивость получаемых решений в зависимости от типов данных, их плотности и качества представления. Установлено, что одним из главных условий успешного решения задач прогнозирования рудоносных таксонов (рудных узлов, кимберлитовых полей и т.д.) является качество и равномерность сетей наблюдения этих данных, а также наличие эффективных методик сведения и увязки разномасштабных сетей, обнаружения и фильтрации деформаций и системных ошибок.

Сбор и актуализация пространственных данных предполагают обязательный и тщательный анализ их качества. Недочёт качества, однородности и достоверности исходных пространственных данных приводит к существенным ошибкам при прогнозных построениях.

К сожалению, при постановке опережающих геолого-геофизических и прогнозно-минерагенических работ авторы повсеместно сталкиваются со значительными проблемами, обусловленными сбором пространственных данных и формированием качественных сетей (гридов) для их анализа в связи с разной масштабностью и качеством, а также доступностью первичных материалов практически по всем типам данных. Ранее изданные сводные карты, как правило, не пригодны для корректной обработки и анализа. Например, в геопотенциальных полях на сводных картах часто нарушена структура данных и частотного спектра на границах разномасштабных, разновременных и разновысотных съёмки, вплоть до полной потери условий потенциальности отражаемых полей, и, как правило, даже применение специальных алгоритмов уравнивания сетей не позволяет преодолеть имеющиеся искажения.

Рассматривая различные варианты использования пространственных данных при разномасштабных прогнозно-минерагенических исследованиях, приходим к выводу, что качество данных, плотность и равномерность сетей наблюдений имеют определяющее значение для реализации большинства алгоритмов анализа, направленных на извлечение из информационных массивов полезных компонентов, характеризующих те или иные прогнозные признаки и предпосылки. В об-

щем случае, плотность сетей (масштаб) пространственных данных должна не менее чем в два раза превышать масштаб выполняемых работ.

Недостаточное качество данных и неравномерность сетей наблюдений существенно сдерживают применение многих перспективных технологий анализа данных (распознавания образов, нейронных сетей, вычислительных методов линейной алгебры, многомодельного прогноза и т.д.) или делают результаты их использования весьма неоднозначными. При выборе масштаба опережающих геолого-геофизических или прогнозно-минерагенических работ необходимо тщательно выполнять предварительную оценку имеющихся пространственных данных, оценивать и предусматривать реальные время и затраты на создание их сетей (гридов) необходимого качества и плотности.

Ширина периферического перекрытия определяется исходя из следующих соображений. Обработка площадных геофизических данных в современных пакетах специализированных программ ведётся в подавляющем большинстве случаев в скользящих окнах различного размера, который определяется как свойствами алгоритма, так и глубиной исследований. Глубина геофизических исследований при решении алмазопрогностических задач обычно составляет 40–50 км (поверхность Мохоровичича). Выделение характеристических локальных элементов геополей и поверхностей также требует использования окон эквивалентным радиусом до 30 км и более. В краевых зонах площади, где расстояние до её края меньше радиуса окна, возникают значительные искажения определяемых характеристик, и, таким образом, происходит существенное снижение области корректных площадных построений. Для преодоления этих негативных факторов и получения равнокорректных построений изучаемых площадей необходимо предусматривать расширение площади построения матриц геофизических полей, структурных поверхностей и других цифровых пространственных данных (цифровая модель рельефа и т.д.) за пределы проектной площади на предполагаемый эффективный радиус окон обработки.

Анализ опосредованности пространственными методами исследований Сибирской платформы и её активизированных окраин показывает, что качество и плотность имеющихся сетей наблюдений позволяют выполнять в регионе опережающие геолого-геофизические или прогнозно-минерагени-

ческие работы масштаба не крупнее 1:500 000 в пределах достаточно крупных минерагенических таксонов (до 5–8 трапеций масштаба 1:500 000) при условии реализации в необходимом объёме подготовительных работ по сбору, подготовке и актуализации накопленных пространственных данных и целевой геолого-поисковой информации для оптимального планирования полевых работ.

При постановке более детальных работ масштаба 1:200 000 и крупнее (типа ГМК-200 или поисковые работы) необходимо учитывать наличие пространственных данных с плотностью сетей не менее масштаба 1:25 000–50 000, а в случае их отсутствия крайне целесообразно предусмотреть опережающее специализированное дистанционное зондирование и комплексные аэрогеофизические съёмки.

2. Существенное значение на этапе подготовки площадей имеет анализ ранее проведённых геолого-геофизических работ, в том числе прогнозных исследований предшественников. Важно провести районирование территории по условиям ведения поисков для оптимального проектирования методики и объёмов опробования на выбранных участках с учётом их специфических ландшафтно-геологических обстановок.

При алмазопромышленных работах, по нашему мнению, эффективная методика опробования должна быть ориентирована на достоверную оценку территории в отношении наличия индикаторных минералов кимберлитов (ИМК), т.е. на их гарантированное выявление в поисковой обстановке изучаемой площади в количестве, необходимом и достаточном для аналитических исследований и формулирования обоснованных прогнозных заключений, или достоверно доказанное отсутствие ИМК. В связи с этим следует выполнять работы по отработке и оптимизации поискового шлихо-минералогического комплекса применительно к конкретным ландшафтно-геологическим условиям изучаемой площади.

Нами в АО СНИИГиМС предложен новый адаптивный подход к организации, методике, составу и техническому обеспечению комплекса полевых опробовательских работ. Основные положения подхода к обоснованию методики опробования в зависимости от поисковых обстановок сводятся к следующему:

- геолого-геоморфологическое изучение особенностей формирования и генезиса рыхлых

отложений в долинах рек и разновозрастных покровных образований (или их реликтов) на водораздельных пространствах с их опробованием на наличие ИМК;

- отказ от равномерного опробования современной гидросети (при сохранении средней плотности опробования на единицу площади в масштабе работ) с локализацией точек опробования прежде всего на наиболее благоприятных микрофациях, для чего проводится опережающее тестирование определённой площади русла (косы, донных отложений на плёсах) или точек выхода продуктивного горизонта на склонах пробами небольшого объёма (10–20 л);
- существенное увеличение доли шлихоминералогических проб, отбираемых по склонам и водоразделам на участках, являющихся потенциальными областями сноса ИМК, в том числе с использованием средств механизации;
- существенное увеличение объёма шлиховых проб, который должен обеспечивать надёжное обнаружение ИМК и получение достаточно представительного количества зёрен ИМК, т.е. объём шлиховых проб при необходимости может быть увеличен до 300 л, при этом количество индикаторных минералов разных гранулометрических классов должно быть не менее 30–50 зёрен;
- мелкообъёмное (рядовое и секционное) опробование с использованием современных средств механизации должно быть направлено на получение представительных количеств ИМК для их исследования разными минералогическими методами в целях обеспечения комплексной идентификации ореолов; в зависимости от концентрации ИМК на единицу объёма проб их объём может колебаться от 1 до 10 м<sup>3</sup> и более;
- глубинное шлиховое опробование на участках, перекрытых маломощными покровными и аллювиальными образованиями;
- увеличение информативности и представительности опробования за счёт извлечения ИМК размерностью 1–0,5 мм;
- максимальное расширение спектра изучаемых минералов тяжёлой фракции; наряду с ИМК, необходимо на качественном уровне (диагностика, физиографические особенности) анализировать другие минералы тяжёлой фракции – гидравлические спутники ИМК – для выяснения

условий седиментогенеза, возраста и эволюции ореолов, выявления признаков наличия других рудных полезных ископаемых, определения источников сноса обломочного материала, в том числе кимберлитов;

- экспрессные минералогические исследования непосредственно в процессе полевых работ для первичного изучения ИМК в целях оперативного принятия решений по дальнейшему опробованию и ориентировке текущих поисковых работ;
- совершенствование технологии полевого обогащения проб, в том числе глинистых разностей, для исключения потерь ИМК мелких granulометрических классов.

Стандартная шлиховая проба практически везде на Сибирской платформе представляет собой смесь минералов, имеющих разные первичные морфологические особенности, экзогенную историю, формы и степень экзогенных изменений и последовательность наложения на минерал тех или иных морфологических особенностей. Если кимберлитовый магматизм имеет полихронный характер и возможны существенные отличия вещественно-минералогических и геохимических особенностей кимберлитов разного возраста, то следует ожидать существенное расширение спектра минералов глубинного генезиса, требующих изучения. Во всём этом многообразии морфологии индикаторных минералов отражается сложная история формирования ореолов, расшифровка которой, а также реконструкция отдельных её этапов являются основной задачей лабораторно-аналитических исследований.

3. Ещё одна чрезвычайно значимая проблема опережающих геолого-геофизических и прогнозно-минерагенических работ – установление вещественной, в первую очередь минералогической и геохимической, специализации выделяемых рудных таксонов (зон, полей, узлов, участков рудогенеза), времени их активизации, уровня и интенсивности проявленности в геологическом разрезе, а также принадлежности к структурным элементам трансплатформенных и трансформных тектонических структур как основных источников рудного вещества.

Для решения этой проблемы и повышения комплексности и достоверности минерагенической оценки параметров, выделяемых по дистанционным данным таксонов, необходимо максималь-

ное расширение изучаемого перечня минералов, извлекаемых из геологических проб, полученных в ходе полевых исследований, и спектра современных аналитических методов их исследования. Сейчас же в большинстве случаев для исследования территории на наличие конкретного предмета поиска, например кимберлитов, из поисковых проб извлекается минимальный набор индикаторных минералов. Вследствие этого месторождения других полезных ископаемых могут быть легко пропущены.

На начальном этапе исследование минеральных ассоциаций из поисковых проб традиционно проводится минералогическими методами с визуальным отбором интересующих минералов под бинокулярным микроскопом. Такого рода работы актуальны для большинства видов твёрдых полезных ископаемых как в пределах древних кратонов, так и в окружающих их подвижных поясах. В пределах Сибирской платформы и её активизированных окраин особенно актуально изучение поисковых проб для выявления не только кимберлитовых, но и индикаторных минералов месторождений золота, платиноидов, редких металлов и редких земель (пироксид, колумбит, монацит и др.).

При изучении проб, к примеру, при алмазопоскоковых работах производится отбор преимущественно визуально легко диагностируемых индикаторных минералов кимберлитов, таких как алмаз, пироп, пикроильменит, хромит, хромдиопсид, оливин. Однако в качестве ИМК могут быть и другие минералы – циркон, апатит, хромистый рутил, муассонит, калиевый рихтерит. Критерии отбора определённых минералов в основном связаны с:

- предполагаемым минералогическим образом поискового объекта;
- трудозатратами на определение трудно диагностируемых минералов;
- наличием современной аналитической базы для получения важной, с точки зрения поисковых работ, информации из отдельных индикаторных минералов;
- наличием актуальных методов для обработки (мономинеральной термобарометрии для оценки мощности алмазоносной литосферы, классификационных диаграмм для определённых минералов в целях выяснения их петрогенетической принадлежности);
- наличием специалистов, способных грамотно интерпретировать данные, полученные с по-



мощью высокоточных аналитических методов.

Чтобы разобраться во всём многообразии морфологических особенностей минералов и получить объективный материал для реконструкции истории и условий формирования ореолов, в каждой пробе анализируется определённое количество характерных зёрен минералов, в максимальной мере отражающих особенности их морфологии. Необходимо изучить:

- первичные морфологические особенности (фрагменты овальной магматогенной поверхности, сколовые поверхности как результат коррозионного растрескивания, имеющиеся келифитовые каймы и корочки хлорита на пиропе, гидротермальный коррозионный рельеф на пиропе в разных формах его проявления, микропирамидальный рельеф на пикроильменитах и т.д.);
- механический износ зёрен в процессе формирования ореолов (визуально не фиксируется, слабый, средний, сильный, шероховатые механогенные поверхности, полированные механогенные поверхности, малые или большие радиусы закругления механогенных поверхностей);
- гипергенные изменения (кубоидный рельеф, каналы травления, кубоиды как устойчивая форма растворения, щели травления по межблоковым границам и др.) или их отсутствие;
- сочетание разных форм экзогенных изменений (износ докоррозионный и послекоррозионный, гипергенные изменения накладываются на механогенные поверхности или на первичные поверхности и т.д.).

Указанные морфологические особенности по-разному проявляются на минералах. Так, при прочих равных условиях механический износ пикроильменита более сильный, чем пиропе; пироп менее устойчив в условиях гипергенеза, чем пикроильменит; хромит более устойчив и механически, и физико-химически в сравнении с пиропом и пикроильменитом. Поэтому нужно исследовать все индикаторные минералы для характеристики их морфологических особенностей. Кроме того, необходимо задействовать методики использования минералов тяжёлой фракции терригенных пород как индикаторов палеогеодинамических обстановок [2].

На следующей стадии для построения минимально возможных дискриминационных диаграмм

с помощью рентгеноспектрального микроанализатора определяется химический состав минералов. Данная информация широко используется для минералогического районирования. Однако сейчас появились современные высокоскоростные, высокоточные, высокоразрешающие и, что особенно важно, дешёвые аналитические методы, которые позволяют существенно расширить комплекс исследуемых минералов и получать на порядок больше петрогенетической информации.

В настоящее время за рубежом крупными горными компаниями широко используется комплексная оценка минералов тяжёлой фракции из поисковых проб с привлечением современных высокоточных аналитических методов и автоматизированного машинного оборудования [6, 7 и др.]. Проводятся полный минералогический анализ проб и комплексное массовое исследование извлечённых из них минералов. В этом случае риск пропустить месторождение полезных ископаемых сводится к минимуму и появляется вероятность обнаружения проявлений полезных ископаемых, которые первоначально не рассматривались в качестве потенциально возможных на стадии составления поискового проекта.

К таким методам относится автоматизация процесса определения минеральных видов в стандартных шашках из эпоксидной смолы с применением сканирующего электронного микроскопа. В результате производится количественная оценка проб с детальной расшифровкой парагенетических ассоциаций, а также снимаются координаты с каждого зерна. Координаты используются на других приборах, на следующих стадиях исследования проб необходимо лишь автоматизировать процесс, что достаточно легко выполнимо. Кроме того, появляется возможность проводить анализ в автоматическом режиме и в ночное время, что значительно снижает его стоимость. Такой подход практикуется в компании Rio Tinto (устное сообщение заведующей аналитической лабораторией Сьюзи Эллу, 2016 г.). Возникающее при этом некоторое количество брака (до 5%) считается вполне приемлемым. И потом всегда можно переанализировать интересующие зёрна в ручном режиме.

На следующем этапе производится более надёжное определение химического состава (с помощью рентгеноспектрального микроанализатора) наиболее информативных, с точки зрения интерпретации петрогенетической информации, ми-

нералов. Используются уже определённые ранее координаты зёрен, что существенно ускоряет процесс исследования проб.

Другой высокоразрешающий, высокоточный, высокоскоростной и дешёвый метод – индуктивно-связанная плазменная масс-спектрометрия с лазерным пробоотборником (LAM-ICPMS) – в течение сравнительно короткого времени (~2,5 мин.) в зёрнах силикатов позволяет определить с высокой точностью содержание редких и рассеянных элементов [5]. Столько же времени понадобится для точечного установления U-Pb возраста (диаметр точки ~30–50 мкм) цирконов, рутилов, титанитов, апатитов и других минералов. По геохимическим характеристикам определённых минералов с использованием дискриминационных диаграмм в настоящее время определяются материнские породы источника и их петрогенетические характеристики. Датировка минералов даст исключительно важную информацию о возрасте предполагаемого объекта поиска – рудного тела, массива, жил, оруденения и т.д.

При необходимости получения изотопных характеристик объектов (Rb-Sr, Sm-Nd, Lu-Hf, Re-Os, O и др.) возможно применение как локальных методов анализа – SHRIMP, MC-LAM-ICPMS (для минералов с высокими содержаниями соответствующих элементов), так и термально-ионизационной масс-спектрометрии (TIMS) (для растворов препаратов). Однако данные виды анализов, как правило, намного дороже, требуют качественной пробоподготовки и больше времени, к примеру, для растворения проб и анализа.

С использованием данных полного минералогического анализа проб и результатов комплексного исследования минералов при опробовании больших территорий появляется возможность (с учётом их структурно-тектонического строения) выделения глубинных минерагенических зон и их спецификации по определённым рудным компонентам. С установлением возраста минерализации также становится возможным выяснение времени активизации упомянутых минерагенических зон или этапов их повторной реактивации. Комплексирование таких данных с имеющейся геологической, геофизической и геотектонической информацией позволяет проводить расшифровку геодинамических условий формирования минерагенических зон и делать прогноз о вероятных типах минерагенической специализации территории.

На основании результатов опробования базальных горизонтов осадочных отложений (керновых проб) можно говорить о наличии перекрытых или слепых рудных тел, которые крайне трудно обнаружить традиционными геолого-минералогическими методами.

Также необходимо шире применять физические методы исследования минералов, результаты которых могут быть учтены при изучении структурно-вещественного состояния минералов [1], но, главное, способствовать совершенствованию методов сепарации минералов в ходе обработки шлихоминералогических проб, что имеет первостепенное значение для повышения эффективности лабораторных работ и представительности анализируемых выборок минералов.

Принимая во внимание большое разнообразие современных аналитических средств изучения минерального вещества и нередко достаточно высокую их стоимость, необходимо на этапе подготовительных работ заранее намечать для включения в проект наиболее перспективный порядок лабораторно-аналитических исследований, учитывать требования к отбираемым на исследования минералам, их представительному количеству и другим параметрам для оптимального планирования пробоотбора. Современное высокотехнологическое аналитическое оборудование имеется в ФБУ ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) и в других крупных исследовательских центрах при федеральных университетах (гг. Казань, Томск, Новосибирск и др.).

Успешное преодоление вышеописанных проблем, наряду с совершенствованием и актуализацией к современному уровню прогнозно-поисковых технологий, связывается нами с переходом к двухэтапной реализации комплекса опережающих геолого-геофизических или прогнозно-минерагенических работ.

На первом этапе (подготовительный период) к началу опережающих геолого-геофизических работ или геолого-минерагенического картирования должны максимально полно решаться следующие задачи:

- оценка общей геологической и геофизической изученности территории, определение проблемных вопросов по её геологии, структурно-тектоническому строению, минерагении и легендам прогнозной или прогнозно-минерагенической карт;

- анализ изученности и опосредованности с обобщением и оценкой полноты и надёжности специализированной геолого-геофизической и геолого-минералогической информации;
- создание электронных банков данных с актуализацией геолого-поисковой информации и данных аналитических методов, представление их в геоинформационной среде;
- подготовка по результатам сбора и обобщения имеющихся пространственных данных сводных матриц на площадь работ с необходимым периферическим перекрытием;
- подготовка предварительных макетов актуализированной геологической карты, карты районирования по условиям ведения поисков, регистрационной карты искомого полезного ископаемого и предположительно связанных с ним признаков рудоносности;
- выделение опорных площадей для полевых исследований с определением оптимальной методики и технологической последовательности работ.

На втором этапе опережающих геолого-геофизических работ или геолого-минерагенического картирования выполняются полевые геолого-геофизические работы и блок современных аналитических и специализированных тематических работ с последующим созданием прогнозной или прогнозно-минерагенической карты проектного масштаба. При этом за первые два года работ обеспечивается локализация площадей, а в заключительный год – их детализация в необходимом объёме, что сейчас, при трехлётнем цикле, является практически недостижимой целью.

Помимо этого, при локализации и оценке прогнозных ресурсов следует предусмотреть рекомендации оптимального комплекса полевых и аналитических работ, необходимых для обнаружения и вскрытия коренных месторождений алмазов или других полезных ископаемых, и формирование максимально полного пакета данных о перспективности участков в целях усиления инвестиционной эффективности проводимых работ.

Двухэтапный подход позволяет существенно увеличить площадь территорий, вовлекаемых в изучение в рамках одного проекта. При производстве работ следует сделать акцент на следующих задачах и направлениях исследований.

1. Актуализация пространственных типов данных (геопотенциальные поля, структурные карты,

цифровые орографические данные, МДЗ и т.п.) и создание соответствующих матричных баз данных, охватывающих всю площадь работ с перекрытием её периферии. Полученные данные должны обеспечить максимально возможную (исходя из реальной изученности площади) равномерную достоверность интерпретационных и прогнозных построений, создающих базовый структурно-тектонический каркас территории, быть пригодными для хранения и использования в течение длительного времени, в случае необходимости должны обеспечить плавный переход к детализации отдельных участков в более крупных масштабах.

2. Актуализация и подготовка электронных банков данных, специализированных по основному виду (видам) твёрдых полезных ископаемых, ожидаемому на площади с перспективой их долговременного применения и пополнения.

3. Выявление зон и участков рудогенеза, в том числе элементов трансплатформенных и трансформных тектонических структур, как основных источников рудного вещества с установлением их специализации, времени активизации и других параметров на основе современных аналитических методов изучения минерального вещества.

4. Максимальное расширение изучаемого перечня минералов, извлекаемых из геологических проб, отобранных в ходе полевых исследований, и спектра аналитических методов их исследования в целях повышения комплексности оценки параметров выделяемых минерагенических таксонов (зон, узлов, полей) по аналогии с работами по комплексной оценке рудного потенциала больших по площади геологических районов, выполняемыми крупными зарубежными горно-геологическими компаниями.

Решение перечисленных задач в рамках производства опережающих геолого-геофизических или прогнозно-минерагенических работ позволит существенно повысить уровень достоверности прогнозной и прогнозно-минерагенической оценки больших территорий и заложить основы для быстрого перехода к проведению работ более детальных стадий в пределах локализованных рудных таксонов (зон, полей, узлов, кластеров).

Учитывая, с одной стороны, большой объём накопленной по любому региону Сибирской платформы и её активизированным окраинам очень разнородной, разномасштабной и разноплановой геолого-геофизической информации, требующей

актуализации и сведения в базы данных, а с другой – общую удалённость и сложную транспортную доступность региона, необходимы тщательный подход к выбору ключевых участков полевых работ, обоснование эффективной методики исследований и оптимальных логистических решений. Поэтому опережающие геолого-геофизические или прогнозно-минерагенические работы целесообразно разбивать на два этапа:

- подготовительный период, включающий сбор и актуализацию данных, создание электронных баз, дистанционных основ и выделение ключевых участков, продолжительностью 2–2,5 года;
- собственно опережающие геолого-геофизические или прогнозно-минерагенические работы с выполнением комплекса полевых, лабораторно-аналитических, камеральных и специализированных (по видам твёрдых полезных ископаемых) работ с составлением итоговой карты и отчёта продолжительностью 3 года.

Двухэтапная реализация опережающих геолого-геофизических или прогнозно-минерагенических работ основана на:

- охвате в рамках одного проекта больших минерагенических таксонов типа алмазоносного района и других соразмерных минерагенических единиц;
- максимально широком использовании качественно подготовленных пространственных данных;
- расширении пространства прогнозирующих характеристик и предпосылок;
- целевом полевом опробовании опорных участков;
- расширении комплекса изучаемых минералов;
- увеличении спектра современных аналитических методов исследования минералов;

- усилении инвестиционной эффективности работ.

Всё это позволит расширить возможности и повысить эффективность опережающих и прогнозно-минерагенических работ на обширных и труднодоступных территориях Сибири и Арктики, требующих актуализации их перспектив и переоценки прогнозных ресурсов на новом уровне технологий и геологических знаний.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ибрагимов Ш.З., Мишенин С.Г., Осин Ю.Н.* Выявление зависимости состава и условий образования пикроильменитов трубки Зарница (Якутия) по данным терромагнитных исследований // Геология и геофизика. 2014. № 3. С. 505–515.
2. *Малиновский А.И., Маркевич П.В., Тучкова М.И.* Тяжёлые обломочные минералы терригенных пород как индикаторы геодинамических обстановок в палеобассейнах орогенных областей востока Азии // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. Вып. № 8. С. 97–111.
3. *Мишенин С.Г.* Проблемы прогнозирования коренных источников алмазов с использованием пространственных данных // Конференция «Алмазы Сибири и арктических регионов мира – история, настоящее и будущее», VI Междунар. горно-геологический форум «Мингео Сибирь 2012», Тезисы докладов. Красноярск, 2012. С. 89–98.
4. *Прусакова Н.А., Громцев К.В.* Локализация алмазоперспективных территорий европейской части России на основе глубинного геолого-геофизического районирования // Руды и металлы. 2011. № 3–4. С. 53–64.
5. *Malkovets V.G., Griffin W.L., O'Reilly S.Y., Wood B.J.* Diamond, subcalcic garnet, and mantle metasomatism: kimberlite sampling patterns define the link // *Geology*. 2007. Vol. 35. P. 339–342.
6. *Mange M.A., Wright D.T.* Heavy minerals in use // *Developments in Sedimentology*. 2007. Vol. 58.
7. *Quantitative Mineralogy and Microanalysis of Sediments and Sedimentary Rocks* / P.Sylvester, ed. // *Mineralogical Association of Canada Short Course*. 2012. Vol. 42.

## PROBLEMS OF ADVANCED GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL AND FORECASTING-MINERAGENIC STUDIES ARRANGEMENT AND IMPLEMENTATION IN REMOTE SIBERIAN AND ARCTIC REGIONS

S.G.Mishenin<sup>1</sup>, A.I.Dak<sup>1</sup>, V.G.Malkovets<sup>2</sup>, Yu.V.Utyupin<sup>1</sup>, G.Z.Yavorskaya<sup>1</sup>, Yu.T.Yanygin<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup> SNIIGIMS, <sup>2</sup> IGM SB RAS)

*Methodical issues of forecasting-mineragenic studies resulting in identification of confirmed and developed areas for diamond and other nonfuel mineral prospecting are discussed. Main aspects of 3D data use, field heavy concentrate mineralogical works and analytical mineral studies are analyzed. The need of two-stage forecasting-mineragenic studies is substantiated.*

*Keywords: forecasting-mineragenic studies, diamond prospecting, forecasting, heavy concentrate mineralogical sampling, 3D data, taxon, diamond.*





## **О МЕТОДИКЕ ИЗУЧЕНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА ПРИМЕРЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ЛОГ 26 ТОПОЛЬНИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ, АЛТАЙСКИЙ КРАЙ**

*Приведены существующие рекомендации по изучению золотосодержащих руд. Рассмотрены и обобщены результаты изучения руд и вмещающих пород проявления Лог 26, которые послужили основанием для составления методики изучения золотосодержащих руд при проведении поисковых работ.*

*Ключевые слова: методические рекомендации, золотосодержащие руды, проявление Лог 26, поисковые работы, методика изучения.*

В золотосодержащих рудах золото представлено главным образом в самородном виде. Оно обычно содержится в кварце и сульфидах, но может присутствовать и в других порообразующих минералах, часто в рассеянном тонкодисперсном состоянии. При выполнении геологоразведочных работ, конечным результатом которых является подсчёт запасов или оценка прогнозных ресурсов золота, изучение золотосодержащих руд регламентировано Методическими рекомендациями [1], разработанными Федеральным государственным учреждением «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых» и утверждёнными распоряжением МПР России № 37-Р от 05.06.2007 г. Методы изучения вещественного состава и технологических свойств золотосодержащих руд подробно изложены в книге «Методика исследования золотосодержащих руд» [3], до сих пор служащей практическим руководством.

Предварительная оценка промышленной значимости руд начинается на поисковой стадии, когда рассматриваются масштаб оруденения, вещественный состав и в меньшей степени технологические свойства потенциально золотых руд. В качестве примера приведём проявление Лог 26, которое размещается на юго-востоке Топольнинского рудного поля в Солонешенском районе Алтайского края. Топольнинское рудное поле является составной частью Ануйского медно-золоторудно-россыпного узла Северо-Алтайского золоторудного пояса.

Первые признаки золоторудной минерализации в левом борту Лога 26 выявлены в 1954 г. Е.Е.Перфиловым. С 1954 по 2002 гг. изучение руд и рудовмещающих пород осуществлялось периодически по общеизвестной методике, при этом химический состав их определялся с применением полуколичественного спектрального, спектрохимического и пробирного анализов бороздовых и керновых проб, а минеральный – в шлифах, аншлифах и шлихах (М.Ф.Розен, 1957 г.; В.С.Рузаев, 2002 г.). Промышленные

**Рожченко  
Виталий Антонович**  
ведущий геолог  
roscpis@mail.ru

АО «Горно-Алтайская экспедиция»,  
с. Малоенисейское

концентрации золота были выявлены в роговиках, ороговикованных алевролитах, мергелях, ороговикованных алевролитах с линзами известняков, скарнированных известняках, андезитах. Минеральный состав руд: кварц, полевой шпат, слюды, кальцит, гранат, эпидот, пироксен, везувиан, скаполит. Из рудных минералов выделены пирит, халькопирит, арсенопирит, галенит, количество которых в совокупности не превышало 0,2%. Спорадически отмечались тетрадимит, бисмутит, халькозин, киноварь, хромит, шеелит, гематит, касситерит, висмутин. Самородное золото установлено в микротрещинах породообразующих минералов и частично изучено (В.С.Рузаев, 2002 г.).

В 2001 г. вещественный состав и технологические свойства руд проявления Лог 26 изучены сотрудниками Иркутского научно-исследовательского института благородных и редких металлов и алмазов (ОАО «ИРГИРЕДМЕТ») (Д.И.Коган, 2001 г.). Объектом изучения была лабораторная проба массой 289 кг, отобранная из золотосодержащей руды, вскрытой канавой 201 в интервале 1,0–17,0 м в северной части проявления. Проба состояла из скарноподобной породы и роговика с незначительной примесью диоритового порфирита. Содержание Au 3,3–3,8 г/т, Ag <2 г/т. По результатам химического и фазового анализов в пробе отсутствовали  $S_{\text{общ.}}$ ,  $S_{\text{окисл.}}$ ,  $S_{\text{сульфид.}}$ , Sb, Pb, Ni. Содержание Co,  $WO_3$ , Cu, Se, Te, Sn составило <0,001%, Zn – 0,007, Bi – 0,002, Mo – 0,001, Cd – 0,005, Ba – 0,032, As – 0,001,  $Fe_{\text{общ.}}$  – 5,31,  $Fe_{\text{окисл.}}$  – 1,25%. Кроме того, в пробе содержатся, %:  $SiO_2$  47,14,  $Al_2O_3$  13,00, CaO 19,63,  $Fe_2O_3$  7,59, MgO 3,57, MnO 0,14,  $TiO_2$  0,72,  $K_2O$  3,80,  $Na_2O$  2,82,  $P_2O_5$  0,21. Минеральный состав пробы, %: диопсид – 64,8, кварц – 12,0, гранаты – 9,5, полевые шпаты, плагиоклазы, слюды, каолин в совокупности – 8,0, амфиболы с хлоритом – 4,2, оксиды железа и марганца – 1,2, апатит, сфен, флюорит, циркон, барит, шеелит, эпидот в совокупности – 0,3. По результатам фазового анализа общее количество цианируемого золота в руде 94%, в том числе свободного амальгамирующегося 57,6% и в сростках 36,4%. Тонковкрапленное золото в породообразующих минералах составляет 6%, а заключённое в сульфидах не выявлено. В изученной пробе весовое количество свободного золота в классе крупности +0,074...–2 мм составляет 44,1%, в классе –0,074 мм – 55,9%.

Таким образом, по результатам химического, фазового и минералогического анализов в пробе

не обнаружены сульфиды и теллуриды, т.е. по признаку наличия промышленно ценных компонентов руда монометаллическая. Золото находится в самородном виде и ассоциирует со всеми породообразующими минералами, его проба 890–978‰ (шесть определений). В золоте постоянно присутствуют Ag от 1,91 до 2,11% и Cu от 0,01 до 0,02%. Извлечение золота в концентрат при гравитационном обогащении руды, измельчённой до 2 мм, составило от 37,63 до 45,05%, а при обогащении материала крупностью –0,2 мм – 55,25%. После цианирования хвостов гравитации общее извлечение золота составило 95,52%. При сорбционном цианировании исходной руды извлекается 94–95% золота, при кучном выщелачивании 56–61%. Для переработки руд рекомендованы два варианта технологических схем: гравитация плюс цианирование хвостов гравитации и сорбционное цианирование исходной руды (Д.И.Коган, 2001 г.).

В 1996–2013 гг. сотрудниками Алтайской государственной академии образования им. В.М.Шушкина в Солонешенском рудном районе выполнены научно-исследовательские работы, в том числе по теме «Исследование закономерностей формирования редкометалльного и золото-черносланцевого оруденения» [7]. Были «...изучены более детально рудовмещающие породы, магматизм и минерализация месторождения Лог № 26, что позволило рассматривать его как весьма перспективный золото-черносланцевый объект. Золотоносные породы представляют собой скарноиды...» [7, с. 173]. В осадочных породах установлен органический углерод сапропелевого типа в количестве от 0,3 до 1,5%, обладающий адсорбционными свойствами. В ороговикованных и метасоматически изменённых породах содержание  $C_{\text{орг.}}$  уменьшается до 0,1–0,9%. В рудах и во вмещающих породах выделены и изучены три генерации пирита, галенит, две разновидности арсенопирита, халькопирит, халькозин, борнит и тетрадимит; общее количество сульфидов не более 2%. В перечисленных минералах количественно определены элементы-примеси, включая золото.

В 2012–2014 гг. сотрудниками ОАО «Горно-Алтайская экспедиция» в Топольнинском рудном поле в ходе поисковых работ на золото в пределах проявления Лог 26 пройдены шесть канав суммарной протяжённостью 825,4 м, пробурены четыре скважины общим объёмом 990,7 м, продолжилось изучение вещественного состава золотосодержа-

щих руд (В.А.Рожченко, 2014 г.). На основании выполненных и с учётом предшествующих работ уточнено геологическое строение проявления, получены дополнительные данные по вещественному составу золотосодержащих руд, оценены прогнозные ресурсы золота категории  $P_1$ .

Проявление Лог 26 локализовано в северо-восточной части Нижнекараминского тектонического блока, сложенного осадочными карбонатно-терригенными породами палатинской свиты раннего силура, прорванными дайками различного состава (рис. 1). Карбонатно-терригенные отложения имеют крутое ( $60-85^\circ$ ) юго-западное падение. Дайковые тела топольнинского габбро-гранодиорит-гранитового комплекса среднего девона преимущественно субслоистые, редко северо-восточного простирания. Породы в разной степени подвергнуты контактово-метаморфическим и частично метасоматическим изменениям.

Выходы золоторудных тел отмечаются на приподраздельном склоне юго-западной экспозиции и в водораздельной части между Логом 26 и руч. Рыбный; простирание северо-западное. Оруденение приурочено к интервалу перехода терригенных отложений к толще известняков. Данный интервал характеризуется фациальной изменчивостью пород. По результатам проведённых работ оконтурены восемь рудных тел, в том числе шесть с кондиционными ресурсами. Рудные тела прослежены по простиранию канавами через 15–200 м, скважинами через 20–200 м, а по падению – от 15 до 230 м. Из шести рудных тел четыре пластообразной и два линзообразной формы. Их простирание от северо-западного до северо-северо-восточного, падение крутое ( $60-85^\circ$ ) юго-западное-западное. Длина тел от 200 до 800 м, истинная мощность от 0,9 до 4,6 м. Золоторудные тела не имеют чётких геологических границ и выделяются по данным опробования. Они не выдержаны по простиранию и мощности, постепенно выклиниваются, по отношению к вмещающим породам согласные или контактовые. Погружение рудных тел северо-северо-западное. В зоне гипергенеза дезинтегрированы и частично лимонитизированы до глубины 1–10 м от поверхности. Содержание Au в рудных пересечениях от 0,54 до 7,25 г/т, в рудных телах от 1,25 до 2,59 г/т, среднее 2,01 г/т. Содержание Ag в рудных пересечениях <0,20 г/т. Прогнозные ресурсы золота категории  $P_1$  6,99 т. По характеристикам изменчивости основных свойств орудене-

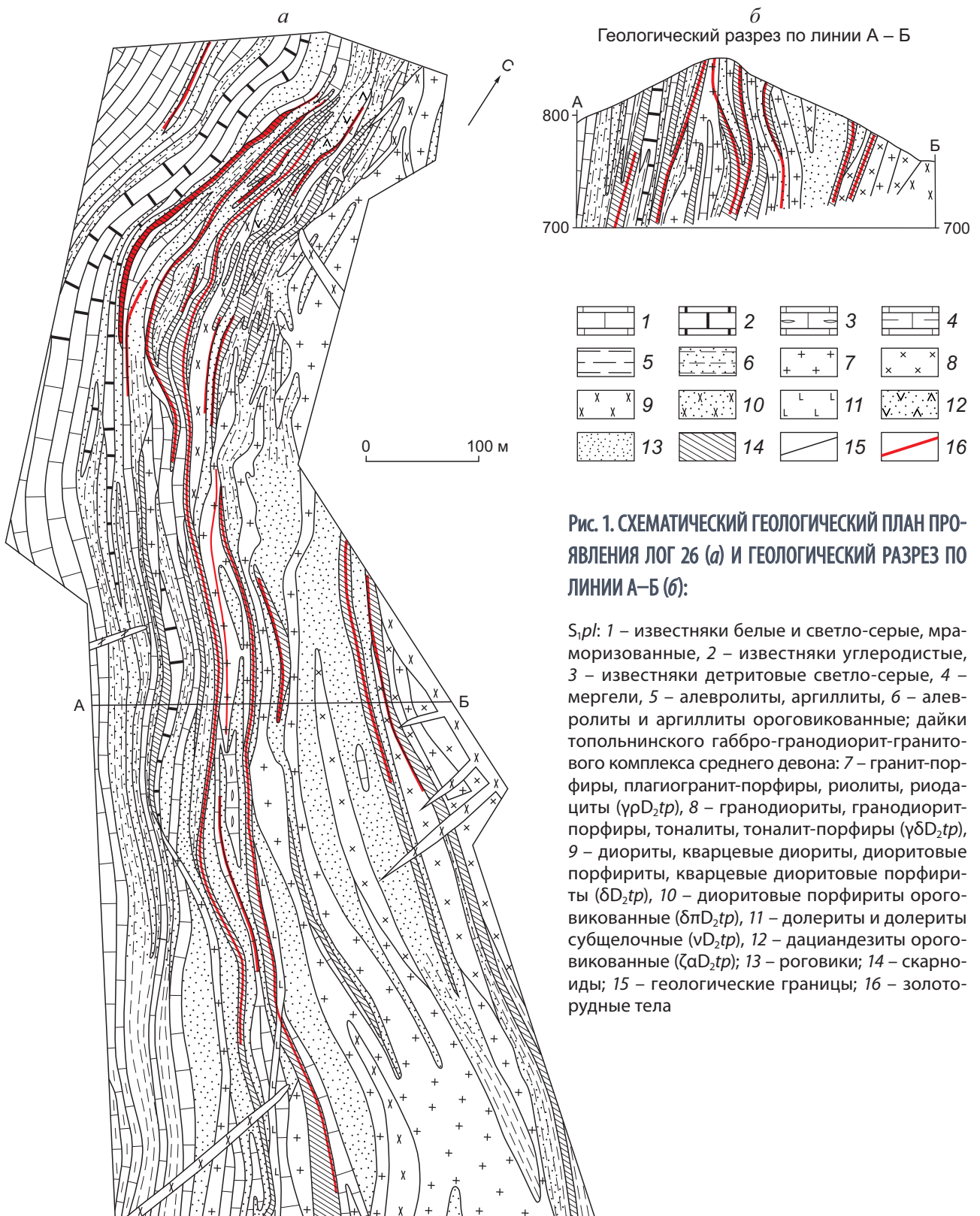
ния [1] проявление Лог 26 относится ко второй группе сложности геологического строения.

Имеющиеся конкретные золоторудные пересечения свидетельствуют о том, что ~90% прогнозных ресурсов золота локализованы в рудных телах, сложенных породами, отнесёнными к скарноидам [6], которые состоят преимущественно из диопсида, граната, кварца, полевых шпатов, сопутствующих амфиболов, хлорита, эпидота, цоизита, кальцита, пренита. Редко наблюдается неравномерная вкрапленность сульфидов (пирит, арсенопирит, халькопирит, борнит, халькозин, блеклая руда) и теллуридов в количестве, не превышающем 0,5%. Структура скарноидов гранобластовая и микрогранобластовая, текстура полосчатая, пятнистая; встречаются фрагменты слоек мраморизованного известняка, мергеля, углеродистого алевролита, песчаников, т.е. пород, по которым, по-видимому, скарноиды образовались. Скарноиды визуально, а также по минеральному и химическому составам схожи с роговиками и весьма существенно отличаются от скарнов, которые в Топольнинском рудном поле распространены на участках Сухая Грива, Чёртова Грива, Чёртова Яма, Кирпичный. Это отличие подтверждается данными химического анализа керновых и бороздовых проб, содержащих Au от 0,18 до 9,32 г/т. (табл. 1).

Около 10% прогнозных ресурсов золота локализованы в жильно-прожилковых зонах [7] изменённых риолитов, риодацитов и кварцевых монцодиорит-порфиритах. В перечисленных породах отмечаются различно ориентированные прожилки кварца в количестве от 1 до 5% от объёма породы, а также единичная вкрапленность пирита и арсенопирита.

Таким образом, руководствуясь методическими рекомендациями [1], по минеральному составу можно выделить два типа руд. Руды, представленные скарноидами, следует условно отнести к золото-силикатному типу [1], а руды, представленные вулканическими породами с жильно-прожилковыми зонами, – к золото-кварцевому или к золото-сульфидно-кварцевому [1].

Содержание золота методом предварительного гравитационного концентрирования определялось в ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр» (г. Новокузнецк). Исследованы пять хвостов обработки бороздовых проб массой от 4,4 до 4,7 кг, отобранных из золото-силикатных руд с содержанием Au по пробирному анализу от 0,54 до 8,74 г/т



**Рис. 1. СХЕМАТИЧЕСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПЛАН ПРОЯВЛЕНИЯ ЛОГ 26 (а) И ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ А–Б (б):**

*S,pl:* 1 – известняки белые и светло-серые, мраморизованные, 2 – известняки углеродистые, 3 – известняки детритовые светло-серые, 4 – мергели, 5 – алевролиты, аргиллиты, 6 – алевролиты и аргиллиты ороговикованные; дайки топольнинского габбро-гранодиорит-гранито-комплекса среднего девона: 7 – гранит-порфиры, плагиогранит-порфиры, риолиты, риодациты ( $\gamma\delta D_2tp$ ), 8 – гранодиориты, гранодиорит-порфиры, тоналиты, тоналит-порфиры ( $\gamma\delta D_2tp$ ), 9 – диориты, кварцевые диориты, диоритовые порфиры, кварцевые диоритовые порфиры ( $\delta D_2tp$ ), 10 – диоритовые порфиры ороговикованные ( $\delta\pi D_2tp$ ), 11 – долериты и долериты субщелочные ( $\nu D_2tp$ ), 12 – дациандезиты ороговикованные ( $\zeta\alpha D_2tp$ ); 13 – роговики; 14 – скарноиды; 15 – геологические границы; 16 – золоторудные тела



## 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ СКАРНОИДОВ, РОГОВИКОВ И СКАРНОВ ТОПОЛЬНИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ, МАСС. %

Породы	Число проб	Среднее содержание											
		SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S <sub>общ.</sub>
Скарноиды	33	44,28	0,55	11,05	6,94	3,41	0,20	4,45	24,96	0,76	0,99	0,12	0,10
Роговики	6	44,26	0,67	12,88	7,37	3,18	0,14	4,86	22,60	0,63	1,99	0,14	0,10
Скарны	45	40,06	0,22	7,91	16,61	2,25	1,13	1,55	28,92	0,08	0,14	0,06	0,10

## 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУППОВЫХ И РЯДОВЫХ ПРОБ ПО ТИПАМ РУД

Типы руд	Число групповых проб, шт.			Число рядовых проб, шт.		
	всего	бороздовых	керновых	всего	бороздовых	керновых
Золото-силикатный	7	4	3	28	21	7
Золото-кварцевый	4	-	4	25	-	25
Итого	11	4	7	53	21	32

(среднее 2,79 г/т). По результатам испытаний содержание Au в хвостах составило от 0,36 до 7,85 г/т (среднее 2,35 г/т), а его выход в концентрат – от 16,73 до 35,43% (средний 30,52%), что несколько ниже показателей технологической пробы (Д.И.Коган, 2001 г.).

Самородное золото изучалось сотрудниками ФГУП ЦНИГРИ на монтированных аншлифах [6]. Исследованы частицы золота, выделенные из 13 шлихов, полученных путём промывки хвостов обработки семи бороздовых и шести керновых проб, отобранных из золото-силикатных руд. Содержание Au в бороздовых пробах от 0,56 до 8,74 г/т, в керновых от 1,44 до 2,94 г/т. Частицы золота размером от 0,1 до 1,0 мм комковидной, интерстициальной и трещинно-прожилковой форм, его проба от 798 до 976‰ (девять определений). В золоте постоянно присутствуют Ag от 6,29 до 20,14 масс. % и Te от 0,015 до 0,055 масс. %, частота встречаемости других элементов (As, Sb, Sn, Cu, Zn, Pb, Hg, W, Pt, Pd) колеблется от 89 до 22%.

Из 15 определений пробы золота (с учётом технологической пробы) частота встречаемости пробы 798‰ составляет ~7%, в остальных случаях от 890 до 978‰. Химический состав руд изучался на 11 групповых пробах, составленных из 53 рядовых (табл. 2).

Групповые пробы изучались количественным химическим и фазовым анализами в ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр», силикатный анализ выполнен в ООО «Химико-аналитический центр Плазма» (г. Томск). Всего, с учётом 16 бороз-

довых проб, вошедших в состав технологической пробы, проанализировано 37,4% от общего количества рядовых проб, участвующих в оценке прогнозных ресурсов золота категории P<sub>1</sub>. Результаты анализов приведены в табл. 3. Сульфидные формы мышьяка и сурьмы не определялись по причине их малого общего содержания. Из таблицы следует, что выделенные два типа руд различаются не только по минеральному составу, но и по количеству ряда химических компонентов (Au, SiO<sub>2</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, C<sub>орг.</sub>, C<sub>общ.</sub>, CO<sub>2</sub>). По содержанию SiO<sub>2</sub> золото-силикатные руды близки к рудам вышеописанной технологической пробы (SiO<sub>2</sub> от 37,38 до 47,14%), но существенно отличаются от золото-кварцевых руд (SiO<sub>2</sub> от 59,45 до 74,97%). Содержание общей и сульфидной серы находится на уровне чувствительности анализа. Качество и количество компонентов, входящих в состав сульфидов и теллуридов в золото-силикатных и золото-кварцевых рудах, практически не различаются. Весьма низкие содержания попутных полезных компонентов и вредных примесей, часто на уровне или ниже порога чувствительности химического анализа, свидетельствуют об относительной монометалльности руд, т.е. руды существенно золотые.

Первичные руды и руды из зоны поверхностного гипергенеза по химическому составу (табл. 4) различаются незначительно. Содержание сульфидной серы и в тех, и других рудах находится на уровне чувствительности анализа, что указывает на весьма низкое общее количество сульфидов. В первичных рудах следует ожидать незначитель-

### 3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИНЕРАЛЬНЫХ ТИПОВ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД ПРОЯВЛЕНИЯ ЛОГ 26, масс. %

Компоненты	Золото-силикатные руды			Золото-кварцевые руды		
	От	До	Среднее	От	До	Среднее
Au*	0,68	3,60	1,89	0,68	1,40	0,80
Ag*	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
SiO <sub>2</sub>	37,38	49,95	43,86	59,45	74,97	67,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,71	12,95	11,11	11,64	13,64	12,82
TiO <sub>2</sub>	0,298	0,670	0,562	0,265	0,660	0,416
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,13	7,37	6,61	2,99	7,25	4,70
FeO	1,53	3,99	3,12	2,55	5,12	3,48
CaO	21,21	32,48	25,73	2,10	11,08	7,65
MgO	2,32	5,46	4,42	0,94	3,09	1,14
MnO	0,126	0,226	0,168	0,054	0,122	0,095
Na <sub>2</sub> O	0,305	1,08	0,60	2,26	2,99	2,71
K <sub>2</sub> O	0,275	1,990	1,084	2,75	4,11	3,18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,061	0,138	0,114	0,088	0,135	0,103
S <sub>общ.</sub>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
S <sub>сульфид.</sub>	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Cu <sub>общ.</sub>	0,005	0,046	0,012	0,010	0,025	0,018
Cu первичных сульфидов	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cu вторичных сульфидов	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Pb <sub>общ.</sub>	<0,02	<0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Pb <sub>сульфид.</sub>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Zn <sub>общ.</sub>	0,005	0,048	0,013	0,005	0,007	0,006
Zn <sub>сульфид.</sub>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Fe <sub>общ.</sub>	2,90	4,97	4,54	2,08	4,92	3,26
Fe пирита	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15
As	0,001	0,025	0,004	0,001	0,001	0,001
Sb	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Bi	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Mo	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Se	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Te	0,0013	0,0023	0,0016	0,0012	0,0019	0,0017
Hg*	0,01	0,14	0,038	0,02	0,06	0,035
C <sub>орг.</sub>	0,03	0,23	0,12	0,01	0,15	0,07
C <sub>общ.</sub>	0,20	4,36	1,33	0,04	0,39	0,20
CO <sub>2</sub>	0,61	15,14	4,41	0,10	0,88	0,48

\* Содержание Au, Ag, Hg в г/т.

ное количество сульфидов железа, меди и мышьяка, а также теллуридов. В рудах из зоны гипергенеза увеличение содержания органического углерода может говорить о наличии в пробах растительных остатков, а повышенные концентрации CO<sub>2</sub> и CaO – о присутствии натёчных форм кальцита.

На основании изложенного можно заключить следующее: количество сульфидов и теллуридов ожидается одинаково низким в первичных золото-силикатных и золото-кварцевых рудах; глубина зо-

ны выветривания не более 10 м и ею можно пренебречь; основное полезное ископаемое – золото, содержание которого в минералах установлено А.И.Гусевым и др. [7]; в рудах отсутствуют попутные полезные компоненты и вредные примеси. Всё это позволяет составить общий предварительный баланс распределения золота в рудах по формам минеральных соединений. Для этого использован перечень основных минералов (табл. 5), входящих в состав руд, в том числе сульфидов и теллуридов,

#### 4. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЕРВИЧНЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД И РУД ИЗ ЗОНЫ ПОВЕРХНОСТНОГО ГИПЕРГЕНЕЗА, масс. %

Компоненты	Первичные (семь групповых проб)			Из зоны гипергенеза (четыре групповые пробы)		
	От	До	Среднее	От	До	Среднее
Au*	0,68	3,60	1,45	0,68	3,04	1,57
Ag*	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
S <sub>общ.</sub>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
S <sub>сульфид.</sub>	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Cu <sub>общ.</sub>	0,005	0,046	0,018	0,005	0,012	0,007
Cu первичных сульфидов	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Pb <sub>общ.</sub>	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,03	<0,02
Pb <sub>сульфид.</sub>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Zn <sub>общ.</sub>	0,005	0,009	0,007	0,005	0,048	0,017
Zn <sub>сульфид.</sub>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Fe <sub>общ.</sub>	2,08	4,96	3,88	2,90	4,97	4,42
Fe пирита	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15
As	0,001	0,025	0,004	0,001	0,001	0,001
Te	0,0012	0,0019	0,0016	0,0013	0,0023	0,0016
Hg*	0,01	0,14	0,044	0,01	0,04	0,025
C <sub>орг.</sub>	0,01	0,15	0,06	0,12	0,23	0,18
C <sub>общ.</sub>	0,04	0,85	0,36	0,90	4,36	1,90
CO <sub>2</sub>	0,10	2,90	1,10	2,64	15,14	6,29
CaO	2,10	27,60	15,81	21,21	32,48	25,02

\* Содержание Au, Ag, Hg в г/т.

#### 5. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ БАЛАНС РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОЛОТА В РУДАХ ПРОЯВЛЕНИЯ ЛОГ 26 ПО ФОРМАМ МИНЕРАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

№№ п/п	Минералы, их химические формулы	Содержание					
		в золотосодержащей руде, %			в минерале, г/т (с)	в руде	
		от	до	среднее (n)		$\frac{n \cdot c}{100}$ , г/т	%
1	Пирит FeS <sub>2</sub>	0,16	0,16	0,16	10,1	0,016	0,80
2	Галенит PbS	0,011	0,035	0,014	3	0,0004	0,02
3	Арсенопирит FeAsS	0,002	0,05	0,006	742,5	0,045	2,24
4	Халькопирит CuFeS <sub>2</sub>	0,0003	0,027	0,0084	5	0,0004	0,02
5	Халькозин Cu <sub>2</sub> S	0,0025	0,027	0,0084	180	0,015	0,75
6	Борнит Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	0,0003	0,027	0,0085	85,6	0,007	0,35
7	Итого	0,176	0,326	0,205		0,084	4,18
8	Тетрадимит Bi <sub>2</sub> Te <sub>2</sub> S	0,003	0,006	0,004	1800	0,07	3,48
9	Итого с тетрадимитом	0,179	0,332	0,209		0,154	7,66
10	Породообразующие			99,791		1,856	92,34
11	Всего			100		2,01	100

определённых по материалам петрографических и минераграфических исследований. Затем, с учётом результатов вышеприведённых химического, фазового анализов и теоретического содержания элементов в минералах, расчётным путём опреде-

лено количество каждого сульфида и тетрадимита. Среднее количество молибденита в руде 0,01%, но в таблицу он не включён, поскольку в нём не определялось содержание золота, которое в каждом минерале принято по данным А.И.Гусева и др. [7].

Последними были выявлены три генерации пирита, в том числе фрамбоидальный, в расчёт включено содержание золота в пирите III. Кроме того, ими выделены две разновидности арсенопирита с содержанием Au в одном 45 и 125 г/т, в другом – 1400 г/т, в расчёт принято среднее содержание Au 742,5 г/т. На основании приведённых данных составлен предварительный баланс распределения золота в рудах (см. табл. 5), исходя из его среднего содержания 2,01 г/т, апробированного в ФГУП ЦНИГРИ по состоянию на 01.01.2015 г.

Таким образом, расчётные данные показывают, что среднее количество сульфидов и теллуридов в руде в совокупности не превышает 0,3%. На их долю приходится 7,8% всего золота, а 92,2% самородного золота находится в породообразующих минералах. Это уточняет выводы, сделанные сотрудниками ОАО «ИРГИРЕДМЕТ» в 2001 г. (Д.И.Коган и др., 2001 г.) о том, что в зоне поверхностного гипергенеза золотосодержащие руды практически монометалльные, а ниже в руде появляется незначительное количество сульфидов и теллуридов.

Объёмная масса руд определена на 56 образцах методом гидростатического взвешивания, в том числе на 16 образцах с предварительным парафинированием, и составляет для золото-силикатных руд (40 обр.) 2,94–3,21 т/м<sup>3</sup>, средняя 3,07 т/м<sup>3</sup>, для золото-кварцевых руд (16 обр.) 2,61–2,79 т/м<sup>3</sup>, средняя 2,66 т/м<sup>3</sup>.

Основные выводы по изучению золотосодержащих руд проявления Лог 26 соответствуют методическим рекомендациям [1] и сводятся к следующему:

- в результате изучения вещественного состава руд предварительно установлены две природные разновидности – золото-силикатные и золото-кварцевые, отличающиеся по химическому, минеральному составам, структурно-текстурным особенностям и объёмной массе;
- предварительно изучены технологические свойства золото-силикатных руд, переработка которых возможна по двум схемам: гравитация+цианирование хвостов гравитации или сорбционное цианирование исходной руды;
- золото-кварцевые руды, содержащие SiO<sub>2</sub>>60%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub><13%, As<0,8% и Sb<0,3%, могут использоваться в качестве флюса на металлургических заводах [1];
- предварительно выделенные две разновидности руд могут представлять собой самостоятель-

ные промышленные (технологические) типы, селективная отработка которых возможна открытым способом; схемы их отдельной переработки уточняются при проведении оценочных и разведочных работ.

В 2012–2014 гг. соисполнителем госконтракта по объекту «Поиски золота в пределах Топольнинского рудного поля (Алтайский край)», раздел «Изучение вещественного состава руд и околорудных метасоматитов золоторудных проявлений Топольнинского рудного поля (Алтайский край)» был Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Сотрудниками университета под руководством доктора геол.-минер. наук В.Г.Ворошилова в золотосодержащих рудах и во вмещающих породах проявления Лог 26 частично изучены породообразующие минералы, сульфиды, теллуриды, составлена схема последовательности минералообразования участка Лог 26 [4].

Опыт исследования руд золота и вмещающих пород рудопроявлений Топольнинского рудного поля на поисковой стадии позволяет рекомендовать изучение вещественного состава монометалльных, убогосульфидных золото-силикатных (скарновых) и золото-кварцевых руд по описанной ниже методике. На начальной стадии определяется предмет изучения, т.е. на основании пробирного анализа рядовых бороздовых и керновых проб оконтуриваются золоторудные пересечения с использованием кондиций, применительных к данному региону, а также предварительно устанавливается химический состав руд по результатам спектрального анализа рядовых проб.

Золоторудные пересечения изучаются макроскопически непосредственно в горных выработках и в керне скважин. Отбираются образцы, которые должны представлять все разнородные составляющие руды (первичные и окисленные минералы, вмещающие породы, сростки минералов). Образцы также необходимы для определения объёмной массы руды. Из наиболее характерных образцов изготавливаются прозрачные, прозрачно-полированные шлифы и полированные (аншлифы), которые затем рассматриваются под микроскопом.

Часто шлифы, изготовленные из образцов, не представительны для золоторудного пересечения и тем более для руд всего рудопроявления, поэтому в процессе их изучения целесообразно ограничиться качественным определением минералов, в том числе и качественной характеристикой

самородного золота. Количество минералов лучше определять на брикетных шлифах, изготовленных из измельчённого материала руд групповых проб, которые являются представительными для изучения минерального, химического составов руд и фазового анализа рудного золота.

«Порядок объединения рядовых проб в групповые, их размещение и общее количество должны обеспечивать равномерное опробование основных разновидностей руд на попутные компоненты и вредные примеси и выяснение закономерностей изменения их содержаний по простиранию и падению рудных тел» [1, с. 25].

Масса одной групповой пробы складывается из совокупности масс отдельных навесок, необходимых для проведения лабораторных исследований, которые, исходя из вышеперечисленных рекомендаций, должны сводиться к следующему:

- для изучения минерального состава руд достаточно изготовить два брикетных шлифа – прозрачный и полированный (аншлиф), для чего потребуется 100–150 г материала руд, измельчённого до 2 мм;
- для фазового анализа рудного золота необходимо 0,8–1,0 кг материала руд с размером частиц не более 2 мм;
- химический, фазовый анализы руд и пробирный анализ на платиноиды возможен из навески массой 300–500 г, истёртой до 0,074 мм;
- определение содержания основных компонентов (золота и серебра) целесообразно проводить с предварительным гравитационным концентрированием, которое позволяет существенно увеличить точность. Для выполнения такого анализа, по мнению В.И.Зеленова, достаточно навески массой 1–2 кг [3], а по данным ФГУП ЦНИГРИ – не менее 4 кг [5], что возможно только при анализе борздовых проб. При отборе одной рядовой пробы из половинки керна диаметром 59 мм и длиной 1 м её масса составит всего ~3,5 кг. И если групповая проба будет представлена одной такой пробой, то её масса будет не более 2,8 кг, и для анализа по предлагаемой методике возможно использовать навеску только массой 1–1,2 кг, измельчённой до 0,1 мм.

Таким образом, масса одной групповой пробы должна составлять не менее 2,8 кг, а её максимальная масса может достигать до 6 кг и тогда возможно определение золота и серебра с предвари-

тельным гравитационным концентрированием из навески массой 4–5 кг.

Как правило, групповые пробы должны состояться из дубликатов рядовых керновых и борздовых проб. В ходе обработки от каждой рядовой пробы оставляется дубликат массой ~500 г для возможного рядового пробирного анализа на золото и серебро, а также внутреннего и внешнего геологического контроля. Но одного дубликата указанной массы недостаточно для проведения исследований по предлагаемой методике, а оставление дубликатов большой массы связано с неоправданными затратами на их хранение. Поэтому для составления групповых проб предлагается использовать «хвосты» обработки рядовых проб.

Таким образом, по результатам микроскопического изучения всех шлифов, в том числе брикетных, определяются петрографический, минеральный составы руд, описываются отдельные минералы, даётся количественная оценка их распространённости. Кроме того, изучаются: «текстурные и структурные особенности руд (форма и размер минеральных частиц, характер вкрапленности минералов и сростания минеральных образований); наличие в руде различных генераций минералов; степень и характер изменений руд, происшедших в результате различных природных процессов; наличие микровключений других минералов; характеристика золота (форма, размер, структура и состояние поверхности частиц, ассоциация с другими минералами, наличие теллуридов» [3, с. 62]; предварительно определяются минералы – носители золота, попутных полезных компонентов и вредных примесей.

Примерная схема обработки групповой пробы массой 3,2 кг приведена на рис. 2.

«Микроскопическое изучение, как правило, позволяет уверенно диагностировать все наиболее распространённые в золотых и комплексных золотосодержащих рудах минералы» [3, с. 62].

Химический состав отдельных минералов, в том числе и золота в них, устанавливается микронзондовым анализом, а его неоднородность выявляется с помощью растрового электронного микроскопического исследования. Изучение самородного золота с размером частиц <0,01 мм возможно с применением электронного микроскопа.

Для изучения химического состава руд необходимо определить перечень анализируемых компонентов по результатам спектрального анализа

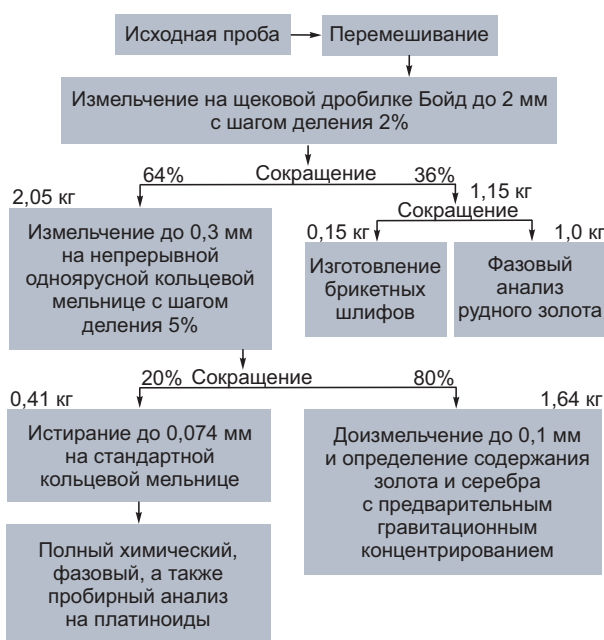


Рис. 2. ПРИМЕРНАЯ СХЕМА ОБРАБОТКИ ГРУППОВОЙ ПРОБЫ МАССОЙ 3,2 кг

рядовых проб и с учётом химического состава минералов, входящих в состав руды. Наиболее распространённый набор компонентов для определения химическим и фазовым анализами следующий:  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $MnO$ ,  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $P_2O_5$ ,  $H_2O$ , п.п.п,  $CO_2$ ,  $Fe_{общ.}$ ,  $Fe_{сульфид.}$ ,  $S_{общ.}$ ,  $S_{сульфид.}$ ,  $Cu_{общ.}$ ,  $Cu_{сульфид.}$ ,  $Pb_{общ.}$ ,  $Pb_{сульфид.}$ ,  $Zn_{общ.}$ ,  $Zn_{сульфид.}$ ,  $As_{общ.}$ ,  $As_{сульфид.}$ ,  $Sb_{общ.}$ ,  $Sb_{сульфид.}$ ,  $Bi$ ,  $Mo$ ,  $Se$ ,  $Te$ ,  $Hg$ ,  $C_{общ.}$ ,  $C_{орг.}$ . При наличии платиноидов ( $Os$ ,  $Ir$ ,  $Pt$ ) они определяются пробирным анализом.

Определение содержания золота и серебра с предварительным гравитационным концентрированием позволит не только увеличить его точность, но и косвенно установить в каждой пробе количество крупного ( $\geq 0,07$  мм) свободного золота, находящегося в гравиконцентрате. В хвостах золото мелкое и тонкодисперсное, связанное с минералами. При этом содержание золота в руде вычисляется по одной из двух формул, предложенных В.И.Зеленовым [3] (1) и ФГУП ЦНИГРИ [3] (2):

$$\alpha = \frac{\beta\gamma + \theta(100 - \gamma)}{100} \quad (1),$$

где  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\theta$  – содержание золота соответственно в исходной руде, концентрате и хвостах (г/т),  $\gamma$  – выход концентрата (%);

$$\alpha = \frac{m_k}{m_p} \cdot \beta_k + \left(1 - \frac{m_k}{m_p}\right) \cdot \beta_{хв} \quad (2),$$

где  $\alpha$  – содержание золота в исходной руде (г/т),  $m_p$  – масса руды, направленная на гравитационное концентрирование (кг),  $m_k$  – масса гравитационного концентрата (кг),  $\beta_k$  – содержание золота в концентрате гравитации, (г/т),  $\beta_{хв}$  – содержание золота в хвостах гравитации (г/т).

Фазовый анализ рудного золота даёт возможность выявить формы нахождения золота (свободное амальгамирующееся, в сростках, с кислоторастворимыми покрытиями, заключённое в сульфиде и кварце) и характер его связи с рудообразующими компонентами.

При низких содержаниях в руде полностью изучить золото в шлифах практически невозможно, поэтому оно предварительно выделяется из шлихов, полученных путём промывки остатков хвостов обработки бороздовых и керновых проб, из которых составлены групповые пробы. В этом случае представляется возможным изучить размеры и формы частиц крупного и мелкого золота, структуру частиц, химический состав золота, определить пробу отдельных частиц, состояние поверхности частиц, включения в золоте, наличие сростков, размеры сростков и виды сростаний.

Макросостав самородного золота изучается с применением микрозондового анализа и использованием микрорентгеноспектрального анализатора. Анализируются монтированные аншлифы. Для изучения внутреннего строения зёрен в монтированных аншлифах используется структурное травление среза золотин «царской водкой». Анализ распределения основных примесей в самородном золоте и определение состава микровключений осуществляются с помощью сканирующего электронного микроскопа с анализирующей приставкой.

По результатам проведённых исследований определяются наличие и промышленная значимость основных и попутных полезных компонентов, вредных примесей, а также степень окисления руд. С учётом данных петрографических и минераграфических исследований, фактического или теоретического содержания элементов в минералах расчётным путём уточняется количество минералов, в том числе носителей золота с составлением предварительного баланса распределения основных и попутных полезных компонентов, вредных примесей в руде по формам минеральных соединений.

Описанная методика позволяет объективно и качественно изучить золотосодержащие руды,

оконтуренные даже в единичных пересечениях, с получением их предварительной промышленной характеристики. Возможно, уточнённая и дополненная, она будет востребована для изучения любых золотосодержащих руд при поисковых, оценочных и разведочных работах.

Для исследования технологических свойств руд на поисковой стадии стандартом Российского геологического общества [2] рекомендуется малообъёмное технологическое опробование (МТО). «Задачей МТО является предварительное определение технологических свойств потенциальных руд с целью оценки промышленной значимости объектов и выбор наиболее перспективных для дальнейшего изучения. В зависимости от изученности объекта, в т.ч. установленной изменчивости вещественного состава полезного ископаемого, его масштаба, для МТО отбираются малые технологические (по всему объекту или его части без предварительной оценки вещества) и/или минералоготехнологические (по природным разновидностям полезного ископаемого) пробы» [3, с. 18]. Масса одной пробы на поисковой стадии может составлять 5–10 кг [2].

Число проб должно соответствовать числу природных типов руд, выделенных по результатам изучения их вещественного состава. Надо полагать, что на поисковой стадии при наличии одного, наиболее распространённого, типа руд достаточно двух малообъёмных проб. Отбор одной пробы возможен бороздовым способом из окисленных руд, вскрытых канавами. Другая проба отбирается из второй половинки керна скважин, вскрывших первичные руды.

В заключение следует отметить, что представленная методика не нова, но может быть использована для разработки методик изучения на поисковой стадии любых руд.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Золото рудное.* – М.: ФГУ ГКЗ, 2007.
2. *Стандарт* Российского геологического общества. СТО Рос Гео 09-001-98. Твердые полезные ископаемые и горные породы. Технологическое опробование в процессе геологоразведочных работ. Общие требования. – М.: Рос Гео, 1998.
3. *Зеленов В.И.* Методика исследования золотосодержащих руд. – М.: Недра, 1978.
4. *Логвиненко О.В., Тимкин Т.В.* Вещественный состав и последовательность минералообразования рудопоявления Лог 26 Топольнинского золоторудного поля (Горный Алтай) // Вестн. Томского гос. ун-та. 2014. № 383. С. 212–220.
5. *Методика гравитационного концентрирования свободного золота при подготовке к анализу проб руд благородных металлов / А.И.Романчук, А.И.Никулин, В.В.Жарков и др.* – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2009.
6. *Окулов А.В., Шатилова Л.В., Рожченко В.А.* Минералого-геохимическая характеристика золоторудных проявлений Топольнинского рудного поля // Руды и металлы. 2016. № 1. С. 52–62.
7. *Петрология и рудоносность магмо-рудно-метасоматических систем Солонешенского рудного района Алтая / А.И.Гусев, Н.И.Гусев, Е.М.Табакаева и др.* – Бийск: АГАО им. В.М.Шукшина, 2013.

## THE METHODOLOGY OF GOLD-BEARING ORE STUDY IN PROSPECTING – AN EXAMPLE FROM LOG 26 OCCURRENCE OF THE TOPOLNINSKY ORE FIELD, ALTAI TERRITORY

V.A.Rozhchenko (Gorno-Altai Expedition)

*The existing methodical recommendations on the study of gold-bearing ores are given. The study results for ores and host rocks of the Log 26 occurrence, which served as the basis for a method study gold-bearing ores in prospecting, are considered and generalized.*

*Keywords: methodical recommendations, gold-bearing ores, Log 26 occurrence, prospecting, study methods.*





## ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ХРОМИТОНОСНОСТЬ УЛЬТРАМАФИТОВ ЭРГАКСКОГО МАССИВА, СЕВЕРО-ВОСТОК ЗАПАДНОГО САЯНА

*В работе использован нетрадиционный метод оценки потенциальной хромитонности Эргакского массива, расположенного в северо-восточной части Западного Саяна, по результатам петрохимического исследования ультрамафитов. На выделенных перспективных площадях ранее были установлены рудопроявления хромититов, что подтверждает связь оруденения с химизмом вмещающих ультрамафитов.*

*Ключевые слова: ультрамафиты, хромититы, петрография, петрохимия, метод потенциальной оценки, Западный Саян.*

Эргакский ультрамафитовый массив находится на крайнем северо-восточном окончании Западного Саяна и совместно с Калнинским массивом представляет собой крупные фрагменты северо-восточной части Куртушибинского офиолитового пояса [13] (рис. 1). Ультрамафиты обоих массивов относятся к Верхнеамыльскому потенциально хромитонному району. Их перспективы неоднократно рассматривались предыдущими исследователями [2–4, 12]. При этом выявленные хромитовые руды в массивах нередко характеризуются повышенными содержаниями платиноидов [14].

Эргакский массив включает два блока – южный Лысанский (~75 км<sup>2</sup>) и северный Малоэргакский (~10 км<sup>2</sup>) (см. рис. 1), которые по периферии окаймляются серпентинитовым меланжем. Лысанский, наиболее крупный блок, слагают ультрамафиты реститового дунит-гарцбургитового полосчатого комплекса. В центральной части дуниты и гарцбургиты обычно имеют довольно свежий облик, а в краевых – преобразованы в серпентиниты. Малоэргакский блок в центре представлен преимущественно регенерированными оливинитами, реже гарцбургитами, в краевых частях преобладают серпентиниты.

В Эргакском массиве известны семь наиболее представительных рудопоявлений хромититов [4], из них пять на Лысанском блоке – Привершинное, Подлысанское, Коллегановское, Джакузи, Путевое, два на Малоэргакском – «1» и «2». Также в массиве отмечаются многочисленные участки, обогащённые хромшпинелидами. В коренном залегании среди дунитов и гарцбургитов хромититы встречаются в виде маломощных жилообразных тел мощностью до 0,5 м и протяжённостью до 4 м или в виде мелких шлиров и струйчатых обособлений. Мощность хромитовых зон составляет 20–80 м. В зонах серпентинитового меланжа хромититы развиты в виде будин размером до 0,8×1,2 м, которые, вероятно, образовались в результате деструкции более крупных рудных тел в процессе тектонического скупивания. Нередко хро-



### Чернышов Алексей Иванович<sup>1</sup>

доктор геолого-минералогических наук  
профессор  
заведующий кафедрой петрографии  
aich@ggf.tsu.ru

### Лоскутов Илья Юрьевич<sup>2</sup>

кандидат геолого-минералогических наук  
ведущий научный сотрудник  
ilia63@mail.ru

### Кичеева Анна Вячеславовна<sup>1</sup>

аспирант  
1990.15.10@mail.ru

### Подлипский Михаил Юрьевич<sup>3</sup>

кандидат геолого-минералогических наук  
научный сотрудник  
maxim@igm.nsc.ru

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО  
«Национальный исследовательский  
Томский государственный университет»,  
г. Томск

<sup>2</sup>АО «Сибирский научно-  
исследовательский институт геологии,  
геофизики и минерального сырья»,  
г. Новосибирск

<sup>3</sup>ФГБУН Институт геологии и минералогии  
им. В.С.Соболева СО РАН,  
г. Новосибирск





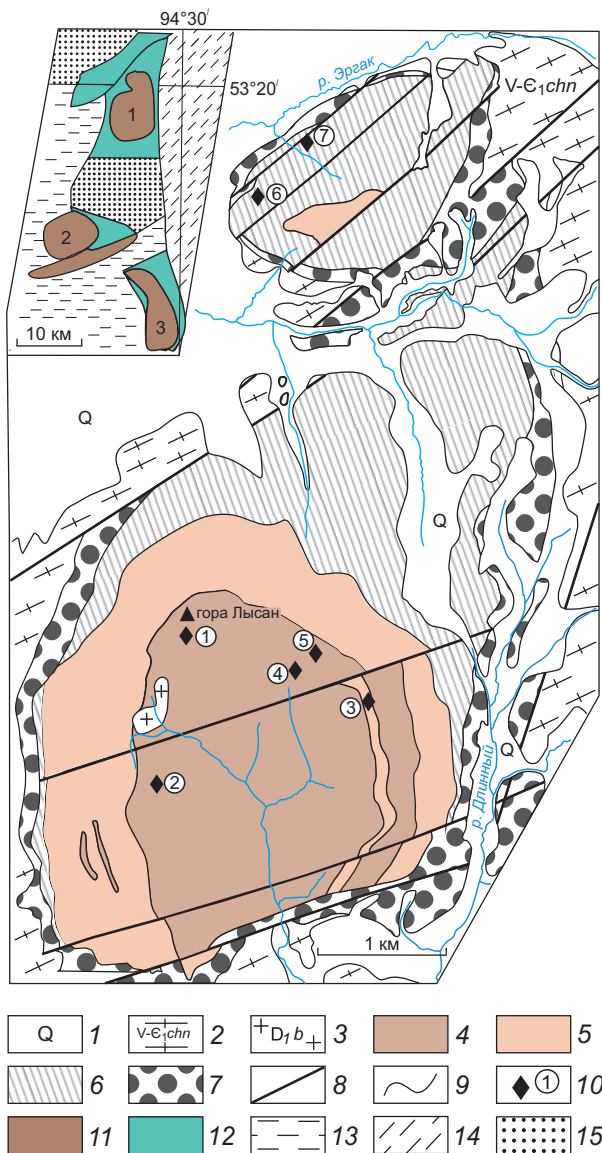


Рис. 1. СХЕМА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЭРГАКСКОГО УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА [4] С РЕДАКЦИЕЙ АВТОРОВ:

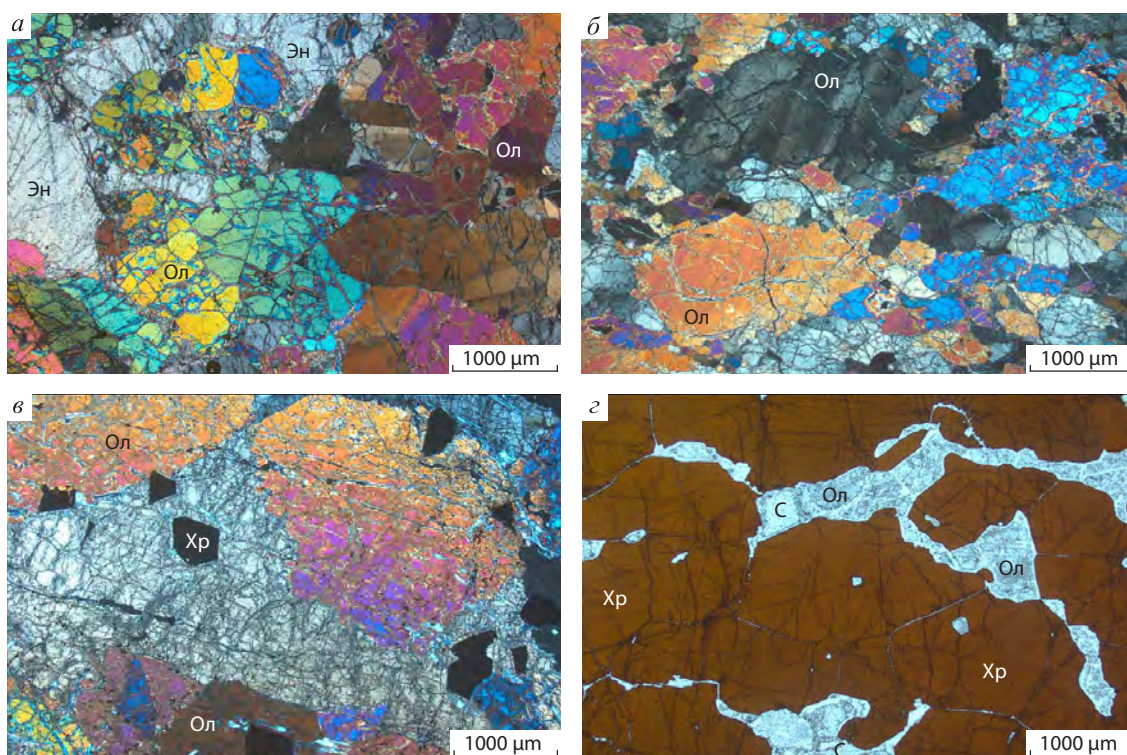
1 – четвертичные отложения; 2 – сланцы глинисто- и углеродисто-кремнистые; 3 – граносиениты; 4 – гарцбургиты; 5 – дуниты, оливиниты; 6 – серпентиниты; 7 – серпентинитовый меланж; 8 – разломы; 9 – геологические границы; 10 – проявления хромититов (1 – Привершинное, 2 – Подлысанское, 3 – Коллегановское, 4 – Джакузи, 5 – Путевое, 6 – рудопроявление «1», 7 – рудопроявление «2»); на врезке географическое расположение Эргакского массива в Куртушибинском офиолитовом поясе (северо-восток Западного Саяна) [14]; 11 – ультрамафиты (1 – Эргакский, 2 – Калнинский, 3 – Кызыр-Бурлюкский массивы); 12 – вулканогенно-осадочные толщи; каледонские складчатые системы: 13 – Западно-Саянская, 14 – Хемчикско-Систигхемская; 15 – среднепалеозойские впадины

мититы фиксируются среди элювиально-делювиальных глыбовых развалов. Содержание хромшпинелидов в хромититах значительно варьирует от убоговкрапленных (10–30%) до густовкрапленных (до 90%), вплоть до сплошных. По классификации Н.В.Павлова [11], хромшпинелиды соответствуют субферрихромитам (Привершинное хромитопоявление), субферриалюмохромитам (Коллегановское проявление) и алюмохромитам (Подлысанское проявление).

**Петрография ультрамафитов.** В дунитах и гарцбургитах Эргакского массива, как правило, прослеживаются признаки пластической деформации и синтектонической рекристаллизации, что находит отражение в микроструктурных особенностях оливина [18]. Дуниты и гарцбургиты по степени проявления пластической деформации подразделяются на мезогранулярный и наложенный порфирукластовый типы. Оливиниты образовались в результате вторичной рекристаллизации отжига пластических деформированных дунитов и гарцбургитов и отличаются наличием гранобластовых структур без признаков пластического деформирования. Хромититы, вероятно, имеют метаморфогенное происхождение и образовались вследствие сегрегации хромшпинелидов в рудные тела в зонах интенсивного деплетирования мантийного субстрата [19, 20].

Структура *гарцбургитов* преимущественно среднезернистая, мезогранулярная, нередко наблюдаются признаки порфирукластеза (рис. 2, а). Текстура однородная, часто с наложенной директивностью, подчёркиваемой трещинками кливажа. В породах преобладает оливин ~85% при подчинённой роли энстатита ~15%, в незначительном количестве присутствуют хромшпинелиды (до 2%), иногда отмечается диопсид. Из вторичных минералов характерны хлорит, тремолит, тальк, магнетит.

Зёрна оливина имеют субизометрическую или удлинённую форму. Они ориентированы субпараллельно и отражают направление директивности. Их размер до 5 мм. В зёрнах постоянно отмечается неоднородное погасание, встречаются полосы пластического излома (см. рис. 2, а). По границам зёрен иногда проявляется синтектоническая рекристаллизация с образованием микрозернистых мозаичных агрегатов. Совокупность этих признаков указывает на интенсивное пластическое деформирование гарцбургитов. По химическому со-



**Рис. 2. МИКРОФОТОГРАФИИ ПОРОД:**

*а* – гарцбургит, *б* – дунит, *в* – оливинит, *г* – хромитит; Ол – оливин, Эн – энстатит, Хр – хромшпинелид, С – серпентин; *а–в* – николи скрещены, *г* – николи параллельны

ставу оливин в гарцбургитах соответствует феррититу (Fa ~8–10%).

Зёрна ортопироксена имеют субизометрическую или неправильную форму, их размер до 4 мм (см. рис. 2, *а*). Они менее деформированы, чем зёрна оливина, в них слабо выражено неоднородное погасание, иногда наблюдается изгиб трещинок спайности. По составу ортопироксен соответствует энстатиту с железистостью ~8–11%.

Клинопироксен встречается в виде мелких субизометрических зёрен размером <0,5 мм. По составу соответствует диопсиду. Редко минерал наблюдается в виде пластинчатых, графических включений в энстатите, контролируемых трещинками спайности. По химическому составу клинопироксен соответствует диопсиду с железистостью ~6%. Существенное преобладание Al<sup>VI</sup> над Al<sup>IV</sup> говорит об образовании диопсида в условиях высокого давления [10].

Хромшпинелиды образуют субизометрические или неправильные зёрна размером до 1,5 мм. По составу соответствуют пикотиту, хромпикотиту, алюмохромиту.

*Дуниты* обычно обладают порфинокластовой структурой и директивной текстурой (см. рис. 2, *б*). Они практически мономинеральные, хромшпинелиды отмечаются в виде акцессорной вкрапленности до 5%. Вторичные минералы – лизардит, хризотил, магнетит.

Порфинокластовые зёрна оливина удлинённой формы и строго ориентированы согласно направлению директивности (см. рис. 2, *б*). Их длина до 3 мм. Они интенсивно пластически деформированы, в них постоянно отмечается резко выраженное неоднородное волнистое погасание. Характерны многочисленные полосы пластического излома, которые часто имеют симметричное «перистое» расположение по отношению к направлению директивности, что указывает на интенсивное пластическое течение дунитов в условиях сдвига при большой скорости [17, 21]. Синтактически рекристаллизованный мозаичный агрегат мелких зёрен оливина выполняет промежутки между порфинокластами. Их размер <1 мм. Они также пластически деформированы и имеют неоднородное погасание.

По химическому составу оливины в дунитах отвечают форстериту и обнаруживают близкие составы с оливинами из гарцбургитов. Существует тенденция к увеличению железистости рекристаллизованного мелкозернистого оливина по сравнению с порфиорокластовыми крупными индивидами, что, вероятно, свидетельствует о синтетической рекристаллизации, протекавшей в восстановительных условиях [16].

Зёрна хромшпинелидов субизометрической, иногда эвгедральной формы размером обычно <0,5 мм. Они тёмно-бурой окраски, однако вследствие замещения магнетитом становятся чёрными. Зёрна часто обнаруживают цепочечное расположение согласно направлению директивности. Хромшпинелиды соответствуют хромпикотитам, алюмохромитам, хромитам.

*Оливиниты* в отличие от дунитов имеют среднезернистую, равновесную, гранобластовую структуру (см. рис. 2, в). Образовались породы, очевидно, в результате вторичной рекристаллизации отжига за счёт исходных пластически деформированных дунитов и гарцбургитов. Для регенерированных оливинитов характерно отсутствие в зёрнах оливина признаков пластических деформаций (неоднородного погасания, полос излома). В их составе количество хромшпинелидов может достигать 10%, часто присутствуют лизардит и антигорит. Выделяются два типа оливинитов – массивные и лейстовые. В массивных оливинитах наличествуют разнообразные по форме зёрна оливина, среди которых встречаются субизометрические, треугольные, трапецевидные. Границы зёрен прямолинейные или плавные, заливообразные. Их размер от 1 до 3 мм, иногда до 5 мм. Лейстовые оливиниты имеют удлинённую призматическую форму зёрен оливина, которые обнаруживают предпочтительную ориентировку и отражают направление директивности в породе. Длина зёрен до 3 мм. Для зёрен оливина в оливинитах характерно однородное погасание. В отличие от дунитов оливин в оливинитах по химическому составу соответствует практически чистому форстериту с минимальной железистостью ( $Fa < 2\%$ ).

Хромшпинелиды наблюдаются в виде мелких субизометрических включений в зёрнах оливина или по их периферии. Их размер <0,5 мм. По химическому составу хромшпинелиды соответствуют хромитам или магнетитам.

*Хромититы* преимущественно вкрапленной и густовкрапленной структуры (см. рис. 2, г). Сложены в основном хромшпинелидами (70–75%) при подчинённой роли серпентинизированного оливина (25–30%), отмечаются магнетит, хризотил, кальцит, хлорит.

Зёрна хромшпинелидов субизометрической, нередко неправильной угловатой формы размером от долей до 3 мм, часто образуют тесные агрегативные сростания. Зёрна окрашены в красно-бурый цвет, а по периферии, вследствие замещения их магнетитом, приобретают чёрный цвет. Хромшпинелиды в хромититах Лысанского блока отличаются от таковых в Малоэргакском блоке большими содержаниями  $Al_2O_3$ ,  $MgO$  и меньшими –  $Cr_2O_3$ ,  $FeO$ , представлены алюмохромитами и хромитами. Они практически не отличаются от хромшпинелидов из рудовмещающих дунитов. В Малоэргакском блоке хромшпинелиды из хромититов соответствуют хромиту, как и во вмещающих оливинитах.

В промежутках между зёрнами и агрегатами хромшпинелидов отмечается серпентинизированный оливин, который часто полностью замещён. Оливин из хромититов Лысанского блока имеет железистость 2–7%, а из хромититов Малоэргакского блока отличается минимальной железистостью ( $Fa=0,7\%$ ).

Хромитовое оруденение, очевидно, формировалось преимущественно в дунитах в зонах высокотемпературного послыонного пластического течения, контролируемых полосчатостью дунит-гарцбургитового мантийного субстрата. В процессе пластического течения происходила сегрегация хромшпинелидов в отдельные параллельные полосы, сопровождаемая «выдавливанием» из них пластического оливина [15, 19, 20]. В результате неравномерного «выдавливания» оливина возникли линейные зоны полосчатых хромитовых руд от убоговкрапленных до вкрапленных.

При перемещении ультрамафитов в верхние этажи литосферы в результате интенсивных пластических деформаций линейные зоны вкрапленного оруденения подвергались деструкции с образованием линзовидных тел хромититов [20]. Деструкция сопровождалась дальнейшим «выдавливанием» оливина с образованием густовкрапленных и сплошных хромититов. Метаморфизм на этом этапе способствовал существенному возрастанию хромистости руд.

**Оценка потенциальной хромитонности Эргакского массива.** Потенциальная хромитонность массива оценивалась по методу, предложенному В.В.Велинским и И.Ю.Лоскутовым [1, 6, 7]. Метод основан на анализе данных петрохимического изучения образцов ультрамафитов, отобранных по сравнительно равномерной сетке с соответствующей привязкой точек отбора, которые охватывали как можно большую площадь массива. В каждой пробе силикатным химическим анализом определяются содержания петрогенных элементов (в масс. %) –  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ , а также п.п.п. Далее рассчитываются упрощенный ( $Z_1$ ), полный ( $Z_2$ ) и комплексный ( $Z_3 = Z_1 + Z_2$ ) петрохимические показатели (дискриминаторы хромитонности), при этом

$$Z_1 = y_1 M - y_2 h - y_3,$$

$$Z_2 = x_1 M - x_2 h - x_3 \text{SiO}_2 - x_4 \text{TiO}_2 + x_5 \text{Al}_2\text{O}_3 - x_6 \text{Fe}_2\text{O}_3 + x_7 \text{FeO} - x_8 \text{MnO} + x_9 \text{MgO} + x_{10} \text{Cr}_2\text{O}_3 - x_{11},$$

где  $M = \text{MgO}/\text{SiO}_2$ ,  $h = \text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}) \cdot 100\%$ ,  $y_{1-3}$ ,  $x_{1-11}$  – константы уравнений, рассчитанные методом линейных дискриминантных функций для случая неравных матриц ковариации по данным более чем 300 полных силикатных анализов хромитонных ультрамафитов Урала. Положительные значения  $Z_3$  свидетельствуют о наличии хромитонных пород, потенциально вмещающих хромитовые руды. Построение карт изолиний параметра  $Z_3$  позволяет выделить участки положительных аномалий, перспективные на обнаружение хромитового оруденения. Этот метод опробован на Тогул-Сунгайском массиве (Салаир), где двумя скважинами в аномальных зонах подсечены рудопроявления хрома. Теоретическая ошибка методики по разбраковке рудных и безрудных объектов составляет от 5 до 10% [5].

Выполненные ранее предварительные исследования хромитонности Эргакского массива в одной из скважин по данной методике [8] показали, что положительные значения дискриминатора хромитонности отвечают участкам с установленной хромитовой минерализацией. При этом максимальные его значения, очевидно, соответствуют наиболее перспективным горизонтам на выявление хромитов. На соседнем Калнинском массиве нами по этой методике были выделены перспективные площади, которые хорошо сопоставляются с известными рудопроявлениями, рудными зонами и подтверждают связь оруденения

с химизмом вмещающих пород [9]. Таким образом, применяя метод, можно выделить в пределах исследуемых объектов наиболее перспективные площади для поиска хромититов.

При оценке перспектив Эргакского массива на хромититы нами учитывались результаты 38 оригинальных силикатных анализов проб, полученных в ходе проведения научно-исследовательских работ по изучению хромитонности ультрамафитовых массивов северо-западной части Куртушибинского офиолитового пояса. В каждом образце определялись содержания  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ , а также п.п.п. в массовых процентах, по которым рассчитывался петрохимический показатель  $Z_3$ . Характер распределения показателя  $Z_3$  для Эргакского массива в сравнении с хромитонными уральскими серпентинитами приведён на рис. 3. Как следует из рисунка, в ультрамафитах Эргакского массива отмечаются большие по сравнению с уральскими отрицательные значения  $Z_3$  (до -20), а в области положительных преобладающие значения близки к уральским. При этом положительные значения  $Z_3$  на гистограммах говорят о перспективной хромитонности вмещающих ультрамафитов.

На Эргакском массиве нами отдельно проводилась оценка перспективности на хромититы Лысанского и Малоэргакского блоков (соответственно 28 и 10 анализов). Были построены карты изолиний по значениям параметра  $Z_3$ , которые позволили выделить благоприятные участки по положительным аномалиям. В Лысанском блоке преобладают положительные значения показателя  $Z_3$ , что свидетельствует о повышенной перспективности блока в целом (рис. 4, а). При этом наиболее интересным представляется участок вокруг горы Лысан, который составляет примерно третью часть площади с показателем  $Z_3 > 10$ . На этой площади ранее были выявлены основные рудопроявления хромититов (см. рис. 1).

В Малоэргакском блоке потенциально перспективна на хромититы его западная часть, для которой характерны преимущественно положительные показатели  $Z_3$  (см. рис. 4, б). Непосредственно на её западной окраине ранее были установлены два рудопроявления (см. рис. 1). По полученным данным высокие показатели  $Z_3 > 10$  характерны для центральной части западного блока, что указывает на её наибольшую перспективность. Именно здесь следует провести детальные

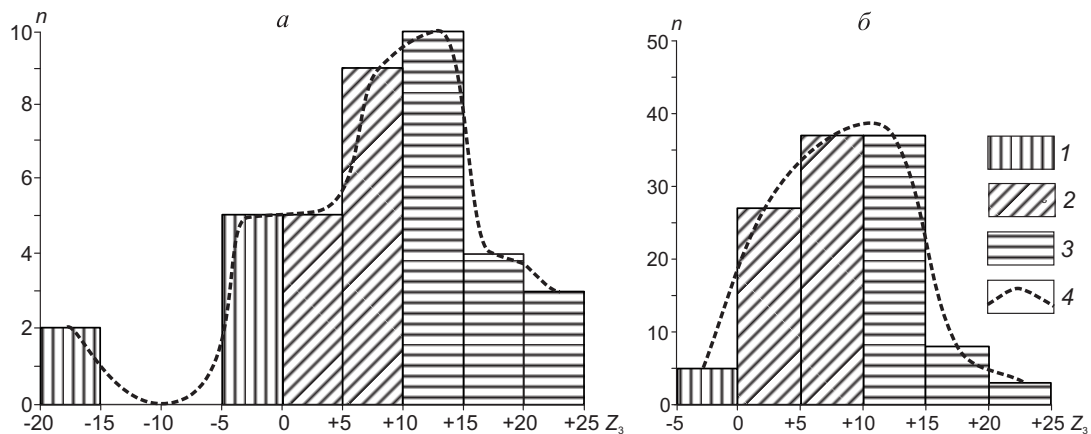


Рис. 3. ГИСТОГРАММЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕТРОХИМИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ( $Z_3$ ) ДЛЯ ХРОМИТОНОСНЫХ УЛЬТРАМАФИТОВ ЭРГАКСКОГО МАССИВА ( $N=38$ ) (а) И ХРОМИТОНОСНЫХ СЕРПЕНТИНИТОВ УРАЛА ( $N=116$ ) (б):

значения петрохимических показателей: 1 – неперспективные на хромитонность ( $Z_3 < 0$ ), 2 – благоприятные ( $Z_3 = 0-10$ ), 3 – наиболее перспективные ( $Z_3 > 10$ ); 4 – аппроксимирующая кривая;  $n$  – число анализов

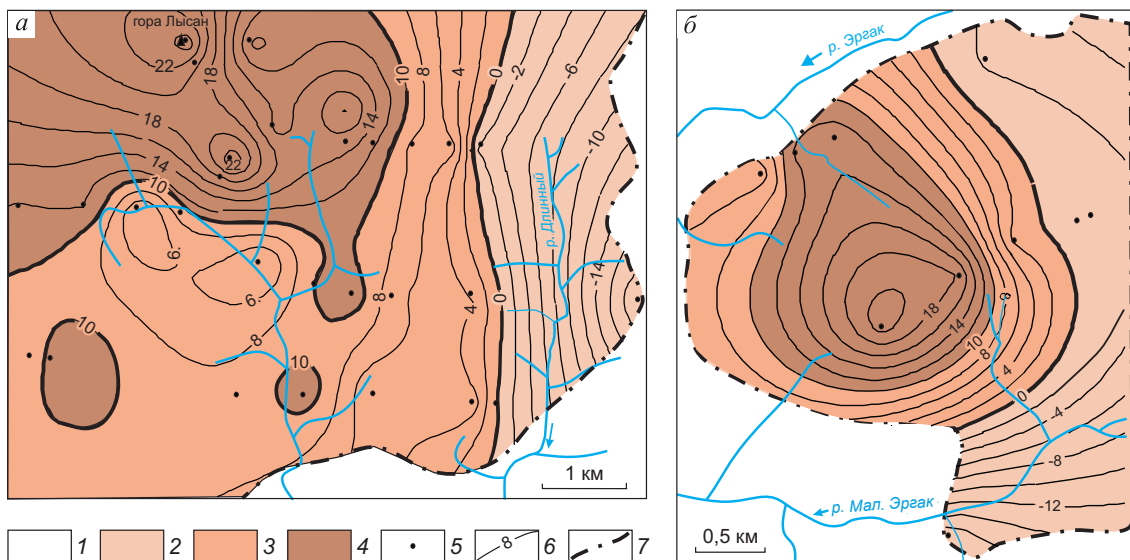


Рис. 4. ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ХРОМИТОНОСНОСТИ ЛЫСАНСКОГО (а) И МАЛОЭРГАКСКОГО (б) БЛОКОВ ПО ПЕТРОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ:

1 – вмещающие породы; площади: 2 – бесперспективные ( $Z_3 < 0$ ), 3 – перспективные ( $10 > Z_3 > 0$ ), 4 – наиболее перспективные ( $Z_3 > 10$ ); 5 – точки, используемые для построения изолиний  $Z_3$  (а – 28 шт., б – 10 шт.); 6 – изолинии комплексного петрохимического показателя  $Z_3$ ; 7 – контуры массива

поисковые работы в целях обнаружения новых рудопроявлений хромититов.

Таким образом, полученные результаты подтверждают связь особенностей химизма ультрамафитов с наличием или отсутствием в них хромитового рудопроявления. Это позволяет учитывать петрохимический показатель  $Z_3$  как допол-

нительный критерий при планировании и постановке детальных поисковых работ на перспективных участках Эргакского массива для открытия новых тел хромититов. Данный критерий в совокупности с другими рекомендуется использовать также в других регионах на массивах ультрамафитов при оценке их потенциальной хромитонности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Велинский В.В., Лоскутов И.Ю.* Дискриминантный анализ петрохимических признаков – эффективный метод оценки рудоносности геологических объектов (на примере массивов альпинотипных гипербазитов) // Гипербазитовые ассоциации складчатых областей. 1991. Вып. 6. С. 28–32.
2. *Еханян Д.А.* Геология и рудоносность Калнинского ультрабазитового массива: Автореф. дисс... канд. геол.-минер. наук. – Красноярск, 2010.
3. *Забияка А.И.* Верхнеамыльский хромитоносный район // Геология и полезные ископаемые Красноярского края. 2008. Вып. 9. С. 193–205.
4. *Кривенко А.П., Подлипский М.Ю., Кубышев А.И., Катанов С.Г.* Перспективы хромитоносности и платиноносности гипербазитов Верхне-Амыльского района в Западном Саяне // Минеральные ресурсы Красноярского края. 2002. Кн. 1. С. 314–324.
5. *Лоскутов И.Ю.* Альпинотипные гипербазиты Центрального Салаира: Автореф. дисс... канд. геол.-минер. наук. – Новосибирск, 1993.
6. *Лоскутов И.Ю.* Петрохимический метод поиска хромитовых руд в альпинотипных серпентинитах // Геология и минерагения Сибири. 2010. С. 129–133.
7. *Лоскутов И.Ю., Велинский В.В.* Петрохимические критерии оценки хромитоносности альпинотипных гипербазитов // Геология и геофизика. 1989. № 12. С. 60–70.
8. *Лоскутов И.Ю., Долгушин С.С.* Особенности химизма хромитоносных гипербазитов Эргакского массива // Мат-лы Всеросс. науч. конф. к 100-летию со дня рождения акад. Н.А.Шило «Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений». Москва, 2013. С. 46.
9. *Лоскутов И.Ю., Чернышов А.И., Кичеева А.В.* Связь химизма и рудоносности гипербазитов Калнинского массива (Западный Саян) // Вестн. Томского гос. ун-та. 2015. № 400. С. 366–370.
10. *Малахов И.А.* Петрохимия главных формационных типов ультрабазитов. – М.: Наука, 1983.
11. *Павлов Н.В.* Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом ультраосновных интрузивов // Тр. ИГН АН СССР. Сер. рудн. месторождений. М., 1949. № 13.
12. *Перспективы хромитоносности юга Красноярского края на примере Калнинского гипербазитового массива / П.П.Курганьков, И.Н.Целюк, А.В.Власов и др.* // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири. 2010. С. 40–46.
13. *Петрология и метаморфизм древних офиолитов (на примере Полярного Урала и Западного Саяна) / Н.Л.Добрецов, Ю.Е.Молдавандцев, А.П.Казак и др.* – Новосибирск: Наука, 1977.
14. *Подлипский М.Ю., Кривенко А.П.* Платино-хромитовое оруденение в офиолитовых гипербазитах Западного Саяна // Платина России. Новые нетрадиционные типы месторождений и рудопроявлений платиносодержащего сырья. М., 2005. Т. 6. С. 100–109.
15. *Савельев Д.Е., Сначев В.И., Савельева Е.Н., Бажин Е.А.* Геология, петрогеохимия и хромитоносность габбро-гипербазитовых массивов Южного Урала. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008.
16. *Чернышов А.И.* Петроструктурный анализ и петрология ультрамафитов различных формационных типов: Дисс... д-ра. геол.-минер. наук. – Новосибирск, 1999.
17. *Чернышов А.И.* Ультрамафиты (пластическое течение, структурная и петроструктурная неоднородность). – Томск: Чародей, 2001.
18. *Чернышов А.И., Кичеева А.В., Подлипский М.Ю.* Петроструктурные неоднородности ультрамафитов Эргакского хромитоносного массива (Западный Саян) // ЗРМО. 2017. Ч. CXLV. № 5. С. 25–38.
19. *Чернышов А.И., Юричев А.Н.* Петроструктурная эволюция ультрамафитов Калнинского хромитоносного массива в Западном Саяне // Геотектоника. 2013. № 4. С. 31–46.
20. *Чернышов А.И., Юричев А.Н.* Структурная эволюция дунитов и хромитов Харчерузского массива (Полярный Урал) // Геотектоника. 2016. № 2. С. 62–77.
21. *Kunze F.R., Ave Lallemand N.G.* Non-coaxial experimental deformation of olivine // Tectonophysics. 1981. Vol. 74. P. 1–13.

## CHROMITE POTENTIAL OF ULTRAMAFITES FROM ERGAK MASSIF, NORTHEAST OF THE WESTERN SAYANY

A.I.Chernyshov<sup>1</sup>, I.Yu.Loskutov<sup>2</sup>, A.V.Kicheeva<sup>1</sup>, M.Yu.Podlipsky<sup>3</sup> (<sup>1</sup> TSU, <sup>2</sup> JSC «Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Materials», <sup>3</sup> V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy)

*The paper discusses a nontraditional method to evaluate chromite potential of Ergak massif located northeast of the West Sayany based on results of petrochemical ultramafite study. Chromitite occurrences were previously found at the identified prospects which confirms mineralization relationship with host ultramafic chemistry.*

*Keywords: ultramafites, chromitites, petrography, petrochemistry, potential evaluation method, Western Sayany.*



## ОБЪЁМНАЯ МОДЕЛЬ ПИРРОТИНОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЁРТОВО КОРЫТО, ПАТОМСКОЕ НАГОРЬЕ

Приведены результаты изучения пирротиновой минерализации месторождения Чёртово Корыто. Проанализированы химический состав пирротинов, их рентгеноструктурные характеристики. Доказано, что сульфид представлен тремя генерациями, состоящими из гексагональной ( $Fe_8S_9$ ,  $Fe_9S_{10}$ ) и моноклинной ( $Fe_7S_8$ ) структурных модификаций. Показано распределение пирротинов различных генераций в объёме рудной залежи и показателя магнитной восприимчивости, обусловленного присутствием ферримагнитного пирротина. Установлена устойчивая пространственная связь между распределением золота и показателем магнитной восприимчивости.

Ключевые слова: золоторудное месторождение, пирротин, структурные модификации, магнитная восприимчивость.

В настоящее время имеются факты, доказывающие, что золотое оруденение многих мезотермальных месторождений локализуется в породах, обладающих повышенными значениями магнитного поля [2, 5, 7, 10, 12, 15, 22, 23]. К таким объектам относится месторождение Чёртово Корыто. По данным Ю.В.Колмакова с соавторами [6], оно характеризуется интенсивно проявленным магнитным полем. Возникновение магнитного поля обусловлено наличием большого количества пирротина в метасоматическом ореоле. Установлено, что в распределении пирротина и золота наблюдается отчётливая взаимосвязь: интервалы с промышленным содержанием золота полностью локализируются в пределах ореола пирротинизации, но обособляются от участков с максимальными концентрациями сульфида [3, 14].

О связи пирротиновой минерализации с золотом свидетельствует статья М.А.Сазонова с соавторами (2014 г.), посвящённая изучению золотых месторождений, расположенных на Енисейском кряже (Благодатное, Олимпиада, Ведугинское, Панимба, Герфед). Выяснено, что состав пирротина, а именно отношение S/Fe, можно рассматривать как типоморфный признак богатых и бедных золотоносных руд [11]. Таким образом, в некоторых случаях пирротин может служить поисковым критерием для выделения промышленных интервалов в рудных залежах, промышленных рудных тел, продуктивных минеральных комплексов и др.

Статья представляет собой результат комплексного исследования, направленного на изучение особенностей распределения пирротиновой минерализации в объёме рудной залежи месторождения Чёртово Корыто, химического состава и рентгеноструктурных характеристик пирротина, магнитной восприимчивости пород методом каппаметрии и сопоставление получен-

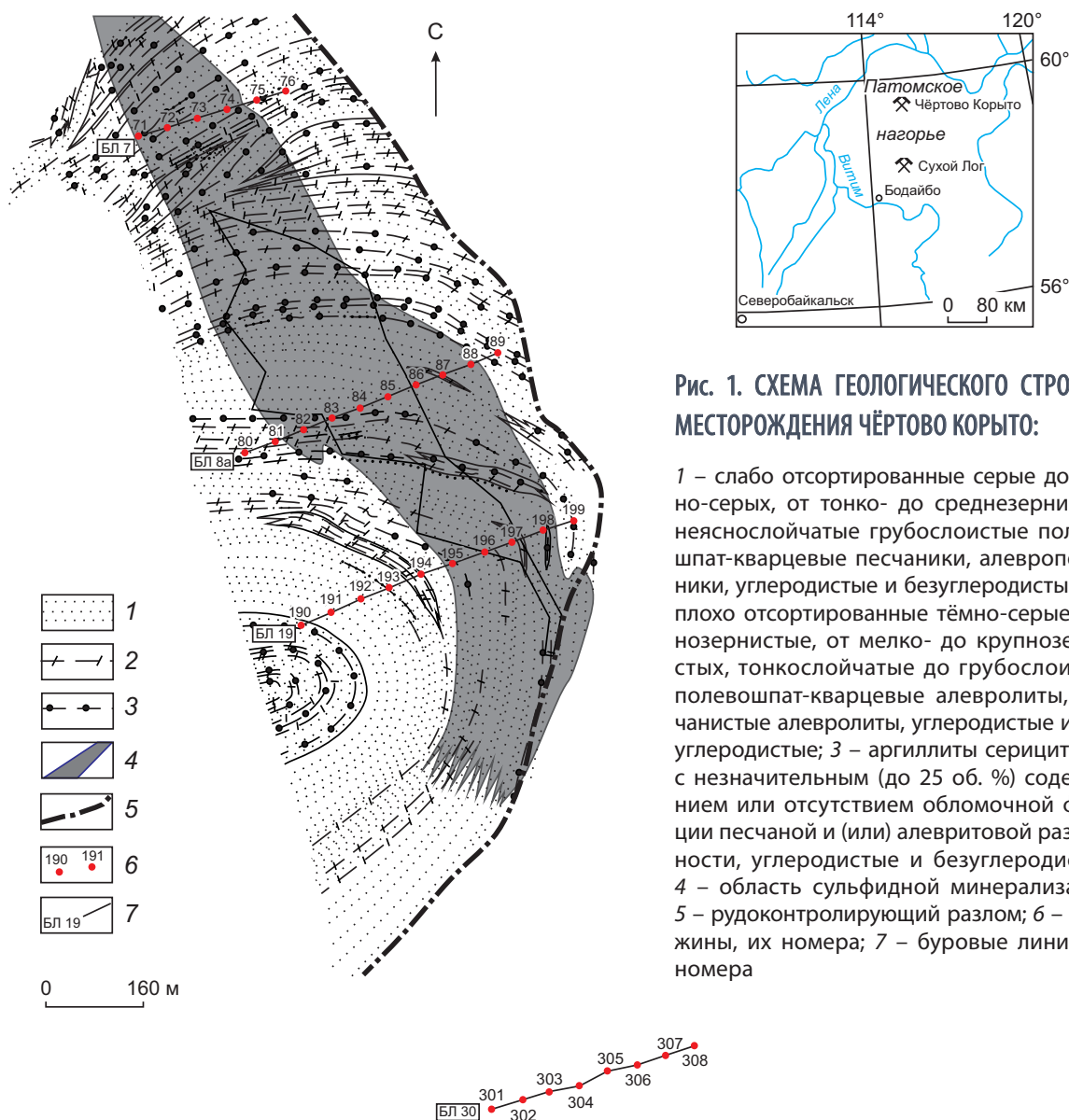
### Синкина Екатерина Андреевна

кандидат геолого-минералогических наук  
доцент  
vea1986@mail.ru

### Гаврилов Роман Юрьевич

кандидат геолого-минералогических наук  
доцент  
GavrilovRY@ignd.tpu.ru

Институт природных ресурсов  
Национального исследовательского  
Томского политехнического университета,  
г. Томск



**Рис. 1. СХЕМА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЁРТОВО КОРЫТО:**

1 – слабо отсортированные серые до тёмно-серых, от тонко- до среднезернистых, неяснослойчатые грубослойчатые полевошпат-кварцевые песчаники, алевропесчаники, углеродистые и безуглеродистые; 2 – плохо отсортированные тёмно-серые разнозернистые, от мелко- до крупнозернистых, тонкослойчатые до грубослойчатых полевошпат-кварцевые алевролиты, песчанистые алевролиты, углеродистые и безуглеродистые; 3 – аргиллиты серицитовые с незначительным (до 25 об. %) содержанием или отсутствием обломочной фракции песчаной и (или) алевритовой размерности, углеродистые и безуглеродистые; 4 – область сульфидной минерализации; 5 – рудоконтролирующий разлом; 6 – скважины, их номера; 7 – буровые линии, их номера

ных данных с характером распределения золота для разработки прогнозно-поискового критерия золотого оруденения.

**Геологическое строение месторождения.**

Располагается в 100 км к северу от месторождения Сухой Лог и входит в состав Артемьевского золоторудного поля Кевактинского рудного узла. Открыто в процессе геологической съёмки м-ба 1:50 000 (1964–1966 гг.) под руководством Б.В.Антонова. Крупная рудная залежь локализована в нижнепротерозойской толще углеродистых терригенных сланцев верхней подсвиты михайловской свиты (PR<sub>1</sub>mh) мощностью до 1200 м. Толща образует пологую брахисинклинальную складку

широтного простирания. Сложена метапесчаниками, метаалевролитами, наиболее широко развитыми, составляющими до 90% изученного разреза, и метааргиллитами, имеющими подчинённое положение (до 10%). Породы гидротермально изменены до метасоматитов березит-пропилитового ряда. Рудная залежь контролируется северо-северо-западной (350°) складчато-разломной зоной типа взбросо-сдвига с падением сместителя (∠60°) в западном направлении (рис. 1).

Сульфидная минерализация сосредоточена в гидротермально изменённых породах. Преобладают пирит, арсенопирит, пирротин, в качестве незначительной примеси в сульфидно-кварцевых



комплексах отмечаются галенит, сфалерит, халькопирит, микропримеси кобальтина, самородного свинца, ульманита, теллурувисмутита. В кварцевых жилах и прожилках сульфиды встречаются эпизодически. Преобладает свободное золото в кварце [1, 8]. В рудном теле описаны пластовые и субпластовые тела диоритов, диоритовых порфиритов и долеритов мощностью от 0,2 до 15 м [8].

**Методика и результаты исследования.** Диагностика пирротинов осуществлялась оптическим методом на поляризационном микроскопе Zeiss Imager A2m. На энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном микроскопе HORIBA XGT-7200 в Томском политехническом университете (аналитик М.А.Рудмин) выполнен количественный химический анализ пирротинов в диапазоне элементов от Na до U. Измерения проводились со следующими параметрами: площадь сканирующего луча составляла 10 мкм, мощность излучения – 50 кВ, сила электрического тока – 1 мА, время замера – 50 с. В каждом зерне рудного минерала в зависимости от размера производилось от 3 до 10 измерений. Выполнено 389 точечных определений в 50 полированных шлифах. Кроме того, химический состав пирротинов установлен рентгеноспектральным анализом на микрозонде JXA-8100 Camebax-Micro в Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск, аналитик В.Н.Королюк) с пределами обнаружения содержания элементов-примесей 0,001 масс. % (22 точечных определения).

Рентгеноструктурный анализ выполнен на рентгеновском дифрактометре XPert PRO (PANalytical) в Аналитическом центре геохимии природных систем Томского государственного университета (аналитик Т.С.Небера). Условия съёмки: трубка с медным анодом (CuK $\alpha$ ), напряжение на трубке 40 кВ, сила электрического тока 30 мА, шаг 0,02°, диапазон углов дифракции 2 $\theta$  20...80°, вращение 30 об/мин, выдержка 0,1 с в точке, рабочий радиус 141 мм. Расшифровка дифрактограмм проводилась с помощью программного обеспечения PDF-4 и HighScore. Исследованы 12 проб.

Магнитная восприимчивость керновых проб измерялась прибором КТ-10. Диапазон измерений с автоматическим переключением от 0,001·10<sup>-3</sup> до 999,99·10<sup>-3</sup> ед. СИ. Образцы были представлены штуфными пробами из керна скважин, распиленного по плоскости симметрии на две равные части. Изучены магнитные свойства 1964 штуфных проб

из скважин четырёх буровых линий (БЛ) – 7, 8а, 19, 30 (см. рис. 1).

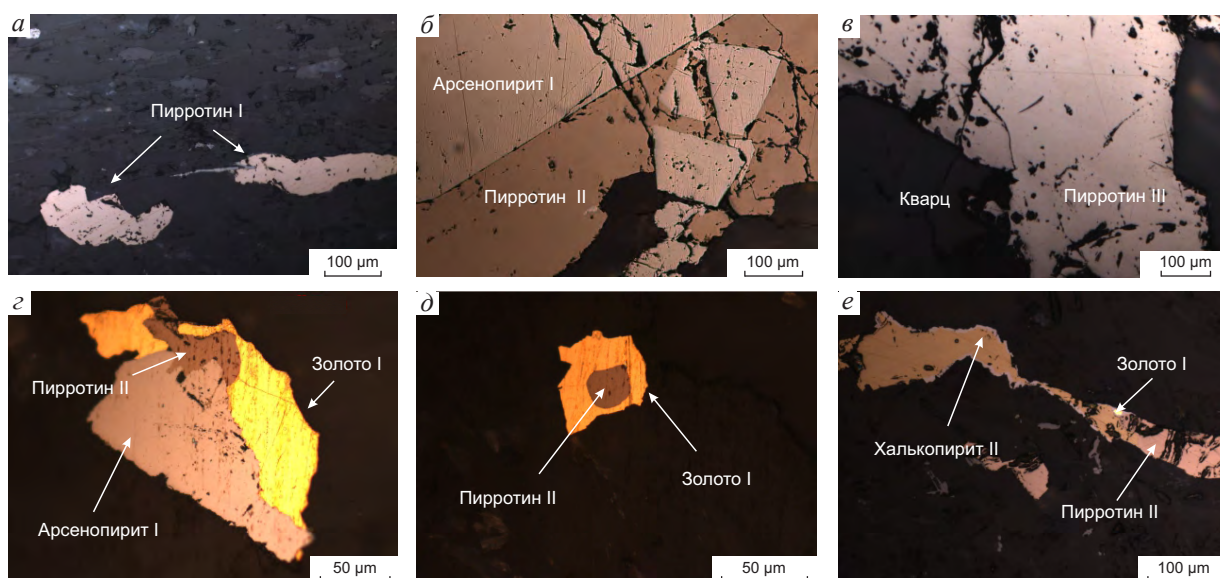
Объёмная модель распределения пирротиновой минерализации составлена на основании документации керна 33 скважин и 1964 штуфных образцов пород и руд.

*Взаимоотношение золота и пирротина.* Ранее в месторождении Чёртово Корыто авторами было выделено пять минеральных комплексов руд: кварц-рутил-апатит-пирит-пирротиновый, кварц-арсенопирит-пирротиновый с золотом, кварц-пирит-арсенопиритовый с золотом, кварц-полиметаллический с золотом и кварц-карбонатный. Подробно минеральные комплексы описаны в работе [1]. Пирротин относится к главным сульфидным минералам месторождения и представлен тремя генерациями, входящими в состав трёх минеральных комплексов (первого, второго и четвёртого).

Пирротин I встречается в метасоматически изменённых породах в виде «штрихов», параллельных сланцеватости во всем объёме минерализованной зоны. Размер «штрихов» колеблется в интервале от 5 до 0,1 мм (рис. 2, а). Внутреннее строение кристаллически-зернистое, определяющее гранулярную структуру. Форма зёрен изометрическая, слегка удлинённая, неправильная. Пирротин I не ассоциирует с золотом и не образует с ним сростаний. По данным рентгеноспектральных исследований в его составе золото не диагностировано.

Пирротин II представлен гнездовыми скоплениями в кварц-карбонатных прожилках и является более поздним минералом по отношению к пириту II и арсенопириту I, так как цементирует их (см. рис. 2, б). Минерал отмечается во всём объёме минерализованной зоны, но преобладающее его количество фиксируется в центральной части рудного тела. Иногда образует сростания с поздним золотом (золото II). Структура взаимных границ между минералами зазубренная, что свидетельствует об их одновременном выделении (см. рис. 2, г–е).

Пирротин III образует обособленные от других сульфидов (сфалерита и галенита) гнездовые выделения в кварце (см. рис. 2, в). Сульфид развит в центральной части рудного тела. В сростании с самородным золотом пирротин III не зафиксирован. Золото четвёртого комплекса встречается в виде механической примеси в галените, сфалерите и кварце.



**Рис. 2. ПИРРОТИН МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЁРТОВО КОРЫТО:**

*a* – пирротин I в виде «штрихов» в терригенных углеродистых породах; *б* – пирротин II в ассоциации с арсенопиритом I в маломощном кварц-карбонатном прожилке; *в* – гнездовые выделения пирротина III в кварц-карбонатных жилах; *г-е* – пирротин II в ассоциации с золотом I

*Химический состав пирротинов.* По данным рентгенофлуоресцентных исследований во всём объёме рудной залежи для пирротинов характерен выдержанный химический состав. Содержание Fe изменяется в интервале 59,61...62,86, S – 36,58...40,36 масс. % (табл. 1). Из примесей диагностированы никель и медь.

*Рентгеноструктурные характеристики пирротина.* При рентгенодифрактометрическом анализе выявлены два основных типа рентгенограмм пирротиновых проб. Первый тип (рис. 3, *a*) соответствует гексагональному пирротину, второй – смеси гексагонального и моноклинного (см. рис. 3, *б*). Первый тип рентгенограммы встречен в первой генерации пирротина, второй – во всех трёх генерациях.

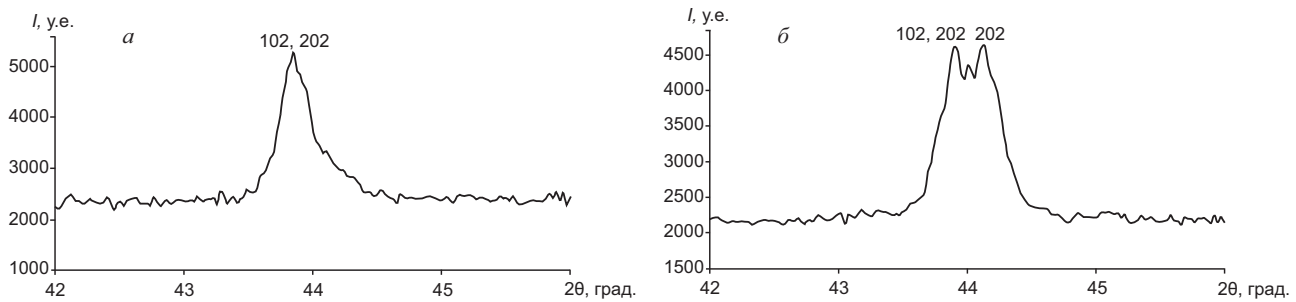
Как показал рентгенодифрактометрический анализ, величина межплоскостного расстояния *d* (102) гексагонального пирротина колеблется от 2,05936 до 2,0668 Å, что по кривой Р.Арнольда [16] соответствует изменению состава минерала от 47,2 до 47,4 ат. % Fe и отвечает формуле Fe<sub>8</sub>S<sub>9</sub>, Fe<sub>9</sub>S<sub>10</sub>. По данным рентгеноспектрального анализа содержание Fe изменяется в интервале 60,76...61,57 масс. %. Из примесей во всех пробах диагностирован никель (0,1...0,35 масс. %), в одной – медь (0,04 масс. %) (табл. 2).

По данным дифрактометрии *d* (102) моноклинного пирротина варьирует в интервале 2,0463...2,05298 Å, что, по данным Р.Арнольда [17], соответствует изменению содержания Fe в интервале 45,8...46,1 ат. % и приблизительно отвечает составу

**1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПИРРОТИНОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА**

Элементы, масс. %	Генерации пирротина (число определений)		
	I (201)	II (112)	III (76)
Fe	$\frac{59,63...62,78}{60,97}$	$\frac{59,63...62,86}{60,81}$	$\frac{59,61...62,86}{61,03}$
S	$\frac{36,58...40,04}{38,56}$	$\frac{37,27...40,04}{38,77}$	$\frac{36,78...40,36}{38,64}$
Ni	$\frac{0,00...0,8}{0,25}$	$\frac{0,00...1,44}{0,29}$	$\frac{0,0...0,38}{0,13}$
Cu	0,1...0,34 (в семи пробах)	0,09...0,16 (в двух пробах)	0,07...0,23 (в девяти пробах)
Fe, ат. %	$\frac{45,85...49,37}{47,43}$	$\frac{46,05...48,83}{47,24}$	$\frac{45,9...49,33}{47,48}$
Соотношение моноклинного и гексагонального пирротинов, %	29:71	40:60	68:32

Примечание. В числителе – интервал значения, в знаменателе – среднее значение.



**Рис. 3. ТИПЫ РЕНТГЕНОГРАММ ПРОБ ПИРРОТИНОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЁРТОВО КОРЫТО:**

*а* – гексагональный пирротин; *б* – смесь гексагонального и моноклинного пирротинов; по вертикальной оси – интенсивность отражения  $I$  рентгеновских лучей, по горизонтальной – угол дифракции рентгеновских лучей  $2\theta$

ву  $Fe_7S_8$ . По данным рентгеноспектрального анализа содержание Fe в моноклинном пирротине изменяется в интервале 60,21...60,49 масс. %. Из примесей во всех пробах диагностирован никель (0,02...0,31 масс. %), в четырёх – медь (по 0,03 масс. %) (см. табл. 2).

*Магнитная восприимчивость пород и руд.* Установлено, что для метаморфизованных осадочных терригенных пород михайловской свиты (PR, mh) показатель магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) изменяется в пределах 0,9...35,9·10<sup>-5</sup> ед. СИ. В крупнообъёмном метасоматическом ореоле он существенно возрастает до 1000·10<sup>-5</sup> ед. СИ и более.

Для нахождения взаимосвязи между распределением золота и показателем магнитной восприимчивости в породах и рудах месторождения рассчитывались их статистические параметры и коэффициенты ранговой корреляции по четырём разведочным профилям – БЛ 7, 8а, 19, 30 (табл. 3), а также статистические параметры для каждой из 33 буровых скважин, расположенных на этих профилях.

На изученных профилях коэффициент вариации ( $V$ ) показателя магнитной восприимчивости изменяется от неравномерного – 82–89%, до весьма неравномерного – 122%. Золото характеризуется крайне неравномерным распределением содержания с  $V$ , превышающим 150%. Ранговый коэффициент корреляции между содержанием золота и показателем магнитной восприимчивости по БЛ 8а составляет 0,20, а по БЛ 19 – 0,22, что превышает критическое значение  $r_{крит.}=0,08$ . Таким образом, связь между распределением золота и показателем магнитной восприимчивости на центральных разведочных профилях значимая

и положительная. На крайних северном БЛ 7 и южном БЛ 30 разведочных профилях статистически значимая корреляционная связь между распределением содержания золота и показателем магнитной восприимчивости отсутствует.

Однако вывод о статистически значимой взаимосвязи между распределением золота и  $\chi$  в породах и рудах месторождения на центральных разведочных профилях не всегда подтверждается для пород и руд, отобранных из отдельных скважин, где  $r$  может быть как положительным и отрицательным значимым, так и незначимым (табл. 4). При этом значимая корреляционная связь в породах и рудах между распределением золота и  $\chi$  в большинстве скважин не выявлена. В частности, значимая отрицательная корреляционная связь в скважинах 85 ( $r=-0,23$ ) и 86 ( $r=-0,28$ ) объясняется самыми высокими на БЛ 8а коэффициентами вариации (327 и 308%) и средними содержаниями Au (3 и 2,2 г/т). Кроме того, независимо от характера взаимосвязи между распределением золота и  $\chi$  часто наблюдается смещение относительно друг друга высококонтрастных ореолов данных показателей (рис. 4). Расхождение в пространственном распределении золотой и пирротиновой минерализации также отмечалось в работах [7, 9]. На крайних разведочных линиях (БЛ 7 и 30) взаимосвязь между поведением золота и показателем магнитной восприимчивости как на профилях в целом (см. табл. 2), так и по отдельным скважинам не установлена.

Дополнительно была построена модель пирротиновой минерализации, отражающая распределение пирротинов по генерациям и изменение магнитной восприимчивости в объёме рудной за-

## 2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПИРРОТИНОВ (масс. %) И РЕНТГЕНОДИФРАКТОМЕТРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Генерации пирротина	Номера образцов	Fe	S	Cu	Ni	Сумма	Формулы пирротинов по результатам рентгеноспектрального анализа	$d(102), \text{Å}$
Гексагональный пирротин								
I	84-155,3	61,57	38,20	-	0,20	99,97	$(\text{Fe}_{0,925}\text{Ni}_{0,003})\text{S}$	2,06328
I	84-67,5	61,35	38,24	-	0,35	99,94	$(\text{Fe}_{0,920}\text{Ni}_{0,005})\text{S}$	2,06063
I	194-87,2	61,45	38,07	-	0,35	99,94	$(\text{Fe}_{0,926}\text{Ni}_{0,005})\text{S}$	2,06357
I	194-147,5	60,76	38,83	0,04	0,17	99,82	$(\text{Fe}_{0,898}\text{Ni}_{0,002})\text{S}$	2,06455
I	85-74,1	61,33	38,48	-	0,13	99,94	$(\text{Fe}_{0,914}\text{Ni}_{0,002})\text{S}$	2,06180
I	194-63,0	61,57	38,20	-	0,12	99,95	$(\text{Fe}_{0,925}\text{Ni}_{0,002})\text{S}$	2,06351
II	194-83,4	61,23	38,45	-	0,10	99,78	$(\text{Fe}_{0,914}\text{Ni}_{0,001})\text{S}$	2,06680
II	85-119,7	61,42	38,14	-	0,16	99,72	$(\text{Fe}_{0,924}\text{Ni}_{0,002})\text{S}$	2,05974
II	194-178,0	61,38	38,20	-	0,21	99,79	$(\text{Fe}_{0,922}\text{Ni}_{0,003})\text{S}$	2,05936
III	83-134,7	61,56	38,33	-	0,11	99,99	$(\text{Fe}_{0,923}\text{Ni}_{0,002})\text{S}$	2,06573
III	87-132,0	61,02	38,8	-	0,15	99,97	$(\text{Fe}_{0,903}\text{Ni}_{0,002})\text{S}$	2,06234
III	83-133,3	61,27	38,49	-	0,15	99,93	$(\text{Fe}_{0,914}\text{Ni}_{0,002})\text{S}$	2,06680
Моноклинный пирротин								
I	84-155,3	60,21	39,35	-	0,13	99,69	$(\text{Fe}_{0,878}\text{Ni}_{0,002})\text{S}$	2,05298
I	194-147,5	60,46	39,14	-	0,31	99,91	$(\text{Fe}_{0,886}\text{Ni}_{0,004})\text{S}$	2,05189
I	85-74,1	60,41	39,35	-	0,20	99,96	$(\text{Fe}_{0,881}\text{Ni}_{0,003})\text{S}$	2,04630
I	194-63,0	60,21	39,35	-	0,13	99,69	$(\text{Fe}_{0,878}\text{Ni}_{0,002})\text{S}$	2,05012
II	194-83,4	60,49	39,73	0,03	0,12	100,39	$(\text{Fe}_{0,874}\text{Ni}_{0,002})\text{S}$	2,05199
II	85-119,7	60,29	39,39	-	0,28	99,96	$(\text{Fe}_{0,878}\text{Ni}_{0,003})\text{S}$	2,05172
II	194-178,0	60,43	39,77	0,03	0,02	100,25	$(\text{Fe}_{0,872}\text{Ni}_{0,003})\text{S}$	2,05183
III	83-134,7	60,31	39,6	0,03	0,11	99,94	$(\text{Fe}_{0,874}\text{Ni}_{0,002})\text{S}$	2,04874
III	87-132,0	60,4	39,44	-	0,14	99,98	$(\text{Fe}_{0,879}\text{Ni}_{0,002})\text{S}$	2,05185
III	83-133,3	60,32	40,08	0,03	0,09	100,53	$(\text{Fe}_{0,864}\text{Ni}_{0,001})\text{S}$	2,05210

Примечание. «-» – элемент не определен.

## 3. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЗОЛОТА И ПОКАЗАТЕЛЯ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ В ПОРОДАХ И РУДАХ ПО РАЗВЕДОЧНЫМ ПРОФИЛЯМ

Статистические показатели	БЛ 7		БЛ 8а		БЛ 19		БЛ 30	
	$n=280$		$n=694$		$n=756$		$n=240$	
	Au, г/т	$\chi, n \cdot 10^{-5}$	Au, г/т	$\chi, n \cdot 10^{-5}$	Au, г/т	$\chi, n \cdot 10^{-5}$	Au, г/т	$\chi, n \cdot 10^{-5}$
min	0,00	-15	0,00	3	0,00	0,9	0,00	6
max	7,86	1225	57,95	1316	311,35	1013	5,58	1307
$x_{\text{cp}}$	0,22	138	1,14	169	0,87	103	0,09	154
$S$	0,55	117	3,45	150	11,39	127	0,41	128
$V, \%$	244	84	300	89	1295	122	445	82
$r$	-0,05		<b>0,20</b>		<b>0,22</b>		-0,10	

Примечание.  $n$  – число проб, min – минимальное, max – максимальное,  $x_{\text{cp}}$  – среднее значения,  $S$  – стандартное отклонение,  $V$  – коэффициент вариации,  $r$  – ранговый коэффициент корреляции; жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляционной связи.

#### 4. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЗОЛОТА И ПОКАЗАТЕЛЯ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ В ПОРОДАХ И РУДАХ ПО СКВАЖИНАМ БЛ 8А

Статистические показатели		Номера скважин									
		80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
$n$		60	83	80	78	79	88	62	64	49	51
$r$		0,06	<b>0,24</b>	0,14	0,12	0,02	<b>-0,23</b>	<b>-0,28</b>	-0,07	0,11	<b>0,45</b>
Au	$x_{cp}, \text{г/т}$	0,35	0,62	0,81	0,96	0,99	3,00	2,23	1,12	0,45	0,27
$\chi$	$x_{cp}, n \cdot 10^{-5}$	54	97	95	170	147	197	313	301	182	170
Au	$V, \%$	195,6	273,7	138,1	119,6	113,9	327,2	307,8	145,2	134,0	265,2
$\chi$	$V, \%$	105,4	102,7	93,0	108,9	69,7	48,9	56,5	62,7	80,9	60,4

Примечание. Усл. обозн. см. табл. 3.

лежи (рис. 5). Пирротин I генерации наиболее распространён и относительно равномерно развит во всём метасоматическом ореоле месторождения. В центральной части (БЛ 8а, 19), наряду с пирротином I генерации, существенный объём занимает пирротин II и III генераций, пространственно связанный с золотой минерализацией.

**Обсуждение результатов.** Как известно, в природе пирротин встречается в нескольких структурных модификациях, среди которых наиболее распространены гексагональный, моноклинный пирротины и троилит. Они отличаются по химическому составу, магнитным свойствам и структурным характеристикам. Содержание Fe в моноклинном пирротине составляет 46,5...46,9 ат. %, гексагональном – 47,0...48,3 ат. %, троилите – 49,8...50,2 ат. %. Многие исследователи отмечают, что в гидротермальных рудных месторождениях преимущественно развит моноклинный пирротин [4, 9, 11, 19–21, 25]. Результаты изучения химического состава пирротинов месторождения Чёртово Корыто показали присутствие в рудах минералов моноклинной и гексагональной модификаций, причём обе они сосуществуют во всех генерациях. В раннем пирротине число определений, соответствующих моноклинной и гексагональной модификациям, соответственно равно 29 и 71%, в пирротине II – 40 и 60%, пирротине III – 68 и 32% (см. табл. 1). То есть количество моноклинного пирротина увеличивается от ранней генерации к поздней.

Набор элементов-примесей в природных пирротинах весьма ограничен. Характерно присутствие никеля, кобальта и меди в различных коли-

чественных соотношениях. Наиболее богаты примесями пирротины медно-никелевых месторождений. В них содержание этих элементов может достигать 1 масс. % [4]. В золоторудных месторождениях пирротин обычно содержит до 0,5 масс. % Ni и Cu. Кобальт встречается редко. Пирротины месторождения Чёртово Корыто содержат от 0,00 до 0,04 масс. % Cu и от 0,00 до 1,44 масс. % Ni, причём медь фиксируется всего в 13 определениях, а никель почти в каждой пробе. Максимальное его количество отмечается в пирротине II, который ассоциирует с собственным минералом никеля – ульманитом (NiSbS). Небольшой набор примесей в пирротине, возможно, связан со спецификой функционирующих в системе растворов, не богатых кобальтом, медью и др., что подтверждает

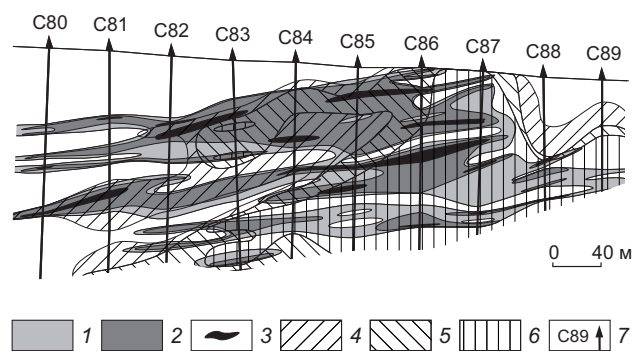
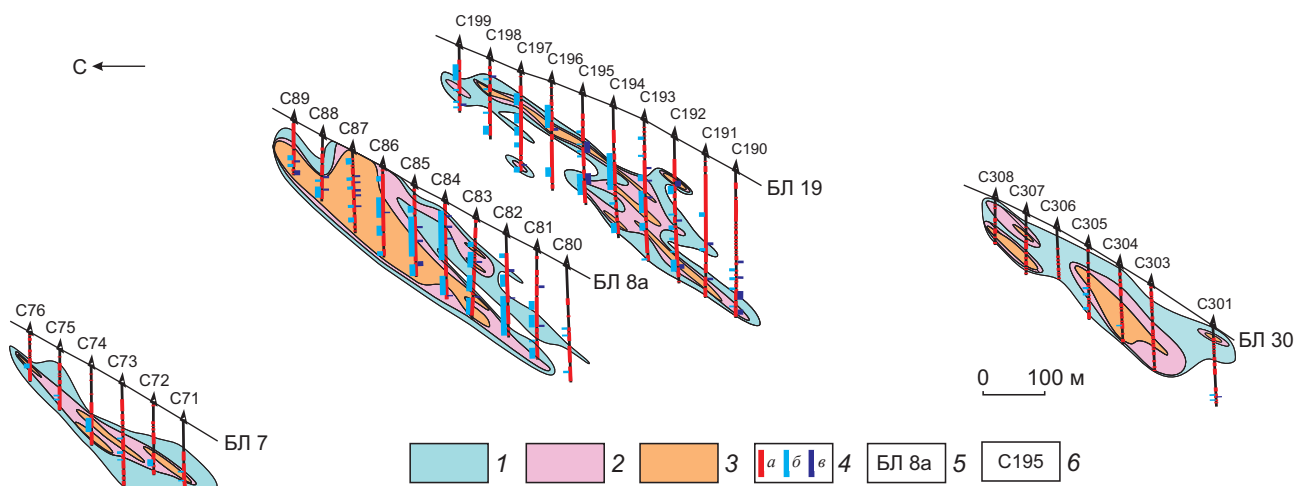


Рис. 4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛОТА И ПОКАЗАТЕЛЯ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ПО БЛ 8А:

содержание Au, г/т: 1 – 0,5...1, 2 – 1...3, 3 – >3; значения магнитной восприимчивости,  $n \cdot 10^{-5}$  ед. СИ: 4 – 100...150, 5 – 150...200, 6 – >200; 7 – буровые скважины, их номера



**Рис. 5. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ И ГЕНЕРАЦИЙ ПИРРОТИНОВ В ПОПЕРЕЧНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ:**

значения магнитной восприимчивости,  $n \cdot 10^{-5}$  ед. СИ: 1 – 100...150, 2 – 150...200, 3 –  $>200$ ; 4 – генерации пирротинов (а – пирротин I, б – пирротин II, в – пирротин III); 5 – буровые линии, их номера; 6 – скважины, их номера

ся отсутствием собственных минералов этих элементов.

Согласно исследованиям структуры природных пирротинов методом порошковой дифрактометрии, моноклинный и гексагональный пирротины различаются расщеплением рентгеновского импульса от плоскости  $d$  (102). На дифрактограммах гексагонального пирротина отражение представлено одним пиком, а моноклинного – двумя. Изученные рентгенограммы пирротинов различных месторождений группируются в три типа. Два типа соответствуют гексагональной и моноклинной модификациям, один – смеси гексагонального и моноклинного пирротинов. Рентгенограммы, отвечающие смеси гексагонального и моноклинного пирротинов, описаны многими исследователями [16–18, 24, 25]. Они характерны для пирротинов медно-никелевых, колчеданных, а также гидротермальных золоторудных месторождений.

Рентгенограммы пирротиновых проб месторождения Чёртово Корято разделяются на два типа. Первый тип рентгенограмм, соответствующий гексагональной модификации (две пробы), зафиксирован в пирротине I, второй, отвечающий смеси гексагонального и моноклинного пирротинов (10 проб), – в пирротине I, II и III. Проб с чистым моноклинным пирротинном не обнаружено.

Следует отметить, что сравнение составов различных модификаций пирротинов всех трёх гене-

раций, полученных рентгеноспектральным и рентгенодифрактометрическим методами, показывает их удовлетворительную сходимость (см. табл. 2).

Таким образом, при изучении элементного состава и структурных характеристик пирротинов выявлено, что пирротин трёх генераций представляет собой смесь гексагональной и моноклинной структурных модификаций. Причём в первом комплексе преобладает гексагональный пирротин, в четвёртом – моноклинный. Преобладание моноклинного пирротина в поздних минеральных комплексах отмечается для Олимпиадинского, Дарасунского и Майского золоторудных месторождений [4, 9].

О присутствии в каждой генерации пирротина двух структурных модификаций также свидетельствуют ранее изученные авторами доменные структуры и микротвёрдость [13]. Для раннего пирротина I характерны слабо выраженные доменные структуры (осаждение магнитной суспензии происходит медленно и незначительно), позднего пирротина III – ярко выраженные (равномерное и быстрое осаждение порошка по всей поверхности). Микротвёрдость пирротинов изменяется в интервале 210,24...409,12 кгс/мм<sup>2</sup>. Для раннего пирротина характерно преобладание низких значений твёрдости, для позднего – высоких, что обусловлено различным соотношением модификаций.

Об увеличении количества моноклинного пирротина от ранней генерации к поздней свидетельствует изменение магнитной восприимчивости в объёме рудной залежи (см. рис. 4). Как известно, моноклинный пирротин является ферримагнетиком [4]. Поэтому повышенная магнитная восприимчивость фиксируется только в местах наличия моноклинного пирротина, причём максимальные значения параметра  $\chi$  ( $>200 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ) отмечаются в областях распространения пирротина II и III генераций, где моноклинный пирротин преобладает (см. рис. 4, БЛ 8а, 19). Магнитная восприимчивость, изменяющаяся в интервале  $100 \dots 150 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, фиксируется в областях преобладания пирротина I, в которых моноклинный пирротин практически отсутствует (см. рис. 4, БЛ 7, 30).

Анализ распределения золота и показателя магнитной восприимчивости в породах и рудах месторождения показал, что отсутствие корреляционной связи между ними на северном (БЛ 7) и южном (БЛ 30) флангах связано с распространением кварц-рутил-апатит-пирит-пирротинового (первого) комплекса на периферии минерализованной зоны и практически полным отсутствием минеральных комплексов, содержащих золотую минерализацию. Соответственно, значимая положительная связь между распределением золота и показателем магнитной восприимчивости в центральной части месторождения (БЛ 8а, 19) обусловлена наличием кварц-пирит-арсенопирит-пирротинового с золотом (второго) и кварц-полиметаллического с золотом (четвёртого) комплексов. На всех четырёх изученных профилях между распределением содержания золота и показателем магнитной восприимчивости устанавливается незначительная пространственная разобщённость.

Положительная корреляционная зависимость между распределением золота и показателем магнитной восприимчивости по центральным разведочным профилям говорит об их тесной пространственной взаимосвязи, что может быть учтено при проведении прогнозно-поисковых работ.

Таким образом, в ходе исследований установлено, что пирротин месторождения Чёртова Корыто представлен тремя генерациями, в составе которых сосуществуют гексагональная ( $Fe_8S_9$ ,  $Fe_9S_{10}$ ) и моноклинная ( $Fe_7S_8$ ) структурные модификации. Отмечено увеличение количества моноклинного пирротина от ранней генерации к поздней. Из элементов-примесей в сульфиде диагностированы ни-

кель и медь. Магнитная восприимчивость в объёме минерализованной зоны связана с моноклинным (ферримагнитным) пирротинном. Показатель магнитной восприимчивости проявляет устойчивую пространственную взаимосвязь с распределением золота. Проведённые исследования позволяют использовать типоморфные свойства пирротина для решения геологических задач, направленных на выделение рудных интервалов и минеральных комплексов, содержащих золото.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16-35-00041/16).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагина Е.А. Минеральные комплексы руд и генезис золоторудного месторождения Чёртова Корыто (Патомское нагорье) // Изв. Томского политехн. ун-та. 2012. Т. 321. № 1. С. 63–69.
2. Ворошин С.В., Шарафутдинов В.М., Тюкова Е.Э. Аномалии петромагнитных параметров, обусловленные сульфидной минерализацией, и прогноз оруденения в Яно-Колымском золотоносном поясе // Тихоокеанская геология. 2000. Т. 19. № 5. С. 91–104.
3. Гаврилов Р.Ю., Синкина Е.А., Мицых С.Н. Метод капаметрии как прогнозно-поисковый критерий золоторуденения // Изв. Томского политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 3. С. 106–116.
4. Генкин А.Д., Логинов В.П., Органова Н.И. О взаимоотношениях и особенностях размещения гексагональных и моноклинных пирротинов в рудах // Геология рудных месторождений. 1965. № 3. С. 3–24.
5. Ерофеев Л.Я., Орехов А.Н. Геофизические и петрофизические исследования малосульфидных кварцевых месторождений золота Сибири // Геофизика. 2014. № 3. С. 55–60.
6. Колмаков Ю.В., Соколов С.В., Гусев Е.В. Геодинамические условия образования месторождений золота в Патомском нагорье, Восточная Сибирь: факторы их проявления в аномалиях магнитного поля // Отечественная геология. 2010. № 4. С. 8–14.
7. Колмаков Ю.В. Золото-сульфидное месторождение Благодатное (Енисейский край, Россия): природа геофизических аномалий, последовательность и причины образования петрофизической зональности // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 11. С. 1667–1681.
8. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верховин А.В. Структурно-динамическая модель золоторудных месторождений, образованных в несланцевом и черносланцевом субстрате. Ч. 2. Месторож-

- дение Чертово Корыто (Патомское нагорье) // Изв. Томского политехн. ун-та. 2008. Т. 314. № 1. С. 23–38.
9. Некрасова Н.А. Вариации состава пирротина в минерализованной зоне Олимпиадинского золоторудного месторождения // Тр. XVIII Междунар. науч. симпозиума им. академика М.А.Усова «Проблемы геологии и освоения недр». Томск, 2014. С. 224–225.
  10. Пахомов М.И., Пахомов В.И. Петрофизический метод выделения и оценки метасоматитов. – М.: Недра, 1988.
  11. Пирротины золотосодержащих руд: состав, точечные дефекты, магнитные свойства, распределение золота / А.М.Сазонов, В.В.Онуфриенко, Ю.В.Колмаков и др. // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2014. № 6. С. 717–737.
  12. Рудерман Е.Н. К созданию системы обнаружения золоторудных метасоматитов геофизическими и геохимическими методами // Геология и разведка. 1990. № 5. С. 122–128.
  13. Синкина Е.А., Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю. Типоморфизм пирротинов золоторудного месторождения Чертово Корыто (Патомское нагорье) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2017. № 1. С. 58–65.
  14. Соколов С.В. Петрофизика золотосульфидного оруднения в углеродистых толщах на примере месторождения Чертово Корыто (Патомское нагорье): дисс... канд. геол.-минер. наук. – Томск, 2011.
  15. Airo M.-L. Aeromagnetic and aeroradiometric response to hydrothermal alteration // Surveys in Geophysics. 2002. Vol. 23 (4). P. 273–302.
  16. Arnold R.G. Equilibrium relation between pyrrhotite and pyrite from 325° to 743°C // Economic Geology. 1962. Vol. 57. № 1. P. 72–90.
  17. Arnold R.G. Mixture of hexagonal and monoclinic pyrrhotite and the measurement of the metal content of pyrrhotite by X-ray diffraction // American Mineralogist. 1966. Vol. 51. P. 1221–1227.
  18. Ferrow E., Adetunji J., Nkoma J. Characterization of pyrrhotite in Cu-Ni-ore bodies from mines in Botswana by Mossbauer spectroscopy, X-ray diffraction, and thermomagnetometry // European Journal Mineralogy. 2006. Vol. 18. P. 653–664.
  19. Gold deposits of the Ukrainian shield (Ukraine) / V.B.Koval', Yu.M.Koptyukh, M.A.Yaroshchuk et al. // Geology of Ore Deposits. 2004. Vol. 39 (3). P. 194–208.
  20. Grönholm S., Voipio T. The Palokallio gold occurrence at Huittinen, southern Finland // Special Paper of the Geological Survey of Finland. 2012. Vol. 52. P. 91–99.
  21. Kontoniemi O., Johanson B., Kojonen K., Pakkanen L. Ore mineralogy of the Osikonmaki gold deposits, Rantasalmi, Southeastern Finland // Geological Survey of Finland. 1991. Vol. 12. P. 81–89.
  22. Mertanen S., Karell F. Palaeomagnetic and AMS studies on Satulinmäki and Kojjärvi fault and shear zones // Special Paper of the Geological Survey of Finland. 2012. Vol. 52. P. 195–226.
  23. Mertanen S., Karell F. Rock magnetic investigations constraining relative timing for gold deposits in Finland // Bulletin of the Geological Society of Finland. 2011. Vol. 83 (2). P. 75–94.
  24. Morimoto N., Nakazawa H., Nishiguchi K., Tokonami M. Pyrrhotites: stoichiometric compounds with composition  $Fe_{n-1}S_n$  // Science. 1970. Vol. 168. P. 964–966.
  25. Wall Rock Alterations and Physicochemical Conditions of the Sovetsk Gold Deposit Formation (Enisei Ridge) / O.V.Rusinova, V.L.Rusinov, S.S.Abramov et al. // Geology of Ore Deposits. 1999. Vol. 41 (4). P. 276–294.

### 3-D MODEL OF CHERTOVO KORYTO GOLD DEPOSIT PYRRHOTITE MINERALIZATION, PATOM HIGHLAND

E.A.Sinkina, R.Yu.Gavrilov (Institute of Natural Resources, National Research Tomsk State University)

*Study results of Chertovo Koryto deposit pyrrhotite mineralization are given. Analysis was carried out for chemical composition and X-ray structural characteristics of pyrrhotites. It was proved that the sulfide is represented by three generations consisting of hexagonal ( $Fe_8S_9$ ,  $Fe_9S_{10}$ ) and monoclinic ( $Fe_7S_8$ ) structural modifications. Distribution of pyrrhotites of various generations in an ore deposit is shown as well as magnetic susceptibility index caused by presence of ferromagnetic pyrrhotite. Stable spatial connection between gold distribution and magnetic susceptibility index is established.*

*Keywords: gold deposit, pyrrhotite, structural modifications, magnetic susceptibility.*







### ТЕХНОГЕННОЕ МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЁ: ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ, ГЕОЛОГО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ

Рассматриваются вопросы изучения вещественного состава, технологических свойств в процессе геолого-технологического картирования техногенного минерального сырья и возможности его переработки. Проанализированы техногенные объекты редких металлов и составлена схема их размещения на территории России. Приведены результаты изучения трёх техногенных образований редких металлов – потенциальных источников редкометалльно-редкоземельной товарной продукции. Это лежалые хвосты обогащения руд Хинганского хвостохранилища, содержащие касситерит, Батагайского хвостохранилища рубидийсодержащих песков и хвосты золотоизвлекательной фабрики, содержащие серый монацит. По данным изучения вещественного состава, технологических свойств техногенных хвостов сделан вывод о том, что их переработка возможна по единой технологической схеме с получением товарных концентратов, если они относятся к одному технологическому типу. Для техногенных объектов, образованных при переработке руд различных технологических типов, где имеет место высокая пространственная изменчивость качества техногенных песков, требуется переработка по разным технологическим схемам.

*Ключевые слова:* техногенные хвосты, редкие металлы, вещественный состав, геолого-технологическое картирование, обогащение.

В настоящее время общепризнано, что техногенное минеральное сырьё – это конкурентоспособный, перспективный, постоянно пополняемый минеральный ресурс [12–18]. Повышенный интерес к техногенным месторождениям и образованиям обусловлен: сокращением числа и ухудшением качества руд разведываемых и эксплуатируемых месторождений по мере их отработки; концентрацией в техногенных образованиях весьма значительного количества минерального сырья с содержаниями и запасами, нередко сопоставимыми с природными месторождениями; исключением из геологоразведочного процесса при оценке техногенных образований поисковой и, в какой-то мере, оценочной стадий. Значительная часть техногенных отходов благоприятна для переработки, поскольку сырьё уже добыто и находится на земной поверхности, измельчено, полезные минералы в той или иной степени высвобождены из вмещающей горной массы.

В большинстве своём техногенные отходы горнодобывающей промышленности – комплексные, содержат полезные и попутные компоненты, которые могут извлекаться в товарную продукцию. Запасы хвостов могут пополняться, если источником их является действующее предприятие (горно-обогатительный комбинат (ГОК), металлургический завод, ТЭС). Кроме того, требования ох-

#### Левченко Елена Николаевна<sup>1</sup>

доктор геолого-минералогических наук  
заместитель генерального директора  
lev\_imgre@rambler.ru

#### Веремеева Людмила Ивановна<sup>1</sup>

кандидат геолого-минералогических наук  
заведующая сектором

#### Горлова Ольга Евгеньевна<sup>2</sup>

кандидат технических наук  
доцент

<sup>1</sup> ФГБУ «Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов», г. Москва

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск

раны окружающей среды стимулируют необходимость освоения и утилизации техногенных образований.

Вышесказанное в полной мере относится к отходам добычи и переработки руд редких металлов [3, 4, 11], имеющих свою специфику. Во многих случаях редкие металлы не извлекаются в полном объёме при получении основного полезного компонента и накапливаются в отходах [2, 6]. На долю горных отраслей промышленности приходится 70–80% объёма всех техногенных образований на территории России.

Множественность показателей, характеризующих техногенные объекты, предопределяет сложность их классификации и типизации. К ним относятся условия образования, объёмы, вещественный состав, характер процессов, в результате которых происходит преобразование первичного вещества, неоднородность влияния отдельных показателей на принятие технологических решений и экономических оценок и др. [1, 5, 9].

На основании анализа техногенных объектов редких металлов составлена схема их размещения на территории России (рис. 1). К потенциальным объектам, на которых выполнены или проводятся технологические исследования, оценены авторские запасы или ресурсы, отнесены хвосты обогащения: железных руд Гусевогорского и собственно Качканарского месторождений (Качканарский ГОК) – Sc, Ti, V; флюоритовых руд Вознесенского и Пограничного месторождений (Ярославский ГОК) – Be, Li, Rb, Cs, криолит; куларитов (редкие земли (TR), Au); редкометалльных гранитов Орловского и Этыкинского месторождений – Li, Rb, Cs, Ta, Nb, Sc, Zr, Ga, Zn, Sn. А также золы каменных и бурых углей – TR, Sc, Y, Ta, Nb; отвалы ТЭС – V, Ni, Ge; породы вскрыши – Ti, Zr, Au; отходы от переработки вольфрамитовых концентратов (вольфрамовые кеки) – Ta, Nb, Sc и ильменитовых концентратов – V, Sc.

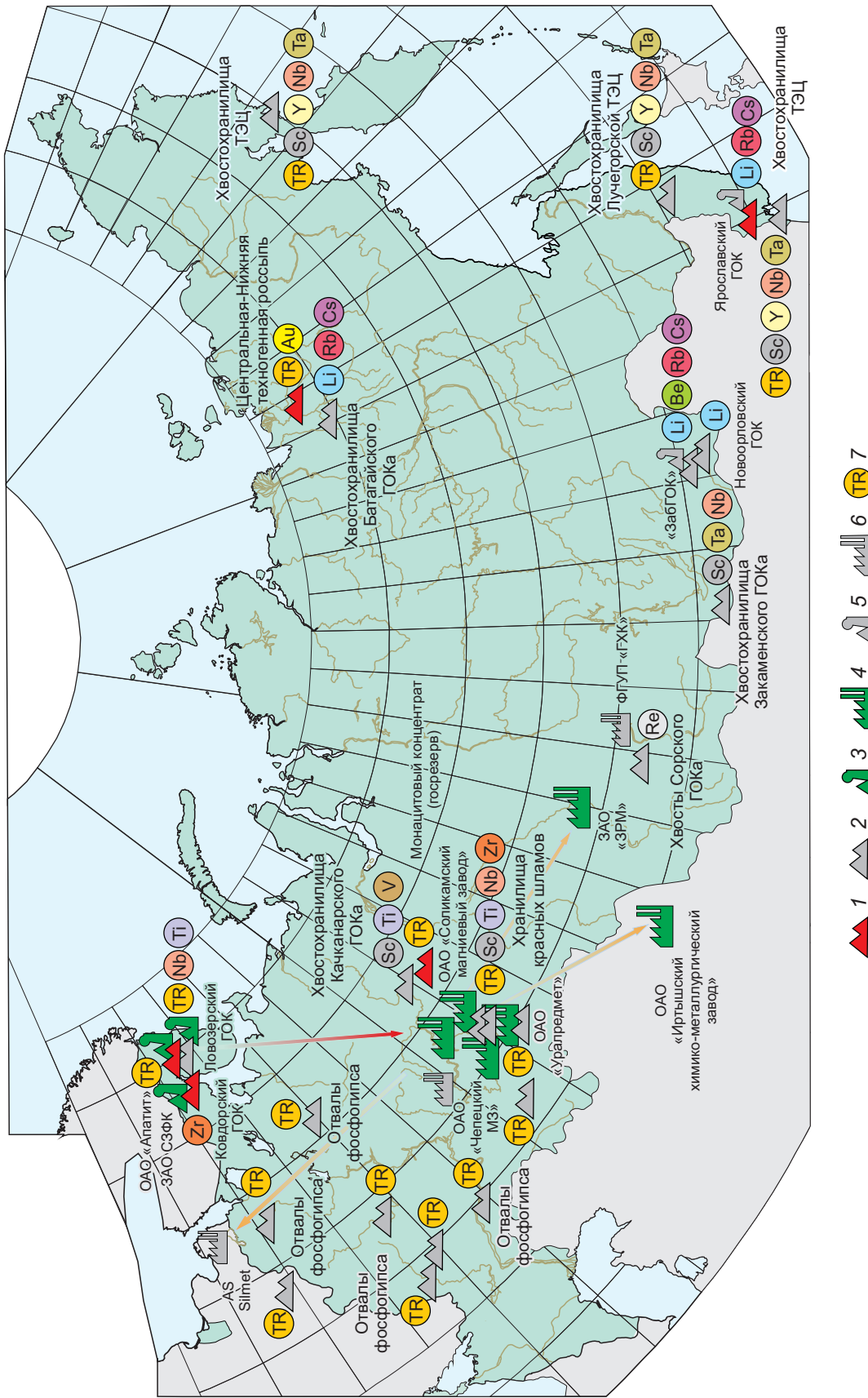
Выполнено ранжирование редкометалльных техногенных месторождений и техногенных образований по целесообразности их доизучения и вовлечения в промышленное освоение. Объекты первой очереди: апатитовые концентраты хибинских апатит-нефелиновых месторождений (TR, Sr, F); хвосты обогащения эвдиалитовых люавритов Ловозерского ГОКа (TR), бадделеит-apatит-магнетитовых руд Ковдорского ГОКа (apatит, бадделеит  $ZrO_2$ ), флюоритовых руд Вознесенского и Погранич-

ного месторождений Ярославского ГОКа (Be, Li, Rb, Cs, криолит). Объекты второй очереди: отходы от переработки апатитовых концентратов хибинских месторождений (фосфогипс), содержащие редкоземельные металлы, гипс; отходы от переработки бокситов (красные шламы), содержащие Fe, Ti, Zr, Au, Sc, TR, Y; хвосты обогащения нефелин-полевошпатовых пегматитов Вишневогорского ГОКа, содержащие TR.

Главное значение при исследовании техногенного минерального сырья различного состава приобретает изучение его вещественного состава и технологических свойств. Неравномерное пространственное размещение потенциальных полезных компонентов в хвостохранилищах определяется качеством переработанного природного сырья, изменяющегося во времени по мере отработки месторождения. Технологические свойства техногенных отходов также зависят от условий их формирования (добыча и обогащение руд, переработка руд и получение концентратов), климатических факторов, продолжительности хранения. Материал техногенных образований нередко отличается от природного не только по гранулометрическому составу, но и содержанию ряда химических элементов и минеральных новообразований, возникших как в процессе обогащения минерального сырья, так и при хранении отходов [10].

При оценке технологических свойств техногенных отходов, содержащих редкие металлы, для выбора рациональной технологии их переработки использован алгоритм [7], в соответствии с которым на объектах исследовались вещественный состав отходов, а именно химический состав и гранулометрическая характеристика материала с распределением ценных, попутных и вредных компонентов по классам крупности, минеральный состав, физические и физико-механические свойства. Для определения целесообразности и эколого-экономической эффективности использования техногенного сырья применялся методический подход (рис. 2), последовательно включающий геолого-минералогическую, технологическую, экологическую и экономическую его оценку [8].

В сочетании с традиционным испытанием технологических проб геолого-технологическое картирование составляет основу современной технологической оценки запасов твёрдых полезных ископаемых. Оно осуществляется по данным (по массе продуктов) гравитационно-магнитного ана-



**Рис. 1. РАЗМЕЩЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ РОССИИ, ИХ ДОБЫЧИ И ПРОИЗВОДСТВА:**

1 – техногенные месторождения; 2 – техногенные объекты; действующие предприятия; 3 – добывающие, 4 – перерабатывающие; действующие предприятия; 5 – добывающие, 6 – перерабатывающие; 7 – полезные компоненты

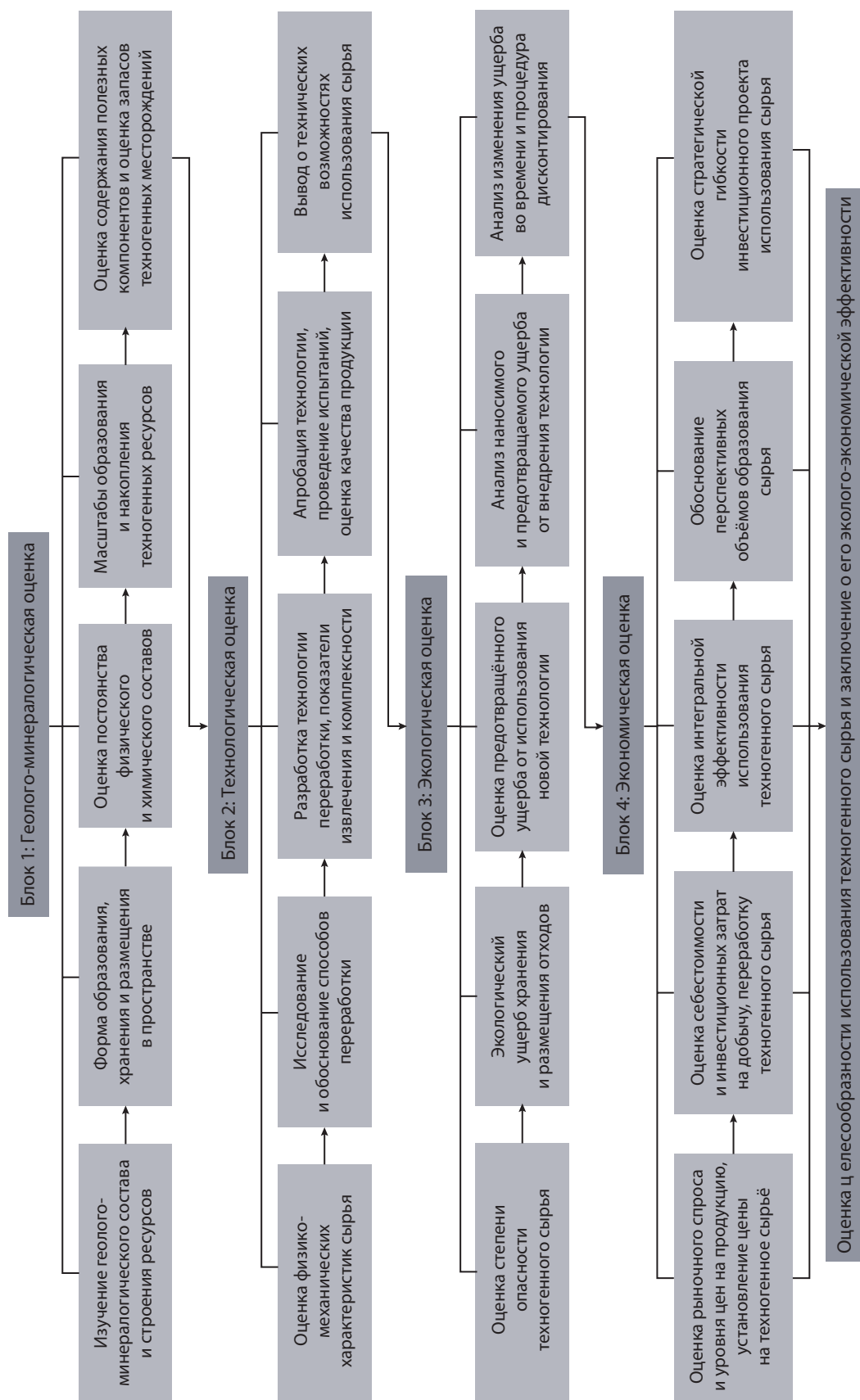


Рис. 2. БЛОК-СХЕМА МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ [2]

лиза (фракционирования) исходных проб, результатам минералогического анализа исходных проб с определением содержания основных рудных минералов, результатам количественного минералогического анализа тяжёлой фракции, выделенной из исходных проб, прогнозным технологическим показателям, полученным по единой технологической схеме. В результате определяются изменчивость параметров вещественного состава, технологических показателей (содержаний минералов) и их взаимосвязь (коэффициенты вариации и парной корреляции), причём при характеристике неравномерности вещественного состава и технологических свойств коэффициент вариации не учитывает расположение проб в пространстве. Развёрнутая схема гравитационно-магнитного фракционирования проб песков является традиционной при изучении вещественного состава, поэтому данные минералогического анализа по основным рудным минералам характеризуют технологические свойства руд.

Ниже рассмотрены результаты изучения вещественного состава, технологических свойств и геолого-технологического картирования техногенных образований редких металлов, перспективных для получения дополнительной товарной продукции.

**Техногенные пески Хинганского хвостохранилища, содержащие касситерит.** Образовались в результате переработки руд одноимённого месторождения олова в период с 1945 по 2005 гг. Запасы хвостов составляют около 8 млн т, среднее содержание Sn 0,17–0,25%. Выполнено геолого-технологическое картирование хвостохранилища. Гранулометрический и минеральный составы 16 минералого-технологических проб (МТП), отобранных по 263 двухметровым интервалам, приведены на рис. 3.

Технологические свойства исследовались на материале укрупнённо-лабораторной технологической пробы (ЛТП). Определено распределение олова по шести стандартным классам крупности, включая класс -0,044 мм (табл. 1). Содержание Sn в хвостах составляет 0,141%. Основным продуктивным классом является материал крупностью менее -0,074 мм с общим распределением олова 79,11%. Преобладает материал крупностью -0,044 мм и распределением олова в нём 63,56%.

По данным минералогического анализа породы сложены силикатным и алюмосиликатным ма-

териалом, представленным кварцем, кварцево-слюдистыми агрегатами, глинисто-слюдистыми агломератами (табл. 2). Основной носитель олова касситерит присутствует в пробах в виде осколочных зёрен (рис. 4). Полное раскрытие касситерита начинается с класса -0,1 мм.

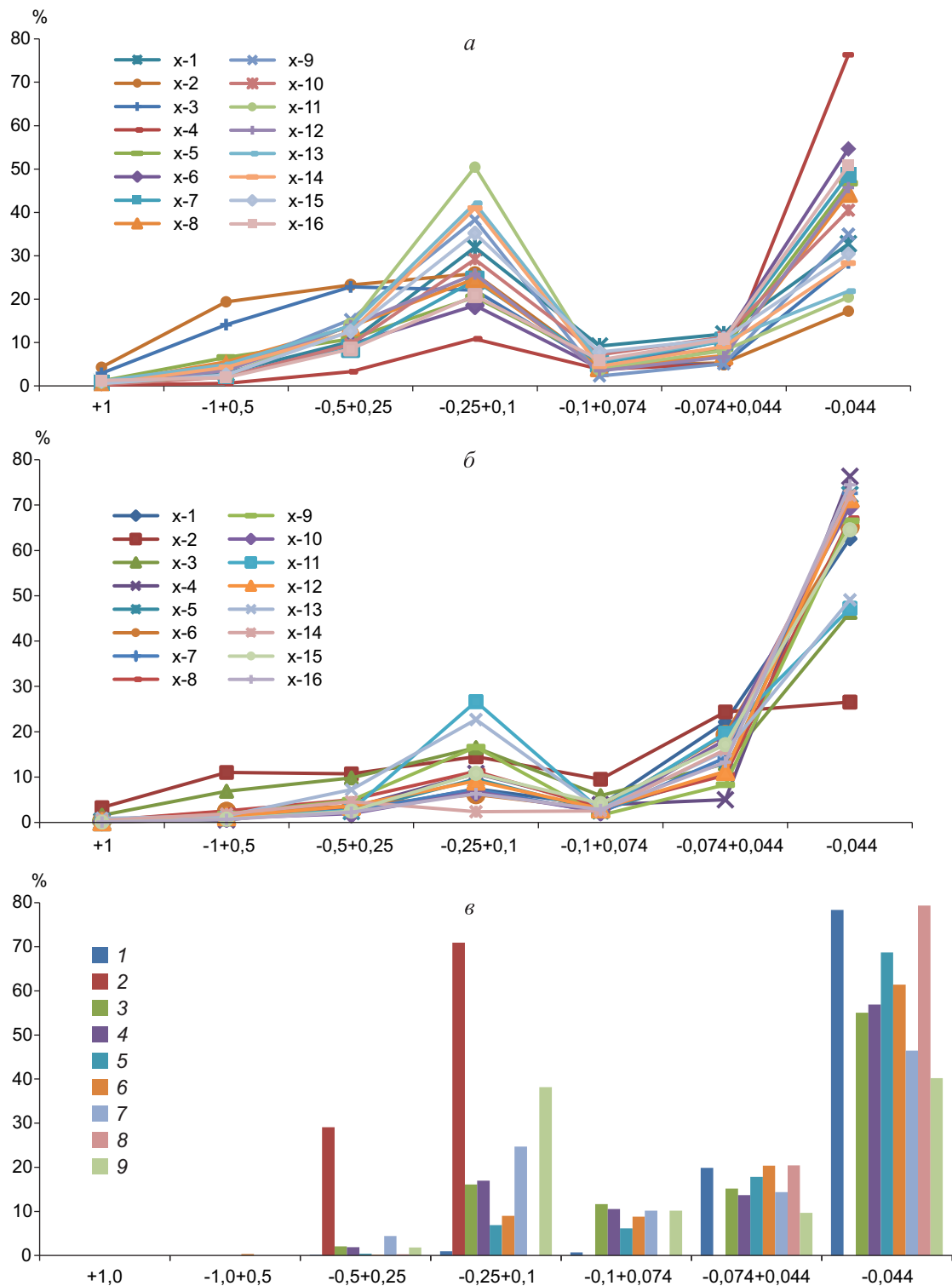
В пробе содержатся хлорит 5,523%, большая часть которого находится в тонком срастании с кварцево-слюдистыми агрегатами, флюорит 3,827%, сульфиды ~0,428 %, представленные сфалеритом, галенитом и халькопиритом, в меньшей степени окисленным пиритом и арсенопиритом. В качестве аксессуарных минералов (<<0,01 об. %) присут-

### 1. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ИСХОДНОЙ ЛТП С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ОЛОВА ПО КЛАССАМ КРУПНОСТИ, %

Класс, мм	Выход	Содержание Sn	Распределение Sn
+1	1,05	0,066	0,48
-1...+0,5	4,90	0,067	2,25
-0,5...+0,25	12,65	0,044	3,85
-0,25...+0,1	28,85	0,054	10,80
-0,1...+0,074	5,17	0,099	3,51
-0,074...+0,044	8,50	0,266	15,55
-0,044...+0	38,87	0,238	63,56
Исходная проба	100,0	0,141	100,0

### 2. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ИСХОДНОЙ ЛТП, масс. %

Минералы	Содержание
<b>Касситерит</b>	<b>0,336</b>
<b>Касситерит в сростках</b>	<b>0,004</b>
Кварц	33,449
Полевые шпаты серицитизированные	7,395
<b>Флюорит</b>	<b>3,827</b>
Лимонит-гётитовые агрегаты	2,570
<b>Сульфиды</b>	<b>0,428</b>
Слюдисто-кварцевые сростки	39,636
Слюдистые агрегаты	1,989
<b>Хлорит</b>	<b>5,523</b>
Прочие	5,143



**Рис. 3. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ИСХОДНЫХ МТП:**

*а* – выход класса; *б* – распределение олова по классам крупности; *в* – распределение касситерита и породообразующих минералов по классам крупности: 1 – касситерит, 2 – касситерит в сростках, 3 – кварц, 4 – полевые шпаты серицитизированные, 5 – флюорит, 6 – лимонит-гётитовые агрегаты, 7 – слюдисто-кварцевые сростки, 8 – слюдистые агрегаты, 9 – кварцево-слюдистые агрегаты с хлоритом

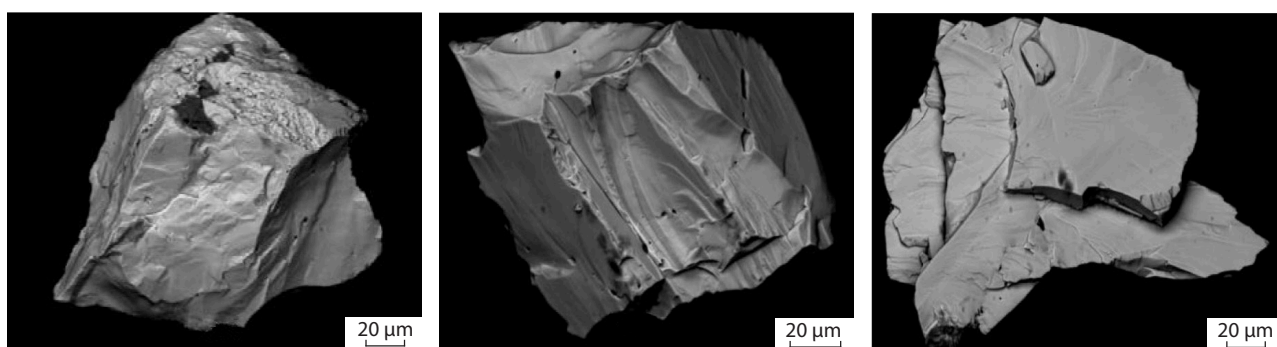


Рис. 4. ЗЁРНА КАССИТЕРИТА В МАТЕРИАЛЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОБЫ

ствуют апатит, циркон, рутил, топаз, турмалин, эпидот, бадделлит, амфиболы, биотит.

Разработана технологическая схема получения черного концентрата по гравитационной схеме обогащения, включающей двухстадийную концентрацию на центробежных концентраторах Falcon в замкнутом цикле и доводку черновых концентратов на концентрационных столах Gemini (табл. 3). По рекомендуемой технологической схеме извлечение олова в гравитационный концентрат составляет 65,23% при содержании его 52,73% и выходе 0,17%. В гравитационных концентратах отмечено значительное количество сульфидных минералов (арсенопирит, пирит, сфалерит, галенит, халькопирит) и флюорита. Выход отвальных хвостов составляет 99,83% при содержании 0,05% Sn. Потери олова с хвостами гравитации – 34,77%.

По содержанию основного компонента (ТУ 48-13-41-89) гравитационный концентрат соответствует марке КО-2, но в нём больше содержание лимитированных примесей (Pb, As, S, Cu, Zn, WO<sub>3</sub>, F).

Для повышения качества оловянного концентрата применялся метод флотации с выделением сульфидного и флюоритового концентратов. Полученный камерный продукт флотации содержал 64,7% Sn при извлечении 92% и соответствовал марке КО-1.

**Техногенные рубидийсодержащие пески Батагайского хвостохранилища** (Республика Саха, Якутия). Сформировались из гравитационных и флотационных хвостов переработки руд Эге-Хайского месторождения и хвостов гравитационного обогащения руд Кестерского месторождения касситерит-кварцевой и касситерит-редкометалльно-кварцевой формаций соответственно. Необходимость оценки песков техногенной залежи хвос-

тоохранилища продиктована, с одной стороны, благоприятными экономическими факторами (близостью к коммуникациям, отсутствием вскрышных работ, относительно высокими содержаниями компонентов, в основном дорогостоящих (Sn, Li, Rb, Cs, Nb, Ta)), с другой – экологической составляющей, поскольку объект на протяжении 45 лет представляет существенную угрозу окружающей среде. Пески вмещают комплекс токсичных элементов, среди которых наиболее опасен таллий – второй после ртути по токсичности и первый по патологичности элемент. Установлено, что содержание Tl в них повышено до 4,68, Cd до 314, Li до 318, Be до 503 предельно допустимых концентраций. Поскольку все соединения таллия (I класс опасности) хорошо растворимы, предполагается, что часть его уже вынесена из песков хвостохранилища и поступила в воды р. Яна.

Эге-хайские хвосты вскрыты в основании центральной и южной частей хвостохранилища, кестерские занимают верхнюю часть. Вещественный состав и технологические свойства кестерских и

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ГРАВИТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ ЛТП, %

Продукты	Выход	Содержание Sn	Распределение Sn
Sn гравитационный концентрат	0,17	52,73	65,23
Хвосты гравитации	99,83	0,05	34,77
Исходная проба	100,00	0,14	100,00

эге-хайских хвостов Батагайского хвостохранилища изучены на материале пяти МТП различных типов: 34 рядовых геологических проб, 11 лабораторных проб, отобранных из шурфов на всю мощность песков для компоновки укрупнённых ЛТП по выделенным сортам. Содержание полезных, попутных и токсичных компонентов, а также распределение полезных и попутных компонентов в МТП в кестерском слое на площади Батагайского хвостохранилища показаны на рис. 5.

Содержание полезных и токсичных компонентов в МТП неравномерное, и никакой зависимости между ними не прослеживается. В распределении олова в рядовых пробах кестерского слоя (см. рис. 5, в) выделяются две группы, в одной – оно распределяется в основном в классе  $-0,044$  мм, в другой – в классе  $+0,2$  мм. Распределение лития и рубидия в рядовых пробах не столь чёткое, как олова, однако большая их часть находится в классе  $-0,2...+0,1$  мм, меньшая – в классе  $-0,044$  мм. Рубидий и литий повторяют тенденцию распределения олова по классам крупности с той лишь разницей, что площадь распространения их несколько шире.

По результатам изучения вещественного состава и обогатимости проб установлено, что пространственная изменчивость качества техногенных песков Батагайского хвостохранилища определяется наличием отходов переработки руд трёх геолого-промышленных типов: кестерских тонкозернистых, кестерских мелкозернистых и эге-хайских.

Особенности вещественного состава, в том числе распределение основных полезных компонентов в песках по классам крупности, подтверждают наличие нескольких типов песков с различным вещественным составом. Эге-хайские пески отличаются максимальными концентрациями олова. В них практически отсутствуют попутные полезные компоненты, характерные для верхней части залежи. Кестерские пески отличаются повышенным выходом шламового класса и значительной пространственной изменчивостью этого параметра по площади. Шламовый класс характеризуется повышенной оловоносностью. Кестерские пески имеют кварц-полевошпат-слюдистый состав и максимальные концентрации Li, Rb, Nb, Ta. Содержание олова в них меньше, чем в подстилающих эге-хайских песках.

Технологические испытания кестерских и эге-хайских песков проведены отдельно. Материал

#### 4. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ПРОБ

Класс, мм	Выход классов, %		
	УК-I	УК-II	УЭ-I
+0,5	13,14	0,67	18,15
-0,5...+0,2	38,79	3,81	24,19
-0,2...+0,1	41,13	34,90	34,78
-0,1...+0,05	4,54	34,35	11,72
-0,05	2,40	26,27	11,16

пробы кестерских тонкозернистых песков (УК-I) представлен в основном классами крупности  $+0,5...-0,2...+0,1$  мм, кестерских мелкозернистых (УК-II) – классами  $-0,2...-0,05$  мм, эге-хайских (УЭ-I) – классами  $+0,5...-0,05$  мм (табл. 4).

Содержания полезных и попутных компонентов в классах крупности даны на рис. 6. Наиболее высокие содержания олова, тантала и ниобия отмечаются в классах крупности  $<0,05$  мм, рубидия, лития и цезия в классе  $-0,5...+0,2$  мм.

Технологические испытания пробы УК-I проведены по гравитационной и флотационной схемам обогащения. По гравитационной схеме получен концентрат с содержанием 16,20% Sn при его извлечении 22,64%. Содержание Ta и Nb в оловянном концентрате не превышало 0,2%. Флотационные показатели обогащения песков несколько ниже. В пенный продукт, содержащий 8,51% Sn, извлечение составило 9,13%. В результате технологических испытаний по обогащению песков пробы УК-II получен оловянный концентрат с содержанием 28,87% и извлечением олова 18,20%. Испытаниями по гравитационной схеме обогащения укрупнённой пробы эге-хайских хвостов УЭ-I получен оловянный концентрат с содержанием 16,59% и извлечением олова 26,51%.

Потери олова в основном приходятся на шламы и материал крупнее 0,1 мм. В то же время, учитывая результаты исследований, вовлекать в переработку материал крупнее 0,1 мм в целях повышения извлечения олова в оловянные концентраты представляется нецелесообразным из-за больших энергетических затрат, необходимых для доизмельчения хвостов.

Вопрос попутного извлечения тантала и ниобия, изоморфно связанных с касситеритом, реша-



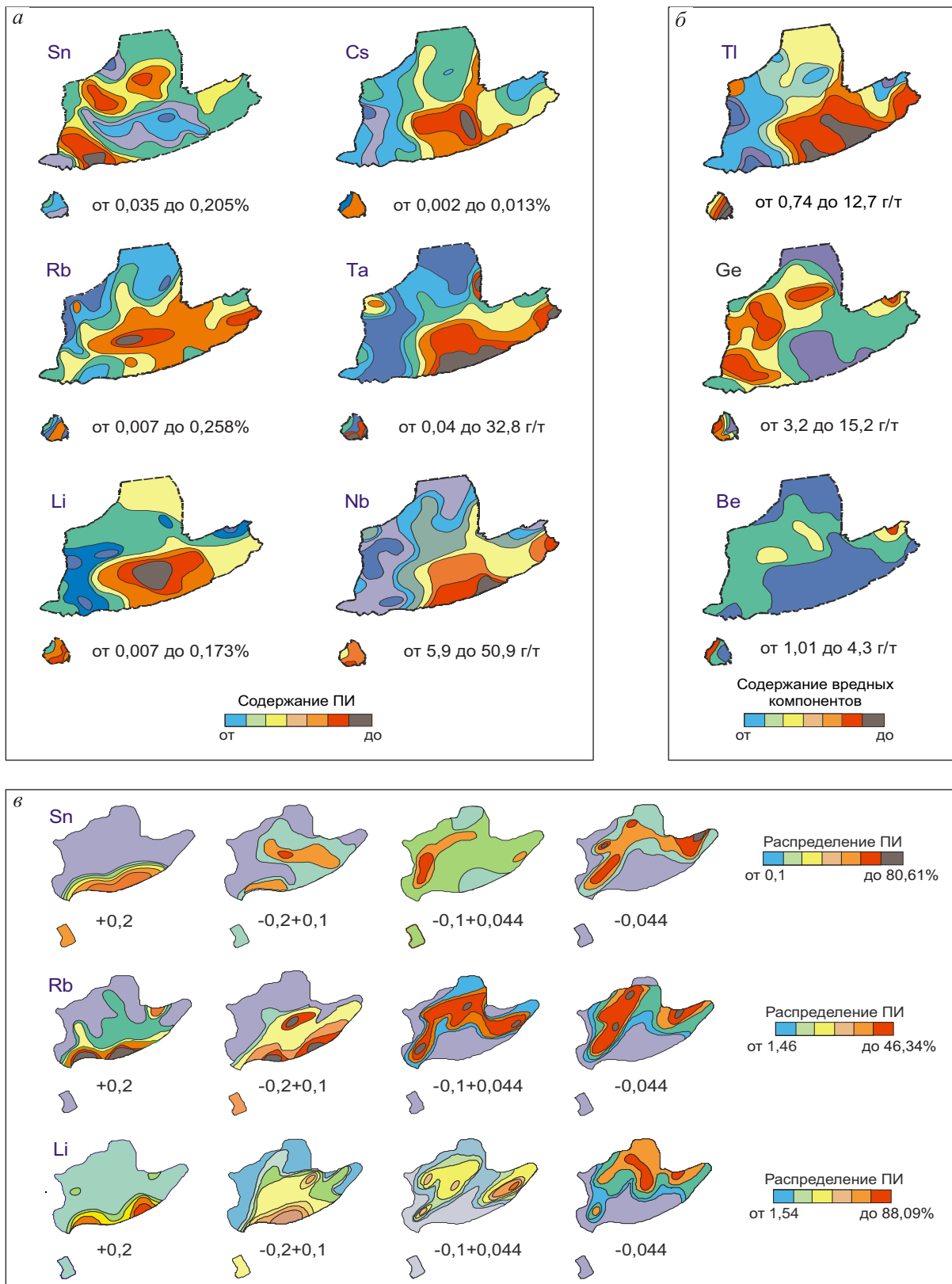


Рис. 5. СОДЕРЖАНИЕ ПОЛЕЗНЫХ И ПОПУТНЫХ (а), ТОКСИЧНЫХ (б) КОМПОНЕНТОВ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ И ПОПУТНЫХ КОМПОНЕНТОВ (в) В МТП КЕСТЕРСКОГО СЛОЯ НА ПЛОЩАДИ БАТАГАЙСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА

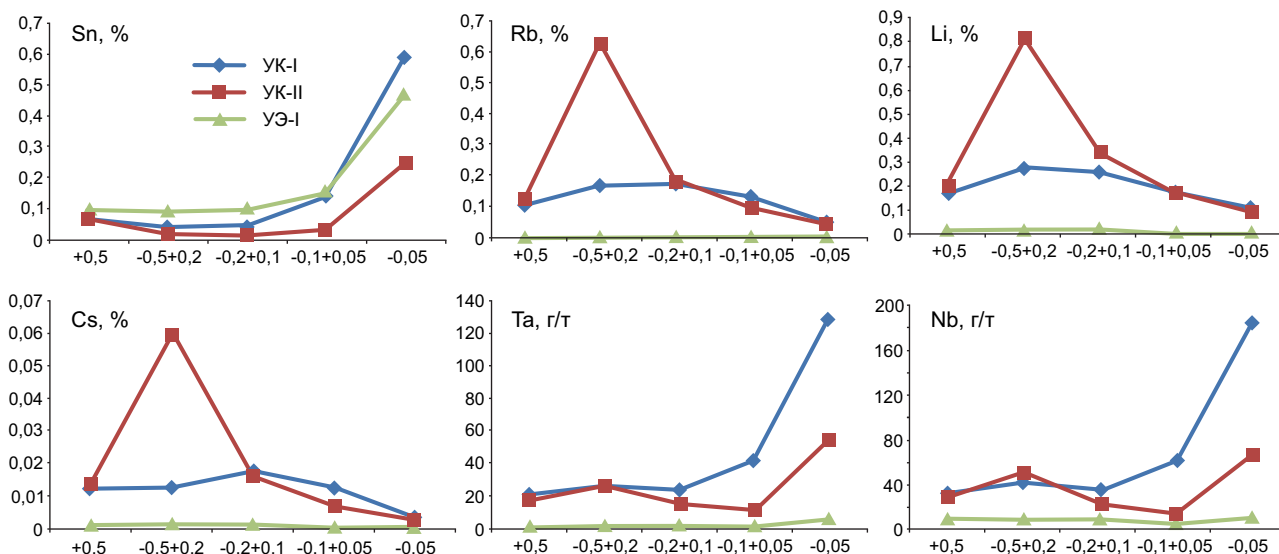


Рис. 6. СОДЕРЖАНИЕ ОСНОВНЫХ ПОЛЕЗНЫХ И ПОПУТНЫХ КОМПОНЕНТОВ В КЛАССАХ КРУПНОСТИ ПЕСКОВ

ется только на стадии переработки шлаков при выплавке олова из касситеритового концентрата, поэтому определить с достаточной точностью извлечение тантала и ниобия в концентрат на данной стадии геологоразведочных работ затруднительно.

Решение вопроса повышения извлечения олова, попутных тантала и ниобия при обогащении песков лежалых хвостов возможно при использовании химико-металлургических методов переработки труднообогатимых продуктов обогащения песков и (или) повышении эффективности флотации олова за счёт новых реагентов и энергетических воздействий.

**Техногенные пески, содержащие серый монацит (куларит).** Минералого-технологические исследования выполнены на эфельных отвалах золотоизвлекательной фабрики, содержащих серый монацит (куларит). Среднее содержание суммы оксидов редких земель ( $\Sigma TR_2O_3$ ) в исходных песках составляет 0,585%. Наиболее значимыми элементами редких земель являются Ce, La, Nb, Sm. Рудный минерал, содержащий  $TR_2O_3$ , представлен куларитом. Состав редких земель довольно постоянный, наиболее значимые элементы – Ce, La, Nd, Sm, основной значимый компонент – Eu.

Изучен вещественный состав 11 МТП. Содержание  $\Sigma TR_2O_3$  в исходных пробах колеблется от 0,19 до 0,63% (рис. 7, а). Продуктивен класс -1,25...+0,044 мм (см. рис. 7, б). Установленные прогноз-

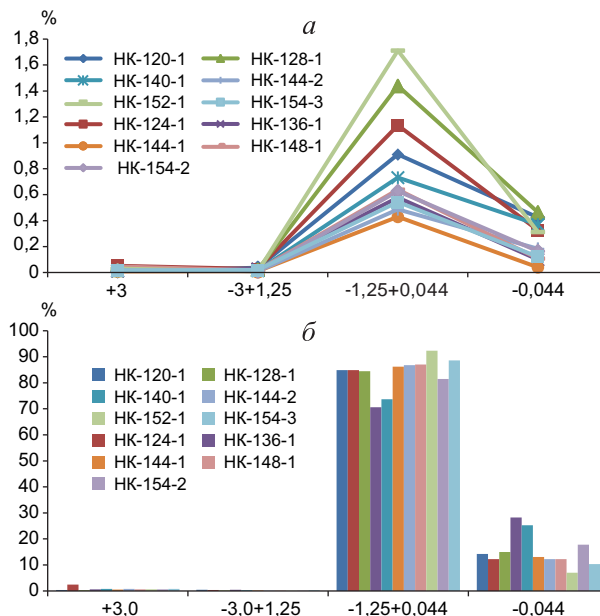


Рис. 7. СОДЕРЖАНИЕ (а) И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ (б)  $\Sigma TR$  В КЛАССАХ КРУПНОСТИ МТП

ные технологические показатели цикла первичного обогащения на стадии выделения класса -1,25...+0,044 мм выявили, что по взаимоотношениям между выходом продуктивного класса и содержанием в нём  $TR_2O_3$  можно выделить две группы проб с чёткими зависимостями. В первой группе с повышением выхода продуктивного класса возрастает содержание ценных компонентов. Во вто-

рой, наоборот, при увеличении выхода продуктивного класса содержание  $\Sigma TR_2O_3$  уменьшается.

Технологические показатели, полученные на стадии наработки серого шлиха (чернового гравитационного концентрата) из песков класса -1,25...+0,044 мм, свидетельствуют о существенном разбросе значений как содержаний ценных компонентов (от 4,7 до 24,59%), так и их извлечения (от 22,13 до 76,57%) при относительной стабильности выхода серого шлиха (в пределах  $\pm 1,5-2\%$ ) (табл. 5). Последнее говорит о сходных гравитационных свойствах исследуемых песков класса -1,25...+0,044 мм.

Вещественный состав (гранулометрический, химический, минеральный) техногенных песков указывает на однотипность и схожесть получаемых технологических показателей. В связи с этим исследуемые пески можно отнести к одному технологическому типу и обогащать по единой гравитационной схеме с извлечением черновых куларитовых концентратов для последующей переработки и выделения индивидуальных оксидов редких земель.

В заключение отметим следующее.

Выполнено минералого-технологическое картирование трёх техногенных образований – хвостохранилищ переработки руд различных геолого-промышленных типов, содержащих редкие ме-

таллы. Изучен вещественный состав и технологические свойства хвостов. Определены методы и показатели обогащения техногенных хвостов.

Исследованы гравитационные и флотационные методы обогащения хвостов Хинганского хвостохранилища, образованного в результате переработки касситеритовых руд одноимённого месторождения. Наиболее эффективной технологией является гравитационное обогащение с получением оловянного концентрата, содержащего 52,73% Sn при извлечении 65,23% и соответствующего ТУ 48-13-41-89 (марка КО-1).

На основании изучения вещественного состава и технологических свойств техногенных рубидийсодержащих песков Батагайского хвостохранилища установлено, что хвосты переработки руд Эге-Хайского и Кестерского месторождений относятся к разным технологическим типам и не могут перерабатываться по единой технологической схеме.

Показана возможность переработки эфельных отвалов золотоизвлекательной фабрики, содержащих серый монацит по единой технологической схеме. При гравитационном обогащении минералого-технологических проб получен куларитовый концентрат с содержанием от 5,11 до 24,59% суммы редких земель и извлечением куларита от 22,13 до 76,57%, пригодный для последующей переработки и выделения индивидуальных оксидов редких земель.

Полученные данные на основе минералого-технологической оценки техногенного сырья использованы для геолого-технологического картирования площади хвостохранилища.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александрова Т.Н., Николаева Н.В.* Эколого-геохимическая оценка техногенных отходов горно-металлургического комплекса России. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015.
2. *Быховский Л.З.* Реальные, потенциальные и перспективные источники редкоземельного сырья в России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2014. № 4. С. 2–7.
3. *Быховский Л.З., Спорыхина Л.В.* Техногенные отходы как резерв пополнения минерально-сырьевой базы: состояние и проблемы освоения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2011. № 4. С. 15–20.

#### 5. СВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА СТАДИИ ПОЛУЧЕНИЯ СЕРОГО ШЛИХА ИЗ КЛАССА -1,25...+0,044 мм

Номера МТП	Выход от исходного, %	Содержание, %		Извлечение $TR_2O_3$ , %
		$TR_2O_3$	Куларит	
НК-120-1	0,69	23,61	44,54	27,93
НК-124-1	4,1	10,73	20,24	76,57
НК-128-1	1,53	16,58	31,29	51,67
НК-136-1	1,5	9,47	17,86	68,25
НК-140-1	1,51	24,91	47,00	74,49
НК-144-1	1,93	6,22	11,74	84,39
НК-144-2	3,27	4,7	8,88	45,27
НК-148-1	2,25	11,4	21,50	69,04
НК-152-1	0,94	22,78	42,99	22,13
НК-154-2	0,74	22,71	42,84	49,09
НК-154-3	0,35	24,59	46,39	26,7
Коэффициент вариации	66,74	48,63	48,63	40,59

4. Быховский Л.З., Спорыхина Л.В., Ануфриева С.И. Техногенные месторождения и образования редких металлов в России // Рациональное освоение недр. 2014. № 3. С. 14–22.
5. Грановская Н.В., Наставкин А.В., Мещанинов Ф.В. Техногенные месторождения полезных ископаемых. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2013.
6. Мелентьев Г.Б. Техногенный потенциал в ожидании промышленного освоения // Редкие земли. 2015. № 3. С. 132–144.
7. Методические рекомендации НСОМТИ № 112 «Оценка технологических свойств техногенных отходов, содержащих редкие металлы, для выбора рациональной технологии их переработки» / Е.Н.Левченко, Л.З.Быховский, С.И.Ануфриева и др. – М.: ВИМС, 2016.
8. Методические рекомендации НСОМТИ № 113 «Геолого-технологическое картирование и малообъемное технологическое опробование комплексных руд, содержащих редкие и редкоземельные металлы» / Л.А.Азарнова, А.В.Темнов, М.А.Козлова, и др. – М.: ВИМС, 2016.
9. Техногенные минеральные ресурсы / Под ред. Б.К.Михайлова. – М.: Научный мир. 2012.
10. Чантурия В.А., Шадрунова И.В., Горлова О.Е. Адаптация разделительных процессов обогащения полезных ископаемых к техногенному сырью: проблемы и решения // Обогащение руд. 2012. № 5. С. 43–50.
11. Чантурия В.А., Шадрунова И.В., Горлова О.Е., Орехова Н.Н. Формирование ресурсосберегающих технологий переработки вторичного металлсодержаще-го сырья на основе принципов адаптации // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. Спец. вып. № 1. С. 347–360.
12. Adam Cheng Ying Ping, Waters Kristian E. A review of the beneficiation of rare earth element bearing minerals // Minerals Engineering. 2013. Vol. 41. P. 97–114.
13. Castor S.B., Hedrick J.B. Rare Earth Elements. 2003. [Электронный ресурс] URL: [http://www.fieldexploration.com/images/property/1\\_RareEarths\\_FLX\\_02.pdf](http://www.fieldexploration.com/images/property/1_RareEarths_FLX_02.pdf).
14. Jamieson H.E., Walker S.R., Parsons M.B. Mineralogical characterization of mine waste // Applied Geochemistry. 2015. Vol. 57. P. 85–105.
15. Lifton J. The global rare earth market. 2015. November 30. [Электронный ресурс] URL: <https://investorintel.com/sectors/technology-metals/technology-metals-intel/lifton-on-kingsnorth-and-the-global-rare-earth-market/>.
16. Merriman D. A Review of the Global Supply of Rare Earths / Roskill Consulting Group, 20<sup>th</sup> March. 2013. [Электронный ресурс] URL: [http://www.rsc.org/images/David-Merriman\\_tcm18-230229.pdf](http://www.rsc.org/images/David-Merriman_tcm18-230229.pdf).
17. Rare earth elements: a review of production, processing, recycling and associated environmental issues / With Permission of AlanM1/CC-BY-SA-3.0 Office of Research and Development EPA/600/R-12/572. December. 2012. Revised Rare Earth Elements.
18. Zinkov A.V., Tarasenko I.A., Bakhareva G.A., Afanasieva T.V. Specific features of technogenic mineralization of tailing dumps (Primorye, Dalnegorsk district) // Pacific Sci. Rev. Kangnam, 2003. Vol. 5. P. 16–22.

## TECHNOGENIC MINERAL MATERIALS: COMPOSITION AND TECHNOLOGICAL PROPERTY FEATURES, GEOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL MAPPING

E.N.Levchenko<sup>1</sup>, L.I.Veremeeva<sup>1</sup>, O.E.Gorlova<sup>2</sup> (<sup>1</sup> IMGRE, <sup>2</sup> Nosov Magnitogorsk State Technical University)

*Issues of mineral composition study, technological properties in geological and technological mapping of minerals and its potential processing are considered. Technogenic sites of rare metals are analyzed and their location scheme within Russia is compiled. Study results are given for three potential sources of rare metal/rare earth commodities. They are stale tailings of Khingan tailings pond containing cassiterite, Batagay tailings pond rich in Rb sands and gold plant tailings containing grey monazite. Based on study of mineral composition and technological properties of technogenic waste conclusion is made on its potential processing according to the unified flowsheet to produce salable concentrates if they belong to one technological type. Technogenic sites formed in processing ores of various technological types, where high spatial variability of technogenic sand quality takes place, require processing through different flowsheets.*

**Keywords:** *technogenic tailings, rare metals, mineral composition, geological and technological mapping, treatment.*

## НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ ГОРНОСТАЕВ – ПЕРВЫЙ ДИРЕКТОР ЦНИГРИ



Николай Николаевич Горностаев родился в Харькове 8 (20) января 1896 г. в семье чиновника. В 1913 г. он блестяще, с серебряной медалью, окончил Тифлисскую 2-ю гимназию и поступил в Санкт-Петербургский университет на математическое отделение физико-математического факультета. Через год перешёл в Горный институт – на горный факультет.

Летом 1917 г. по приглашению профессора института В.В.Никитина в качестве практиканта участвовал в разведке в Нижне-Тагильском горном округе на р. Лёвиха, увенчавшейся открытием месторождения медно-колчеданных руд. С февраля 1918 г. по август 1919 г. служил петрографом и руководил разведкой на колчеданы к северу от месторождения Сан-Донато и на марганцевые руды в Гулящих Горах.

В 1919 г. переехал в Томск, где поступил на горный факультет Томского технологического института (ТТИ). Способный студент был сразу замечен профессором М.А.Усовым, который рекомендовал его для участия в летних экспедиционных работах Сибирского геологического комитета. Н.Н.Горностаеву, тогда студенту третьего курса, предложили руководство геологической партией, выполнявшей 10-вёрстное геологическое картографирование в Прииртышской части Киргизской степи (Центральный Казахстан).

*«Позже, уже будучи профессором, Николай Николаевич, описывая в одной из научных публикаций геологию этого района, отмечал, сколь напряжённым был для него тот полевой сезон. Всё потому,*

*что по мере работы он больше и больше убеждался в ошибочности представлений предшественников, а подобное неожиданное заключение требовало очень серьёзных подкреплений. И он их добыл, продолжив эти работы летом следующего года, но уже в качестве штатного сотрудника Сибгеолкома»\**. Толковый студент пришёлся ко двору, дальнейшее его продвижение по службе было стремительным (1921–1928 гг.): инженер для поручений, научный сотрудник 1-го разряда, геолог-сотрудник, исполняющий обязанности геолога, геолог, старший геолог, с 1923 г. – и. о. учёного секретаря Сибгеолкома.

*«Внедрение Горностаева в преподавательские ряды было не менее быстрым. В январе 1921 г. он впервые входит в студенческую аудиторию как преподаватель кафедры минералогии Томского государственного университета (ТГУ), а через год занимает должность и. о. ассистента на родном факультете в ТТИ. При этом студент Горностаев сам прилежно посещает лекции профессоров, ведь до окончания института оставался ещё год. Из этого необычного симбиоза сотрудника Геолкома, преподавателя и студента и выкристаллизовался феномен профессора Горностаева, удивлявшего знаниями практической и теоретической геологии, физики, математики, иностранных языков (владел немецким, английским, французским, читал на итальянском, испанском, латыни) не только студентов, но и многих профессоров».*

В 1922 г. был командирован в Петроград для ознакомления с современными исследованиями по кристаллографии. В 1923 г. выступил на учёном совете Сибгеолкома с докладом «Современное развитие кристаллографии и её положение в ряду физико-математических дисциплин». С этим докладом, привлёкшим внимание специалистов, Н.Н.Горностаев выступил также в Томском отделении Русского физико-химического общества. Летом 1923 г. Сибпромбюро назначило его председателем комиссии по передаче арендатору государственного золотого рудника «Берикуль». В 1924–1928 гг. он выполнял геологические съёмки

\* Здесь и далее курсивом приведены цитаты из книги Ю.В.Уткина «Кафедра петрографии Томского государственного университета 1927–2002». – Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2002.

территории площадью более 21 тыс. км<sup>2</sup> в Киргизской степи, пройдя маршрут между станицами Семиярская, Баян-Аул и горами Аркалык. В 1925 г. участвовал в качестве представителя Сибгеолкома в работе 1-го Всесибирского маркшейдерского съезда, а в 1926 г. как представитель Сибгеолкома и томских вузов – в работе 2-го Всесоюзного съезда геологов в Киеве, где представил доклады «Молодая магматическая формация Киргизской степи» и «Условия проявления различных форм контактового метаморфизма Киргизской степи». После съезда по просьбе академика В.И.Вернадского и профессора А.П.Герасимова повторил первый доклад в Русском минералогическом обществе в Ленинграде.

В 1926 г. Н.Н.Горностаев избран доцентом, а в мае 1927 г. – по всесоюзному конкурсу – профессором по курсу петрографии Уральского политехнического института (г. Свердловск). Весной 1928 г. он прочитал здесь сжатый курс лекций по петрографии, но переехать в Свердловск на постоянную работу отказался.

Летом 1927 г. проводил геологическую экспертизу строительства туннеля на 311–312-м км Ачинск-Минусинской ветки Томской железной дороги, железнодорожного моста через р. Иртыш в Семипалатинске, северной части Туркестано-Сибирской железной дороги. В 1928 г. консультировал изыскания железнодорожной линии Риддек–Карповка, условия строительства моста через р. Иртыш в районе Усть-Каменогорска и геологоразведочные работы в районе пос. Известковый (близ Семипалатинска) на р. Иртыш. В 1929 г. осуществлял геологическую съёмку на Южном Урале. В конце 20-х – первой половине 30-х годов занимался вопросами региональной геологии Горного Алтая и Енисейского края, анализом условий формирования руд золото-кварцевой, золото-серебряной формаций и золотоносных россыпей. Вёл геолого-петрографическое изучение ряда золоторудных месторождений североенисейской тайги, Кузнецкого Алатау, Забайкалья и выступал в качестве консультанта при их разработке.

С 1929 г. Н.Н.Горностаев – профессор и заведующий кафедрой петрографии ТГУ, параллельно в 1930–1932 гг. – заведующий кафедрой петрографии Сибирского геологоразведочного института, в 1934–1935 гг. – заведующий объединённой кафедрой минералогии, кристаллографии и петрографии Томского индустриального института им. С.М.Ки-



рова. В разное время читал курсы по геологии, физической геологии, петрологии осадочных пород, петрографии, приёмам и методам кристаллографических исследований, петрографическим провинциям СССР, петрогенезису и др. и проводил практические занятия по некоторым из них. Будучи прекрасным лектором, Николай Николаевич умел доходчиво объяснять любые самые сложные геологические понятия.

*«Петрология магматических пород и связь с ними золоторудных месторождений – вот основной научный конёк профессора Горностаева. Похоже, не было на территории Восточной и Западной Сибири золоторудных месторождений, которые бы он не изучал или не консультировал их разработку. Горностаев, владея огромным и уникальным фактическим материалом, разработал важную в теоретическом и прикладном значении классификацию золоторудных месторождений по глубинности их образования в земной коре. Его монографии по региональной геологии Семипалатинского округа, Горного Алтая, Енисейского края, по геологии Усть-Балейского золоторудного месторождения Забайкалья сразу же привлекли внимание специалистов и получили высокую оценку. Но не было для Николая Николаевича оценки выше, чем мнение учителя, академика М.А.Усова, считавшего своего ученика эрудитом и разносторонней личностью, высокопрофессиональным специалистом, владеющим знанием мировой литературы в области геологии, умеющим превосходно вести полевую геологическую съёмку и обработку материала и обладающим даром писателя.»*

В подтверждение последнего тезиса можно привести цитату из научной публикации профессора Горностаева: "Сложная симфония варисцийского орогенеза, прозвучавшая некогда по всему Земному шару, ярче всего, наиболее мощным образом отозвалась на тех пространствах, которые составили Евразийский материк. Варисциды и Герцениды Западной Европы, грандиозная система Уралид и Тянь-Шанид и дальнейшее протяжение этой системы вплоть до Малайского архипелага – составляют наиболее сохранившиеся остатки мощных горных цепей, опоясывающих когда-то нашу планету. Последним аккордом этой могучей и бурной симфонии являлись внедрения в литосферу колоссальных количеств магматических тел разнообразного, но преобладающе гранитного состава". В списке литературы к этой публикации приведена 21 работа зарубежных авторов, опубликованных в Германии, Америке, Норвегии, Англии, Шотландии, Японии. Очень может быть, что хорошее знание современной иностранной литературы стало впоследствии одной из роковых причин в трагическом повороте судьбы Горностаева».

Последовавшее в 1935 г. приглашение в Москву на пост директора только что созданного научно-исследовательского геологоразведочного института золотой промышленности – НИГРИЗолото,

казалось, было логичным продолжением карьеры профессора Н.Н.Горностаева, а на самом деле стало её завершением. Проработав в этой должности до марта 1936 г., Николай Николаевич становится заместителем директора по научной работе (Ю.К.Краукле). Арест в марте 1938 г. директора института Ю.К.Краукле, обвинённого в злоумышленном развале НИГРИЗолото, а вслед за этим ликвидация последствий его «вражеской» деятельности привели к тому, что 17 июня 1938 г. Н.Н.Горностаев был отстранён от работы «за совершенно неудовлетворительное руководство институтом, приводившее к систематическому невыполнению поставленных задач», и осуждён Военной коллегией Верховного суда СССР по обвинению в участии в контрреволюционной террористической организации. Странное обвинение человека, давно зарекомендовавшего себя отличным организатором и руководителем, неоднократно за время службы на разных постах «с нуля» создававшего необходимые научные подразделения. Ещё в Томске он доказал, что можно совмещать насыщенную педагогическую деятельность и работу геолога-практика с заведением кафедрами одновременно в двух разных вузах. В НИГРИЗолото под его руководством образованы научные и административные группы, отделы, мастерские, лаборатории, музей, библи-

**ПАМЯТЬ О БЕСПРАВИИ** главная  
 проект Музея и общественного центра "Мир, прогресс, права человека" имени Андрея Сахарова

**МАРТИРОЛОГ РАССТРЕЛЯННЫХ  
 в Москве и Московской области**

СВЕДЕНИЯ ИЗ СВАДЕБНОГО ЗАКА	Год рождения	1896	<b>Горностаев Николай Николаевич</b>
	Национальность	русский	
	Уроженец	г. Харькова	
	Место проживания	г. Москва, Воробьевское ш., д. 47-а, кв. 5	
	Образование	высшее	
	Партийность	беспартийный	
	Место работы	Научно-исследовательский геолого-разведочный институт им. Косарева	
	Род занятий, должность	заместитель директора по научной части, профессор	
	Арестован	17 июня 1938 года	
	Осужден	Военной коллегией Верховного суда СССР	
	По обвинению в	участии в контрреволюционной террористической организации	
	Приговорен к расстрелу	15 сентября 1938 года	
	Приговор приведен в исполнение	15 сентября 1938 года	
Реабилитирован	18 августа 1956 года, определением Военной коллегии Верховного суда СССР		
Место захоронения	Бутово-Коммунарка		
Место хранения дела	Центральный архив ФСБ России		
Номер дела			





отека. Обстоятельный, чрезвычайно внимательный, он был ответственным редактором выпускаемых научных трудов треста «Золоторазведка» и НИГРИЗолото.

По версии профессора ТГУ И.К.Баженова, отбывавшего срок на Колыме, Н.Н.Горностаев был сослан в исправительно-трудовой лагерь, где 16 лет проработал откатчиком на золотом руднике и умер, не дождавшись освобождения. По другой версии, он умер от истощения организма и воспаления лёгких, отказавшись возвращаться из мест заключения после реабилитации, полагая, что с карьерой учёного покончено. Когда в 2002 г. стала доступна информация о судьбах репрессированных, выяснилось, что Н.Н.Горностаев был включён в список лиц, подлежащих суду, «Москва-центр» от 12 сентября 1938 г. на 340 человек, подписанный Сталиным, Молотовым и Ждановым, и приговорён к расстрелу. 15 сентября 1938 г. приговор был приведён в исполнение (место захоронения Бутово-Коммунарка). Реабилитирован 18 августа 1956 г. определением Военной коллегии Верховного суда СССР.

С гибелью Николая Николаевича Горностаева российская геология потеряла выдающегося учёного, опередившего своё время. Нам же остались память и научные труды, в том числе четыре монографии, посвящённые вопросам стратиграфии, палеогеографии, палеоклиматологии, палеоморфологии золотоносных районов Западной Сибири, Казахстана, работы по петрографическому анализу горных пород, многие из которых не потеряли актуальности и сегодня.

### Современники о Н.Н.Горностаеве

*Михаил Калинин* профессор, заведующий кафедрой исторической геологии и палеонтологии ТТИ, писал: «...в представленных работах Н.Н.Горностаев проявил себя прежде всего тонким наблюдателем в обстановке полевой работы. Работая в очень неблагоприятных для геолога условиях редких и разрозненных выходов палеозойских пород и рыхлой толщи кайнозойских, сохранившихся часто лишь в виде отдельных лоскутков, он тем не менее сумел собрать богатый материал, всесторонне освещающий геологию обследованной области. Большая часть даже полных геологических отчётов, например, лишь вскользь затрагивает вопрос о гидрографии изученной области. В рассматриваемых же работах перед читателем раскрывается история гидрографической сети Прииртышского края; автор шаг за шагом прослеживает её развитие на протяжении всего третичного и четвертичного периодов и каждое своё положение обосновывает на фактических данных наблюдения, несмотря на все неблагоприятные условия края.

В обстановке последующей кабинетной работы Горностаев проявил себя не менее тонким аналитиком, разрешая сложные вопросы тектоники и стратиграфии на основании нередко, казалось бы, разрозненного и фрагментарного материала. Николай Николаевич пользуется здесь всеми современными методами геологии, но особенно останавливается, где это нужно, на петрографическом анализе горных пород. Этот вполне определившийся уклон автора даёт ему богатый материал и обеспечивает разрешение многих трудных вопросов стратиграфии. Изучение, например, микроструктуры граувакковых песчаников продуктивного яруса приводит Николая Николаевича к установлению состава этих пород из свежего к моменту их образования порфиритового материала, выяснению, таким образом, стратиграфических взаимоотношений порфиритов и песчаников, а также зеленокаменного преобразования последних при складчатости. Подобный же анализ эоценовых отложений приводит к установлению ингрессивного характера залегания этой формации.

В сводке данных полевых наблюдений и аналитического их изучения Н.Н.Горностаев обнаруживает, наконец, большую способность и склонность к широкому синтезу. Кроме глубоких зна-





НИКОЛАЙ ГОРНОСТАЕВ В КРУГУ СЕМЬИ

ний геологических явлений, он пользуется здесь большой русской и иностранной литературой, учёт достижений которой объясняет принимаемую им местами новую терминологию и новые геологические понятия. Широко применяемый автором синтетический метод сообщает всему изложению его работ большую живость, повышает интерес при их чтении, так как вместо сухого изложения фактического материала перед читателем постепенно развёртывается геологическая история Прииртышской области. При этом необходимо также отметить, что во всех обобщениях автор всегда остается на почве полученных им фактов.

Кратко формулируя всё представленное выше, можно сказать, что в лице Н.Н.Горностаева сибирская геология приобретает прекрасного полевого наблюдателя, тонкого аналитика-петрографа и вместе учёного геолога».

*Аркадий Валерианович Лаврский*, профессор кафедры минералогии и кристаллографии ТТИ и кафедры минералогии ТГУ, отмечал: «В трудах Горностаева видны широта научных интересов, глубина проникновения в существо геологических явлений, его работам также присуще изящество стиля. К особенностям Н.Н.Горностаева надо отнести ещё и то, что он большой мастер

в дискуссионном вопросе и, кроме того, очень смел в мыслях...»

*Валентина Антоновна Иваня*, профессор кафедры палеонтологии и исторической геологии ТГУ, вспоминала: «...мне посчастливилось слушать его прекрасные лекции по курсам «Геология» и «Петрография». Он мне запомнился таким: высокий, красивый, стройный и прекрасно сложенный мужчина средних лет, у него зеленовато-карие глаза, правильные черты благородного лица, густые усы щёткой. Николай Николаевич всегда был красиво и элегантно одет в тёмный или более светлый костюм-тройку. Шикарный галстук был заколот золотой булавкой. Очки, которые он носил, были в золотой оправе. На правой руке золотое обручальное кольцо.

Обращали на себя внимание его высокая интеллигентность и культура речи. Он был прекрасно образованным учёным широкого профиля, отлично знал читаемые им лекционные курсы. Его лекции по общей геологии мы слушали, как и лекции профессора Усова, затаив дыхание. Так увлекательно он рассказывал о разнообразных геологических процессах на нашей планете и внутри неё, о формах рельефа, возникающих в результате этих процессов на поверхности Земли».

ПЕЧАТАЕТСЯ ПО МАТЕРИАЛАМ

- *Архив ЦНИГРИ*, 1938.
- *Государственный архив* Томской области. Ф. Р-815. Оп. 12. Д. 1796.
- *Гончаренко А.И.* Кафедра петрографии: рубежи истории и перспективы // Проблемы геологии Сибири: Тез. докл. науч. чтений, посв. 100-летию со дня рождения проф. В.А.Хахлова. 30 марта – 1 апреля. 1994 г., г. Томск. Томск, 1994. Вып. 1. С. 21.
- *Запороженко А.А.* История организации геологической науки и службы в Западной Сибири. – Новосибирск, 1977.
- *Ивания В.А.* Золотой был человек проф. Н.Н.Горностаев, 1896–1954 // Сибирская старина. Томск, 1993. № 4.
- *Мартиролог* Сахаровского общества памяти. [Электронный ресурс] URL: <https://www.sakharov-center.ru/asfcd/martirolog/?t=page&id=5298>.
- *Наука и научные работники СССР: Справочник*. Ч. 6. Научные работники СССР без Москвы и Ленинграда. – Л., 1928.
- *Николай Николаевич Горностаев* // Столетие горно-геологического образования в Сибири / Сост. В.В.Кривошеев. Томск: 2001. С. 106–108.
- *Персоны ГГФ* – Горностаев Николай Николаевич. [Электронный ресурс] URL: <http://ggf.tsu.ru/content/faculty/history/person/gornostaev>.
- *Профессора* Томского университета. Биографический словарь. Т. 2 / Автор и сост. А.В.Гагарин. – Томск: Изд-во науч.-техн. лит-ры, 1998. С. 107–111.
- *Пшеничкин А.Я., Рихванов Л.П.* Репрессированные геологи – выпускники и сотрудники Томского политехнического // Изв. Томского политехн. унта. 2008. Т. 312. № 1. С. 88–94.
- *Репрессированные геологи*. Биографические материалы / Гл. ред. В.П.Орлов – М.-СПб.: ВСЕГЕИ, 1995.
- *Сибирская Советская Энциклопедия*. [Электронный ресурс] URL: <http://45f.ru/sse/gornostaev-nikolaj-nikolaevich>.
- *Томский политехнический университет*. 1896–1996: Исторические очерки. – Томск, 1996.
- *Томский технологический институт за 25 лет своего существования*. 1900–1925: Юбилейный сборник. – Томск, 1928. Ч. 2.
- *Электронная Энциклопедия ТПУ*. [Электронный ресурс] URL: <http://wiki.tpu.ru>.

## ПОДПИСЧИКАМ

ПОДПИСКА В ПОЧТОВЫХ ОТДЕЛЕНИЯХ  
по каталогу «Газеты. Журналы» Агентства «Роспечать»  
(индекс 47218)

ПОДПИСКА НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА  
на сайте Научной Электронной Библиотеки [elibrary.ru](http://elibrary.ru)

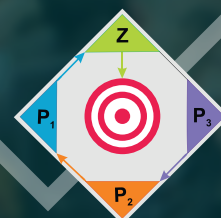
Вышедшие номера журнала можно приобрести в редакции:

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

Периодичность – 4 номера в год. Цена подписки на год 1200 рублей

# VIII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

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



Для участия в конференции приглашаются представители территориальных органов Роснедр, геологоразведочных, горнодобывающих организаций и предприятий, отраслевых научно-исследовательских, академических и образовательных институтов

## ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

- приоритетные направления прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ на АБЦМ;
- перспективные объекты для постановки геологоразведочных работ за счёт средств федерального бюджета по воспроизводству минерально-сырьевой базы АБЦМ;
- опыт проведения и результаты геологоразведочных работ на АБЦМ объектов распределённого и нераспределённого фондов недр;
- научно-методические основы комплексирования геологических, геохимических, геофизических методов прогноза, поисков и оценки месторождений АБЦМ;
- использование комплексных моделей месторождений для целей прогноза, поисков, оценки и разведки АБЦМ;
- разработка и реализация инновационных методов, методик и технологий ГРП на АБЦМ

**16 АПРЕЛЯ**

### ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Приоритетные направления прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ на алмазы, благородные и цветные металлы

**16-18 АПРЕЛЯ**

### СЕКЦИОННОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений и результаты ГРП на благородные и цветные металлы

**16-18 АПРЕЛЯ**

### СЕКЦИОННОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Состояние и перспективы прогнозирования и поисков алмазных месторождений

**16-18  
АПРЕЛЯ  
2018**

ФГУП «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» при поддержке Федерального агентства по недропользованию, Российской академии наук, Российского геологического общества

117545, Москва, Варшавское шоссе, дом 129, корп. 1, ФГУП ЦНИГРИ  
market@tsnigri.ru, тел. (495) 315-43-47

# НЕДРА-2018

Изучение. Разведка. Добыча

## 27 МАРТА

- Пресс-конференция
- Торжественное открытие Выставки
- Награждение победителей Конкурса на Премию Росгео и Роснедра «За заслуги в области науки и инновационных технологий в геологическом изучении недр России за 2017 год»
- Гала-концерт Фестиваля авторской геологической песни «Люди идут по Свету»
- Круглый стол «Инновационные технологии поисков и освоения месторождений ТПИ»
- Круглый стол «Технико-технологическое и информационное обеспечение геологоразведочных работ на нефть и газ»
- Круглый стол «Подготовка кадров – важное звено в стабильной работе отрасли»

## 28 МАРТА

Продолжение работы выставки

## 29 МАРТА

- Конференция «Инновационное развитие отрасли: состояние и перспективы»
- Пленарное заседание
- Торжественное закрытие Выставки
- Награждение участников

Место проведения: ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ-РГГРУ)  
г. Москва, ул. Миклухо-Маклая д. 23

Участники и организаторы



**IV РОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
“ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ,  
ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ В ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ – 2018”**



# **SEYMARTEC ENERGY 2018**

**31 МАЯ 2018 Г., ЧЕЛЯБИНСК,  
ОТЕЛЬ «RADISSON BLU»**


**В рамках конференции состоится КРУГЛЫЙ СТОЛ –  
«КОММУНИКАЦИЯ МЕЖДУ ПОСТАВЩИКОМ И  
ЗАКАЗЧИКОМ: ОКНО НА КРУПНОЕ  
ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ»**



## **ОРГАНИЗАТОР**

ООО «СЕЙМАРТЕК» (SEYMARTEC)

ЗА БОЛЕЕ ПОДРОБНОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ  
ОБРАЩАТЬСЯ ПО КОНТАКТАМ:

 Т. +7 499 638 2329  
Т. +7 351 200 3735.

 [HTTP://SEYMARTEC.RU](http://SEYMARTEC.RU)

 [INFO@SEYMARTEC.RU](mailto:INFO@SEYMARTEC.RU)

4 апреля 2018 г. исполняется 80 лет **Алексею Аркадьевичу Черемисину**, старшему научному сотруднику отдела геолого-экономической оценки месторождений ФГУП ЦНИГРИ, кандидату геолого-минералогических наук.

А.А.Черемисин трудится в институте с 1968 г. За время работы он стал крупным специалистом в области геологии, прогнозирования, оценки месторождений и рудопроявлений благородных и цветных металлов, а также алмазов. Изучал закономерности размещения и условия локализации оруденения многих месторождений Российской Федерации – Кочкарского, Новогоднее-Монто, Светлинского, Берёзовского, Варваринского, Воронцовского, Барун-Холбинского, Бамского, Снежинка и др., в том числе зарубежных на территории Йемена и Марокко. В разные годы он – участник и ответственный исполнитель госбюджетных работ по комплексной геолого-экономической оценке месторождений и рудных районов Урала, Читинской, Иркутской, Амурской областей, Республики Бурятия, эксперт ГКЗ Роснедра, соавтор металлогенической карты Урала по золоту м-ба 1:1 000 000. При-



нимал участие в работах для федеральных нужд по геолого-экономическому сопровождению объектов ГРП на твёрдые полезные ископаемые (кроме твёрдого топлива), в разработке инвестиционных проектов геологического изучения перспективных объектов благородных металлов и других твёрдых полезных ископаемых в пределах первоочередных минерально-сырьевых центров экономического развития.

А.А.Черемисин – участник и ответственный исполнитель работ по договорам с недропользователями при оценке золотоносности территорий Ямало-Ненецкого АО (Полярный Урал), Озернинского рудного узла (Бурятия), Окинского района (Бурятия), на площади которых в настоящее время выявлены и осваиваются новые месторождения. Ответственный исполнитель подсчёта запасов по Воронцовскому золоторудному месторождению, выполнявшегося ФГУП ЦНИГРИ. Запасы месторождения утверждены в ГКЗ Роснедра и сейчас успешно разрабатываются АО «Полиметалл». Соисполнитель повариантного пересчёта запасов по Холоднинскому месторождению свинца и цинка, положенного в основу его коренной переоценки. В настоящее время Холоднинское месторождение числится в госрезерве. Участник разработки ТЭО кондиций по месторождению алмазов им. В.П.Гриба. Кондиции и запасы месторождения утверждены ГКЗ Роснедра. Объект выведен на проектную мощность по добыче и успешно осваивается ОАО «Архангельскгеолдобыча». Один из ответственных исполнителей работ по переоценке золоторудного месторождения Сухой Лог по вопросам подготовки геологического обоснования подсчёта запасов, которое обеспечило увеличение масштабов объекта более чем в 2 раза. Месторождение лицензировано и находится в стадии доразведки. Один из авторов геолого-экономической оценки крупного медно-порфирового месторождения Песчанка, золоторудного месторождения Клён (Чукотка), свинцово-цинкового месторождения Сардана (Якутия), медно-никелевого месторождения Вуручайвенч (Мурманская область); запасы по оценённым месторождениям поставлены на государственный баланс.

За время своей активной научной и прикладной деятельности А.А.Черемисин внёс реальный вклад в укрепление минерально-сырьевой базы России. Результаты его научных исследований отражены более чем в 50 публикациях. Награждён медалями «В память 850-летия Москвы», «Ветеран труда», знаками «Почётный разведчик недр», «Отличник разведки недр», юбилейным знаком «300 лет горно-геологической службы России», Почётной грамотой Мингео СССР.

Поздравляем Алексея Аркадьевича Черемисина с юбилеем, желаем крепкого здоровья, радости, творческой и профессиональной активности, успехов, благополучия.

*Дирекция ЦНИГРИ  
Учёный совет ЦНИГРИ  
Редакция журнала  
Коллеги*



23 января 2018 г. на 86-м году ушёл из жизни один из крупнейших специалистов страны в области прогноза, поисков и оценки месторождений золота, доктор геолого-минералогических наук, академик РАЕН, лауреат Государственной премии СССР, Почётный разведчик недр **Валерий Александрович Нарсеев**.

В.А.Нарсеев работал в производственных организациях Восточно-Казахстанского территориального геологического управления, где зарекомендовал себя подготовленным специалистом, умелым полевиком, отличным организатором производства. Поступив в КазИМС, за 15 лет он прошёл путь от инженера до заместителя директора по научной работе. Лично им и под его руководством были выполнены научно-исследовательские работы по пегматитовым полям Калбы, металлогении тантала Восточного Казахстана, золоторудным месторождениям Бакырчик, Васильковское, Жолбарты, Архарлы, Акжал, Кулуджун, Бестюбе. Эти работы внесли важный вклад в развитие представлений о металлогении Казахстана в целом.

В 1975–1980 гг., будучи заместителем директора КазИМС по науке, В.А.Нарсеев участвовал в составлении карт прогноза для территории Казахстана по различным видам полезных ископаемых, до сих пор не потерявших своей актуальности. Одновременно с научно-производственной деятельностью разрабатывал вопросы теории рудообразования, в частности полимеризации при отложении минералов, теории зональности рудных месторождений, активно участвовал в научных конференциях, симпозиумах, семинарах, поддерживая связи с учёными и специалистами нашей страны.

С 1980 г. по 1989 г. В.А.Нарсеев был директором ЦНИГРИ. Основные усилия коллектива, который он возглавлял, были сосредоточены на вопросах развития института, улучшения его кадрового и технического обеспечения. По его инициативе в разных регионах СССР, где возникала необходимость укрепления сырьевой базы алмазов, благородных и цветных металлов (АБЦМ), создавались филиалы ЦНИГРИ – в Мирном, Туле, Баку, Магадане, Архангельске, Семипалатинске, Тырныаузе, в которых в полной мере осуществлялась связь науки и производства.

Валерием Александровичем была внедрена перспективная форма совместных исследований ЦНИГРИ и производственных подразделений – научно-производственных групп, что обеспечило повышение качества разведки и подсчёта запасов основных месторождений АБЦМ. С высокими оценками в ГКЗ СССР были утверждены запасы по месторождениям Олимпиадинское, Майское, Васильковское, Покровское, Высоковольное, Кумторское, Зун-Холбинское, Большой Канмансур, Кумдыколь, Ломоносовское, Учкулачское, Хандизинское, Филизчайское и др.

Обширные материалы специалистов ЦНИГРИ по изучению месторождений АБЦМ по его инициативе были сведены в рамках многочисленных монографий и методических рекомендаций, нацеленных на внедрение научных разработок института в практику геологоразведочных работ. До сих пор важную роль для геологов-практиков страны играет подготовленная под редакцией В.А.Нарсеева пятитомная монография «Золоторудные месторождения СССР».

Оставив пост директора ЦНИГРИ, В.А.Нарсеев не прекратил научной деятельности. Он работал экспертом и консультантом в ряде крупных горнорудных компаний России, Канады, США, Монголии, Казахстана и др.

За 50 лет работы в геологии им опубликованы десятки отчётов, более 200 статей и 15 монографий. Одна из последних – «Оценка месторождений рудного золота» – вышла в свет в 2017 г.

Валерий Александрович останется в нашей памяти как твёрдый волевой человек и крупный учёный, внёсший заметный вклад в дело укрепления минерально-сырьевой базы России и стран СНГ.

*Дирекция ЦНИГРИ  
Учёный совет ЦНИГРИ  
Коллектив института*

Редакция: *Г.В.Вавилова, В.С.Жаркова*  
Вёрстка и оригинал-макет: *А.С.Рязанцева*  
Фото на обложке (алмазы): *Ptukhina Natasha*

Подписано в печать 07.03.18 г. Формат 30×42 1/2. Бумага листовая. Печать цифровая  
Отпечатано в ФГУП ЦНИГРИ: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1

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@tsnigri.ru](mailto:rudandmet@tsnigri.ru), [rudandmet@yandex.ru](mailto:rudandmet@yandex.ru)  
Сайт: [www.tsnigri.ru/rudy\\_metally](http://www.tsnigri.ru/rudy_metally)

Подписной индекс 47218

© «Руды и металлы», 2018