

# РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



**4/2006**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

ОСНОВАН В 1992 ГОДУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Главный редактор И.Ф.МИГАЧЕВ**

Б.И.БЕНЕВОЛЬСКИЙ  
Э.К.БУРЕНКОВ  
В.И.ВАГАНОВ  
С.С.ВАРТАНЯН  
П.А.ИГНАТОВ  
М.А.КОМАРОВ  
М.М.КОНСТАНТИНОВ  
А.И.КРИВЦОВ, зам. главного редактора  
В.В.КУЗНЕЦОВ  
Н.К.КУРБАНОВ  
Е.В.МАТВЕЕВА  
Г.А.МАШКОВЦЕВ  
Н.И.НАЗАРОВА, зам. главного редактора  
Г.В.РУЧКИН  
Ю.Г.САФОНОВ  
Г.В.СЕДЕЛЬНИКОВА  
В.И.СТАРОСТИН



УЧРЕДИТЕЛЬ

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ  
Роснедра  
МПР России**

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

**Москва ЦНИГРИ 2006**

Редакция: Н.И.Назарова, Г.В.Вавилова  
Компьютерный набор: Н.И.Назарова  
Верстка и оригинал-макет: Т.В.Лукина, А.Н.Щендригин

Сдано в набор 02.08.06 г.  
Подписано в печать 18.08.06 г.  
Тираж 400 экз.

Формат 30×42 1/2  
Бумага листовая  
Печать офсетная

Адрес редакции: 117545, Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1, ЦНИГРИ  
Телефон: 315-28-47  
Факс: 313-18-18  
E-mail: [tsnigri@tsnigri.ru](mailto:tsnigri@tsnigri.ru)  
Типография ЦНИГРИ: Варшавское шоссе, 129, корп. 1

<i>Зинчук Н.Н., Герасимчук А.В.</i> Научно-методическое обеспечение прогноза и поисков алмазных месторождений на современном этапе	5	<i>Zinchuk N.N., Gerasimchuk A.V.</i> Forecast of and exploration for diamond deposits: State of the things in scientific and methodical support
<i>Жандалинов В.М., Стогний Вас.В.</i> Моделирование геофизических полей при поисках кимберлитов — возможности и перспективы	12	<i>Zhandalinov V.M., Stogniy Vas.V.</i> Geophysical field modeling in kimberlite exploration: Possibilities and future views
<i>Манаков А.В., Герасимчук А.В., Матросов В.А.</i> Современный геофизический комплекс при поисковых работах на алмазы	19	<i>Manakov A.V., Gerasimchuk A.V., Matrosov V.A.</i> Integrated geophysics in diamond exploration
<i>Костровицкий С.И., Алымова Н.В., Яковлев Д.А., Серов В.П., Мацюк С.С., Суворова Л.Ф.</i> Минералогическая паспортизация разных таксонов кимберлитового вулканизма — методическая основа поисковых работ на алмазы	27	<i>Kostrovitsky S.I., Alymova N.V., Yakovlev D.A., Serov V.P., Matsyuk S.S., Suvorova L.F.</i> Mineralogical systematization of the kimberlite volcanic taxa as a methodical base for diamond exploration
<i>Абрамов В.Ю., Голубев Ю.К., Грачев А.А., Коновалова Т.М., Лантев М.М., Прусакова Н.А., Барсуков П.О., Яковлев А.Г.</i> Геолого-геофизическая модель кимберлитовой трубки Кепинской площади, Архангельская область	38	<i>Abramov V.Yu., Golubev Yu.K., Grachev A.A., Konovalova T.M., Laptsev M.M., Prusakova N.A., Barsukov P.O., Yakovlev A.G.</i> An integrated geological and geophysical model of a kimberlite pipe (Kepinsk field, the Arkhangel'sk province)
<i>Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д.</i> Системы очаговых магмотектонических структур — основной фактор контроля фанерозойского магматизма в районе Зимнего Берега	43	<i>Serokurov Yu.N., Kalmykov V.D.</i> Systems of local magma-tectonic structures as major constraints of Phanerozoic magmatism in Zimny Bereg
<i>Иванов В.М.</i> К вопросу о необходимости применения новых методов поисков коренных источников алмазов	49	<i>Ivanov V.M.</i> New methods in exploration for the bedrock diamond sources: Is there any need?
<i>Антипин И.Ив., Антипин И.И., Тарасов И.О.</i> Методика и технология прогнозной оценки алмазности локальных участков закрытых территорий на основе шлихоминералогического метода	51	<i>Antipin I.Iv., Antipin I.I., Tarasov I.O.</i> Panning concentrate mineralogy: Techniques and methods in the diamond potential estimation of the blanketed terrain trends
<i>Игнатов П.А., Бушков К.Ю., Штейн Я.И., Толстов А.В., Яныгин Ю.Т.</i> Геологические и минералого-геохимические признаки структур, контролирующих алмазные кимберлиты Накынского поля Якутии	59	<i>Ignatov P.A., Bushkov K.Yu., Shtein Ya.I., Tolstov A.V., Yanygin Yu.T.</i> Geological features, mineralogical and geochemical signatures of the structures controlling diamondiferous kimberlites in the Nakyn field, Yakutia

*Минченко Г.В., Ларченко В.А., Первов В.А., Носова А.А., Гунин А.П., Маркова Т.Н., Бортник С.Л., Андросов Е.А.*

Новая кимберлитовая трубка Зимнебережного алмазоносного района

67

*Minchenko G.V., Larchenko V.A., Pervov V.A., Nosenova A.A., Gunin A.P., Markova T.N., Bortnik S.L., Androsoy E.A.*

A new kimberlite pipe in Zimny Bereg

*Минченко Г.В., Ларченко В.А., Первов В.А., Носова А.А., Гунин А.П., Маркова Т.Н., Бортник С.Л., Андросов Е.А.*

Минералы-индикаторы из промежуточных коллекторов и ксенолиты новой кимберлитовой трубки Зимнебережного алмазоносного района

75

*Minchenko G.V., Larchenko V.A., Pervov V.A., Nosenova A.A., Gunin A.P., Markova T.N., Bortnik S.L., Androsoy E.A.*

Indicator minerals and xenoliths from a new kimberlite pipe, Zimny Bereg

#### **Поздравляем с юбилеем**

Ю.Г.Зорину, О.С.Набровенкова, Х.Х.Лайпанова, Т.П.Кузнецову, Т.В.Шведову

81

#### **We congratulate:**

Yu.G. Zorina, O.S. Nabrovenkov, Kh.Kh. Laipanov, T.P. Kuznetsova, T.V. Shvedova

УДК 326.6

© Н.Н.Зинчук, А.В.Герасимчук, 2006

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ АЛМАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Н.Н.Зинчук, А.В.Герасимчук (Акционерная компания «АПРОСА»)

На протяжении полувековой истории алмазопроисковой геологии на Сибирской платформе развивались в основном два направления исследований — региональные прогнозные и поисково-оценочные. Первые, базирующиеся на общегеологических (глубинных, структурно-тектонических, магматических, физико-петрологических) сведениях и характеризующие перспективы алмазности больших по площади регионов и территорий, имеют стратегическое значение для выбора направлений геологоразведочных работ на алмазы. Вторые направлены на изучение геологии, структурных особенностей, геоморфологии, эндогенной и экзогенной минерализации конкретных алмазоперспективных площадей и участков; их конечная цель — открытие и оценка алмазносных объектов.

Применение геологами-практиками и учеными геологоразведочного комплекса АК «АПРОСА», а также специалистами других научно-производственных учреждений страны, в первую очередь ЦНИГРИ [1, 2], системного минерагенического подхода привело к созданию иерархического ряда алмазносных (потенциально алмазносных) прогнозно-поисковых таксонов: провинция, субпровинция, зона, поле, куст тел, трубка. В соответствии с масштабом таксонов сложилась достаточно обоснованная прогнозно-поисковая система (табл. 1), позволившая перейти к стадийной технологии геологоразведочных работ (ГРП) на алмазы.

В настоящее время стратегия алмазопроисковых работ строится на региональном и мелкомасштабном прогнозе, который ориентирован на выделение новых субпровинций или крупных областей (зон) внутри уже известных, перспективных на проявления кимберлитового магматизма ранга поле. При определении направлений поисковых работ на алмазы, наряду с минерагеническим районированием территории по типоморфизму алмазов [6], используются данные по разграничению кристаллического фундамента Сибирской платформы на кратоны [3]. В их пределах выделяются стабильные ядра ка-

тархейской — раннеархейской консолидации коры — ортократоны, перспективные на обнаружение алмазносных кимберлитов, и подвижные пояса. Применительно к Сибирской алмазносной провинции для ранних стадий прогнозно-поисковых исследований разработана технология выделения и картирования таких промежуточных прогнозно-поисковых объектов, как литосферный алмазопроизводящий корень, кимберлитоконтролирующая глубинная зона, продуктивное кимберлитовое поле. Данная технология основана на интегральном анализе сейсмических, магнитных, электромагнитных, гравиметрических и геологических данных и позволяет прогнозировать площади с наличием потенциально алмазносных магматитов [7].

Средне- и крупномасштабный прогноз нацелен на поиски нескольких сближенных тел (кустов) и отдельных алмазносных трубок в пределах известных или предполагаемых кимберлитовых полей. Многолетний опыт проведения алмазопроисковых работ указанных масштабов в различных районах и горно-геологических условиях Западной Якутии, особенно в регионах, освоенных алмазодобывающей промышленностью, к концу 80-х годов прошлого века был закреплен внедрением в геологоразведочную практику так называемых типовых прогнозно-поисковых комплексов [8].

В последующие годы в основном подтвердилась достаточно высокая геологическая эффективность разработанных комплексов — были открыты коренные и россыпные месторождения алмазов в Средне-Мархинском, множество кимберлитовых тел в Далдыно-Алакитском алмазносных районах и особенно на севере Якутской алмазносной субпровинции. Вместе с тем, выход на новые территории выявил ряд новых геологопоисковых ситуаций, затрудняющих успешное проведение алмазопроисковых работ. Многие вещественно-индикационные характеристики поисковых объектов на новых территориях к настоящему времени слабо изучены или не определены. Нередко они оцениваются субъек-

## 1. Структура прогнозно-поисковой системы ведения геологоразведочных работ на алмазы

Иерархический ряд прогнозно-поисковых объектов	Стадии прогнозно-поискового процесса	Конечный ожидаемый результат	Основные задачи научно-прикладных исследований
Алмазоносная провинция — субпровинция (потенциально алмазоносный литосферный блок)	Ранняя А1 — предварительная прогнозная оценка территорий на наличие алмазоносных пород	Минерагеническая специализация региона	Определение границ возможного распространения кимберлитов и конвергентных им пород в ранге магматической субпровинции
Кимберлитоконтролирующая зона (минерагеническая) — кимберлитовое поле	Ранние А2 и А3 — прогнозно-поисковые исследования первого этапа	Закономерности размещения и прогноз ресурсов по категориям $P_3$ и $P_2$	Определение границ кимберлитоконтролирующих зон и локализация площадей, перспективных на обнаружение кимберлитовых полей
Кусты кимберлитовых тел — отдельные кимберлитовые тела	Поздние В1 и В2 — среднемасштабные и детальные алмазопроисковые исследования	Выявленные кимберлитовые тела и прогнозные ресурсы по категории $P_1$	Разработка критериев и методических приемов локализации кустов и единичных кимберлитовых тел, аппаратурно-технологических комплексов их поисков и изучения околотрубочной геологической среды
Коренные месторождения алмазов	Оценочно-разведочные работы	Геометризация, подсчет запасов категорий $C_2$ и $C_1$ , временные кондиции, ТЭД	Выделение критериев алмазоносности кимберлитов для диагностики промышленных алмазоносных тел

тивно. В настоящее время перед алмазопроисковой геологией стоят задачи обнаружения погребенных кимберлитовых тел, преимущественно слабоконтрастных по своим параметрам (небольших по размерам, слабомагнитных, содержащих незначительные количества минералов-спутников алмазов, что характерно, например, для Средне-Мархинского района), или залегающих в сложных ландшафтно-геологических условиях на площадях, перекрытых мощными толщами терригенных и магматических (траппы) пород.

Резкое усложнение алмазопроисковых работ из-за сложных ландшафтно-геологических обстановок и поисков малокаонтрастных объектов по традиционным индикационным параметрам свидетельствует о необходимости существенного увеличения наукоемкости всего геологоразведочного процесса на алмазы. В этой связи возрастает роль научно-исследовательских, опытно-методических и вещественно-аналитических работ, выполняемых прикладной наукой в АК «АЛРОСА» и отраслевых институтах страны. Некоторые вопросы при решении этой проблемы требуют более широкого привлечения новых фундаментально-теоретических разработок академических геологических учреждений.

Многие положительные результаты в практической алмазной геологии, сосредоточенной в ос-

новном в АК «АЛРОСА», достигнуты в последнее время благодаря техническому перевооружению. Это дало возможность геологам и ученым геологоразведочного комплекса АК «АЛРОСА» количественно и качественно повысить результативность изучения геологического строения разведываемых коренных и россыпных месторождений алмазов, опрашиваемых алмазоперспективных площадей и участков, поднять уровень химико-физических исследований алмазов и их минералов-спутников. Опробование и внедрение геофизической аппаратуры позволяет существенно оптимизировать комплекс поисковых геофизических методов, о чем свидетельствуют результаты производственных работ экспедиций и опытно-методических исследований специалистов ЯНИГП ЦНИГРИ, а также привлекаемых на договорной основе научно-производственных организаций страны.

Однако в целом эффективность алмазопроисковых работ на закрытых территориях пока довольно низкая, а критерии среднемасштабного и локального прогноза для закрытых площадей, в первую очередь в районах распространения пород трапповой формации, за редким исключением, еще недостаточно разработаны. Актуальная задача прикладной алмазной науки — создание физико-геологических моделей прогнозно-поисковых объектов для сред-

немасштабных и детальных алмазопроисковых работ и определение комплекса методов для их надежного оконтуривания. Важнейшая роль при этом придается углублению минералого-аналитического изучения индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) с возможно полным охватом всего фактического материала, получаемого при поисках, оптимизации комплекса минералого-физических иссле-

ований алмазов в целях поисков алмазных месторождений по самим алмазам. При этом значение оперативного научно-методического обеспечения геологоразведочных работ существенно возрастает, а круг решаемых задач расширяется (табл. 2).

Существующие методико-технологические, технические и лабораторно-аналитические мощности геологоразведочных предприятий АК «АЛ-

## 2. Оперативное научное обеспечение текущих геологоразведочных работ на алмазы

Направления НИР	Конечный результат исследований
Совершенствование имеющихся и разработка новых факторов среднемасштабного и локального прогнозирования новых месторождений алмазов	<p>Методики минералогического районирования алмазоносных площадей и картирования ореолов на основе комплекса типоморфных особенностей минералов-индикаторов кимберлитов (пиропов, пикроильменитов, хромшпинелидов).</p> <p>Методики и критерии среднемасштабного минералогического районирования территории по типоморфным особенностям алмазов с прогнозом их коренных источников.</p> <p>Методы и методики изучения состава и условий формирования разновозрастных осадочных коллекторов алмазов, расчленения и корреляции терригенных алмазоносных толщ.</p> <p>Методы и критерии геофизического прогнозирования проявлений кимберлитов на основе усовершенствованных технологий их поисков и методик обработки материалов</p>
Опытно-методические исследования по разработке аппаратурно-методического геофизического комплекса для детальных алмазопроисковых работ, разработка новых и внедрение современных методик изучения минералов кимберлитов и других горных пород	<p>Усовершенствованный комплекс детальных поисковых геофизических методов для основных районов ГРП, адаптированный к сложным геолого-поисковым условиям, геофизические методы и методики — индуктивной и импульсной электроразведки, исследований скважин, радиоволнового просвечивания, георадарных технологий, модификации градиентной гравиразведки и магниторазведки.</p> <p>Рекомендации по оптимизации типов и разработок геофизической аппаратуры, применяемой при алмазопроисковых ГРП.</p> <p>Внедренные в практику ГРП методы изучения: алмазов — фотолюминесценции, катодолюминесценции, спектроскопии поглощения, КР- и ИК-спектроскопии, лазерной томографии, изотопии углерода, электронного парамагнитного резонанса; минералов кимберлитов — растровой электронной микроскопии; кимберлитов и вмещающих пород — рентгено- и термоллюминесценции, химического (рентгенофлуоресцентного), рентгенофазового и термографического анализов, изотопно-геохимических</p>
Исследование геолого-генетических аспектов алмазоносности кимберлитов и формирования месторождений алмазов, типоморфных особенностей алмазов, составов и преобразований других магматитов	<p>Данные о геологическом строении (структуре, вещественном составе пород) месторождений алмазов, включая параметры распределения в них полезного компонента, минералов основной массы, минералов-индикаторов кимберлитов, ксеногенного материала.</p> <p>Усовершенствованные петролого-минералогические, петро- и геохимические критерии продуктивности алмазных месторождений.</p> <p>Рекомендации по минералого-технологическому картированию типов руд и опорных горизонтов коренных месторождений алмазов для их оптимальной отработки.</p> <p>Результаты комплексного изучения вещественного состава магматитов различной возрастной и фашиальной принадлежности</p>
Разработка и создание методико-технических средств и специализированных полигонов для метрологической поверки и стандартизации скважинной и электроразведочной аппаратуры геологоразведочных предприятий АК «АЛРОСА»	<p>Современные оптимальные технологии стандартизации и метрологии геофизической аппаратуры применительно к условиям проведения работ на объектах АК «АЛРОСА».</p> <p>Аттестованные специализированные геофизические полигоны и контрольно-градуировочные скважины для стандартизации и поверки геофизической аппаратуры.</p> <p>Нормативная документация по метрологической поверке, калибровке, стандартизации и контролю качества измерений геофизической аппаратуры</p>

РОСА», включая ЯНИГП ЦНИГРИ, возможности их гибкого технического перевооружения требуют постановки опытно-методических и опытно-производственных исследований по наработке и внедрению новых технологий и методов для уточнения участков локализации кимберлитового магматизма. При среднемасштабных алмазопрогнозных исследованиях актуально следующее:

изучение глубинного геоэлектрического разреза кимберлитовых полей на основе площадных магнитотеллурических зондирований (МТЗ) для выявления (подтверждения) прогнозного критерия кимберлитового магматизма — размещения кимберлитовых тел в пределах локальных проводящих литосферных неоднородностей. Метод успешно опробован в Мало-Ботуобинском и Зимнебережном алмазодносных районах, где в пределах высокоомных литосферных блоков локализованы проводящие глубинные неоднородности, интерпретируемые как вероятные границы кустов кимберлитовых трубок. В краевых частях таких неоднородностей размещаются все известные кимберлитовые тела Мирнинского и Золотицкого полей;

изучение сейсмических особенностей глубинного строения консолидированной коры по данным МОВ-ОГТ для выделения субвертикальных транскоровых аномалий полей рассеянных волн гетерогенного типа, приуроченных к проявлениям кимберлитового магматизма;

изучение внутренней структуры кимберлитоконтролирующих и кимберлитовмещающих тектонических зон в границах кимберлитовых полей с определением взаимоотношений и роли разновозра-

стных пликативных и разрывных дислокаций путем проведения структурно-петрофизических и тектонофизических исследований;

анализ эволюции ореолов ИМК во времени и пространстве на основе минералогического районирования и картирования ассоциаций ИМК и их гравитационных спутников, а также изучения зональности пространственного распределения минералов-спутников по их химическим параметрам на основе полных микрорентгеноспектральных определений.

На этапе детальных поисковых работ на закрытых площадях первостепенными задачами научно-методического обеспечения являются адаптация, опробование и внедрение новых методик и методов для локализации кимберлитоперспективных участков. При этом, на наш взгляд, необходимо:

использование алмазов всех классов размерности, включая оптимизацию способов пробоотбора, первичной обработки проб и их обогащения, физико-химического изучения кристаллов на основе новых технических возможностей и методик (табл. 3);

проведение опытно-экспериментальных исследований продуктов регрессивных процессов преобразования ИМК и основной массы кимберлитов для определения их устойчивости в различных средах. Выявление «кимберлитовой» составляющей (серпентин, магнезиальный хлорит, сапонит и др.) как продуктов указанных процессов путем изучения минералов легкой фракции из диатрем, осадочных коллекторов и приплотиковой части разреза околотрубочного пространства возможно рентгено-

### 3. Методы аналитических исследований алмазов, адаптированные и внедренные в ЯНИГП ЦНИРИ для обеспечения геологоразведочных работ АК «АЛРОСА»

Методы исследований	Разработанные методики анализа и обработки результатов
Лазерная томография алмазов (с использованием лазера ЛГИ 21 и бинокляра Nikon SMZ-U)	Методика классификации алмазодносных объектов. Методика диагностики алмазов в ореолах их рассеяния
Спектрометрия поглощения алмазов в инфракрасной области (с использованием спектрометра ФСМ 1201 и ИК Фурье микроскопа МИК-15)	Методика определения азотных дефектов (А, В1, В2, С и группы С-Н) в алмазах методом спектрометрии поглощения в ИК-области. Методика классификаций алмазодносных объектов с использованием типоморфных признаков алмазов по дефектам их кристаллической решетки
Спектрометрия поглощения алмазов в видимой и ультрафиолетовой областях (с использованием установки на базе монохроматора МДР-41 и микроскопа МСФУ-К)	Методика регистрации спектров (определение концентраций N3, GR1 и диагностика N3, N4 дефектов) и обработки результатов исследований алмазов, полученных спектрометрией поглощения в видимой и ультрафиолетовой областях
Регистрация спектров фотолюминесценции и кинетики фотолюминесценции алмазов (с использованием азотного лазера ЛГИ 505 и монохроматора ДМР-4)	Методика регистрации спектров и обработки результатов исследований фотолюминесценции и кинетики фотолюминесценции алмазов



структурным (с использованием дифрактометра DMAX-2400 «Rigaku») и термографическим (с применением установки Derivatograph C3434) методами. Расшифровка природы регрессивных преобразований ИМК позволит усовершенствовать минералогический критерий прогнозирования коренной алмазности и шлихоминералогический метод поисков кимберлитовых тел на различных стадиях геологоразведочных работ;

опытное опробование новых технологий производства электроразведочных работ, геофизических исследований скважин (ГИС), радиоволнового просвечивания (РВП).

Совершенствование комплекса ГИС целесообразно для получения более полной информации по физическим параметрам горных пород в естественном залегании, которые необходимы для выбора методики проведения, обработки и интерпретации наземных геофизических исследований. Совершенствование имеющихся и применение новых типов скважинной аппаратуры должны сопровождаться их стандартизацией и метрологической аттестацией для качественного измерения параметров.

К перспективным направлениям развития электроразведочных методов относится импульсная индуктивная электроразведка с закрепленным источником на базе новой аппаратуры «Импульс-Десант» (разработка специалистов института СНИИГТиМС, г. Новосибирск), а также аудиоманнитотеллурическое зондирование (АМТЗ) на базе отечественной аппаратуры АКФ-4м (создана в НИИ земной коры Санкт-Петербургского государственного университета) и импортной аппаратуры фирмы «Феникс» (Канада). Проведенные в ЯНИГП ЦНИГРИ опытно-методические работы показали, что импульсная индуктивная электроразведка площадных зондирований становлением поля с закрепленным источником, реализуемая с аппаратурой «Импульс-Десант», обеспечивает оперативность изучения больших площадей с высоким разрешением, технологичность и высокую плотность наблюдений, высокую эффективность выявления аномалий избыточной проводимости, пространственно совпадающих с искомыми геологическими объектами. Опробование метода АМТЗ показало возможность получения достаточно объективных данных о геологическом строении разрезов до глубин 500–700 м, выделения аномалий над кимберлитовыми и туфовыми трубками в разрезах, перекрытых терригенными образованиями. Необходимо развивать методы опробования площадей, бронированных трапповыми образованиями (в алмазописковой практике так называемых площадей IV и V геотипов).

Ведущий геофизический метод, позволяющий в настоящее время проводить опосредованное межскважинное пространство для выявления кимберлитовых тел на закрытых площадях, в том числе в полях развития траппов, — радиоволновое просвечивание. Применение метода сдерживает использование разнотипных аппаратно-методических технологий РВП, не позволяющих с одинаковой эффективностью решать задачу в сложных геоэлектрических разрезах разных алмазносных районов — Мало-Ботубинского, Далдыно-Алаиктского, Средне-Мархинского. Поэтому актуальными задачами этого направления являются:

унификация применяемой аппаратуры РВП, а также методик и программ обработки данных. Основой может стать аппаратура нового поколения РПД-3, которая опробована в ЯНИГП ЦНИГРИ и отличается повышенной (более чем в 2 раза) чувствительностью приемника и эффективной дальностью (более чем в 1,5 раза) радиоволнового просвечивания;

разработка методических рекомендаций, регламентирующих производство работ этим методом, включая выбор оптимальных сетей бурения, требования к подготовке и обеспечению сохранности скважин, методику проведения работ, оценку качества измерений, методики обработки данных и основные способы интерпретации результатов, технологию заверки аномалий РВП и детализационных работ на аномалиях, выделенных в процессе интерпретации.

Одно из важнейших условий эффективного проведения указанных опытно-методических геофизических исследований — наличие специально подготовленного полигона с разнообразными горно-геологическими поисковыми условиями. В настоящее время такой полигон создан и обустроен Амакинской геологоразведочной экспедицией компании «АПРОСА».

Оценка перспектив алмазности отдельных территорий Российской Федерации, выполненная за последние годы ЦНИГРИ и ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АПРОСА» в ходе тематических и ревизионно-экспертных исследований, анализ специализированной на алмазы изученности алмазоперспективных регионов показывают, что открытие новых богатых месторождений с высококачественными алмазами может ожидать, в первую очередь, в Западной Якутии, а также в Архангельской области. Вместе с тем, выделяются регионы, где также имеются реальные перспективы открытия алмазных месторождений. К ним относятся: в южной и юго-западной частях Сибирской платформы — территории в Красноярском крае, Эвенкии, Иркутской об-

ласти, в европейской части России — в Северо-Западном регионе (Мурманская область, Республика Карелия). В последнее время несколько изменились и территориальные приоритеты алмазописковых работ, значительные объемы которых проводятся компанией «АЛРОСА» в Архангельской области и Карелии. При этом перед учеными-алмазниками в числе основных ставятся задачи:

прогнозная оценка алмазности новых для компании «АЛРОСА» регионов в соответствии с ее потребностями;

определение направлений геологоразведочных работ по выбору и предварительной оценке перспективных площадей и участков и эффективной технологии на каждом из объектов ГРП;

проведение комплекса опытно-методических исследований в целях совершенствования существующих и разработки новых методов поисков и разведки месторождений алмазов для конкретных горно-геологических условий различных алмазоперспективных территорий.

В настоящее время большой объем в исследованиях ЯНИГП ЦНИГРИ занимают опережающие научно-исследовательские и опытно-методические работы на алмазы на территории европейской части Российской Федерации, включающие:

проведение (совместно с ЦНИГРИ) обобщающих тематических и научно-исследовательских работ для предварительного районирования по перспективам алмазности Восточно-Европейской платформы с составлением специализированных на алмазы карт (глубинного строения, структурно-тектонической, размещения платформенного магматизма, специализированного на алмазы минералогического изучения, прогноза алмазности) м-ба 1:2 500 000 (с врезками м-ба 1:1 000 000 на наиболее изученные регионы), а также банков минералогической информации и данных по составу алмазносных и потенциально алмазносных магматитов;

обоснование перспективных площадей и разработку рекомендаций по направлению и методике алмазописковых работ АК «АЛРОСА» в Северо-Западном и Карело-Кольском регионах Восточно-Европейской платформы с составлением специализированных карт м-бов 1:1 000 000–1:500 000;

проведение тематических и опытно-методических геолого-минералогических и геофизических исследований применительно к поисковым объектам и горно-геологическим условиям алмазоперспективных площадей Архангельской алмазносной провинции и прилегающих территорий с выработкой рекомендаций по критериям их прогнозирования и принципам районирования.

Архангельская алмазносная провинция является второй после Западной Якутии территорией Российской Федерации с разведанными коренными месторождениями алмазов. Наиболее перспективная и изученная ее часть — Зимнебережный алмазносный район. Практически все известные здесь трубки взрыва, включая коренные месторождения алмазов, обнаружены геофизическими методами поисков, в основном магниторазведкой. В настоящее время для поисков новых трубок взрыва филиалом АК «АЛРОСА» — «АЛРОСА-Поморье» используется традиционный поисковый комплекс, включающий магнито- и электроразведку с применением новой высокоточной аппаратуры [9]. Петрофизической основой для постановки этих методов служит достаточно контрастная дифференциация кимберлитов и вмещающих пород на уровне верхних горизонтов (падунская свита) по электрическим и магнитным характеристикам. Весьма высокая электропроводимость кимберлитов обусловлена, прежде всего, значительной их обводненностью слабоминерализованными захороненными водами и сильной преобразованностью кимберлитовых брекчий, основной объем которых составляет тонкодиспергированный сапонит [5]. Вместе с тем, магнитная восприимчивость кимберлитов многих трубок зачастую понижена, особенно для тех тел, у которых сохранились кратерные фации, что затрудняет их поиски магнитометрическим методом.

Применение шлихоминералогического метода поисков в Архангельской алмазносной провинции не столь эффективно, как в Западной Якутии. Причина заключается в низких содержаниях ИМК в коренных телах и вторичных коллекторах, низком уровне денудации кимберлитовых тел, преобладании площадей с мощным покровом ледниковых отложений.

Минералогический метод при поисках коренных источников алмазов в закрытых районах Якутской и Архангельской алмазносных провинций зачастую применяется как вспомогательный. При этом находки ИМК с минимальным износом служат признаком близости коренного источника. В то же время, для многих кимберлитовых трубок и россыпных проявлений обеих провинций получен объемный фактический материал о химическом составе важнейших минералов-спутников алмаза (граната, хромшпинелидов, клинопироксена и ильменита) на основе их полных электронно-зондовых анализов. Разработаны (В.К.Гаранин, Г.П.Кудрявцева и др., геологический факультет МГУ) химико-генетические классификации минералов из кимберлитов с разбивкой данных по составу каждого минерала на хи-

мико-генетические группы с выделением парагенезисов минералов, в том числе и алмазоносных. Это позволяет проводить минералогическую паспортизацию эталонных кимберлитовых тел для генетических построений и в поисковых целях.

Одно из прогрессирующих в последние годы направлений — определение элементов-примесей, позволяющее выявлять более тонкие отличительные признаки ИМК в пределах тех или иных парагенетических ассоциаций. Например, в гранатах часто отмечается характерное обогащение тяжелыми редкоземельными элементами (Dy, Er, Yb) относительно легких (La, Ce, Pr, Nd) при закономерной тенденции снижения общего содержания всех редкоземельных элементов в ряду перидотиты – пироксениты – эклогиты с небольшими Eu аномалиями в гранатах из эклогитов. Вследствие применения прецизионного изучения кимберлитовых минералов расширяются возможности использования шлихоминералогического метода поисков алмазов.

Многие из обозначенных подходов к оптимизации прогнозно-поисковых технологий в Западной Якутии применимы, на наш взгляд, и к алмазоперспективным площадям Архангельского региона. Перспективным для повышения эффективности прогнозно-поисковых работ в Юго-Восточном Беломорье может стать решение следующих проблемных научно-прикладных задач:

выявление закономерностей размещения алмазоносных кимберлитов на основе изучения и анализа глубинного и структурно-тектонического строения земной коры провинции и прогнозирование на этой основе новых проявлений алмазоносных магматитов;

изучение литолого-фациальных закономерностей строения, вещественного состава и условий формирования позднепалеозойских (вторичных) коллекторов алмазов;

изучение регрессивных процессов преобразования индикаторных минералов кимберлитов для усовершенствования методов поисков и оценки коренных месторождений алмазов.

Решение первой задачи во многом базируется на среднемасштабных исследованиях особенностей глубинного геоэлектрического разреза и структуры кимберлитовых полей Архангельской алмазоносной провинции для выявления прогнозных факторов проявлений кимберлитового магматизма методами МТЗ и АМТЗ с современной аппаратурой (на начальном этапе в опытно-производственном режиме). Как отмечалось выше, имеется положительный опыт решения этой задачи в условиях Западной Якутии.

Проблема промежуточных коллекторов в Ар-

хангельской алмазоносной провинции связана с корреляцией разрезов, прослеживанием по площади и в разрезе разновозрастных горизонтов, содержащих индикаторные минералы, и определением их фациальной принадлежности. Эти вопросы должны решаться в комплексе с реконструкциями рельефа и палеогеографическими построениями на время формирования продуктивных горизонтов, содержащих ИМК. Определение оптимального комплекса методов корреляции позднепалеозойских разрезов является первоочередной задачей при изучении коллекторов алмазов. Она может быть решена на основе изучения опорных разрезов с применением методов каротажа скважин, циклического анализа и палеонтологических методов. Позднепалеозойский рельеф, существовавший во время разрыва кимберлитовых тел и формирования коррелятных ему отложений, обычно выступает в качестве надежного поискового инструмента при поисках погребенных кимберлитов. Задачу по восстановлению позднепалеозойского рельефа необходимо решать с использованием комплекса палеогеоморфологических методов, главный из которых, очевидно, — метод реперных поверхностей, хорошо зарекомендовавший себя при прогнозно-поисковых работах в пределах Мирнинского и Алаakit-Мархинского кимберлитовых полей.

В верхних частях некоторых кимберлитовых тел Архангельской алмазоносной провинции установлены коры химического выветривания [4, 10], в которых в значительных концентрациях наблюдаются слоистые силикаты типа сапонита и смешанослойные образования. Наличие этих минеральных образований в перекрывающих кимберлиты терригенных позднепалеозойских коллекторах — прямой поисковый признак, свидетельствующий о близости кимберлитовых тел.

Важное место в научно-методическом сопровождении геологоразведочных работ на алмазы занимает их информационно-компьютерное обеспечение, что во многом уже реализуется в ЯНИГП ЦНИГРИ для Сибирской и в ЦНИГРИ — для Восточно-Европейской платформ. Оно предусматривает создание и пополнение специализированных на алмазы разномасштабных (в зависимости от стадии и масштаба ГРП) карт, отражающих, в числе разнообразной информации, такие параметры, как: прогноз и ранжирование новых алмазоперспективных площадей; подсчет прогнозных ресурсов; контуры и мониторинг геологоразведочных работ на лицензированных площадях; степень опоскованности территорий и текущее состояние минерально-сырьевой базы алмазов. Очевидно, что подобные карты должны составляться в графическом и цифровом ви-

де с использованием ГИС-технологий и сопровождаются системой соответствующих банков данных различной геолого-геофизической информации. Масштаб базовых карт 1:2 500 000–1:1 500 000 (на платформы); эти карты явятся своеобразным графическим меню для листов карт масштабов 1:1 000 000–1:200 000 и крупнее. Фактически речь идет о создании комплексных информационно-справочных систем, где к базовой карте («меню») «привязаны» многочисленные разнообразные более локальные блоки (частные банки данных) — картографические, минералогические, петрохимические и т.д. Такие системы позволяют оперативно учитывать поступающую информацию, вести мониторинг выполненных разнонаправленных геологических исследований, избегать дублирования работ, что имеет важнейшее значение при прогнозировании алмазоносного магматизма и планировании ГРП на алмазы.

Таким образом, эффективность геологоразведочных работ на алмазы как в Якутской, так и в Архангельской алмазоносной провинции может быть повышена за счет включения в прогнозно-поисковый комплекс новых вышеописанных и других методов и методик, основанных на передовых аппаратной и интерпретационной базах и лабораторно-аналитических технологиях. Апробация этих методов и методик и доведение их до стадии производственных работ, а также информационно-аналитический мониторинг геологоразведочных работ и яв-

ляются первоочередной задачей прикладной алмазной геологической науки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ваганов В.И. Алмазные месторождения России и мира. – М.: Геоинформмарк, 2000.
2. Голубев Ю.К., Ваганов В.И., Прусакова Н.А. Принципы прогнозирования алмазоперспективных площадей на Восточно-Европейской платформе // Руды и металлы. 2005. № 1. С. 55–70.
3. Дукардт Ю.А., Борис Е.И. Авлакогенез и кимберлитовый магматизм. – Воронеж, 2000.
4. Зинчук Н.Н. Постмагматические минералы кимберлитов. – М.: Недра, 2000.
5. Зинчук Н.Н., Бондаренко А.Т., Гарат М.Н. Петрофизика кимберлитов и вмещающих пород. – М.: Недра, 2002.
6. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. – М.: Недра, 2003.
7. Манаков А.В. Технология выделения литосферного корня на основе интегрированного анализа геофизических данных // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. Воронеж, 2001. С. 270–277.
8. Методические указания по поискам коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе (Якутская алмазоносная провинция). – Л.: НПО «Рудгеофизика», 1989.
9. Специфика поисков месторождений алмазов в Архангельской провинции, проблемы их научного сопровождения / В.В.Вержак, Г.В.Минченко, В.А.Ларченко и др. // Геологические аспекты минерально-сырьевой базы акционерной компании «АЛРОСА»: современное состояние, перспективы решения. Мирный, 2003. С. 34–42.
10. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов мира. – М.: Недра, 1998.

УДК 550.83.015:553.81

© В.М.Жандалинов, Вас.В.Стогний, 2006

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРИ ПОИСКАХ КИМБЕРЛИТОВ — ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

**В.М.Жандалинов, Вас.В.Стогний (Акционерная компания «АЛРОСА»)**

Один из наиболее производительных методов электроразведки — электропрофилирование. Для оценки его геологической эффективности, выбора типа установки и оптимизации технологии при поиске кимберлитовых тел в условиях площадей I–III геотипов проведено численное 3D моделирование методом конечных разностей [7] в программе *res3Dmod*, разработанной М.Локе. Рассчитанные аномалии кажущегося электрического сопротивления при профилировании дипольной и симметричной установками над кимберлитовой трубкой диа-

метром 60 м ( $\rho=320$  Ом·м) приведены на рис. 1.

Кимберлитовая трубка перекрыта мерзлыми терригенными осадочными отложениями с УЭС 900 Ом·м; кора выветривания верхнего горизонта кимберлитовой трубки имеет мощность 2 м. Амплитуды аномалии, обусловленной кимберлитовой трубкой, для дипольной и симметричной установок близки (330–360 Ом·м). Размер аномальной области пониженных значений кажущегося электрического сопротивления при профилировании дипольной установкой превышает диаметр кимберлитовой

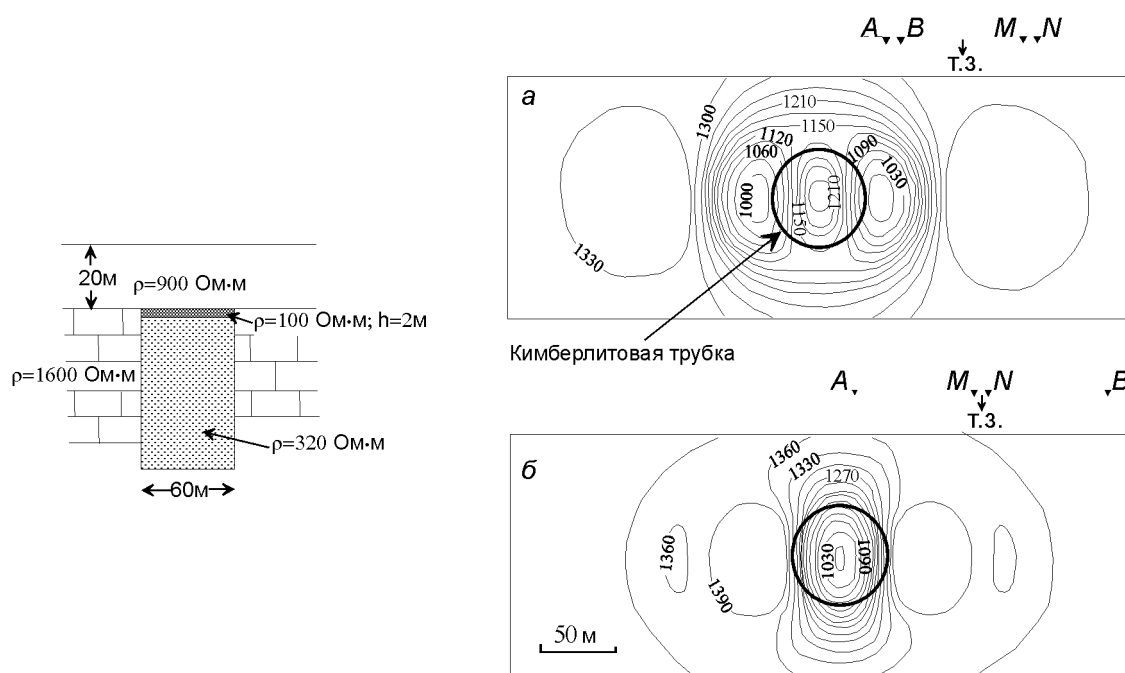


Рис. 1. План  $\rho_k$  при профилировании дипольной (а) и симметричной (б) установками над кимберлитовой трубкой в высокоомной среде по результатам 3D моделирования

вой трубки на разнос установки (расстояние между электрическими центрами диполей). При этом в аномальную область пониженных значений  $\rho_k$ , связанную с кимберлитовой трубкой диаметром 50 м, попадет не менее семи точек наблюдения, что достаточно для надежного выделения аномалии. При профилировании симметричной установкой размер аномальной зоны меньше, а ее очертания практически совпадают с границами трубки, поэтому применение дипольной установки при поисках кимберлитовых трубок более эффективно. Однако последующую детализацию аномалий, выявленных по материалам рядовой съемки ДЭП, необходимо проводить симметричной установкой AMNB, что позволяет более точно определять контуры поискового объекта.

В сложных геологических условиях экранирующее влияние оказывают породы высокого сопротивления (траппы), препятствующие проникновению тока на глубину. Поэтому для постановки поисковых электроразведочных работ методами сопротивлений наиболее благоприятны участки с отсутствием перекрывающих пород или с мощностью рыхлых перекрывающих отложений не более 20 м.

Анализ результатов моделирования позволил установить [1], что для Малоботубинского алмазно-

носного района надежное выделение аномалии от кимберлитовой трубки диаметром 80 м возможно при мощности перекрывающих пород не более 30 м (при эпицентральной расположении профиля). В случае расположения эпицентра кимберлитовой трубки между профилями исследования максимальная глубина обнаружения кимберлитового тела диаметром 50 м уменьшается до 23 м, а диаметром 80 м — до 28 м.

Импульсная индуктивная электроразведка может применяться для поисков кимберлитовых тел на разрезах с более мощным перекрывающим комплексом, особенно в условиях плохо проводящих пород. Практика показывает, что для оценки возможности импульсной индуктивной электроразведки при поисках кимберлитовых трубок необходимо учитывать реальную плотность буровой сети. В пределах перспективных участков Мирнинского кимберлитового поля поисковое бурение выполнено по сети 250×250 м и плотнее, поэтому в его пределах актуальна задача поисков мелких и средних кимберлитовых тел. Особо следует учитывать, что кембрийские карбонатные отложения, вмещающие кимберлитовые трубки, в центральной части района обычно выходят на поверхность или перекрыты четвертичными и юрскими отложениями, а в северо-западной — перекрыты траппами. Эти факторы

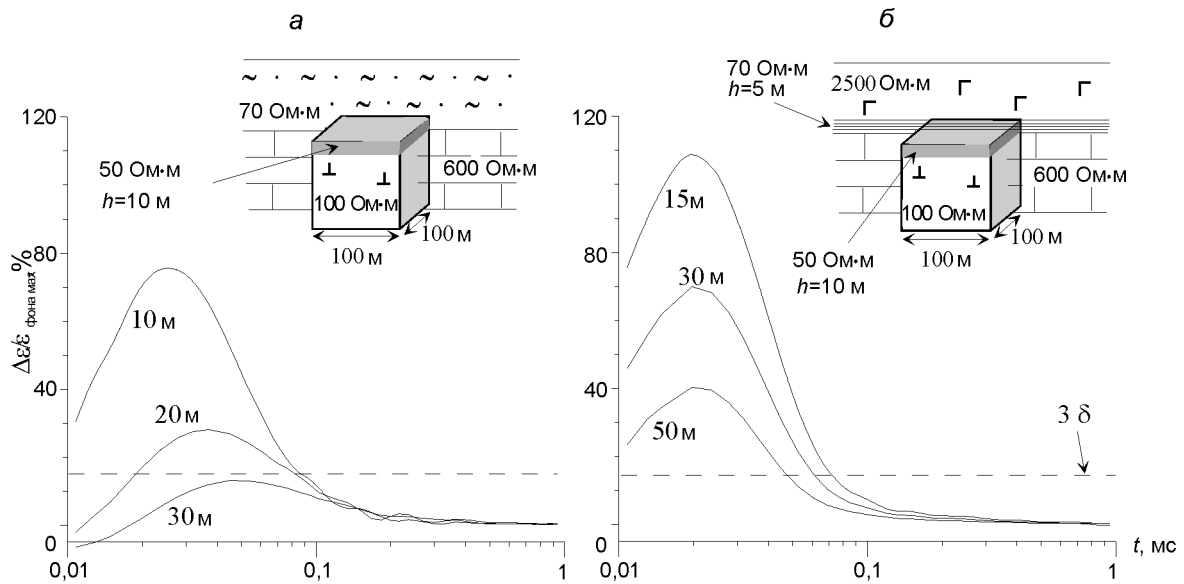


Рис. 2. Расчетная anomальная составляющая переходного процесса, обусловленная кимберлитовой трубкой, перекрытой юрскими отложениями (а) и траппами (б):

совмещенная установка 100x100 м расположена в эпицентре модели кимберлитового тела; цифры у кривых — мощность перекрывающих отложений

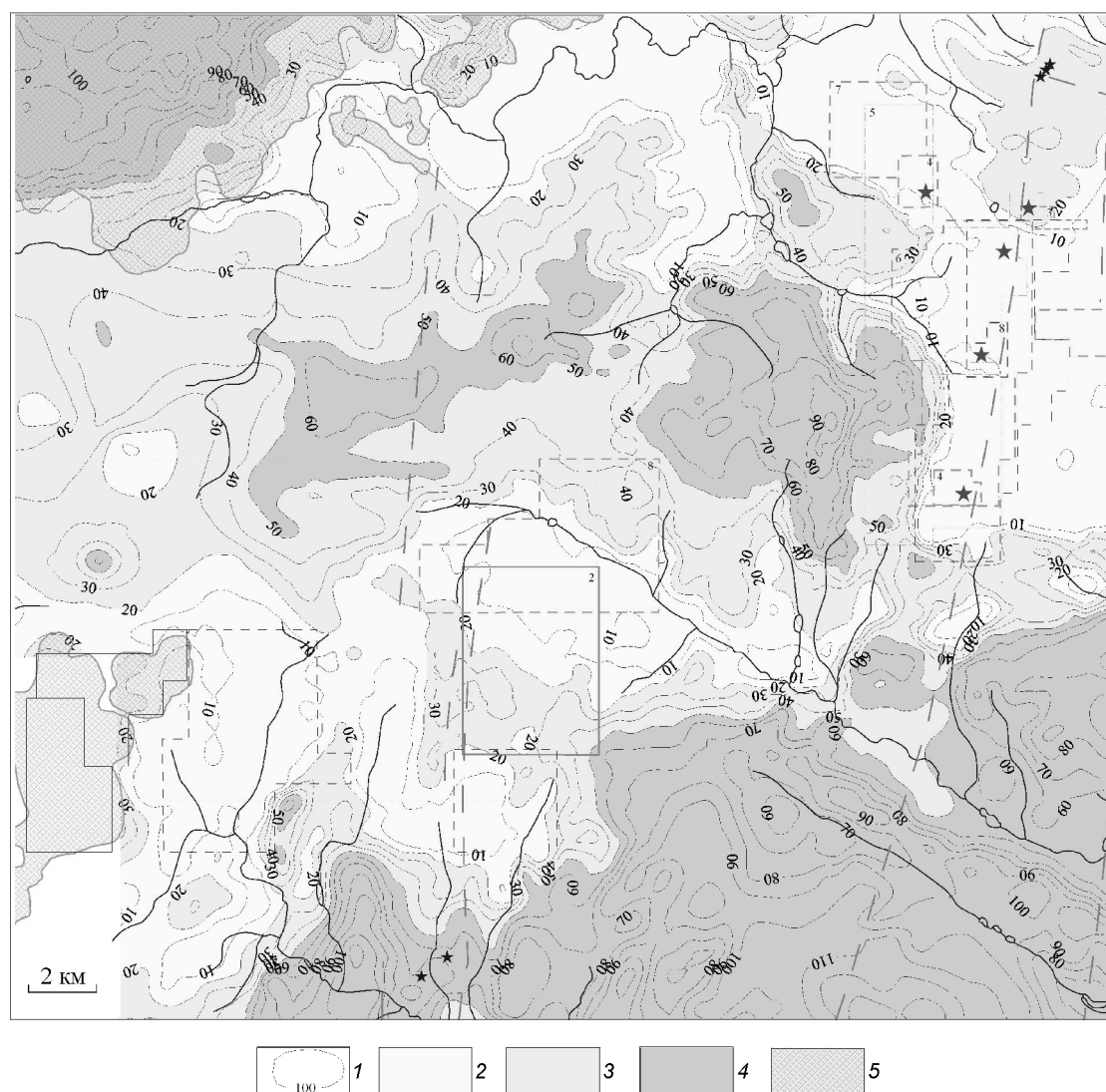
учтены при проведении 3D моделирования неустановившегося электромагнитного поля для двух физико-геологических моделей с использованием программы EM-Vision (Encom Technology, Австралия). В первой модели кимберлитовая трубка размером 100x100 м перекрыта низкоомными юрскими отложениями, а во второй — высокоомными траппами (рис. 2). В верхней части кимберлитовой трубки развита кора выветривания мощностью 10 м. Физические свойства кимберлитов и вмещающих пород приняты согласно данным Н.Н.Зинчука с соавторами [2], а также результатам интерпретации материалов ЗМПП.

Анализ материалов моделирования показывает, что при мощности проводящих юрских отложений 30 м и более anomальная составляющая ЭДС неустановившегося электромагнитного поля, вызванная кимберлитовой трубкой, быстро уменьшается и составляет менее 15% ( $3\delta$ ) от нормального поля. В таких геологических условиях эффективность метода ЗМПП при поиске трубок размерами до 100x100 м близка к ДЭП [1]. Траппы, характеризующиеся высоким удельным электрическим сопротивлением, не оказывают существенного экранирующего влияния при поисках кимберлитовых тел

(см. рис. 2, б), и anomalia от кимберлитового тела размером 100x100 м может быть выделена даже при значительной их мощности — более 50 м.

Для рассматриваемых моделей максимум anomалии переходного процесса от кимберлитовой трубки находится в интервале 10–50 мкс. На временах более 100 мкс anomальная составляющая снижается и составляет менее 10% от нормального поля. Таким образом, в Малоботуобинском алмазном районе метод ЗМПП обладает потенциально высокой геологической эффективностью, в том числе при выявлении кимберлитовых тел, перекрытых траппами значительной мощности. В связи с этим северо-восточная часть района с широко развитыми траппами имеет наиболее благоприятные условия для применения импульсной индуктивной электроразведки в качестве основного поискового геофизического метода. Юрские породы, обладающие относительно низким электрическим сопротивлением, оказывают экранирующее влияние, вследствие чего эффективность ЗМПП при мощности этих пород более 30 м резко снижается.

Моделирование геофизических полей можно использовать для районирования площадей по оптимальным геофизическим методам и их комплек-



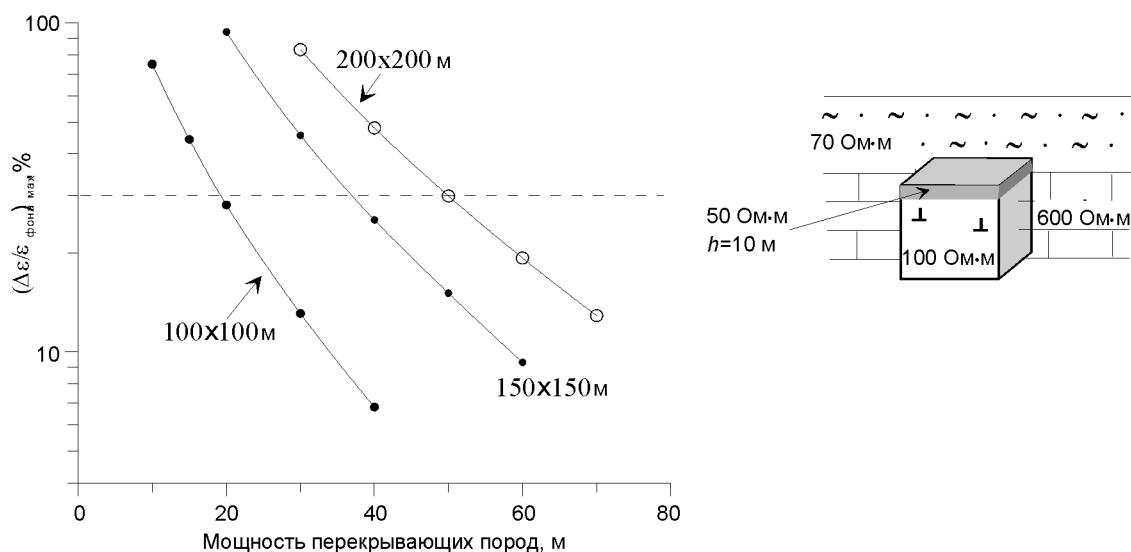
**Рис. 3. Площадная схема рационального использования электроразведки для поисков кимберлитов в геологических условиях Малобутубинского алмазоносного района:**

*1* — линии изопакит перекрывающего комплекса; мощность перекрывающих отложений и методы поисков кимберлитовых тел: *2* — до 20 м, методы сопротивлений и вызванной поляризации, *3* — 20–50 м, импульсная электроразведка (ЗМП) и площадное зондирование становлением с закрепленным источником для поисков кимберлитовых тел размером более 100х100 м, *4* — 50–120 м, то же, для поисков кимберлитовых тел размером более 200х200 м, *5* — то же, для поисков кимберлитовых тел, перекрытых траппами

сам при поисках кимберлитовых тел. В качестве примера на рис. 3 приведена площадная схема рационального использования электроразведки для поисков кимберлитов в геологических условиях Малобутубинского алмазоносного района, составленная на основе выполненного 3D моделирования постоянного, а также неустановившегося электромагнитного поля. По условиям применения методов наземной электроразведки выделены участки четырех градаций (см. рис. 3). Наиболее благоприятные условия для поисков кимберлитовых тел

методом сопротивлений и вызванной поляризации существуют на участках, где на поверхность выходят кимберлитовмещающие породы раннего палеозоя, представленные глинистыми терригенно-карбонатными разностями, или с мощностью перекрывающих мезокайнозойских осадочных пород менее 20 м.

На участках с мощностью перекрывающих осадочных отложений более 20 м (II и III геотипы) по-



**Рис. 4. Номограмма зависимости аномальной составляющей переходного процесса, обусловленной кимберлитовой трубкой, от мощности перекрывающих низкоомных отложений:**

расчет выполнен для совмещенной установки 100x100 м, расположенной в эпицентре модели кимберлитового тела; цифры у кривых — размеры кимберлитового тела

иск кимберлитовых тел следует проводить модифицированными методами индуктивной импульсной электроразведки. С увеличением мощности перекрывающих юрских отложений резко возрастают минимальные размеры кимберлитовых тел, которые могут быть выявлены импульсной индуктивной электроразведкой (рис. 4). Например, аномальная составляющая ЭДС неустановившегося электромагнитного поля, вызванная кимберлитовой трубкой размером 150×150 м, составляет менее 30% (6δ) от нормального поля при мощности перекрывающих юрских отложений 40 м, а кимберлитовой трубки размером 200×200 м — при мощности перекрывающих юрских отложений немногим более 50 м. При математическом моделировании приняты наиболее характерные значения удельного электрического сопротивления кимберлитовых трубок Малоботуобинского района. Распределение значений удельного электрического сопротивления кимберлитов, как правило, подчиняется нормальному гауссовскому распределению, поэтому на участках, перекрытых мощными осадочными отложениями, можно ожидать открытие с помощью электроразведочных методов лишь тех кимберлитовых трубок, которые отличаются низким электрическим сопротивлением.

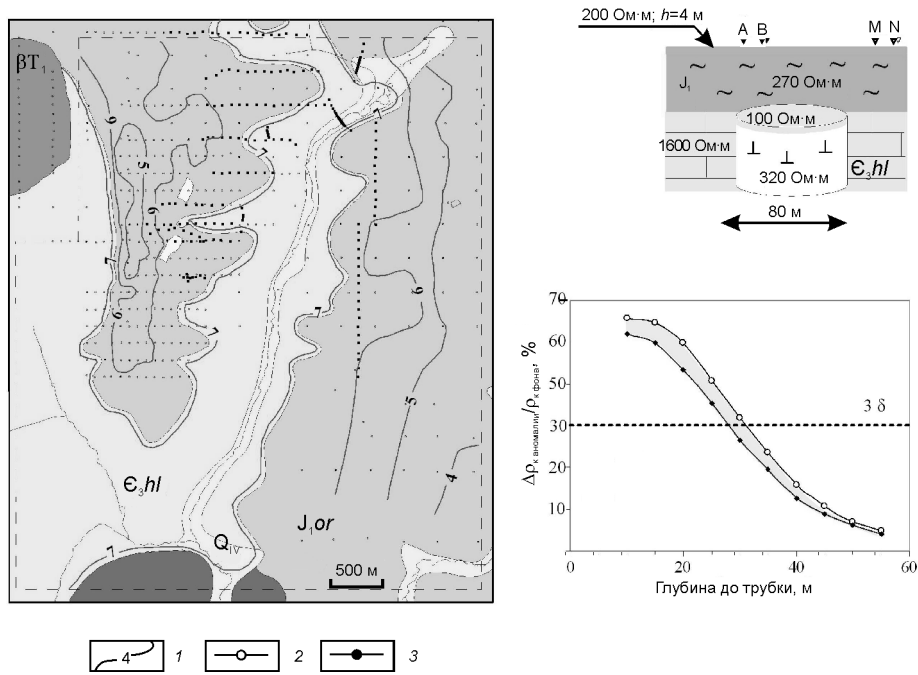
Наиболее благоприятные условия для примене-

ния импульсной индуктивной электроразведки существуют в пределах площадей развития траппов. Поскольку площади развития траппов, залегающих непосредственно на породах раннепалеозойского кимберлитовмещающего цоколя или перекрытых малоомными юрскими отложениями, достаточно большие, в перспективе следует рассмотреть возможность их опоскования аэроэлектроразведкой методом переходных процессов.

Методика районирования территории Средне-Мархинского алмазоносного района по условиям проведения наземных поисковых электроразведочных работ аналогична принятой для Малоботуобинского района с учетом физических свойств структурно-вещественных комплексов, характерных для Накынского кимберлитового поля.

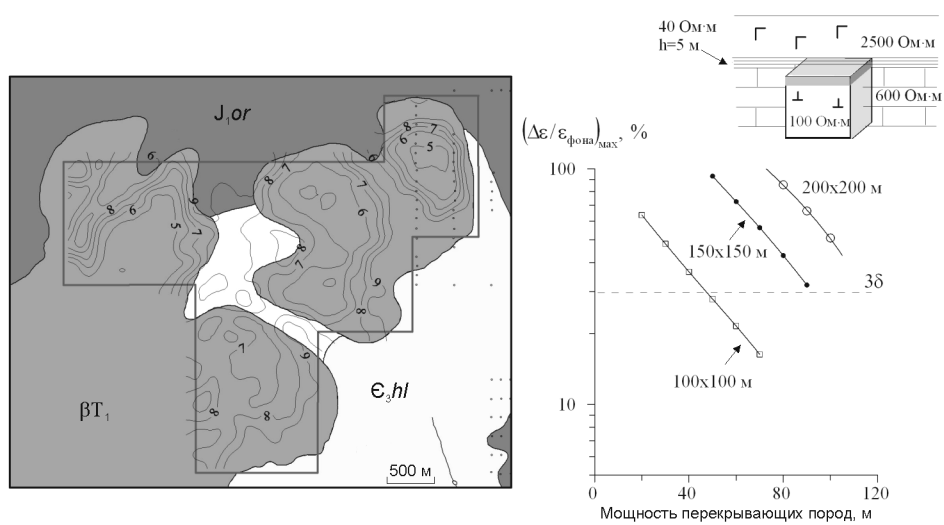
В пределах Накынского кимберлитового поля мощность перекрывающих юрских отложений возрастает с северо-запада на юго-восток от первых метров до 120 м. На северо-западе рассматриваемой территории, там, где мощность перекрывающих отложений не превышает 20 м, возможны прямые поиски кимберлитовых тел методами сопротивлений. Согласно данным математического моделирования, выполненного с учетом физических свойств кимберлитов трубок Нюрбинская и Ботуобинская, проведение электроразведочных работ ЗМП с соосными установками, а также площад-





**Рис. 5. Надежность опoisкования методом электропрофилирования (БИЭП) в условиях проводящего разреза (юрские отложения):**

1 — изолинии коэффициента надежности опoisкования (д); 2 — профиль через эпицентр трубки; 3 — профиль в 25 м от эпицентра



**Рис. 6. Надежность опoisкования методом ЗМПП в условиях высокоомного (траппового) разреза:**

цифры у кривых — размеры кимберлитового тела

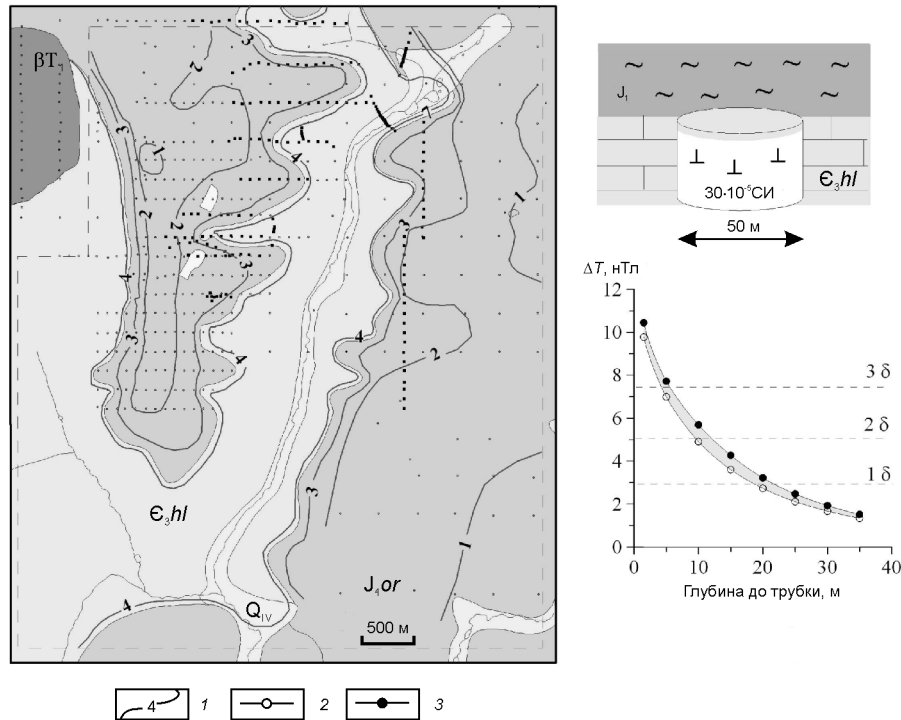


Рис. 7. Надежность выделения магниторазведкой кимберлитового тела, перекрытого юрскими отложениями:

*I* — изолинии коэффициента надежности опoisкования (д); 2 — профиль через эпицентр трубки; 3 — профиль в 12,5 м от эпицентра трубки

ных зондирований становлением с закрепленным источником, направленных на прямой поиск кимберлитовых тел, целесообразно только при мощности перекрывающих отложений не более 50 м. По результатам электрического каротажа [2] низкое электрическое сопротивление имеют отложения первой–третьей пачек сунтарской свиты юры, представленные глинами, аргиллитами и песчанистыми алевролитами, которые оказывают экранирующее влияние для методов индуктивной электро-разведки, проводящейся в целях поисков кимберлитовых трубок. При мощности перекрывающих отложений более 50 м электроразведочные работы должны направляться на выявление косвенных геофизических критериев кимберлитовых тел, в частности на положение кровли межмерзлотного талика [4].

На завершающем этапе поисковых работ создается резульативная модель изученного участка на основе применения математического моделирования геофизических полей. Оценка степени надежности опoisкования территории — элемент этой

модели. Используются параметры реализованной сети поискового бурения, геологические карты, материалы геофизических исследований скважин, петрофизических измерений и резульативная геолого-геофизическая модель участка. Эти данные позволяют конкретизировать условия моделирования и получить корреляционные связи геологического строения исследуемой среды и петрофизических свойств с поисковой эффективностью геофизических методов. Оценка достигнутой эффективности электроразведки ЗМПП, БИЭП и магнитной съемки проводится с учетом точности полевых измерений и уровня геологических помех для каждого геотипа исследуемой площади (δ). В результате составляется карта надежности выполненных поисковых работ, выделяются перспективные участки, а также рекомендуется методика их доизучения (рис. 5, 6, 7).

Таким образом, применение математического моделирования низкочастотных и неустановившихся электромагнитных полей на разных стадиях исследований методами электропрофилирования и

ЗМПП, а также магнитной съемки для выявления кимберлитовых тел, от их планирования и проектирования до создания апостериорных моделей участков, позволяет не только повысить поисковую эффективность данных исследований, но и дать количественную оценку степени надежности опосредованного с учетом конкретных физико-геологических условий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Жандалинов В.М., Стогний В.В.* Анализ возможностей электропрофилирования при поиске мелких и средних кимберлитовых тел в Мало-Ботуобинском районе Западной Якутии // Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее (АЛМАЗЫ-50). Санкт-Петербург, 2004. С. 129–132.
2. *Зинчук Н.Н., Бондаренко А.Т., Гарам М.Н.* Петрофизика кимберлитов и вмещающих пород. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002.
3. *Светов Б.С., Агеев В.В., Лебедева Н.А.* Поляризуемость горных пород и феномен высокоразрешающей электроразведки // Геофизика. 1996. № 4. С. 42–52.
4. *Стогний В.В., Жандалинов В.М.* Возможности импульсной индуктивной электроразведки при поисках кимберлитовых тел на территориях Мирнинского и Накынского кимберлитовых полей Якутии // Геология алмаза — настоящее и будущее. Воронеж, 2005. С. 1455–1459.
5. *Стогний Г.А., Стогний В.В., Келле Э.Я., Пилипенко А.П.* Атмохимические поиски кимберлитовых тел в закрытых районах // Разведка и охрана недр. № 4. 1984. С. 24–26.
6. *Участки флюидно-магматической активности в Накыньском кимберлитовом поле / П.А.Игнатов, К.Ю.Бушков, Я.И.Штейн и др.* // Проблемы прогнозирования поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. Воронеж, 2003. С. 383–387.
7. *Silvester P.P. and Ferrari R.L.* Finite elements for electrical engineers (2nd. ed.). – Cambridge University Press, 1990.

УДК 553.81:550.83

© А.В.Манаков, А.В.Герасимчук, В.А.Матросов, 2006

## СОВРЕМЕННЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПРИ ПОИСКОВЫХ РАБОТАХ НА АЛМАЗЫ

**А.В.Манаков, А.В.Герасимчук, В.А.Матросов (ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА»)**

В настоящее время вероятность открытия крупных месторождений в освоенных алмазоносных районах существенно уменьшается. Происходит изменение структуры балансовых запасов с относительным ростом категорий руд, предназначенных для подземной отработки. Акционерной компанией «АЛРОСА» в разработку все чаще вовлекаются более бедные по содержанию алмазов и запасам горной массы кимберлитовые трубки. В последующем алмазодобыча не будет компенсироваться восполнением за счет известных источников, поэтому открытие новых алмазных месторождений в ближайшие годы — актуальнейшая проблема. Соответственно, усиление геологоразведочных работ (ГРР) на алмазы является приоритетной задачей не только АК «АЛРОСА», но и на республиканском и федеральном уровнях.

По условиям ведения поисковых работ территория Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) делится на шесть типов, различающихся геологи-

ческим строением. Открытые территории провинции, исходя из опыта алмазопроисловых работ и учитывая, что все известные коренные месторождения, выходящие на поверхность, были выявлены в течение первых пяти лет (1955–1961 гг.) массовых геологоразведочных работ на алмазы, вряд ли могут представлять интерес с точки зрения обнаружения кимберлитовых тел, аналогичных известным высокопродуктивным месторождениям (мирнинский или далдыно-алакитский типы). Связано это с высокой степенью изученности открытых площадей, в пределах которых обнаружено абсолютное большинство кимберлитовых полей. В то же время на закрытых площадях, занимающих около 40% территории ЯАП, известны только Накыньское и Алакит-Мархинское алмазоносные кимберлитовые поля. Данный факт дает основание прогнозировать на остающейся достаточно слабоизученной территории провинции (с учетом порога экономической целесообразности в 200 м занимает менее

240 тыс. км<sup>2</sup>) алмазонасные коренные источники. В данной ситуации возникает необходимость смещения основного объема поисковых работ на закрытые территории. При этом региональными работами, ориентированными на выделение новых кимберлитовых полей, необходимо полностью изучить доступную для опосредованного поиска закрытую часть территории провинции.

Поиски не выходящих на поверхность месторождений сопряжены со значительными затратами. Соответственно, постановка разномасштабных поисковых геологоразведочных работ в целях правильного и надежного выбора перспективных площадей на основе достаточно представительных и достоверных материалов имеет огромное практическое значение. Опыт и практика алмазопоско-вых работ на закрытых территориях показывают, что одних минералогических данных для надежного прогнозирования и открытия новых месторождений не хватает. Малые объемы шлиховых проб из скважин колонкового бурения, а также переотложенный характер ореолов рассеяния кимберлитовых минералов или вообще их отсутствие снижают возможности шлихоминералогического метода поисков в данной обстановке. Получение более полной информации об объектах поисков требует расширения уже наработанных прогнозно-поисковых факторов и формирования усовершенствованного, научно обоснованного, эффективного комплекса методов. В частности, возрастает роль поисково-картировочного бурения, а также геофизических методов.

Бурение поисковых скважин в пределах перспективных участков, выделенных по комплексу геолого-геофизических предпосылок и шлихоминералогических признаков, должно ориентироваться на прямое подсечение кимберлитового тела, а также на обеспечение применения межскважинных геофизических методов поисков. Из геофизических методов на первый план выдвигаются такие, которые позволяют расшифровать признаки кимберлитового тела с поверхности (гравимагнитные исследования, электроразведка, сейсмические) или в межскважинном пространстве (радиоволновое просвечивание, комплекс геофизических исследований скважин).

Важная задача при поисках кимберлитовых тел на закрытых площадях — дальнейшее развитие аэрогеофизических поисковых методов. Результаты работ последних лет НПО «Аэрогеофизика», геофизических подразделений Амакинской и Ботуобинской экспедиций АК «АЛРОСА» показывают, что современное состояние аэрогеофизических методов (магнито- и электроразведочных) позволяет пе-

рейти к разработке и использованию специальных целевых аэрогеофизических прогнозно-поисковых технологий. Эти технологии необходимо ориентировать на решение конкретных прикладных задач с максимально возможной экономической эффективностью применительно к конкретному району работ, его геолого-геофизической изученности, геолого-экономической и ландшафтно-геологической обстановкам. Ориентация технологии на достижение заданной цели в каждом конкретном случае должна обеспечиваться:

целевым выбором необходимой этапности работ, методов и модификаций, точности наблюдений, масштабов и высот съемок;

целевой методикой обработки и представления информации, набором необходимых дополнительных данных;

целевой технологической схемой общей и прогнозной интерпретации полученной информации.

Аэрогеофизическая съемка может применяться на всех стадиях геологоразведочных работ, но, учитывая изученность, в настоящее время предпочтительнее детальные поисковые работы м-ба 1:5000–1:10 000, ведущиеся для выявления локальных аномалий «трубочного типа». Она включает аэромагниторазведку, в опытно-методическом плане проходит апробацию аэроэлектроразведка. При аэромагнитной съемке используются магнитометры «Аэромастер» с цезиевыми датчиками в выпускной гондоле, буксируемой на высоте около 50 м. Применяется активное самолетовождение с системой GPS/GLONASS, обеспечивающей возможность проведения дифференциальной коррекции, привязку маршрутов с высокой точностью. Поправки за вариации берутся с базовых станций, расположенных на участках работ. Точность съемок оценивается по секущим и повторным маршрутам и составляет соответственно 1–2 и 0,5–0,7 нТл.

Для каждой стадии геологоразведочных работ на алмазы, исключая стадию оценочно-разведочных работ, предложены рациональные схемы поисков, определен комплекс и масштабы исследований [4, 8]. Вместе с тем, нынешние реальные поисковые ситуации оказались сложнее. Многие индикационные характеристики поисковых объектов слабо изучены, часто оцениваются субъективно, а также осложнены влиянием многочисленных помех геологического характера. Поэтому совершенствование и разработка новых комплексных прогнозно-поисковых моделей алмазонасных объектов, критериев и методов их обнаружения, в том числе геофизических, продолжает оставаться одним из приоритетных направлений в алмазной геологии. В этой

связи рассмотрим некоторые аспекты совершенствования комплекса геофизических методов при прогнозно-поисковых исследованиях в алмазной геологии на среднемасштабной и детальной стадиях геологоразведочных работ.

На среднемасштабной стадии прогнозно-поисковых работ основная задача геофизических исследований — выявление прогнозно-поисковых факторов кимберлитовых полей. Среди них в настоящее время предпочтение отдается глубинным геофизическим критериям, контролирующим кимберлитовый магматизм. Ведущими методами служат магниторазведка, гравиразведка, сейсмические и магнитотеллурические исследования. Среднемасштабные магнитные и гравиметрические съемки к настоящему моменту проведены на большинстве перспективных территорий, и прогнозные построения совершенствуются на основе способов количественной переинтерпретации данных, геофизического моделирования. Особое место занимают глубинные геофизические исследования методом региональной сейсморазведки МОВ-ОГТ и электромагнитные наблюдения методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ).

Планомерные глубинные исследования (ГСЗ) в Западной Якутии были проведены в 1980–1995 гг. Основной объем работ выполнен методикой площадных зондирований в сочетании с профильными наблюдениями. Использовалась шестиканальная телеуправляемая аппаратура «Тайга» с магнитной аналоговой записью. Данные обрабатывались на основе приближенных методов решения обратных задач. Эти исследования позволили В.Д.Суворову [10] установить ряд особенностей глубинного строения алмазоносных районов центральной части ЯАП. К ним относятся: приуроченность проявлений кимберлитов к депрессии поверхности Мохо, сопряженной с антиклинальным поведением внутрикоровых границ; наличие высокоскоростной сейсмической неоднородности на границе Мохо; потеря корреляции отраженных волн; аномальное повышение коэффициента Пуассона и эффективного поглощения упругих волн на нижних горизонтах земной коры. Однако локальных аномалий, типичных для всех кимберлитовых полей, в то время выявить не удалось. Оцифровка сейсмограмм и их переработка совместно с гравитационными материалами на основе современных компьютерных технологий существенно повысили информативность и достоверность новых сейсмоплотностных моделей земной коры [11]. Установлено, что кимберлитовые поля приурочиваются к субвертикальным зонам скоростных неоднородностей размерами 50–70 км, которые характеризуются аномалиями

ми пониженных скоростей (плотностей) в верхней коре и повышенных — в нижней (рис. 1). Полученные новые данные позволят более четко локализовать перспективные участки.

В ЯАП также проведено изучение структуры кристаллической коры методом отраженных волн в варианте глубинного ОГТ [1, 3]. Для генерации упругих колебаний применялись взрывы в заглубленных скважинах. Оптимальность условий приема достигалась путем группирования сейсмоприемников на продольной базе, которая рассчитывалась на основе анализа кинематических и динамических характеристик полевых записей. Длительность регистрации составляла 12–18 с. На мигрированных глубинных разрезах поля рассеянных волн (рис. 2) отчетливо видна повышенная сейсмическая слоенность земной коры на участках Мирнинского, Далдынского и Накынского кимберлитовых полей. На глубине 30–40 км выделяются субгоризонтальные зоны относительно высокоскоростных среднемасштабных неоднородностей, соответствующие переходному слою кора-мантия. Непосредственно под кимберлитовыми полями наблюдаются субвертикальные аномалии гетерогенного типа [1].

Высокая сейсмическая контрастность трансформированных зон с высоким поглощением энергии, вероятно, связана с наличием большого числа неоднородных включений и трещиноватых пород, различающихся по упругим характеристикам. Предполагается, что консолидированная земная кора на участках проявления глубинного магматизма могла быть преобразована в процессе тектономагматической активизации, сопровождающей продвижение кимберлитовых магм. Под влиянием флюидно-магматической системы с повышенными термодинамическими параметрами сформировались гетерогенные субвертикальные зоны с неравномерным распределением вещества и вариациями физических свойств. Неоднородности, обусловленные фазовыми изменениями вещества под воздействием температур, давлений и магматических флюидов, определяют строение кристаллической коры. Такие участки характеризуются повышенной перспективностью на обнаружение проявлений кимберлитового магматизма.

Работы с применением магнитотеллурического метода, выполненные у нас и за рубежом в течение последнего десятилетия, показали, что процессы, предшествующие, сопровождающие или проявившиеся при становлении и развитии эндогенной рудообразующей системы, могут фиксироваться электромагнитными зондированиями и отражаться в геоэлектрическом разрезе в виде геоэлектрических неоднородностей [5]. Таким образом, дифференциация земных недр по электропроводности и

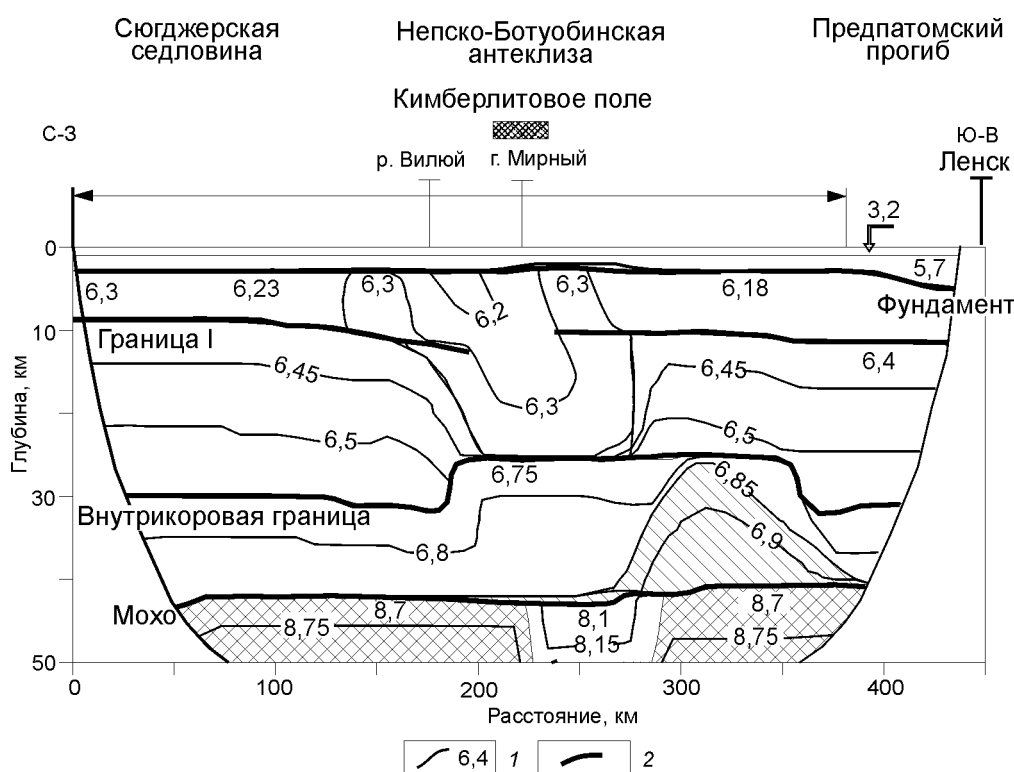


Рис. 1. Сейсмический разрез земной коры через Мирнинское кимберлитовое поле, по В.Д.Суворову, 2005:

1 — изолинии скорости, км/с; 2 — сейсмические границы, штриховые — по данным площадных наблюдений

связь эндогенного оруденения с определенным сочетанием глубинных электрических неоднородностей составляют основу для изучения глубинного строения и физического состояния земной коры и верхней мантии магнитотеллурическими зондированиями.

Для выполнения работ методом МТЗ в АК «АЛРОСА» используется современная аппаратура МТУ-2,5 канадской фирмы «Феникс». Прибор — легкий, герметичный, с 24-битным автономным устройством, низким энергопотреблением. Разработан для сбора электроразведочных данных в сложных полевых условиях [6]. Все устройства в системе синхронизированы сигналом от GPS спутников. Прибор поддерживает от одного до пяти каналов (два электрических и три магнитных). Данные сохраняются на сменной флэш-карте. Питание аппаратуры осуществляется от внешней аккумуляторной батареи напряжением 12 В. Аппаратура может работать при температуре от  $-30$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ . Программное обеспечение включает два блока: программы управления работой станций и предварительной обработки полученных данных и программы интерпретации с 1D и 2D моделированием. Измерение вариаций МТ-поля проводится в частот-

ном диапазоне 0,003–5000 с.

В результате проведенных исследований составлено представление о геоэлектрическом разрезе осадочного чехла, земной коры и верхней мантии Малоботуобинского и Зимнебережного алмазоносных районов [6, 7]. Установлено наличие мощной (более 200 км) литосферы. Алмазоносные районы пространственно совмещаются с высокоомными блоками земной коры, а сквозные проводящие неоднородности в их пределах, связанные с внутрикоровыми и мантийными проводниками, контролируют кимберлитовые поля и кусты кимберлитовых трубок (рис. 3). Проводящие геоэлектрические неоднородности также совпадают с вышеотмеченными транскововыми аномалиями поля рассеянных волн.

На стадии детальных поисковых работ ведущим геофизическим методом по-прежнему остается магниторазведка. Как известно, с помощью наземной магниторазведки в Мирнинском и Накынском кимберлитовых полях открыты четыре алмазоносные трубки: им. 23 съезда КПСС, Интернациональная, Дачная и Нюрбинская. Поисковая магнитная съемка проводится в м-бах 1:2000–1:5000 по предварительно подготовленной сети. Применяют-

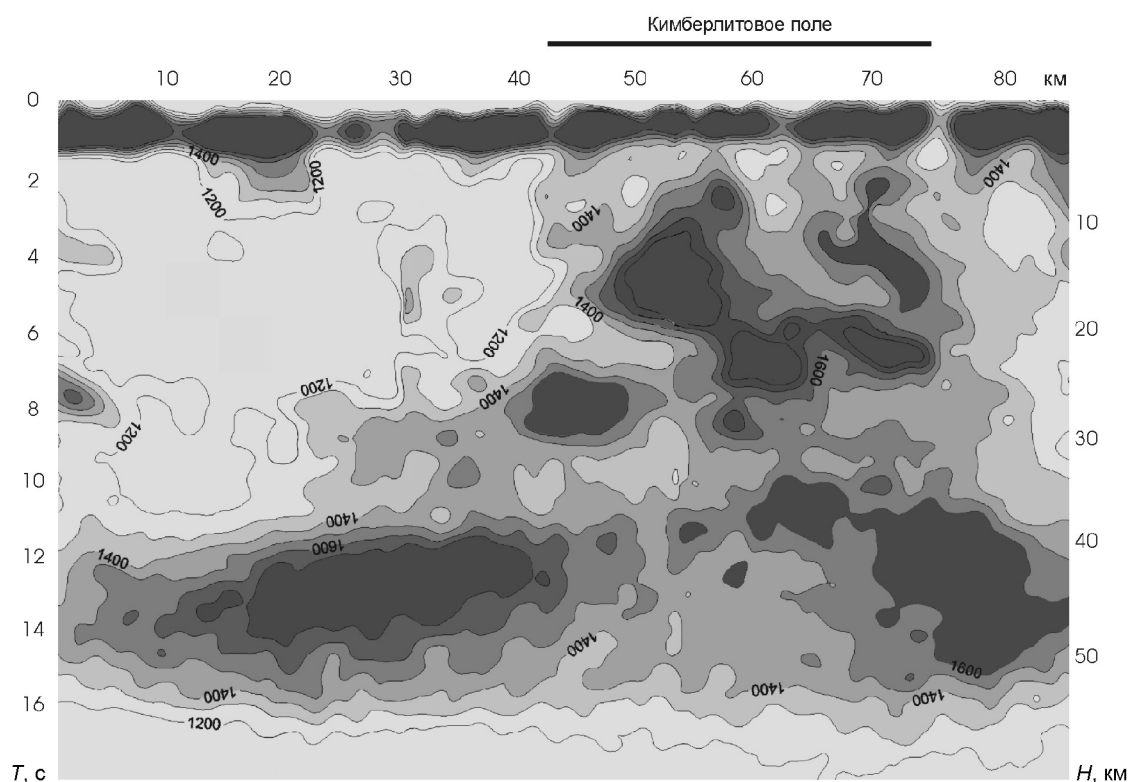


Рис. 2. Мигрированный разрез изоамплитуд рассеянных волн через Далдынское кимберлитовое поле, по Я.Я.Биезайсу, 2005

ся современные магнитометры G-858, GSM-19 с чувствительностью 0,02 нТл. Точность съемки менее 1 нТл. Для заверки выделяются аномалии в спокойном поле интенсивностью более 3 нТл.

В небольших объемах для поисков кимберлитовых трубок используется детальная гравиразведка по сети (25–50)×50 м. Применяются гравиметры LaCoste&Romberg. Среднеквадратическая погрешность определения значений поля силы тяжести обычно составляет 0,03 мгал. Трубочные тела выделяются отрицательными аномалиями гравитационного поля интенсивностью 0,05–0,3 мгал.

Сильно выветрелые верхние части кимберлитовых трубок слабо магнитны или не магнитны. Это затрудняет их локализацию в материалах магнитной съемки. Вместе с тем, коры выветривания кимберлитов и сами кимберлиты, как правило, имеют пониженное электрическое сопротивление и повышенную поляризуемость [2], что создает хорошие предпосылки для применения электроразведки. В геологоразведочных предприятиях АК «АЛРОСА» в настоящее время для поисков кимберлитовых тел используются методы сопротивлений, главным образом в модификации дипольного электропрофили-

рования, и импульсная индуктивная электроразведка методом зондирования становлением в ближней зоне (ЗСБ), которые дополняют друг друга. Электроразведка методом сопротивлений наиболее эффективна в условиях перекрывающих пород мощностью до 20 м, а индуктивные методы характеризуются, вследствие низкого поглощения электромагнитного поля, повышенной глубиной исследований в условиях перекрывающих и вмещающих пород с высоким сопротивлением.

Широкое применение на площадях I и II типов получил БИЭП — метод бесконтактного электропрофилеирования с аппаратурой «ЭРА», основанный на измерении при частоте 625 Гц составляющих электрического поля с помощью незаземленной приемной линии, расположенной вблизи земной поверхности. Отсутствие заземляющих электродов позволяет работать при широком развитии осыпей и в зимних условиях. Сеть наблюдений обычно детальная. Метод прост, производителен, позволяет работать сокращенным составом бригады.

Метод переходных процессов в модификации ЗСБ с аппаратурой Цикл-5, смонтированной на вездеходной технике, применяется на площадях, пе-

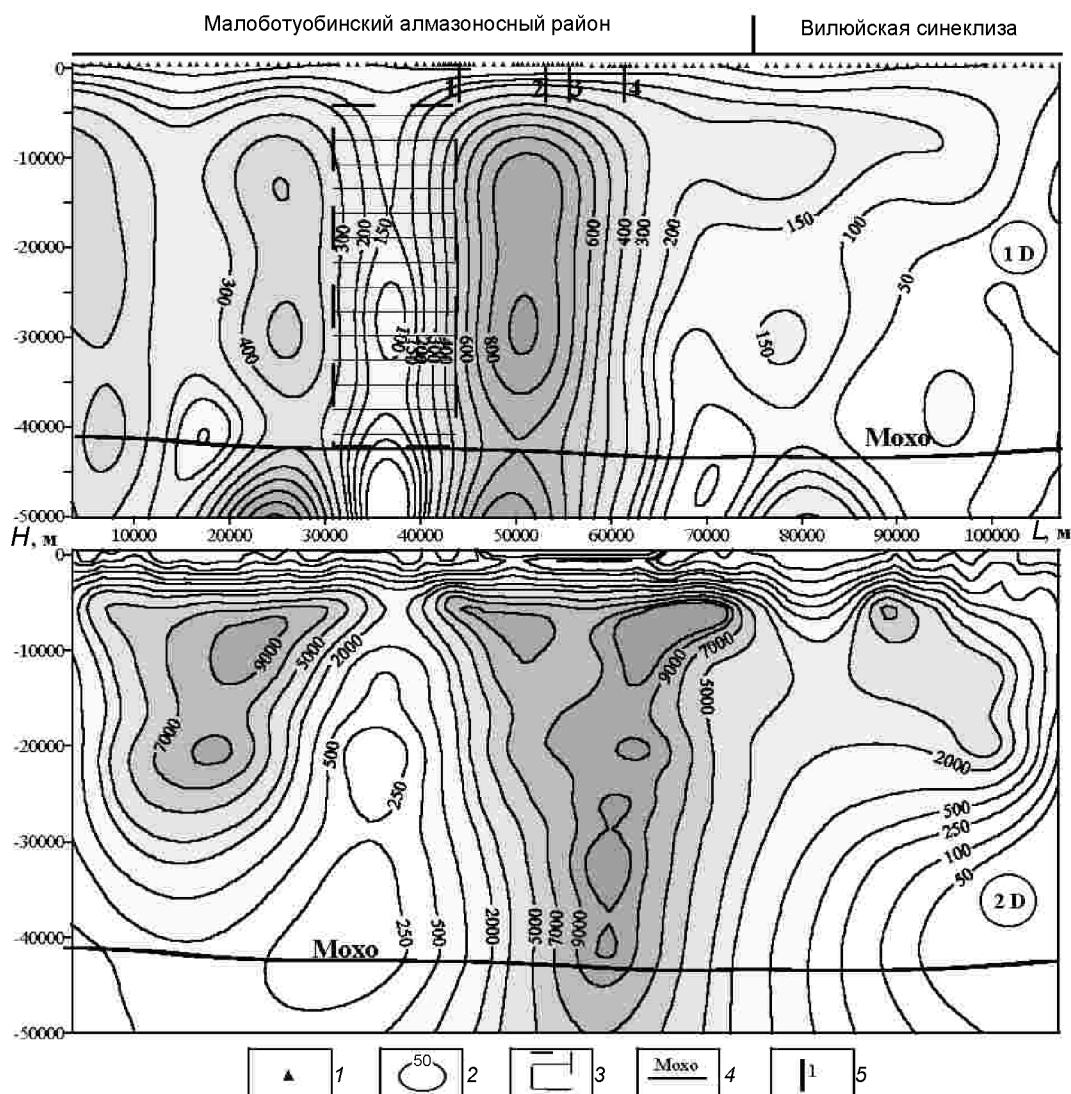


Рис. 3. Геоэлектрические разрезы по результатам 1D и 2D-инверсий продольных кривых МТЗ, Малоутубинский алмазоносный район:

1 — пункты МТ-зондирования; 2 — изолинии сопротивлений; 3 — зона расслоенности земной коры по данным ОГТ; 4 — граница Мохоровичича по данным ГСЗ; 5 — разломы Вилюйско-Мархинской системы: 1 — Западный, 2 — Параллельный, 3 — Центральный, 4 — Восточный

рекрытых терригенными отложениями и траппами мощностью 30–100 м. Работы проводятся соосными установками 100×100 и 200×200 м. Плотность наблюдений соответствует размеру петли. Однако существует ряд ограничений. Проведение электроразведочных работ методом ЗСБ с соосными установками, направленных на прямой поиск кимберлитовых тел, в условиях проводящих разрезов целесообразно только при мощности перекрывающих отложений не более 50 м. При большей мощности

электроразведочные работы должны быть направлены на выявление косвенных критериев кимберлитовых тел, таких как локальные поднятия кровли межмерзлотного талика, а также понижение удельного электрического сопротивления пород, вмещающих талик [9]. Высокоомная перекрывающая среда (траппы) более благоприятна для проведения работ. Другим ограничением является интенсивное влияние индуктивной вызванной поляризации (ВПИ) на процессы становления электромагнитно-



го поля. Для уменьшения искажающего влияния ВПИ необходимо увеличивать размер генераторной петли или проводить измерения разнесенными установками. Интенсивность ВПИ уменьшается при удалении приемной рамки от центральной части генераторной петли более чем на 100 м.

Одним из новых методов, позволяющих ослабить влияние вызванной поляризации на индукционные переходные процессы, является площадное зондирование становлением поля с закрепленным источником [12]. Снижение влияния ВПИ с увеличением размера генераторного контура связывается с уменьшением плотности тока, индуцированного при становлении в близповерхностной ближней зоне, а также с применением в методе разнесенных установок. Работы в этом направлении ведутся ЯНИГП ЦНИГРИ совместно с ООО «Сибгеотех» (г. Новосибирск) в течение нескольких последних лет. При проведении работ применялась новая телеметрическая электроразведочная станция «Импульс-Д». Она отличается новой архитектурой, меньшими массой и габаритами, улучшенными техническими характеристиками. Съёмка осуществляется в пешеходном варианте по плотной сети наблюдений. В качестве генераторного контура ис-

пользуется незаземленная квадратная петля размерами сотни метров. Измерения выполняются регистратором с использованием переносных электромагнитных датчиков. Обработка и интерпретация данных производится с использованием методики разделения полей на нормальную и аномальную составляющие, а также аппроксимационных моделей, позволяющих реконструировать площадное распределение сигнала в объемное распределение проводимости среды. Такая технология обеспечивает возможность одновременной работы неограниченного количества измерителей от одного генератора и обладает большой производительностью. Высокая плотность наблюдений позволяет опосредованно выделывать площадь с хорошим разрешением, что обеспечивает уверенное выделение локальных объектов размерами 100–200 м. Наилучшие результаты получаются в разрезах, перекрытых траппами. Аномалии от трубок уверенно выделяются при любом расположении их относительно генераторной петли — как внутри, так и за ее пределами (рис. 4).

Совместно с ООО «Северо-Запад» (г. Москва) и лабораторией электромагнитных методов НИИЗК СПбГУ нами проводились работы по опробованию метода аудиоманнитотеллурических зондирований

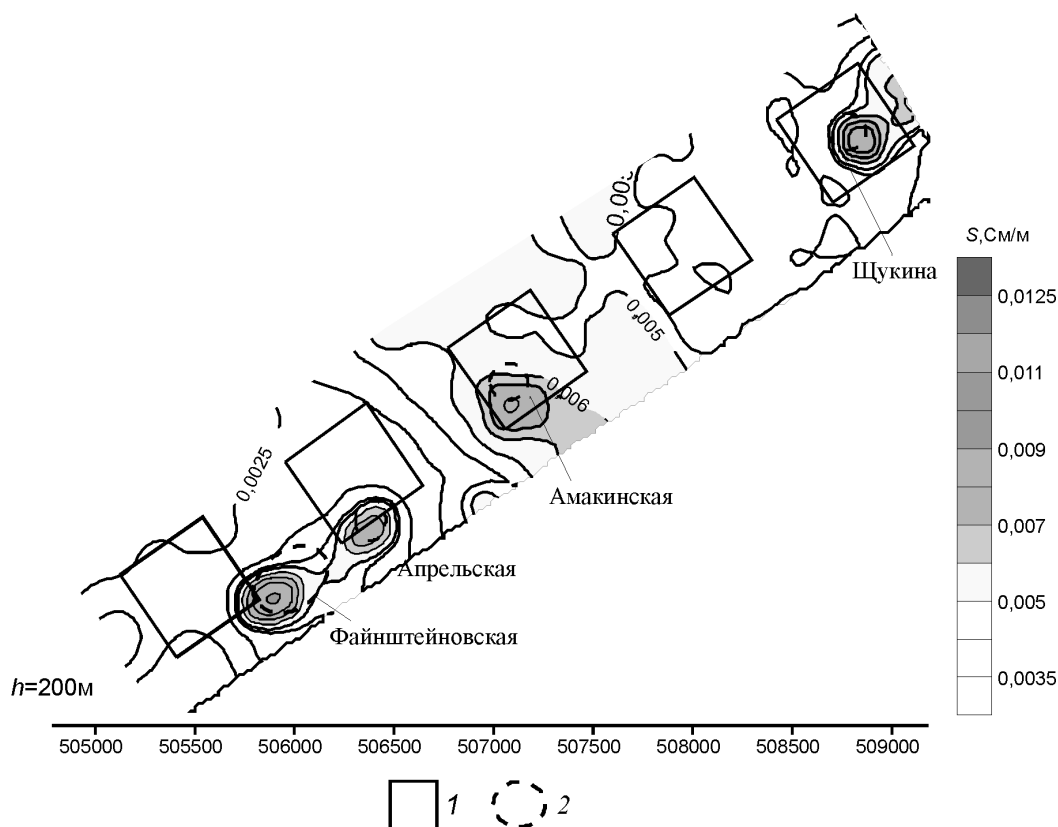


Рис. 4. План распределения проводимости на глубине 200 м по данным ПЗС ЗИ, полигон АмГРЭ:

1 — положение генераторных петель; 2 — кимберлитовые трубки

в целях оценки возможностей его применения для поисков трубок взрыва. Использовались аппаратные комплексы MTU-5A компании Phoenix Geophysics с частотным диапазоном 1–10 000 Гц и АКФ-4 (разработка НИИ земной коры Санкт-Петербургского государственного университета). На картах кажущихся сопротивлений трубки выделяются пониженными значениями [7]. Амплитудные полярные диаграммы имеют радиальную ориентировку длинных осей по отношению к центру аномалии сопротивления. Вещественные индукционные вектора закономерно ориентированы в направлении от центра трубок. Исследования показали возможность применения данного метода при поисковых работах на алмазы.

Существенное место в поисковом комплексе занимает сейсморазведка МОГТ и МПВ в высокочастотном варианте, решающая две задачи: поиски перекрытых кимберлитовых тел и картирование вмещающей толщи. Работы проводятся по профилям через 400–800 м. Реализована методика просвечивания вмещающей среды отраженными и преломленными волнами. Трубки, как гетерогенные объекты в горизонтально-слоистой толще карбонатных пород, рассеивают сейсмические волны и создают в поле отраженных волн локальные динамические аномалии. Работы ведутся с использованием сейсмостанций BISON 9048A и ИНТРОМАРИН-L2 (кратность 6, источник возбуждения — взрывы в скважинах). Обработка сейсморазведочных материалов производится в системе FOCUS 2D на базе рабочей станции SUN.

Поисковое бурение в обязательном порядке сопровождается геофизическими методами исследования скважин (ГИС), а в условиях разряженной сети — радиоволновым просвечиванием. В комплекс ГИС входят: гамма-, спектрометрический, магнитный, электромагнитный каротажи и каротаж магнитной восприимчивости. Проведение их позволяет выявлять аномальные интервалы вмещающих пород и способствует объяснению природы наземных геофизических аномалий. Сочетание определенных параметров по данным спектрометрии, а также наличие боковых и призабойных аномалий позволяют прогнозировать погребенные кимберлитовые тела в околоскважинном пространстве.

Радиоволновое просвечивание проводится для опознания межскважинного пространства и позволяет уменьшить объемы поискового бурения. Серийно выпускаемой аппаратуры в настоящее время не существует. Чаще всего используются постоянно модифицирующиеся комплекты РВГИ и РПД. Наиболее используемые частоты 625 и 312 кГц. Дальность просвечивания зависит от геологической ситу-

ации и достигает первых сотен метров.

В заключение можно отметить, что техническое перевооружение геофизической службы АК «АЛРОСА», закупка современной цифровой аппаратуры и программного обеспечения позволили ликвидировать технологический разрыв с зарубежными компаниями. Применяющиеся геофизические методы позволяют решать поисковые задачи. Новые более сложные задачи требуют опытно-методического опробования новой техники и ее внедрения, что невозможно без существенных материальных затрат и высококвалифицированной технической подготовки специалистов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биезайс Я.Я., Караев Н.А., Лебедин П.А. Региональная сейсморазведка МОВ-ОГТ при решении прогнозно-поисковых задач на алмазы // Геология алмаза — настоящее и будущее. Воронеж, 2005. С. 1111–1123.
2. Зинчук Н.Н., Бондаренко А.Т., Гарат М.Н. Петрофизика кимберлитов и вмещающих пород. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002.
3. Манаков А.В., Романов Н.Н., Полтарацкая О.Л. Кимберлитовые поля Якутии. — Воронеж: Изд. ВГУ, 2000.
4. Методические указания по поискам коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе. — Л.: НПО «Рудгеофизика», 1989.
5. Поспеева Е.В., Поспеев В.И. Результаты глубинных магнитотеллурических исследований в Якутской алмазоносной провинции // Обеспечение научно-технического прогресса при геофизических исследованиях в Восточной Сибири. Иркутск, 1987. С. 107–115.
6. Поспеева Е.В., Манаков А.В., Матросов В.А. Геоэлектрическая неоднородность земной коры в связи с кимберлитовым магматизмом юга Якутской алмазоносной провинции // Вестн. Воронежского гос. ун-та. 2004. № 1. С. 137–147.
7. Применение метода магнитотеллурических зондирований в алмазопосконых работах. / А.В.Манаков, Е.В.Поспеева, В.А.Матросов и др. // Зап. горного института. С.-Пб., 2005. Т. 162. С. 45–49.
8. Прогнозно-поисковые системы для месторождений алмазов / В.И.Ваганов, В.И.Варламов, А.А.Фельдман и др. // Отечественная геология. 1995. № 3. С. 42–53.
9. Стогний В.В., Жандалинов В.М. Возможности импульсной индуктивной электроразведки при поисках кимберлитовых тел на территориях Мирнинского и Накынского кимберлитовых полей Якутии // Геология алмаза — настоящее и будущее. Воронеж, 2005. С. 1455–1459.
10. Суворов В.Д. Глубинные сейсмические исследования в Якутской кимберлитовой провинции. — Новосибирск: Наука, 1993.
11. Суворов В.Д., Мельник Е.А., Манаков А.В. Глубинное строение Далдыно-Алакитского кимберлитового района по результатам переинтерпретации данных ГСЗ и гравитационного моделирования по профилю р. Моркока — р. Муна (Западная Якутия) // Физика Земли. 2005. № 5. С. 35–47.
12. Трехмерная электроразведка МПП: теория и практика / Г.М.Тригубович, Ю.Г.Соловейчик, М.Э.Рояк и др. // Геологические аспекты минерально-сырьевой базы акционерной компании «АЛРОСА»: современное состояние, перспективы, решения. Мирный, 2003. С. 301–311.

УДК 552.323.6

© Коллектив авторов, 2006

## **МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ПАСПОРТИЗАЦИЯ РАЗНЫХ ТАКСОНОВ КИМБЕРЛИТОВОГО ВУЛКАНИЗМА — МЕТОДИЧЕСКАЯ ОСНОВА ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА АЛМАЗЫ**

**С.И.Костровицкий, Н.В.Алымова, Д.А.Яковлев (Институт геохимии СО РАН), В.П.Серов (Акционерная компания «АПРОСА»), С.С.Мацюк (Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины), Л.Ф.Суворова (Институт геохимии СО РАН)**

Шлихоминералогические поиски по минералам-спутникам — один из основных методов обнаружения кимберлитовых трубок. Обычно использование данного метода заключается в оценке степени близости изучаемого ореола к коренному источнику, а также в предварительной оценке уровня алмазности предполагаемого источника. В начальную стадию изучения территории развития кимберлитового вулканизма данные задачи решались вполне удовлетворительно без привлечения уже известной информации о составе минералов-спутников ранее открытых кимберлитовых трубок. Принципиально иная ситуация возникла в последнее время, когда большинство кимберлитовых тел в пределах известных кимберлитовых полей уже открыто. Перед исследователями неизбежно встают вопросы, а не принадлежат ли изучаемые ореолы уже обнаруженным ранее кимберлитовым трубкам? Если ореол находится вне площади известных кимберлитовых полей, то вопрос формулируется уже более широко, об отношении ореола к известному или новому полю. Ответы на возникающие вопросы могут быть даны только при наличии базы данных об индивидуальных характеристиках состава минералов-спутников из всех известных кимберлитовых тел, что, собственно, и является задачей их минералогической паспортной. Однако следует признать, что несмотря на большое число выполненных работ по изучению состава минералов-спутников из кимберлитовых трубок, систематические данные по их паспортам отсутствуют. Более того, нет общепринятого подхода к методическим основам минералогической паспортной трубок. В настоящей работе рассматривается один из вариантов решения проблемы паспортной, открытый для дискуссии и предложений.

В минералогический портрет (паспорт) трубки, куста трубок, поля трубок, ореола рассеяния спутников нами вкладывается понятие индивидуализированной характеристики состава минералов-спутников для соответствующих кимберлитовых тел, групп тел или вторичных ореолов их рассеяния, которая дается с помощью графических и табличных средств. Предполагается, что паспорт с максимальной полнотой отражает основные статистические показатели распределения состава того или иного спутника и является устойчивой, присущей только данному объекту характеристикой.

Задача создания минералогического паспорта кимберлитов для определенной трубки может быть решена разными способами, которые прежде всего зависят от принятой исследователем классификационной схемы разделения того или иного минерала. Для минералов-спутников алмаза, в частности для граната, разработаны на основе кластерного анализа разные классификации. На наш взгляд, большинство таких классификаций [4, 5, 13] носят, с одной стороны, субъективный характер, а с другой — недостаточно формализованы для компьютерного использования. Субъективность проявляется в том, что классификация, основанная на кластерном анализе, зависит от частной выборки анализов, которая была использована автором. У разных авторов разные выборки и, следовательно, разные классификационные схемы. Отсутствие у исследователей единого подхода к выделению разновидностей мантийных ксенолитов делает практически невозможным использование для классификаций литературных данных. Недостаток формализации выражается в том, что приведенные авторами классификаций диапазоны вариации составов разных генетических групп граната, как правило, очень широки и нередко перекрываются друг другом.

Безусловно, выбор способа создания портрета (т.е. использования определенной классификации минерала) напрямую зависит от целей, которые преследует исследователь. Нами ставится задача найти такие параметры состава минерала, которые надежно указывали бы на принадлежность его к определенному трубочному телу, чтобы с их помощью было легко производить сравнительный анализ минеральных выборок из разных трубок и ореолов. Дополнительные требования к принимаемой классификации — простота использования и воспроизводимость полученных результатов. В качестве простейших параметров для классифицирования гранатов нами приняты: содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaO}$ . Данные параметры традиционно применяются в геологической практике.

По содержанию  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  гранаты разделены на четыре группы:  $0 > \text{Cr}_2\text{O}_3 [0,2\%$ ;  $0,2 > \text{Cr}_2\text{O}_3 [2,0\%$ ;  $2,0 > \text{Cr}_2\text{O}_3 [5,0\%$ ;  $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 5\%$ . Разделение гранатов в координатах  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaO}$  проводится на основе известной двойной диаграммы Н.В.Соболева [6], в которой нами выделены следующие парагенетические группы гранатов: 1) эклогитовый; 2) эклогито-

подобный, коровый; 3) дунит-гарцбургитовый, низкохромистый; 4) дунит-гарцбургитовый, высокохромистый; 5) пироксенит-вебстеритовый; 6) лерцолитовый, среднехромистый; 7) лерцолитовый, высокохромистый; 8) верлитовый; 9) дунит-гарцбургитовый, алмазоносный.

Поля составов гранатов данных групп жестко закреплены параметрами линий, проведенных исследователями для разграничения дунит-гарцбургитового, лерцолитового и верлитового парагенезисов. Используются следующие формулы для полей соответствующих парагенетических групп на графике  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ – $\text{CaO}$  (обозначим  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  —  $x$ ,  $\text{CaO}$  —  $y$ ): 1)  $x[0,2$ ,  $y[7$ ; 2)  $x[0,2$ ,  $y>7$ ; 3)  $x[4$ ,  $y[0,125x+3,5$ ; 4)  $x>4$ ,  $y[0,4x+2,4$ ; 5)  $x[4$ ,  $y[-0,083x+6,5$ ; 6)  $4<x[5$ ,  $y[-0,083x+6,5$ ; 7)  $5<x[6$ ,  $y[0,4x+3,6$ ; 8)  $x>6$ ,  $y[0,4x+3,6$ ; 9)  $x>5$ ,  $y[0,38x+1,6$ .

Наряду с гранатами явно ксеногенного происхождения (из верхней мантии и коры), в кимберлитах встречаются мегакритные вкрапленники (желваки) гранатов оранжево-красного цвета, для которых предполагается фенокритный генезис. Как показали исследования [10], мегакритный гранат,

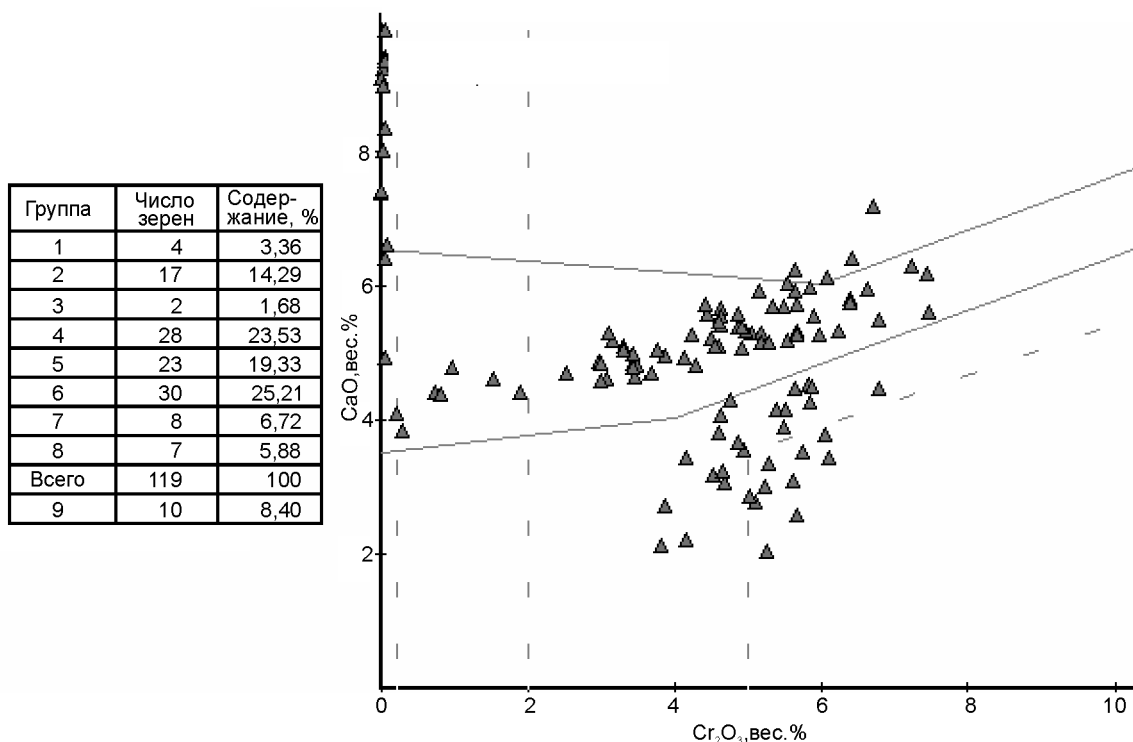


Рис. 1. Распределение гранатов по парагенетическим группам в координатах  $\text{CaO}$ – $\text{Cr}_2\text{O}_3$  для трубки Горняк-кая:

названия парагенезисов — см. текст

принадлежащий к железо-титанистой ассоциации, характеризуется определенным составом. Авторы считают, что выделение данной разновидности гранатов среди общей совокупности анализов дополняет минералогический портрет того или иного таксона. Выделение анализов, соответствующих гранатам мегакристной ассоциации, нами производилось для составов, удовлетворяющих следующим условиям:  $TiO_2 > 0,45$ ;  $0,35 < Cr_2O_3 [4,8; 3,35 < CaO [4,8; 6,8 < FeO [10,2$ .

Отметим, что в кимберлитах некоторых трубок и даже кустов трубок отсутствует оранжево-красный мегакристный гранат. Отсутствие данной разновидности граната не случайно, оно отражает специфические условия формирования вмещающего кимберлита и характеризует минералогический состав соответствующей трубки.

В графическом исполнении минералогический портрет по отношению к гранату представлен цветной круговой диаграммой, демонстрирующей соотношения выборок граната с разным содержанием  $Cr_2O_3$ , и двойной диаграммой Н.В.Соболева в координатах  $CaO-Cr_2O_3$  (рис. 1).

Кристаллизация пикроильменита, состав которого хотя и широко варьирует, в основном происходила непосредственно из кимберлитового расплава или из выплавок, связанных с формированием магматического кимберлитового очага. Наиболее показательными параметрами изменчивости состава пикроильменита служат содержания  $Cr_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  и  $MgO$ , а также магнезиальность  $(Mg\# = Mg / (Mg + Fe) \cdot 100)$  [7, 9]. По данным параметрам составлена таблица для паспортизации кимберлитовых трубок и других объектов. Из графических средств для создания паспорта наиболее наглядны и информативны гистограммы распределения  $Cr_2O_3$  и  $MgO$ . Они могут быть одно-, двух- и трехмодальными. Важную информацию несут интервалы вариаций содержания указанных оксидов, соответствующие каждому из пиков гистограммы. Для создания минералогического портрета по пикроильмениту дополнительно использованы корреляционный график  $MgO-Cr_2O_3$  (рис. 2) и тройная диаграмма минеральных составов  $MgTiO_3-FeTiO_3-Fe_2O_3$ , с помощью которых демонстрируются тренды кристаллизации.

В отличие от пикроильменита и граната шпинелиды не столь широко распространены и образуют повышенные концентрации лишь в отдельных кимберлитовых телах. Как правило, высокое содержание шпинелидов в тяжелой фракции отмечается в трубках, выполненных высокомагнезиальным типом кимберлитов. Более широко шпинелиды разви-

ты в кимберлитах Накынского и Верхне-Мунского полей. В тяжелой фракции кимберлитов подавляющего числа трубок этих полей шпинелиды заметно доминируют по сравнению с пикроильменитом. Варьирующие составы большинства шпинелидов из кимберлитов описываются [1] восьмикомпонентной системой миналов —  $MgCr_2O_4$  (магнезиохромит) —  $FeCr_2O_4$  (хромит) —  $MgAl_2O_4$  (шпинель) —  $FeAl_2O_4$  (герцинит) —  $Mg_2TiO_4$  (магнезиальная ульвошпинель) —  $Fe_2TiO_4$  (ульвошпинель) —  $MgFe_2O_4$  (магнезиоферрит) —  $Fe_3O_4$  (магнетит).

Выделены две группы аксессуарных шпинелидов (из тяжелой фракции кимберлитов) — низкомагнезиальные и высокомагнезиальные, различающихся по трендам состава и корреляционным связям. Поэтому минералогический паспорт по шпинелидам обязательно должен быть представлен корреляционными графиками, в которых одной из координат служит коэффициент магнезиальности  $(Mg\# = Mg / (Mg + Fe) \cdot 100)$ . Из других параметров наиболее показательны содержания  $TiO_2$  и  $Cr_2O_3$ . Картины распределения состава шпинелидов на соответствующих графиках  $Mg\#-TiO_2$  и  $Mg\#-Cr_2O_3$  специфичны не только для разных петрохимических типов кимберлита, но и для каждого кимберлитового тела.

В паспорт следует включить также таблицу усредненного состава шпинелидов, поскольку, как показали исследования [12], разные кимберлитовые тела имеют по этому показателю четкие различия. Кроме того, необходима оценка содержания шпинелидов алмазоносного парагенезиса, согласно критерию, разработанному Н.В.Соболевым.

Многокомпонентный состав шпинелидов обусловил высокую эффективность применения факторного анализа [11], позволяющего проследить направленность изменчивости элементного состава минерала. Однако в отличие от указанных выше работ, в которых факторы изменчивости состава были вычислены как единые для всей совокупности шпинелидов разных парагенезисов, авторы считают, что факторный анализ должен применяться для каждой генетической группы шпинелидов в отдельности. Факторы изменчивости состава аксессуарных шпинелидов зависят от петрохимического типа кимберлитов, к которому они принадлежат. Для шпинелидов из кимберлитов магнезиально-железистого типа (например, из трубки Юбилейная) основным фактором изменчивости состава является  $Al_{0,8}Mg_{0,72}Fe^{+2}_{0,93}Mn_{0,85}Ti_{0,51}Fe^{+30}_{0,48}Cr_{0,36}$ , который свидетельствует о доминирующей роли таких изовалентных и гетеровалентных замещений, как:  $Mg^{+2} \leftrightarrow (Mn, Fe)^{+2}$ ;  $2(Al)^{+3} \leftrightarrow$

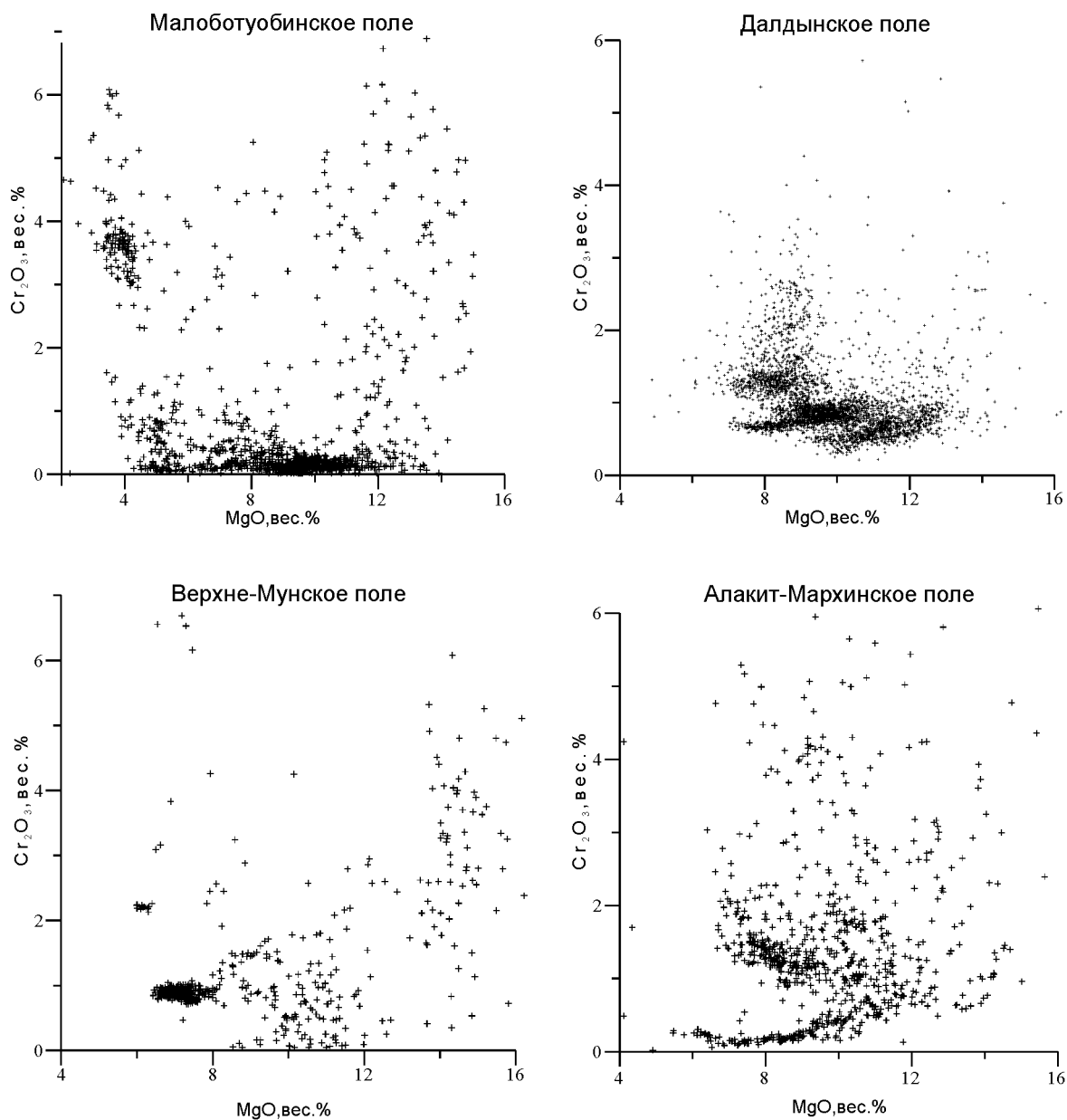


Рис. 2. Корреляции состава пикроильменитов  $MgO-Cr_2O_3$  из кимберлитов алмазоносных полей Якутской провинции

$Ti^{+4}+(Mn,Fe)^{+2}$ ;  $Al^{+3} \leftrightarrow Cr^{+3}$ . Для шпинелидов из кимберлитов магнезиального типа (например, из трубки Айхал) подобный фактор — это  $Al_{0,89}Mg_{0,86}-Mn_{0,91}Fe^{+2}_{0,89}Cr_{0,79}Ti_{0,46}$ , в котором наиболее значительным является шпинель-хромитовый изоморфизм миналов.

Обсудив основные методические подходы к составлению минералогического паспорта отдельного кимберлитового тела, зададимся вопросом,

насколько оправдана минералогическая паспортизация более крупных таксонов кимберлитового вулканизма — кустов и полей трубок. В основу выделения таксонов положен географический принцип — пространственная близость кимберлитовых тел и обособленность каждого из таксонов. Вещественный подход исследователями практически не рассматривался. До сих пор отсутствует общепринятая генетическая интерпретация групп кимберлитовых

тел, объединенных в куст или поле трубок. Нами сделано предположение, что группа трубок, объединенных в куст, представляет собой горизонтальную развертку сложно построенной многофазной трубки, для которой существовал единый мантийный очаг. Распространяя этот тезис на кимберлитовое поле, следует полагать, что его формирование обязано функционированию нескольких магматических очагов, соответствующих числу выделенных в нем кустов трубок.

Ставя задачу минералогической паспортизации куста или поля трубок, необходимо удостовериться, что каждый из выделенных таксонов действительно обладает индивидуализированным составом того или иного минерала. Выполненные нами исследования по изучению пространственного распределения состава пикроильменита показали, что все трубки одного куста характеризуются очень близким, практически тождественным составом ильменита, а разные кусты трубок — разным. Для кимберлитовых полей выяснилось, что типоморфным их отличием могут служить тренды составов пикроильменита. Таким образом, показано, что паспортизация кустов и полей трубок по пикроильмениту принципиально выполнима. Для куста трубок могут использоваться паспортные данные любой трубки из этого куста, а для поля трубок — максимально возможного числа известных трубок.

Несколько сложнее представляется проблема паспортизации кустов и полей трубок по гранатам и шпинелидам. Если происхождение пикроильменита связано, как нами показано [7], с единым источником, обусловленным формированием магматического кимберлитового очага, то попадание граната и хромшпинелидов в кимберлиты в основном случайно и обусловлено событиями дезинтеграции мантийного субстрата. Поэтому, изучая состав граната и отчасти хромшпинелидов из тяжелой фракции кимберлитов, получаем характеристику литосферного разреза верхней мантии, контактирующего с той или иной трубкой. Насколько трубки одного куста могут быть близки друг другу, насколько разные кусты в пределах одного поля могут отличаться друг от друга по составу граната — решение этих вопросов лежит в обосновании целесообразности составления минералогических паспортов куста трубок.

Составление паспорта по гранату зависит от цели исследования. Если паспорт необходим для поисковых работ, то представительным следует считать материал, отобранный только с самых верхних горизонтов трубки, как наиболее соответствующий тому материалу, который уже эродирован и служил источником ореольного граната. При

разработке модели формирования трубки, изучении особенностей состава литосферного разреза мантии необходимо провести опробование с максимально возможных глубинных уровней трубки.

При паспортизации трубок важен вопрос о представительности анализов того или иного минерала. Как показали наши исследования, необходимое и достаточное число зерен для паспортизации по пикроильмениту не превышает 100. Это обусловлено выдержанностью состава пикроильменита в пределах не только одного кимберлитового тела, но и в пределах куста трубок, независимостью состава ильменита от фаз внедрения и глубины изучаемого среза трубки. В отличие от пикроильменита гранат характеризуется чрезвычайной невыдержанностью состава даже в пределах отдельных кустов трубок, тем более в Далдынском поле в целом.

Полученные авторами материалы не позволяют судить о степени неравномерности распределения граната в пределах одной трубки, поскольку для каждой трубки имеется по одной пробе. Однако в многочисленных предыдущих исследованиях отмечается крайняя неравномерность распределения граната, зависящая, в первую очередь, от фаз внедрения. Даже в пределах одной разновидности кимберлита распределение граната неравномерно по количеству и спектру его разновидностей. Ксеногенная природа подавляющей части граната указывает на струйный и абсолютно случайный характер его попадания в кимберлитовый расплав-флюид, что и предопределяет особенности его распределения. Поэтому для корректного описания закономерностей распределения состава граната представительное число анализов должно быть не менее нескольких сотен. При этом выборки граната должны характеризовать разные фазы внедрения кимберлитов из разных глубинных уровней исследуемой трубки. Число анализов по гранату зависит от крупности исследуемого кимберлитового тела, его многофазности, т.е. для составления паспорта трубки в каждом конкретном случае требуется индивидуальный подход.

Полученные нами около 100 анализов для каждой трубки по составу граната показывают, что для определенных целей этого числа изученных зерен достаточно. Основным критерием «достаточности» служит повторяемость определенных характеристик распределения для разных трубок одного куста.

На основе изучения состава минералов-спутников из кимберлитов авторами проведена паспортизация практически всех трубок Далдынского поля, а также нескольких ореольных участков, расположенных в межтрубочном пространстве.

## 1. Средний состав пикроильменита из трубок кустов Зарница и Дальняя Далдынского поля

Кусты трубок	Трубки	Число анализов	Средний состав			
			Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mg#
Зарница	Невидимка	95	0,85	8,99	39,92	18,27
	Зарница	114	0,94	8,96	40,66	18,16
	Попугаевой	116	0,93	8,84	40,92	17,95
	Чебурашка	30	1,16	8,35	41,82	16,66
	Электра	105	0,97	9,2	40,52	18,63
	Аргыс	100	1,01	8,98	40,35	18,34
	Иксовая	123	0,93	9,22	40,64	18,04
Дальняя	Мамбо	110	0,84	10,7	36,79	22,63
	Ну-погоди!	78	0,8	11	36,94	23,06
	Угадайка	79	0,85	10,9	36,79	23,03
	Саратовская	101	0,77	11,3	36,38	23,71
	Жила-70	71	0,84	11,6	35,46	24,73
	Дальняя	82	0,8	10,9	36,41	23,05
	Жила-74	66	0,86	11,2	35,54	23,95

Примечание: Mg# = Mg/(Mg+Fe) · 100; SFeO к, MgO к, Mg# к — параметры состава вмещающего кимберлита.

Усредненные параметры состава пикроильменита сведены в табл. 1.

Средние значения Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mg# достаточно четко показывают состав пикроильменита из кимберлитов отдельных кустов трубок. Ильменит из разных трубок одного и того же куста характеризуется близкими значениями приведенных параметров, а из разных кустов имеет значимые отличия по одному из них.

Наиболее информативен, по нашему мнению, оксид Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. По его содержанию при отсутствии корреляции с другими оксидами ильменит разделяется на отдельные группы в пределах одной трубки. Эти группы прослеживаются в разных трубках одного куста. Разделение на группы наглядно демонстрируют гистограммы распределения Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (рис. 3), а также графики корреляции данного оксида с другими параметрами состава пикроильменита. Именно наличие определенных групп по содержанию Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в пикроильменитах из кимберлитов того или иного куста трубок является одной из важнейших характеристик его паспортных данных.

Особенности распределения состава граната отражены в паспортных данных для каждой из изученных кимберлитовых трубок. Ниже в качестве примера представлены данные только для трубок куста Зарница. При анализе паспортных данных для граната из разных трубок куста (табл. 2–4) вы-

яснялись особенности состава гранатов, общие для всех или, по меньшей мере, для большинства кимберлитовых тел куста. Это позволяет приблизиться к созданию единого паспорта всего куста. Судя по парагенетическим разрезам состава граната (см. табл. 2), трубки куста Зарница, за исключением трубок Алтайская и Макатойская, характеризуются варьирующими, но в определенной мере близкими содержаниями большинства парагенетических групп. В гранатах из трубок Алтайская и Макатойская отсутствует группа 2 (корового происхождения), минимально содержание группы 7 и максимально — 5. В этих же трубках самый высокий (по сравнению с другими трубками куста) процент содержания граната мегакристной ассоциации (26,2–42,6%). Они существенно отличаются по составу пикроильменита, что явилось основанием для исключения их из состава куста трубок. В какой-то мере самые удаленные (от основной трубки Зарница) трубки Аргыс, Иксовая и Невидимка являются промежуточными по характеристикам парагенетических разрезов. Наиболее высокие содержания гранатов алмазного парагенезиса в Далдынском поле установлены в трубках Попугаевой (7,3%), Невидимка (5,8%), Алтайская (5,43%) и Зарница (5,41%).

Идентификация коренных источников по паспортным данным ореолов проводилась путем их сравнения с паспортными данными уже известных



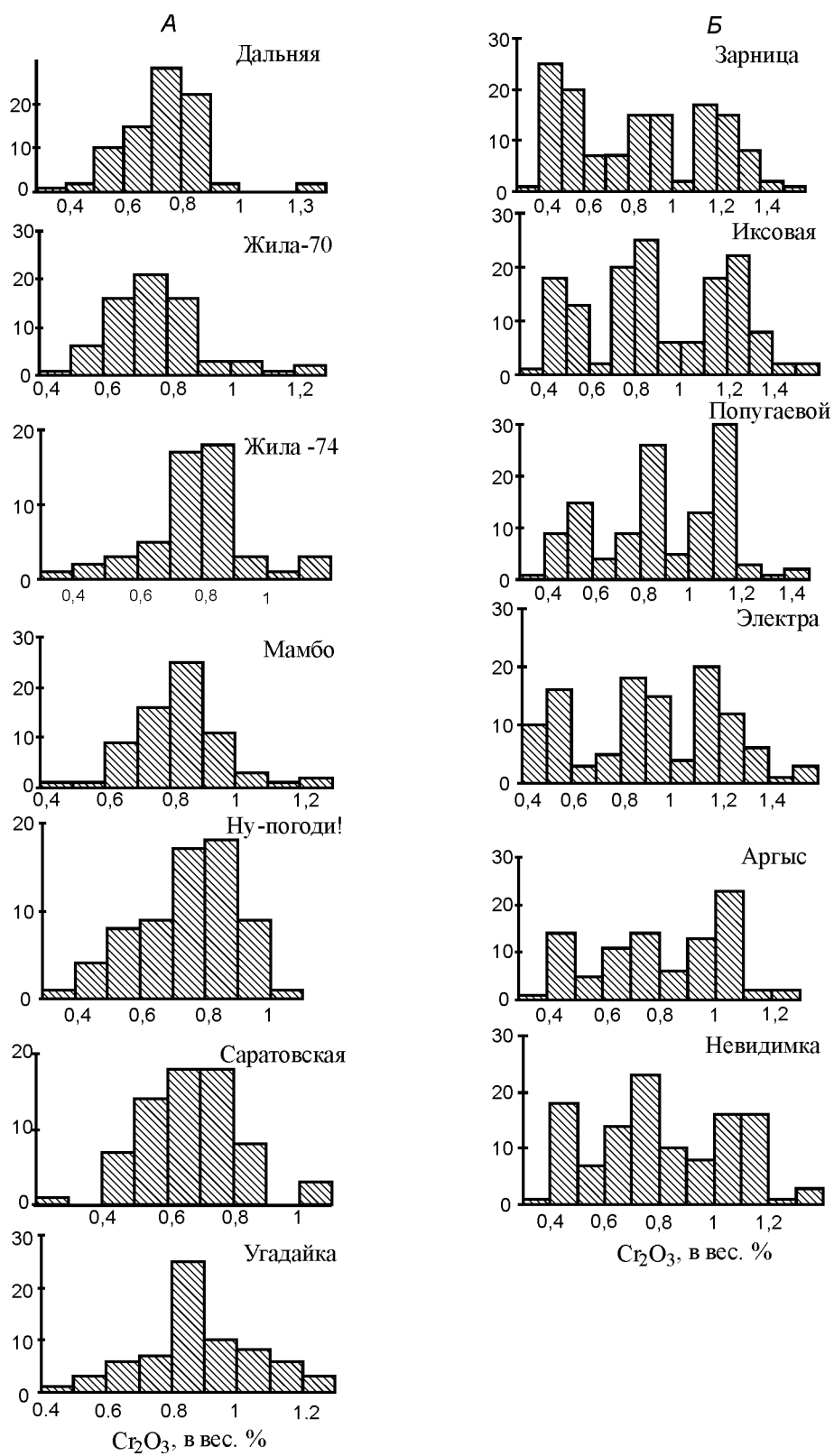


Рис. 3. Распределение содержания  $Cr_2O_3$  в микрольменитах из трубок кустов Дальняя (А), Зарница (Б)

## 2. Разделение гранатов по парагенетическим группам на основе диаграммы Н.В.Соболева [8] в координатах CaO–Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> для разных трубок куста Зарница, %

Группа	Зарница (111)	Попугаевой (96)	Электра (91)	Аргыс (107)	Иксовая (86)	Неведимка (103)	Алтайская (129)	Макатойская (103)	Чебурашка (86)
1	14,41	20,83	35,16	1,87	8,18	15,53	3,1	2,91	31,4
2	4,5	13,54	6,59	4,67	3,64	3,88	0	0	5,81
3	0	0	0	0,93	1,82	0	1,55	7,77	0
4	12,61	13,54	7,69	5,61	6,36	11,65	8,53	8,74	5,81
5	34,23	25	28,57	53,27	52,73	42,72	63,57	48,54	15,12
6	16,22	12,5	12,09	14,02	17,27	10,68	16,28	27,18	11,63
7	15,32	9,38	7,69	14,95	10	10,68	6,2	3,88	12,79
8	2,7	5,21	2,2	4,67	0	4,85	0,78	0,97	17,44
	100	100	100	100	100	100	100	100	100
9	5,41	7,29	2,2	1,87	3,64	5,83	5,43	0,97	2,33

Примечание. Здесь, а также в табл. 6, 8, 9 цифры в скобках — число анализов.

## 3. Средний состав гранатов мегакристной ассоциации из разных трубок куста Зарница

Оксиды	Зарница 10/9,0*	Попугаевой 8/8,3	Электра 3/3,3	Аргыс 21/19,6	Иксовая 19/17,3	Неведимка 17/16,5	Алтайская 55/42,6	Макатойская 27/26,2	Чебурашка
SiO <sub>2</sub>	41,72	41,66	42,38	41,92	41,43	41,98	42,23	42,43	41,98
TiO <sub>2</sub>	0,89	0,63	0,76	1,14	0,68	0,7	0,61	0,62	0,69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,2	20,24	20,51	20	20,62	20,6	20,6	21,04	20,22
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,18	2,62	2,35	2,12	2,24	2,12	2,3	2,24	2,29
FeO	8,72	7,91	8,41	8,31	8,03	8,27	7,96	8,35	8,21
MnO	0,26	0,29	0,31	0,16	0,3	0,29	0,32	0,31	0,29
MgO	21,29	20,99	21,01	20,9	21,03	21,07	21,08	21,19	20,32
CaO	4,58	4,58	4,4	4,5	4,41	4,51	4,31	4,2	4,58
Na <sub>2</sub> O	0,06	0,04	0,07	0,05	0,05	0,04	0,06	0,06	0,04

\* В числителе — число зерен, в знаменателе — % к общему числу изученных зерен.

## 4. Разделение гранатов на группы по содержанию Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> для разных трубок куста Зарница

Группа	Зарница	Попугаевой	Электра	Аргыс	Иксовая	Неведимка	Алтайская	Макатойская	Чебурашка
1 (0–0,2%)	21/18,9*	33/34,4	38/41,8	7/6,5	13/11,8	20/19,4	4/3,1	3/2,9	32/37,2
2 (0,2–2%)	14/12,6	6/6,2	16/17,6	24/22,4	19/17,3	24/23,3	28/27,7	21/20,4	7/8,1
3 (2–5%)	33/29,7	26/27,1	21/23,1	43/40,2	55/50	30/29,1	72/55,8	57/55,3	18/20,9
4 (>5%)	43/38,7	31/32,3	16/17,6	33/30,8	23/20,9	29/28,2	25/19,4	22/21,4	29/33,7

\* В числителе — число зерен, в знаменателе — % к общему числу изученных зерен.

кимберлитовых трубок. Шлиховые пробы, отобранные Амакинской экспедицией с ореольных участков 8 (район куста трубки Зарница) и 13 (район куста трубки Аэромагнитная) в пределах Далдынского поля, в Институте геохимии СО РАН объединялись в единую пробу, поскольку в каждом из шлихов содержалось небольшое число зерен минералов-спутников. При объединении шлихов руководствовались критерием максимального охвата территории ореольного участка. В первую очередь изучались шлихи с максимальной концентрацией спутников (которая не может быть объяснена близостью места отбора шлиха с уже известным коренным источником — кимберлитовой трубкой). Обработка данных по составу минералов проводилась

по схеме, использованной для паспортизации трубочных тел Далдынского поля. Заметим, что отсутствие значимых отличий по типохимизму пикроильменита из разных трубок куста существенно ограничивает возможность использования данных по ореолам рассеяния этого минерала-спутника в целях привязки к определенному коренному источнику. Ореольный пикроильменит можно связывать только с определенным кустом трубок.

Участок 8 (куст трубки Зарница) охарактеризован тремя пробами, отобранными в 250 м северо-восточнее (8-1 объединяет два шлиха) и в 500 м восточнее (8-2 объединяет пять шлихов) трубки Аргыс, в 250 м севернее (8-3 объединяет пять шлихов) трубки Электра. Из табл. 5 видно, что состав

### 5. Усредненные данные состава пикроильменита из ореольного участка 8 и ближайших трубок

Пробы	Число анализов	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , вес. %	MgO, вес. %	Mg#	ОВП
Иксовая	123	0,93	9,22	18,04	40,27
8-1	79	0,91	9,52	18,7	39
8-2	79	0,94	8,83	17,37	40
Аргыс	100	1,01	8,98	18,34	40,42
8-3	103	0,83	10,05	19,66	39
Электра	105	0,97	9,2	18,63	39,56

Примечание. ОВП= $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+}+\text{Fe}^{2+})\cdot 100$ .

### 6. Разделение гранатов по парагенетическим группам на основе диаграммы Н.В.Соболева [8] в координатах CaO–Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> для ореольного участка 8 и ближайших трубок, %

Группа	Иксовая (86)	8-1 (96)	8-2 (104)	Аргыс (107)	8-3 (94)	Электра (91)
1	8,18	7,29	8,65	1,87	31,91	35,16
2	3,64	2,08	0	4,67	3,19	6,59
3	1,82	0	0,96	0,93	1,06	0
4	6,36	10,42	19,23	5,61	10,64	7,69
5	52,73	52,08	44,23	53,27	37,23	28,57
6	17,27	8,33	8,65	14,02	9,57	12,09
7	10	13,54	15,38	14,95	3,19	7,69
8	0	6,25	2,88	4,67	3,19	2,2
	100	100	100	100	100	100
9	3,64	4,17	2,88	1,87	2,13	2,2

пикроильменита всех трех проб соответствует паспортным характеристикам пикроильменита из трубок куста Зарница как по средним параметрам состава, так и трехпиковому распределению Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в гистограммах.

Соотношение парагенетических групп граната в пробах 8-1, 8-2 достаточно близко таковому (табл. 6) для граната из ближайшей трубки Аргыс, которая, по-видимому, служила коренным источником для минералов-спутников ореола. Составы гранатов из пробы 8-3 и ближайшей трубки Электра очень близки. Таким образом, из результатов изучения состава минералов-спутников следует вывод, что ореольный участок 8 сформирован за счет разрушения известных близрасположенных кимберлитовых трубок.

Участок 13 расположен в районе трубок куста Аэромагнитная и изучен тремя пробами 13-1, 13-2 и 13-6646. Проба 13-1 объединяет пять шлихов и отобрана в 500 м северо-восточнее трубки Эндир. Проба 13-2 объединяет 15 шлихов и отобрана в 1200 м северо-восточнее трубки Аэромагнитная, в водораздельной части. Проба 13-6646 соответствует одиночному шлиху, отмытому в 700 м от трубки Мастахская. Все шлихи характеризуются определенным дефицитом зерен граната, что не позволило набрать их представительное число для анализа. В табл. 7 и 8 сопоставлены составы пикро-

ильменита и граната из этих проб и ближайших к ним трубок.

В двух пробах (13-1 и 13-6646) состав пикроильменита несколько иной, чем в ближайших кимберлитовых трубках Эндир и Мастахская — наиболее вероятных коренных источниках данных ореолов. В кусте трубки Аэромагнитная пока неизвестны тела с пикроильменитом подобного состава — высокое содержание Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в пробе 13-1 и MgO в пробе 13-6646. Гистограммы распределения Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, соответствующие данным пробам, отличаются по рисунку от таковых для пикроильменита из ближайших трубок.

Несмотря на непредставительность изученных проб по гранату, некоторые выводы о коренных источниках нами все же сделаны. По близости соотношения парагенетических групп граната в пробах 13-1 и из трубки Эндир считаем, что гипотеза о данной трубке как коренном источнике не может быть отвергнута. Что касается других двух проб граната (13-2 и 13-6646), то их «парагенетические разрезы» существенно отличаются от таковых (см. табл. 8) для граната из ближайших к месту отбора проб трубок Аэромагнитная и Мастахская. Обращает на себя внимание относительно высокий процент (10%) граната алмазного парагенезиса — группы 9 в пробе 13-6646.

Таким образом, по результатам изучения состава

## 7. Усредненные данные состава пикроильменита из ореольного участка 13 и ближайших трубок

Пробы	Число анализов	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , мас. %	MgO, мас. %	Mg#	ОВП
13-1	72	1,92	9,45	24,61	37
Эндир	73	0,82	9,35	19,06	39,87
13-2	56	0,82	9,46	18,64	41
Аэромагнитная	108	0,97	9,67	19,91	37,5
13-6646	79	1,11	11,07	22,55	34
Мастахская	105	0,85	9,1	18,86	36,17

8. Разделение гранатов по парагенетическим группам на основе диаграммы Н.В.Соболева [8] в координатах CaO–Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> для ореольного участка 13 и ближайших трубок, %

Группа	13-1 (23)	Эндир	13-2 (34)	Аэромагнитная	13-6646 (19)	Мастахская
1	8,7	0	5,88	62,11	5,26	8,7
2	0	0	0	22,11	0	2,17
3	0	0	0	0	0	0
4	4,35	4,69	14,71	0	26,32	9,78
5	43,48	65,63	44,12	10,53	15,79	33,7
6	17,39	21,88	14,71	4,21	21,05	31,52
7	17,39	7,03	17,65	1,05	21,05	14,13
8	8,7	0,78	2,94	0	10,53	0
	100	100	100	100	100	100
9	0	3,91	5,88	0	10,53	5,43

## 9. Состав пикроильменита из разных алмазоносных полей Якутской провинции

Оксиды	Малоботуобинское (1600)	Далдынское (4213)	Алакит-Мархинское (695)	Вехне-Мунское (409)
TiO <sub>2</sub>	<u>45,8</u> 28,5–36,5	<u>48,0</u> 38,4–55,2	<u>47,7</u> 41,5–53,1	<u>48</u> 37,7–59,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>0,6</u> 0–4	<u>0,53</u> 0–1,9	<u>0,43</u> 0–1,3	<u>0,55</u> 0–3,8
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>1,0</u> 0,1–9	<u>1,0</u> 0,2–14,5	<u>1,3</u> 0–6,1	<u>1,5</u> 0,1–12,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>18,8</u> 0–43,4	<u>14,5</u> 1,8–29,2	<u>13,6</u> 1,4–23,9	<u>13,9</u> 0–28,3
FeO	<u>24,7</u> 8–44,5	<u>25,6</u> 14,1–30,9	<u>25,7</u> 17,4–39,8	<u>25,8</u> 9–30,2
MnO	<u>0,16</u> 0,1–2,4	<u>0,25</u> 0,1–1,1	<u>0,25</u> 0,2–0,5	<u>0,22</u> 0,1–1,0
MgO	<u>8,8</u> 0–15,6	<u>9,8</u> 4,9–16,2	<u>9,5</u> 3–15,6	<u>9,7</u> 6,5–18,1

Примечание. В числителе — среднее, в знаменателе — интервал вариации состава.

ва минералов-спутников можно сделать вывод, что изученные пробы ореольного участка 13 были сформированы за счет разрушения неизвестных ранее коренных источников. Наиболее перспективным является участок, соответствующий пробе 13-6646.

Неоднократные попытки исследователей [2, 3, 8] определить особенности состава ильменитов из

отдельных полей, по существу, не увенчались успехом. Причина неудач обнаружить своеобразие состава пикроильменита из разных полей, по нашему мнению, в том, что исследователи акцентировали основное внимание на сопоставлении статистических параметров распределения состава. Между тем, общей особенностью составов ильменитов из разных полей является (табл. 9) их достаточно вы-

держанный однородный состав. При широких вариациях содержания основных оксидов ильмениты из разных полей, за исключением Малоботубинского, характеризуются очень близким усредненным составом.

Гораздо более информативным является рассмотрение трендов изменчивости состава ильменита. На основе представительной базы данных нами построены графики распределения состава ильменитов из разных алмазоносных полей в координатах  $MgO-Cr_2O_3$  (см. рис. 3). Видно, что для каждого из рассмотренных полей распределение состава пикроильменита очень своеобразно. Именно это своеобразие, наличие в каждом из алмазоносных кимберлитовых полей ильменита с четко индивидуализированными характеристиками кристаллизационных трендов и позволяет считать последние составной частью минералогического паспорта того или иного поля. Выводы о принадлежности любого ореола пикроильменита к конкретному полю следует делать не на основе статистического анализа данных по содержанию тех или иных оксидов минерала, а путем сравнения формы трендов состава.

Обобщение паспортных данных, полученных практически для всех известных трубок Далдынского поля, оказалось весьма эффективным и в научном плане. Анализ усредненных данных по составу пикроильменита из кимберлитовых тел поля, рассмотрение гистограмм распределения состава ильменита в этих телах привел авторов к фундаментальным выводам.

Во-первых, ильменит может быть использован для расшифровки структуры кимберлитового поля. Близость, практически тождественность состава пикроильменита для разных трубок одного куста может служить критерием принадлежности трубки к определенному кусту. Более того, по составу ильменита можно судить о неоднородности состава астеносферного слоя под кимберлитовыми полями, который существовал в момент их формирования.

Во-вторых, получены новые данные о происхождении пикроильменита. Большинство отечественных и зарубежных исследователей происхождение макрокристаллического ильменита связывают с дезинтеграцией мантийных ильменитсодержащих пород. Своеобразие состава пикроильменита, проявляющееся для всех трубок поля, характерные особенности распределения малых оксидов  $Cr_2O_3$  и  $Al_2O_3$  в разных кустах кимберлитовых трубок указывают на общий источник вещества расплава, который соотносим с астеносферным. С другой стороны, своеобразие состава пикроильменита в пределах каждого куста трубок (по содержанию  $MgO$  и

$Cr_2O_3$ ) отражает специфику магматического расплава, из которого они кристаллизовались. Возникновение такого гибридного расплава связывается нами с формированием магматического кимберлитового очага для каждого куста трубок. Таким образом, проведенная паспортизация трубок, полученные данные о распределении состава пикроильменита не согласуются с распространенной гипотезой его ксеногенного происхождения.

Паспортизация кимберлитового поля по составу граната, основанная на расчете представительной коллекции граната (несколько тысяч зерен), с высокой степенью достоверности характеризует разрез верхней мантии под разными полями, указывая на ту или иную роль участия в них разных гранатсодержащих парагенезисов.

*Исследования выполнены при поддержке РФФИ, интеграционные гранты СО РАН.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багдасаров Э.А. Сравнительная характеристика и особенности вариаций состава акцессорных хромшпинелидов // Состав и свойства глубинных пород земной коры и верхней мантии платформ. М., 1983. С. 191–221.
2. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Сошкина Л.Т. Ильменит из кимберлитов. – М.: Изд-во МГУ, 1984.
3. Илупин И.П., Каминский Ф.В., Францесон Е.В. Геохимия кимберлитов. – М.: Недра, 1978.
4. Кимберлиты и кимберлитоподобные породы. Кимберлиты — ультрасосновная формация древних платформ / Б.М.Владимиров, Л.В.Соловьева, А.И.Киселев и др. – Новосибирск: Наука, 1990.
5. Новые технологии разведки алмазных месторождений / В.В.Кротков, Г.П.Кудрявцева, О.А.Богатиков и др. – М.: ГЕОС, 2001.
6. Соболев Н.В. Глубинные включения в кимберлитах. – Новосибирск: Наука, 1974.
7. Структура Далдынского поля — вещественный аспект проблемы / С.И.Костровицкий, Н.В.Алымова, А.С.Иванов и др. // Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. Воронеж, 2003. С. 300–306.
8. Типоморфизм ильменитов глубинных магматических пород / Ю.С.Генштафт, И.П.Илупин, В.М.Кулигин и др. // Состав и свойства глубинных пород земной коры и верхней мантии. М., 1983. С. 95–190.
9. Типоморфизм ильменита из кимберлитов Мало-Ботубинского поля (Якутская алмазоносная провинция) / Г.П.Кудрявцева, А.В.Бовкун, В.К.Гаранин и др. // Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. Воронеж, 2003. С. 224–228.
10. Тренды изменчивости состава мегакристов граната из алмазосодержащих и неалмазоносных кимберлитовых трубок (Якутия, Россия) / С.И.Костровицкий, Р.Х.Митчелл, Р.Н.Иванова и др. // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 2. С. 444–453.
11. Шпинелиды мантийных пород / С.С.Мацюк, А.Н.Платонов, Э.В.Польшин и др. – Киев: Наук. думка, 1989.
12. Dawson J.B., Stephens W.E. Statistical analysis of garnets from kimberlites and associated xenoliths // J. Geol. 1975. Vol. 83. P. 589–607.
13. Mitchell R.H. Kimberlites: mineralogy, geochemistry and petrology. – New York: Plenum Press, 1986.

УДК 552.323.6 (470.11)

© Коллектив авторов, 2006

## ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ КЕПИНСКОЙ ПЛОЩАДИ, АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ

**В.Ю.Абрамов, Ю.К.Голубев, А.А.Грачев, Т.М.Коновалова, М.М.Лаптев, Н.А.Прусакова (ЦНИГРИ Роснедра МПР России), П.О.Барсуков (ОИФЗ РАН), А.Г.Яковлев (МГУ)**

Обобщенная геолого-геофизическая модель трубки построена на основе анализа геологической позиции района работ, петрофизических свойств кимберлитов, вмещающих и перекрывающих толщ. Построение модели необходимо для выработки оптимального комплекса заверочных геофизических технологий и методов при поисках кимберлитовых тел в Архангельской алмазонасной провинции.

Перед геофизическими поисковыми технологиями стоят следующие основные задачи:

геоэлектрическое картирование территории поисков по продольной электропроводности ( $S_p$ ) горных пород и глубине залегания первого от поверхности проводящего слоя ( $H_p$ ), геомагнитное картирование наблюдаемого магнитного поля ( $\Delta T$ );

привязка к местности, детализация и выявление геоэлектрической природы аэроэлектроразведочных аномалий;

разбраковка и оценка перспективности выделенных локальных аномальных участков на наличие кимберлитовых трубок (выделение аномалий «трубчатого типа»).

Анализ карт продольной электропроводности позволяет разделять горные породы по литологическому составу, выделять и проследивать линейные зоны повышенной и пониженной электропроводности (зоны повышенной трещиноватости, элементы тектоники и т.п.), с которыми может быть связан кимберлитовый магматизм. Привлечение сведений о глубине залегания первого от поверхности проводящего горизонта дает возможность районировать территорию по типам геоэлектрических разрезов, что необходимо для выбора наземных электромагнитных методов и методик проведения работ. По графикам наблюдаемого магнитного поля в пределах района можно выделять и проследивать зоны повышенной и пониженной магнитной восприимчивости горных пород с фиксацией на них локальных аномалий так называемого «трубчатого типа».

Поисковый комплекс электромагнитных методов целиком определяется особенностями геоэлектрического строения осадочного чехла, в котором локализуются кимберлитовые трубки. Трубка, открытая ФГУП ЦНИГРИ, приурочена к Верхотинской рудоконтролирующей зоне разломов северо-восточного простирания (рис. 1).

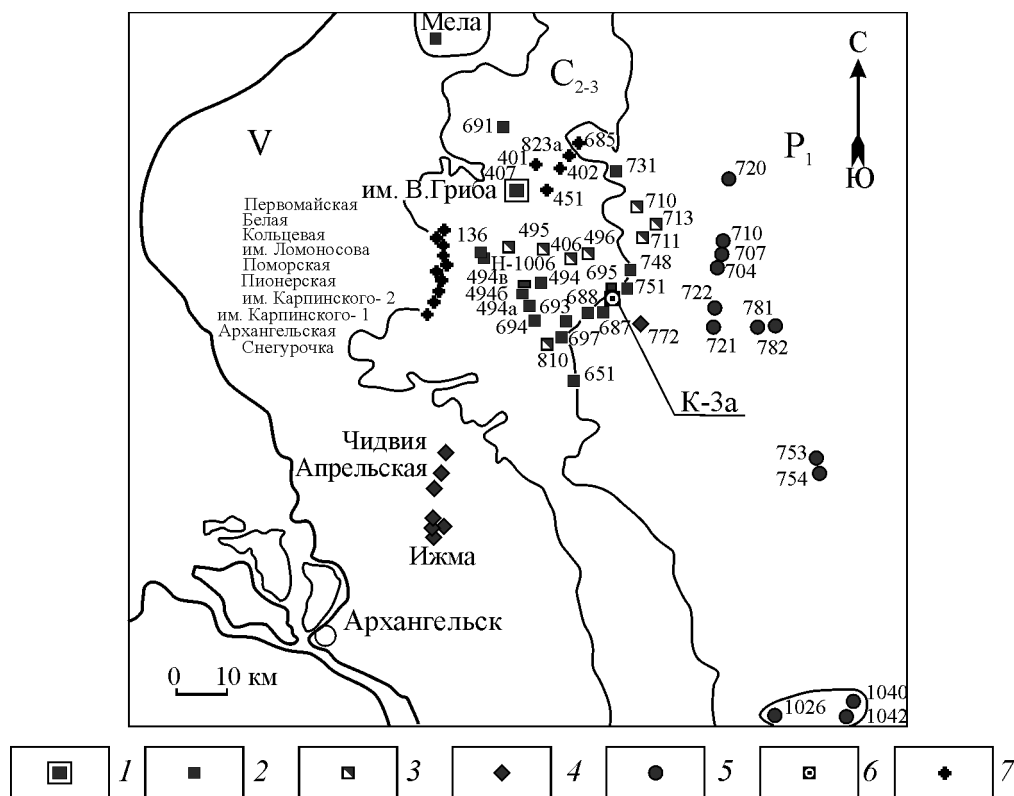
Осадочный чехол представлен отложениями позднего протерозоя (V), среднего и позднего карбона ( $C_{2-3}$ ), ранней перми ( $P_1$ ), перекрытыми четвертичными породами различного происхождения.

Породы падунской свиты верхнего протерозоя, вмещающие кимберлитовые трубки, представлены в основном пестроцветными песчаниками и алевролитами. Удельное электрическое сопротивление пород изменяется от 70–200 Ом·м в верхней части разреза до 3–20 Ом·м в нижней. Граница резкого увеличения электропроводности (на порядок и больше) отмечается на глубинах 100–250 м и практически не увязывается с заметным изменением литологического состава отложений, что позволяет отождествить ее с верхней границей сильно минерализованных грунтовых вод.

Непосредственно на верхнепротерозойских породах залегают средне-верхнекаменноугольные, которые являются перекрывающими для известных в районе кимберлитовых трубок. В основании среднекаменноугольных отложений залегают алевролиты, песчаники и гравелиты урзугской свиты, не отличающиеся по электропроводности от подстилающих пород позднего протерозоя. Их удельные электрические сопротивления колеблются в пределах 100–300 Ом·м при средних значениях 150–200 Ом·м.

К наиболее высокоомным отложениям в районе относятся карбонатные среднекаменноугольные и нижнепермские породы с удельными электрическими сопротивлениями 300–500 Ом·м.

Четвертичные отложения представлены комплексом ледниковых, аллювиальных, озерных и морс-



**Рис. 1.** Обобщенная схематическая карта размещения кимберлитовых и мелилититовых магматических тел Архангельской алмазонасной провинции:

1 — трубка месторождения им В.Гриба; 2 — слабоалмазонасные кимберлиты; 3 — пикриты, оливиновые мелилититы; 4 — оливин-пироксеновые мелилититы; 5 — толеитовые базальты; 6 — кимберлитовая трубка аномалии К-3а; 7 — оливин-флогопитовые мелилититы

ких образований. Из-за пестроты состава соответствующие удельные электрические сопротивления варьируют в весьма широких пределах от 10–15 Ом·м для глин до 500–800 Ом·м для песков и торфов.

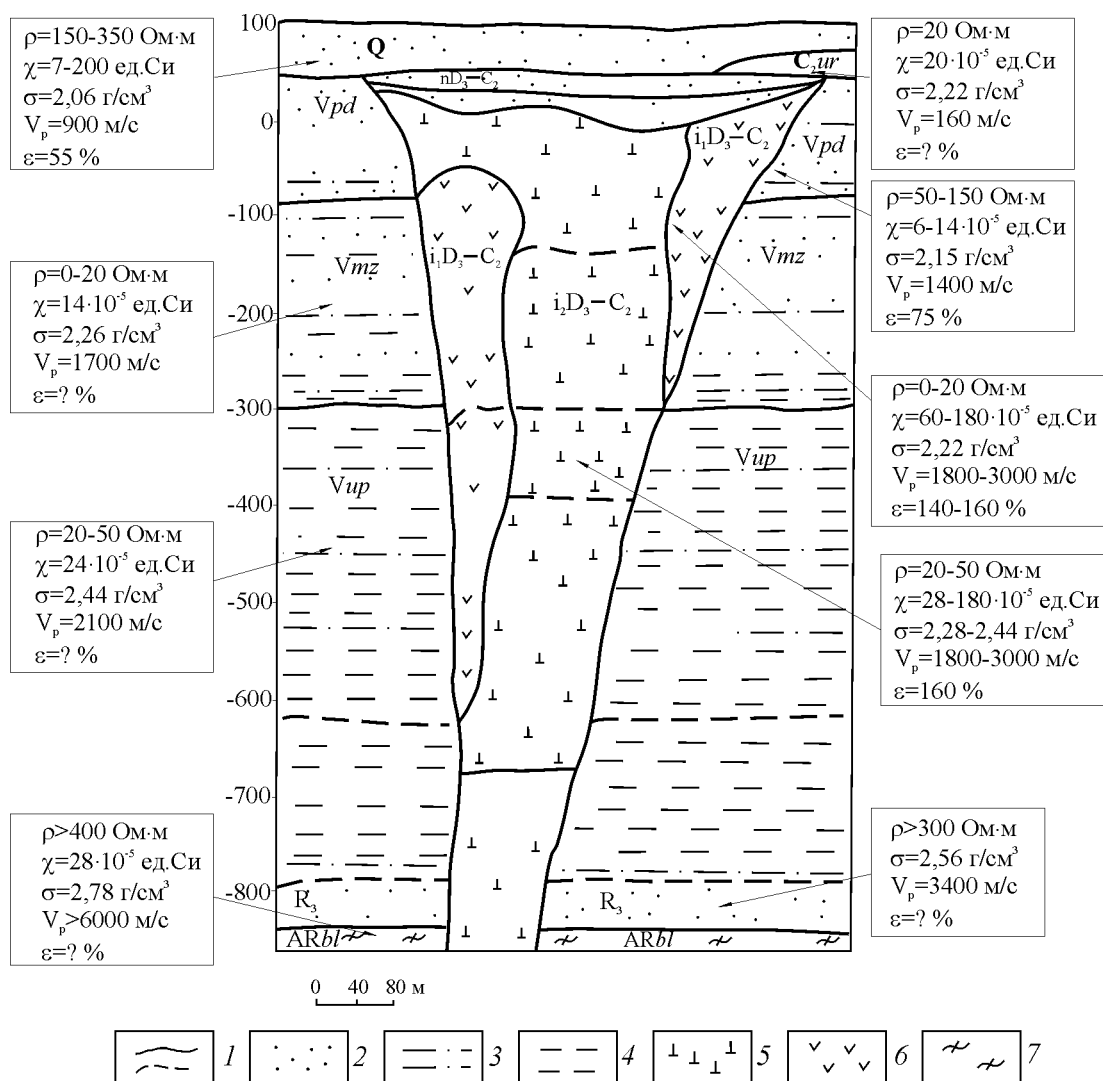
Известные в районе кимберлитовые трубки имеют в плане округлую или эллипсовидную формы с размерами в поперечнике 100–500 м и залегают на глубинах от первых десятков до 100 м и более.

Породы, выполняющие трубки, представлены в основном эруптивными брекчиями, состоящими из обломков вмещающих верхнепротерозойских пород, сцементированных сапонит-карбонатной массой. Кимберлитовые брекчии характеризуются заметно различающимися для каждой трубки значениями удельных электрических сопротивлений. В среднем они составляют 15–35 Ом·м, а в отдельных случаях (центральная часть кимберлитовых тел) — 20–30 и до 100 Ом·м.

По данным петрофизических исследований по-

род кимберлитовых трубок, а также вмещающих и перекрывающих отложений с использованием данных полевых геофизических и геологических наблюдений составлена обобщенная геолого-геофизическая модель трубки взрыва, характерная для районов севера Русской платформы (рис. 2).

Перечисленные выше геолого-геофизические особенности строения осадочного чехла, в котором локализуются кимберлитовые трубки на Кепинской площади, предопределили существенную неоднозначность результатов классических геофизических поисковых методов, опирающихся на наземную магниторазведку в сочетании с гравиразведкой и аудиоманнитотеллурическим зондированием (АМТЗ) и двухпетлевым индуктивным методом (ДИМ). Все это говорило о настоятельной необходимости детального опробования и оценки новых нетрадиционных электроразведочных методов. В качестве дополнительного поискового критерия нами сформулирован следующий тезис: кимберлитов-



**Рис. 2.** Обобщенная геолого-геофизическая модель кимберлитовой трубки Архангельской алмазоносной провинции:

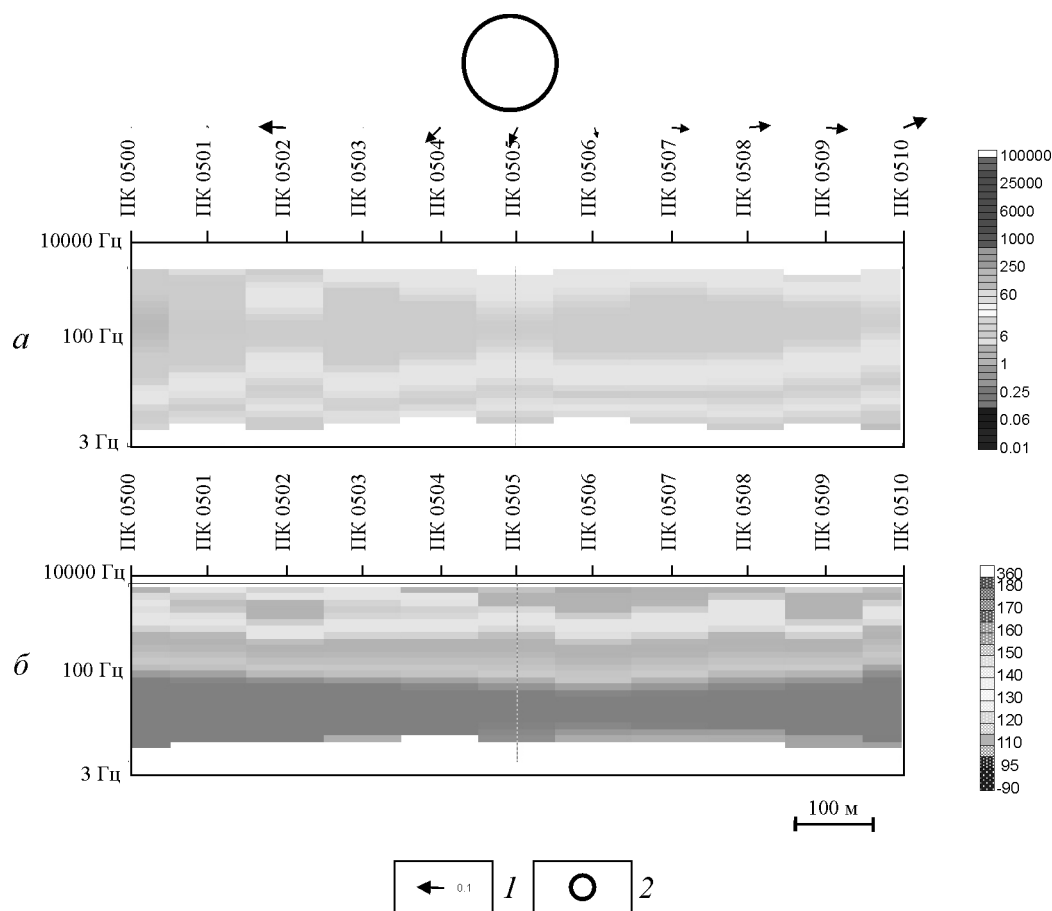
1 — геологические границы; 2 — пески, песчаники; 3 — алевролиты; 4 — аргиллиты; 5 — ксенотуфобрексии; 6 — автолитовые брексии; 7 — гранитогнейсы

вое тело — изотропный геоэлектрический объект в анизотропных горизонтально-слоистых вмещающих породах, перекрытых анизотропными горизонтально-слоистыми породами.

Сформулированный подход в сочетании с магниторазведкой, измерением поля промышленных помех (50 и 100 Гц), зондированием становлением поля в ближней зоне (Team-Fast) и технологией аудиоманнителлурического зондирования позволили выявить и рекомендовать под заверку бурением аномалию, которая предшественниками не считалась перспективной. Данная аномалия выделена по

результатам аэромагнитной съемки м-ба 1:10 000 в 80-х годах XX в., подтверждена по результатам аэромагнитной съемки м-ба 1:5000 в 2004 г. на основе современных методов интерпретации и наземных электроразведочных работ м-ба 1:5000. Буровые работы полностью подтвердили вывод о перспективности выявленной геофизической аномалии (рис. 3, 4) — на расчетной глубине вскрыты кимберлитовые породы. Из второй заверочной скважины, вскрывшей вмещающие породы золотицкой посвиты (песчаники), проведено радиопросвечивание в варианте скважина–поверхность. В результа-





**Рис. 3. Результаты работ методом АМТЗ по профилю 5 на аномалии 3а (разрезы):**

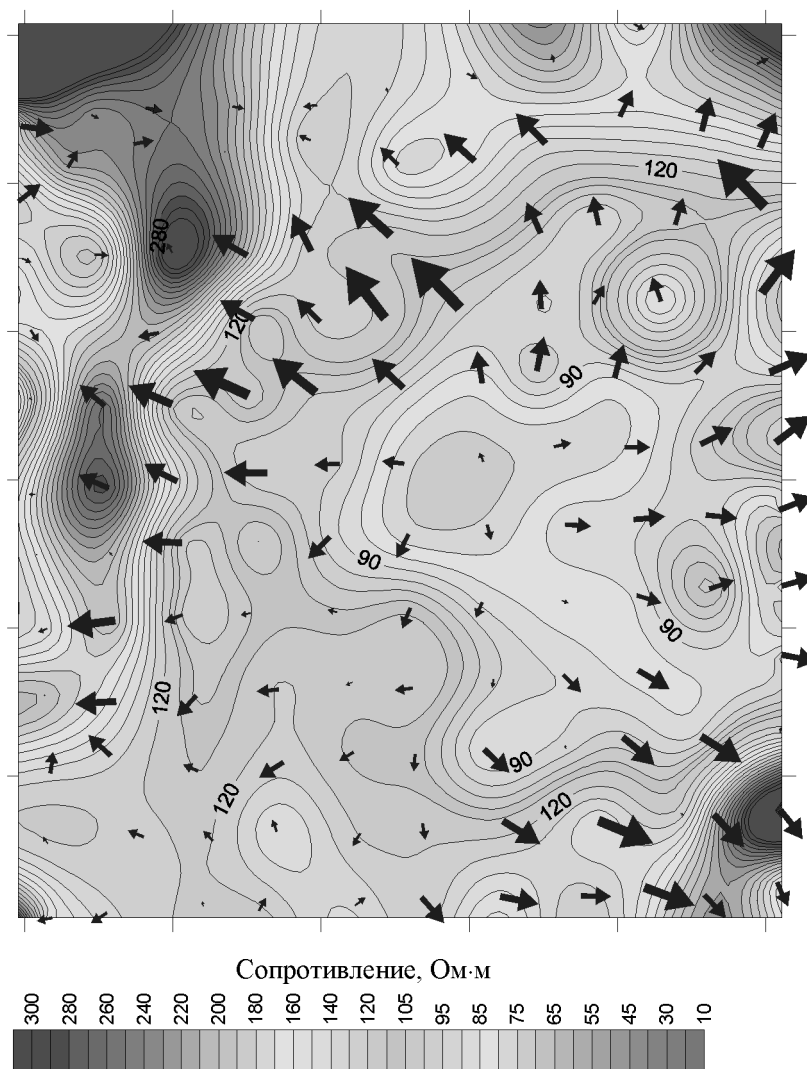
*а* — кажущегося сопротивления Ом·м, *б* — фаз импеданса компоненты ХУ; 1 — индукционные стрелки аномалии К-3а на частоте 1 кГц (0,1 — масштаб стрелки); 2 — предположительное положение кимберлитовой трубки

те зафиксирована отражающая граница в 30 м от второй скважины, совпадающая с контуром нулевой изолинии аэромагнитной аномалии и контуром изолинии 70 Ом·м электроразведочной аномалии, полученной по методу АМТЗ (см. рис. 3).

Над трубкой аномалии К-3а по материалам аэромагнитной съемки (АМС-10) В.И.Сотниковым выделена изометричная аномалия (693в) интенсивностью до 3,5 нТл. Результаты аэроэлектромагнитной съемки ДИП-А м-ба 1:25 000 показывают над ней совпадение электроразведочной и аэромагнитной аномалий, причем контур первой несколько смещен к северу. Вероятно, он обусловлен как самой трубкой, так и возможным фрагментом четвертичной палеодолины в ее северо-восточной части.

В 2004 г. Амакинской экспедицией АК «АЛРОСА» проведена высокоточная аэромагнитная съем-

ка м-ба 1:5000 (АМС-5), не показавшая существенного (в 2–3 раза) увеличения контрастности аномалии, обычно фиксируемого при переходе к детальным съемкам над слабомагнитными трубками (Первомайская, Белая). По наземным геофизическим детализационным работам размеры магнитной аномалии составили 300×400 м, интенсивность в эпицентре — 4 нТл. По результатам съемки м-ба 1:5000 эпицентр аномалии сместился на 100 м к северо-востоку. Заверочная скважина, пробуренная по эпицентру, как и предыдущие, вскрыла кимберлит на глубине 75 м. Несовпадение эпицентров геофизических аномалий, полученных разными методами, проявилось и при наземных электромагнитных работах. Эпицентр аномалии по аудиоманнитотеллурическому зондированию АМТЗ, выполненному аппаратурой фирмы Phoenix, совпал с эпи-



**Рис. 4. Результаты работ методом АМТЗ на аномалии 3а (погоризонтный план):**

усл. обозн. см. рис 3

центрами аэромагнитной и наземной магнитной аномалий и подтвердился скв. К3а-1. Эпицентр аномалии, полученной методом зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБЗ – Team-Fast), сместился на восток на 300 м, но также подтвердился скв. К3а-3. Все это указывает на вероятную контрастность внутреннего строения кимберлитовой трубки по физико-химическому составу и петрофизическим свойствам. Частичное подтверж-

дение сделанное предположение нашло при петрофизических измерениях керна скважин. Измерение магнитной восприимчивости (МВ) показало, что с ростом глубины не только возрастает магнитная восприимчивость кимберлитов, но появляется отчетливо выраженная анизотропия магнитных свойств. Так, вдоль оси керна МВ в 1,5–2 раза ниже, чем поперек. С глубиной выявленная анизотропия растет.

УДК 551.243.8:552.3 (470.11)

©Ю.Н.Серокуров, В.Д.Калмыков, 2006

## СИСТЕМЫ ОЧАГОВЫХ МАГМОТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР — ОСНОВНОЙ ФАКТОР КОНТРОЛЯ ФАНЕРОЗОЙСКОГО МАГМАТИЗМА В РАЙОНЕ ЗИМНЕГО БЕРЕГА

Ю.Н.Серокуров, В.Д.Калмыков (Институт ДИОС)

Район Зимнего Берега стал объектом пристального внимания после открытия архангельскими геологами в восьмидесятые годы прошлого века первых на Восточно-Европейской платформе алмазных кимберлитов. Открытия продолжаются, и к настоящему времени здесь выявлены десятки тел различных щелочно-ультраосновных пород (кимберлитов, пикритов, оливинных мелилититов, базальтов), образующих несколько разобнесенных групп. Их вмещают рифейские и вендские терригенные осадочные образования, слагающие нижнюю часть осадочного чехла платформы. Кристаллический фундамент расположен на глубинах от 0,5 до 3 км, что связано с развитой системой горстов и грабенов северо-западного простирания, входящих в состав рифейской Беломорской рифтогенной структуры. Его верхняя часть сложена породами беломорской серии позднего архея. Мощность земной коры оценивается в 37–40 км, а литосферы — около 200 км.

Внедрение магматитов происходило в течение длительного промежутка времени [6], который достаточно уверенно датируется как позднедевонский–раннекаменноугольный. В пользу этого свидетельствуют факты наличия рядом расположенных разновозрастных тел, прорывание трубками ранее сформированных силлов кимберлитов, присутствие нескольких фаз внедрения в отдельных телах. Кимберлитовмещающие толщи на востоке перекрыты верхнекаменноугольными терригенно-карбонатными отложениями, мощность которых постепенно возрастает и наращивается пермскими терригенными образованиями. Все палеозойские толщи перекрыты сплошным чехлом кайнозойских отложений переменной мощности — озерно-аллювиальных, ледниковых, ледниково-морских, флювиогляциальных, аллювиальных, озерно-болотных. Дочетвертичный рельеф довольно расчленен и обладает значительными перепадами. Растительность таежная, много болот и рек.

Взгляды на структурный контроль распростра-

ненного здесь палеозойского магматизма различны. Разные исследователи выделяют от четырех до шести кимберлитовых полей и более десятка кусков (групп) кимберлитовых и родственных им пород, объединяющих тела сходного петрохимического, петрографического, геохимического и вещественного составов.

К кимберлитоконтролирующим предлагается относить зоны разломов субмеридионального простирания [6], по которым не обнаруживают смещений ни в фундаменте, ни в чехле, в связи с чем их генезис не вполне ясен. Большинство исследователей ареал магматизма рассматривают как закономерный результат развития мантийного очага, на что указывает симметричное распределение тел с различными характеристиками вещественного состава — в центре развиты кимберлиты Fe-Ti серии (ильменитовые), а по периферии — Al серии (безильменитовые) и базальты [9].

Модель, предложенная в работе [4], предполагает формирование кимберлитов I и II групп, а также переходных кимберлитов и лампроитов в едином глубинном мантийном резервуаре (плюме), образованном при субдукции древней океанической коры. Флюидогенерирующие потоки материнской магмы эволюционировали при движении вверх, захватывали и перерабатывали материал из различных участков гетерогенной и в разной степени метасоматизированной субконтинентальной литосферы.

Геологи ЦНИГРИ [2, 8] выявили в разрезе земной коры Зимнего Берега интегрированную совокупность физико-геологических неоднородностей, которую можно интерпретировать как субвертикальную область преобразования мантийно-коровой толщи, генетически связанную с формированием и развитием гетерогенной кимберлитобразующей системы. Она, как предполагают, представлена на уровне верхней мантии — нижних горизонтов земной коры мантийно-коровым диапиром мафит-ультрамафитового состава, на уровне консолидиро-

ванной земной коры — флюидно-магматической колонной (включая базитовые, базит-гипербазитовые и кимберлитовые расплавы). В потенциальных геофизических полях система отражена характерной областью деформации структурных планов гравитационных и магнитных аномалий.

Изложенное позволяет констатировать, что участку развития ареала магматитов на Зимнем Берегу присущ устойчивый комплекс неочевидных геолого-геофизических признаков, которые свидетельствуют о трансоровом (очаговом) характере его формирования. Эти выводы потребовали длительных геолого-геофизических исследований. Для характеристики признаков очаговой активизации авторами использованы более доступные материалы космических съемок. Зимнебережная площадь рассматривается нами как эталонная, т.е. наиболее благоприятная для совершенствования технологий дистанционного прогноза.

Формой отражения очагов активизации в земной коре (и мантии?) является определенное сочетание тектонических нарушений в фундаменте и породах осадочного чехла, обусловленное воздействием на них глубинных процессов. Их общее определение — изометричные в плане морфоструктуры взрывной и плутоногенной природы, имеющие концентрически-зональное строение и своеобразный внутренний структурно-тектонический каркас, состоящий из системы радиально-концентрических эндогенных нарушений [11].

Причиной образования таких каркасов считают глубинные взрывы огромной мощности, обусловленные импульсивным подъемом углеродно-водородных потоков к земной поверхности вследствие дегазации ядра Земли [3, 5, 12]. Такие взрывы приводили сначала к возникновению камер сжатия, а затем в окружающей твердой среде — сферических зон дробления и трещинообразования. На поверхности они выражались округлыми морфоструктурами центральной симметрии, рассеченными сетью радиальных и кольцевых разломов, а в разрезе — тектоническими конусами разрушения. Видимый диаметр структур на поверхности по расчетам [7] в 3–4 раза больше, чем глубина взрыва. Магматические очаги после взрывов претерпевали декомпрессию, и газово-жидкие расплавы по трещинам скола и отрыва внедрялись в ослабленные зоны вмещающей толщи пород.

При наземных геологических работах очаговые магмотектонические структуры в большинстве случаев не диагностировались. И только с появлением космических съемок произошел революционный прорыв в их картировании. Следы их были обнаружены и на большинстве алмазоносных площадей

мира [10], в том числе на Зимнебережной. Появление в последние годы возможности изучить результаты космических съемок последних поколений («Modis», «Landsat», «SPOT» с разрешением от 500 до 15 м/пиксел, цифрового рельефа, рисунка речной сети) позволили уточнить характер их проявления в современном ландшафте, более полно оценить взаимоотношения, предложить дистанционные прогнозно-поисковые модели, которые целесообразно использовать при оценке перспектив новых площадей, где геолого-геофизические исследования необходимой детальности отсутствуют.

Работы проведены в три этапа с привлечением дистанционных и традиционных материалов повышающейся детальности. В рамках первого этапа по материалам низкого разрешения на площади в первые тысячи квадратных километров визуализированы следы наиболее глубинных структур активизации. В рамках второго и третьего по материалам среднего и высокого разрешения на участках площадью в сотни квадратных километров уточнена позиция структур, выделенных на первом этапе, и визуализированы менее глубинные. На всех этапах проводились:

- компьютерная подготовка космических снимков и другой дистанционной информации с помощью специальных программ обработки (синтез, фильтрация, кластеризация, различного рода трансформации и т.д.);

- визуальное и компьютерное дешифрирование как первичных изображений, так и многочисленных «композигов»;

- обработка полученных результатов качественными и количественными методами для выделения информативных признаков;

- визуализация информативной информации на специализированных картах;

- окоптуривание перспективных участков.

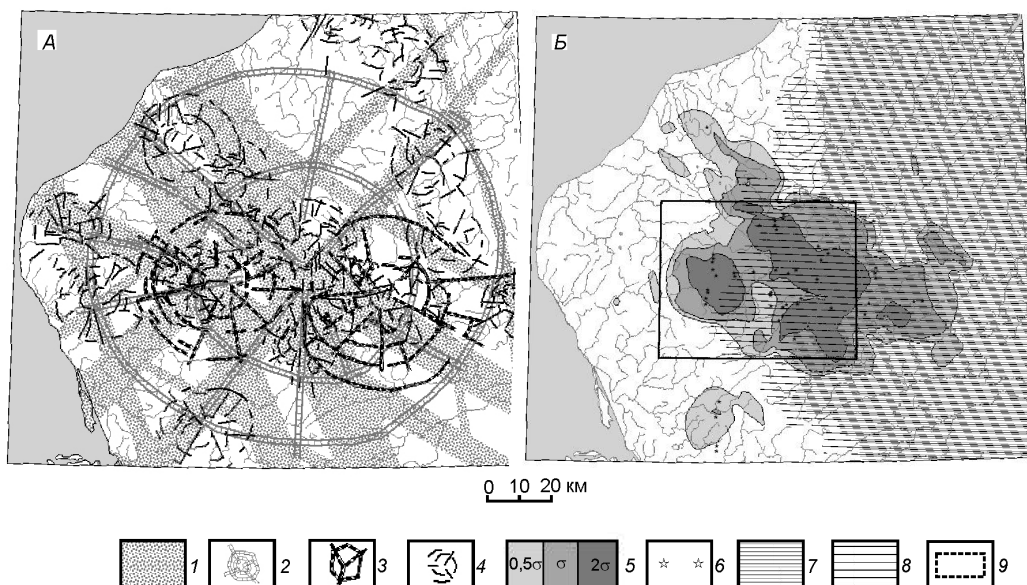
По результатам работ первого этапа изучена площадь более 5000 км<sup>2</sup>. В ее пределах в сложном рисунке линеаментов и цветовых аномалий визуализирована морфоструктура диаметром около 200 км с отчетливым радиально-концентрическим строением. Плутоногенная природа структуры подтверждается наложенным характером образующих элементов на более ранние структуры дорифейского и рифей-вендского этапов развития территории и «теневым» отражением в потенциальных геофизических полях (особенно при их трансформациях). Структура расположена в узле пересечения зон линеаментов регионального ранга, которые отражают позицию глубинных сквозькоровых разломов. Зоны северо-западного простираения связаны, вероятно, с Беломорским (или

Кандалакшско-Двинским) авлакогеном, сформированным в рифее и активизированным в среднем палеозое и в конце кайнозоя. Зоны северо-восточного простираения отражают Ладожско-Мезенскую разломно-блоковую структуру венд-раннепалеозойской активизации. Близмеридиональные зоны связаны со структурами, заложенными в позднем архее — раннем протерозое и активизированными в герцинический этап тектогенеза. Причиной формирования этой радиально-кольцевой структуры, контролирующей, по нашим представлениям, Зимнебережный район кимберлитового магматизма, мог стать взрыв тектономагматического (энергетического) очага в подошве земной коры.

При анализе всего комплекса материалов на площади установлены признаки еще двух радиально-кольцевых структур диаметром около 80 км и более десятка диаметром около 30 км. Эпицентры тектономагматических очагов, активизация которых обусловила проявление на поверхности образующих их элементов, расположены на глубинах соответственно 25 и 10 км. Полезная информация о необходимых для создания дистанционной прогнозно-поисковой модели «район кимберлитового магматизма» структурных элементах приведена на рис. 1, А. Она отобрана исходя из гипотезы миграции кимберлитов в земной коре к поверхности только в области над мантийным диапиром, кото-

рый, собственно, и продуцировал эти магмы. Наиболее благоприятные условия миграции в этой области создавали последовательные энергетические импульсы в магматических камерах, которые закономерно приближались к поверхности. Региональные зоны нарушений разных простираений, сформированные ранее, служили пассивными благоприятными структурами. Результат оценки приведен на рис. 1, Б. В качестве минимально перспективной по изолинии, характеризующей аномальное присутствие благоприятных признаков со значениями  $(x+0,5\sigma)$ , околтурена площадь, включающая все известные алмазоносные кимберлиты сосредоточены в пределах западной морфоструктуры диаметром около 80 км, наиболее доступной для поисков. Там же локализован участок со значениями перспективности  $(x+2\sigma)$ . Аналогичный участок, но большего размера, зафиксирован восточнее, однако мощность посткимберлитовых отложений здесь быстро возрастает, что, очевидно, не благоприятствует поискам.

Работы второго этапа с материалами среднего разрешения («Landsat», потенциальные геофизические поля) проведены на площади 6000 км<sup>2</sup>, которая полностью охватывает проекцию на поверхности западной нижнекоревой структуры активизации (см. рис. 1, контур 9). Она проявилась на серии



**Рис. 1. Схема линейных и очаговых активизационных структур по дистанционным материалам низкого разрешения (А) и позиция участков, перспективных для миграции к поверхности кимберлитов (Б):**

1 — зоны линеаментов, проявляющие линейные структуры активизации регионального ранга; концентрические и радиальные элементы, проявляющие очаги активизации; 2 — подкоровый, 3 — среднекоровые, 4 — верхнекоровые; 5 — области внутри изолиний с аномальной суммой благоприятных признаков; 6 — известные магматические тела (кимберлиты, пикриты, мелилититы); посткимберлитовые платформенные отложения; 7 — пермские, 8 — каменноугольные; 9 — контур работ второго этапа

«композит», полученных при трансформациях зональных каналов космических изображений этого вида, комплексными цветовыми и тоновыми аномалиями, своеобразными текстурами ландшафта, генерализированным рисунком микроштрихов. Радиально-концентрическое строение структуры подчеркнуто размещением современных водотоков и растительности. Все это позволяет рассматривать и ее как результат энергетического воздействия на кору и породы чехла очага активизации, располагавшегося на глубине около 25 км.

Пространственно данная структура [8] совпадает с локализованной областью деформации общего структурного плана поля силы тяжести размером 60×85 км, выраженной снижением (на 25–30 мгал) его уровня. На этом фоне выделяются отдельные локальные максимумы небольшой интенсивности. В поле горизонтального градиента структуре соответствует участок потери корреляции линейных аномалий, формирующих общий структурный план градиентного поля Зимнего Берега. На карте локальной составляющей поля силы тяжести, обусловленной влиянием неоднородностей нижних горизонтов земной коры, здесь отмечена положительная малоамплитудная (1,0–1,5 мгал) аномалия размером до 40 км, центр масс которой по расчетам расположен на глубине около 25 км. Наблюдаются также некоторое повышение напряженности магнитного поля, нарушение линейного плана его аномалий, присутствие средне-частотной аномалии  $\Delta T$  овальной формы размером около 75 км. Ее источник также находится на глубине 20–25 км. Сейсмическое зондирование указывает на расслоенность разреза земной коры в этом участке, обусловленную присутствием в ней на глубинах 15 и 25 км слоев с инверсией скоростей продольных и поперечных волн. В целом интегрированная совокупность физико-геологических неоднородностей интерпретируется [8] как субвертикальная область преобразования мантийно-коровой толщи, генетически связанная с формированием и развитием здесь гетерогенной кимберлитобразующей системы.

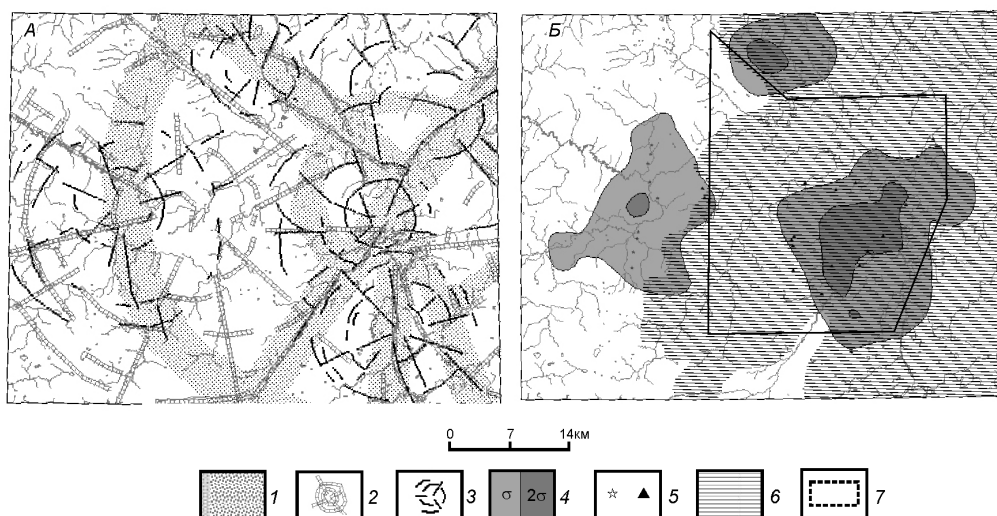
При обработке схем детального дешифрирования линеаментов и результатов площадного районирования многочисленных «композитов» на площади выделены системы линеаментов разных направлений и признаки кольцевых и круговых структур более высокого ранга. Первоочередной интерес на этом этапе представляли структуры диаметром около 30 км, способные маркировать позицию среднекоровых очагов активизации. Обнаружены признаки всего пяти структур подобного рода. Две из них пространственно совпадают с известными

Золотицким и Верхотинским кимберлитовыми полями и проявлены достаточно отчетливо, остальные три расположены восточнее, пространственно перекрывают друг друга, что затрудняет их визуализацию. Схема необходимых для прогноза структур приведена на рис. 2, А. Используемая на этом этапе дистанционная прогнозно-поисковая модель содержала шесть благоприятных признаков, и с ее помощью выделены благоприятные участки для локализации полей кимберлитового магматизма. Изолинией аномального их совпадения ( $x+\sigma$ ) околнурено три обособленных участка (см. рис. 2, Б). Два пространственно совпадают с известными Золотицким и Верхотинским кимберлитовыми полями, где присутствуют промышленные месторождения алмазов, третий имеет большие размеры и отвечает Кепинскому полю.

Работы третьего этапа (см. рис. 2, Б, контур 7) проведены на площади 2500 км<sup>2</sup> с использованием французских зональных космических снимков «SPOT». Участок полностью перекрыт посткимберлитовыми отложениями мощностью от 60 до 100 м.

Известные кимберлитовые тела здесь группируются в ряд кустов и изучены с помощью скважин. Пространственно они [8] по данным гравитационного моделирования м-ба 1:200 000 (подбор геоплотностных разрезов в диапазоне глубин 0–25 км) ассоциируются с локальными купольными структурами в кровле транскоровой физико-геологической неоднородности. Эти структуры проявляются в потенциальных геофизических полях в виде характерных комплексных аномальных областей и интерпретируются как скрытые на глубине 2–4 км (и выходящие на поверхность кристаллического фундамента) локальные ареалы базит-гипербазитового магматизма, связанные с отдельными дериватами многофазной флюидно-магматической колонны кимберлитобразующей системы предыдущего ранга. Для них характерны комплексные положительные аномалии локальных составляющих гравитационного и магнитного полей.

Устойчивого отражения, как показал специализированный анализ множества «композитов», полученных при анализе зональных каналов, ареалы базит-гипербазитового магматизма в современном ландшафте не имеют, но отдельные аномальные изменения цвета над некоторыми отмечаются. Несистемный характер этого явления затрудняет их использование в моделях. При обработке схем микролинеаментов визуализированы фрагменты зон, проявляющих линейные и дуговые структуры разного ранга. С ними устойчивой связи известных здесь кимберлитовых тел также не обнаружено.



**Рис. 2.** Схема линейных и очаговых активизационных структур по дистанционным материалам среднего разрешения (А) и позиция участков, перспективных для миграции к поверхности кимберлитов (Б):

концентрические и радиальные элементы, проявляющие очаги активизации: 1 — подкоровой, 2 — среднекоровой, 3 — верхнекоровые; 4 — области внутри изолиний с аномальной суммой благоприятных признаков; 5 — известные магматические тела; 6 — посткимберлитовые платформенные отложения; 7 — контур работ третьего этапа

Количественная обработка этой информации показала лишь тяготение групп тел к участкам повышенной плотности микротрещин и аномалиям их изотропного распределения. Кроме того, визуализировано более десятка малых кольцевых структур (диаметр 12–8 км), часть из которых пространственно совпадает с известными кустами кимберлитов. Проявлены они слабо и при выделении требуют значительного количества различных преобразований и трансформаций. Можно предположить, что некоторые из них отражают позицию верхнекоровых тектономагматических очагов активизации, над которыми с наибольшей вероятностью могли формироваться ареалы даек, поставляющих материал для образования диатрем.

Следует отметить, что большая часть Кепинской площади расположена в основании западного сектора подкоровой радиально-концентрической структуры и характеризуется значительной деструкцией верхней части коры, что отражается в усложненном рисунке современного ландшафта. В этот сектор вписывается круговая область, проявленная слабыми аномальными изменениями цвета, тона, текстуры и структуры космических трансформированных изображений. На снимках более низкого разрешения она не фиксировалась, что говорит о ее слабом отражении в верхних частях коры и значительном (до 80%) пространственном совмещении с Золотицкой, Верхотинской и Центральной радиально-концентрическими структурами, выраженными более отчетливо. В связи с этим

можно предположить, что известные кусты кимберлитового магматизма связаны с различными среднекоровыми магматическими очагами. Специализированная структурная схема Кепинской площади приведена на рис. 3, А. Оценка перспектив проведена с использованием дистанционной прогнозно-поисковой модели, которая ориентирована для выделения благоприятных участков локализации «кустов» кимберлитового магматизма. Составлена она с учетом изучения якутских эталонов и содержит «сквозные» признаки.

Изолинией ( $x+\sigma$ ) в качестве перспективной оконтурено около 30% от первоначально оцениваемой площади, что свидетельствует о сложности существующей здесь обстановки (см. рис. 3, Б). В пределах этого контура расположено 95% известных кимберлитовых тел, что показывает эффективность использованной модели. Наличие достаточно локальных участков с более высокой суммой благоприятных признаков говорит о не вполне исчерпанном потенциале площади.

Таким образом, изучение материалов дистанционного зондирования все возрастающего разрешения на эталонной площади позволило визуализировать разноглубинные очаги активизации в мантии и земной коре. В совокупности они представляют собой закономерный итог эволюции тектономагматической колонны, которая пульсационно приближалась к поверхности. Контурные разноглубинных активизационных структур определяют границы миграции мантийных магматитов на каж-

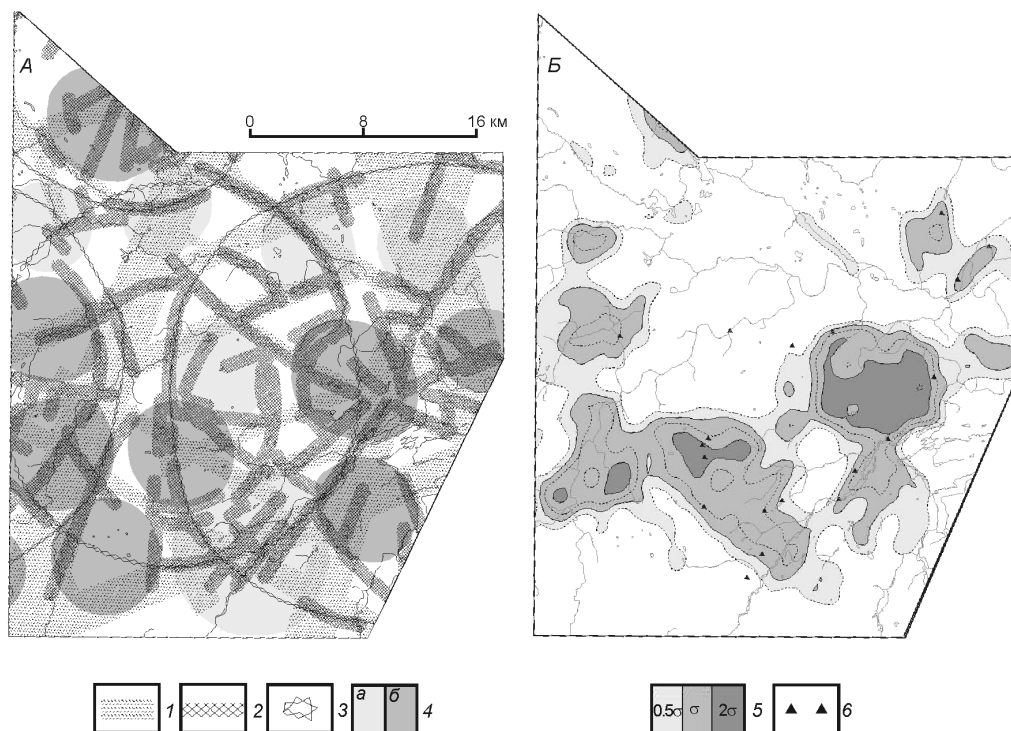


Рис. 3. Схема линейных и очаговых активационных структур по дистанционным материалам высокого разрешения (А) и позиция участков, перспективных для миграции к поверхности кимберлитов (Б):

1 — сквозные зоны линеаментов, обусловленные активизацией региональных структур; 2 — концентрические и радиальные элементы, проявляющие среднекоровые очаги активизации; 3 — условные границы среднекоровых структур активизации, контролирующей поля кимберлитового магматизма; 4 — области над верхнекоровыми очагами активизации (а — слабовыраженные; б — хорошо выраженные); 5 — области внутри изолиний с аномальной суммой благоприятных признаков; б — известные магматические тела

дом из уровней земной коры. Определенное пространственное сочетание этих структур благоприятствует достижению алмазонасытыми кимберлитами поверхности.

Дистанционные прогнозно-поисковые модели, созданные на базе изучения алмазонасыщенных эталонов, целесообразно использовать при оценке перспектив новых территорий, для которых отсутствует достаточно детальная геолого-геофизическая информация.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ваганов В.И. Алмазные месторождения России и мира (основы прогнозирования). — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000.
2. Ваганов В.И., Голубев Ю.К., Прусакова Н.А. Стадийная технология ведения геологоразведочных работ на алмазы на Восточно-Европейской платформе // Геология алмаза — настоящее и будущее. Воронеж, 2005.
3. Глобальные закономерности размещения крупных рудных месторождений / М.А.Фаворская, И.Н.Томсон, В.А.Баскина и др. — М.: Недра, 1974.
4. Два типа алмазонасыщенных кимберлитов в Архангельской провинции / В.К.Гаранин, Г.П.Кудрявцева, Т.В.Посухова и др. // Геология и разведка. 2001. № 4.
5. Маракушев А.А. Рудоносность взрывных кольцевых структур // Геология рудных месторождений. 1996. Т. 38. № 6.
6. О структурном контроле размещения кимберлитовых тел (на примере Архангельской провинции) / Е.А.Андросов, В.В.Вержак, В.А.Ларченко и др. // Геология алмаза — настоящее и будущее. Воронеж, 2005.
7. Петров А.И., Плотников Л.М., Юревич Г.Г. Механизм образования структур центрального типа // Советская геология. 1971. № 2.
8. Прусакова Н.А. Геолого-геофизическая прогнозная модель Зимнебережного кимберлитового поля: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. — М., 2004.
9. Саблуков С.М. Петрологическая зональность кимберлитовых районов Архангельской алмазонасыщенной провинции // Алмазы и алмазонасыщенность Тимано-Уральского региона. Сыктывкар, 2001.
10. Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Зуев В.М. Космические методы при прогнозе и поисках месторождений алмазов. — М.: Недра, 2001.
11. Сторожук О.П. Очаговые магмотектонические структуры и их роль в прогнозировании эндогенных рудных месторождений (на примере Центрально-Алданского и Центрально-Кольмского районов): Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. — М., 2004.
12. Томсон И.Н., Фаворская М.А. Рудоконцентрирующие структуры и принципы локального прогнозирования эндогенного оруденения // Советская геология. 1968. № 9. С. 73–86.



УДК 550.8.011: 550.834

© В.М.Иванов, 2006

## К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ АЛМАЗОВ

В.М.Иванов (ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА»)

Прогнозно-поисковый комплекс на этапе поисковых работ на коренные источники алмазов в настоящее время состоит из двух систем: геолого-минералогической и геофизической. Комплексирование работ осуществляется с учетом их стадийности и типов площадей опоискования, выделенных по условиям ведения поисковых работ. Такой подход, по-видимому, некорректен, поскольку при определении стадийности работ в их систему сразу закладывается неоднократный возврат на уже изученные территории. В «Методических указаниях...» [1] выделяются шесть типов площадей по степени сложности геолого-геофизической обстановки, а в работе [2] — уже 20. Данная ситуация порождает излишне сложную, громоздкую систему комплексирования поисковых работ. Тем более при выходе поисковых работ на новые территории вряд ли возможно без определенной сети буровых работ и дополнительного изучения геологического строения районировать территорию поисков хотя бы на шесть типов.

Исходя из этого, при поисках коренных источников алмазов следует ориентироваться на их типы, выделяемые по условиям залегания и наличию эрозионного среза, как фактор образования ореолов рассеяния индикаторных минералов. При этом различаются две основные группы коренных источников алмазов — открытые и закрытые.

Группа открытых коренных источников подразделяется на два типа:

вскрытые эрозией с образованием линейных и площадных ореолов рассеяния индикаторных минералов; успешно обнаруживаются шликотоминералогическим методом путем прослеживания и оконтурирования, детализации этих ореолов;

вскрытые эрозией, но находящиеся на площадях широкого распространения латеритных кор выветривания глубокого профиля; в этих условиях исчезает возможность образования ореолов рассеяния минералов-спутников алмаза, а также идентификации самих материнских пород.

Группа закрытых коренных источников делит-

ся на три типа: погребенные, перекрытые, «слепые». К погребенным относятся коренные источники, вскрытые эрозией с образованием линейных и площадных ореолов рассеяния индикаторных минералов, а затем вновь погребенные под терригенными отложениями. Они обнаруживаются шликотоминералогическим методом путем разбуривания площади последовательно стгущаемой сетью скважин.

Коренные источники перекрытого типа подразделяется на два подтипа:

непосредственно перекрытые магматическими породами; при их поисках существующие в настоящее время методы не работают;

образованные в пределах низменной равнины и затем перекрытые терригенными, терригенно-карбонатными осадками, возникшими в спокойных условиях динамики водной среды (озерно-болотные, лагунные, морские). При таких обстановках образование ореолов рассеяния индикаторных минералов не происходит. Вынесенный из трубки взрыва материал будет поступать обратно в кратер. В окружающем трубку взрыва пространстве возможны спорадические находки индикаторных минералов и отдельных обломков пород коренного источника. При этом шликотоминералогический метод может служить для определения принципиальной возможности наличия коренного источника на территории поиска.

Коренные источники «слепого» типа размещаются в толще вмещающих пород и не вскрыты эрозией. Реальность существования «слепых» месторождений алмазов подтверждается находками подобных кимберлитовых тел в Алакит-Мархинском и Дюкенском полях.

Следовательно, из семи типов и подтипов коренных источников алмазов уверенное опоискование шликотоминералогическим методом возможно лишь в двух случаях. Следует отметить, что эффективность применения шликотоминералогического метода не зависит от мощности перекрывающих отложений. Она будет одинаково низка в случае пе-

рекрытия коренных источников однородными покровными отложениями типа водно-ледниковых, эоловых и других различной мощности — от 2 до 100 м.

Таким образом, шлихоминералогический метод поисков алмазных месторождений не является универсальным. Имеются определенные ограничения и пределы его использования.

Как показывает многолетняя практика алмазопроисковых работ, применение геофизических методов поисков в комплексе со шлихоминералогическим не дает ощутимого результата. Это, по-видимому, объясняется тем, что выделение геофизических аномалий основывается на изменчивых физических свойствах (магнитные, электрические и др.) искомого объекта поисков. К тому же физические параметры пород коренных источников часто мало отличаются от таковых вмещающих отложений, а перекрывающие образования по контрастности физических свойств нередко превосходят как те, так и другие. По этим причинам выделяется множество ложных аномалий, обусловленных горно-геологической обстановкой. Кроме того, применяемые геофизические методы имеют определенные разрешающие способности в зависимости от мощности перекрывающих отложений и их петрофизических свойств. Стремление решить основную задачу путем расширения комплекса геофизических работ, совершенствования известных методов и методик, использования все более точной аппаратуры приводит лишь к увеличению количества выделяемых аномалий.

Из анализа вышеизложенного следует вывод о том, что давно назрела острая необходимость разработки и применения принципиально новых методов прямых поисков алмазонасных тел. Основные требования к таким методам заключаются в обоснованности постоянного параметра (свойство, признак и т.д.) искомого объекта и способности обнаруживать все типы коренных источников алмазов.

Какой параметр для алмазонасных тел можно считать постоянным, не меняющимся при различных обстановках? Вероятно, это форма залегания малой интрузии (трубка, дайка) во вмещающих образованиях. В геофизических полях она образует структурные аномалии в виде субвертикальных гетерогенных неоднородностей. В результате опытных профильных работ по малоуглубинной высокочастотной сейсморазведке на площади Накынского и Алакит-Мархинского кимберлитовых полей на трубках установлены следующие субвертикальные гетерогенные неоднородности [3]:

субвертикальные гетерогенные неоднородности, включенные в горизонтально-слоистую вмеща-

ющую среду, в виде аномальной зоны отсутствия регулярных осей синфазности, соответствующей кимберлитовой трубке;

зона фактически полного затухания рассеянных волн или волновая аномалия типа белого пятна на динамических разрезах МПВ, отождествляется с диатремой. При этом отмечается, что силл долеритов негативного влияния на динамические параметры высокочастотного поля рассеянных волн не оказывает.

С учетом этого одним из путей достижения высокой эффективности поисковых работ может служить применение методов малоуглубинной сейсморазведки. В работе [4] рассматривается геологическая и экономическая целесообразность постановки пространственной сейсморазведки в виде высокочастотной модификации 3D в скважинно-наземном варианте.

В практике пространственной сейсморазведки существует и другой способ. Это малоуглубинная сейсморазведка методом импульсной сейсмической голографии, который позволяет картировать в геофизических полях тела различной морфологии (дайка, трубка, и т.д.). Метод обеспечивает площадную регистрацию сейсмических волновых полей с производительностью, близкой к обычному профилированию (при равной плотности сети профилей). Стоимость полевых наблюдений при площадной регистрации волновых полей всего в 1,1–1,3 раза выше стоимости обычной профильной съемки (за счет дополнительных расходов на возбуждение колебаний). Высокая производительность и относительно низкая стоимость площадной регистрации, простота реализации на основе стандартной аппаратуры и оборудования, резкое повышение информативности метода позволяют широко применять объемную сейсморазведку в различных регионах для детальных исследований [5, 6].

Сеть наблюдений при пространственной сейсморазведке должна обеспечить обнаружение минимального промышленного объекта, а глубинность работ может ограничиваться порогом экономической целесообразности отработки месторождений шахтным способом. Конечный результат таких работ — выделение сейсмических аномалий трубчатого и дайкового типов, которые передаются для заверки горно-буровыми работами.

Таким образом, разработка новых методов прямых поисков коренных источников алмазов позволит выработать новую технологию проведения алмазопроисковых работ, резко повысить их эффективность, обеспечить выход на зарубежные рынки с новыми конкурентоспособными технологиями поисков.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Методические указания по поискам коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе (Якутская алмазоносная провинция).* – Л.: Мингео СССР, 1989.
2. *Геология, прогнозирование, методика поисков, оценки и разведки коренных месторождений алмазов / В.М.Подчасов, В.Е.Минорин, И.Я.Богатых и др. // Коренные месторождения.* Якутск, 2004. Кн. 1.
3. *Мальшева Е.Н., Левин А.А.* Малоглубинная сейсморазведка — некоторые результаты и перспективы // Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. Воронеж, 2003. С. 577–580.
4. *Мальшева Е.Н.* Сейсмогеология Накынского кимберлитового поля (Якутия) в связи с поисками месторождений алмазов: Дис... канд. геол.-минер. наук. – Мирный, 2001.
5. *Тимошин Ю.В.* Импульсная сейсмическая голография. – М.: Недра, 1978.
6. *Тимошин Ю.В., Бирдус С.А., Мерцый В.В.* Сейсмическая голография сложнопостроенных сред. – М.: Недра, 1989.

УДК 550.81:553.81

© И.Ив.Антипин, И.И.Антипин, И.О.Тарасов, 2006

## МЕТОДИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ АЛМАЗОНОСНОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ЗАКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ ШЛИХОМИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА

**И.Ив.Антипин, И.И.Антипин, И.О.Тарасов (ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА»)**

В связи с закономерным сокращением минерально-сырьевой базы для алмазодобывающих предприятий России возникает проблема ее восполнения. Однако фонд легко открываемых и выходящих на поверхность месторождений в значительной мере исчерпан. В перспективе на открытых территориях остается вероятность обнаружения единичных месторождений среднего масштаба со слабо проявленными вещественно-индикационными свойствами, но наиболее вероятно в таких условиях выявление мелких тел с проблематичным решением задачи по восполнению запасов. Поэтому повсеместно происходит смещение акцента поисков на закрытые территории. В свою очередь, смена условий ведения геологоразведочных работ требует новых методических подходов.

Разработанные в 70-х годах минералогические критерии поисков кимберлитовых тел на открытых территориях (Л.А.Зимин, А.А.Панкратов, Ю.П.Белик и др.) достаточно успешно использовались в северной части Якутской алмазоносной провинции, позволяя ежегодно открывать не менее десятка новых тел. На закрытых территориях возникли определенные трудности, показавшие, что все имеющиеся в арсенале геологов методические разработки по минералогическому методу далеки от совершенства. Автоматический перенос разработанных

минералогических критериев с открытых территорий на закрытые малоэффективен. В первом случае в отличие от второго всегда виден путь, по которому происходит перенос индикаторных минералов кимберлитов (ИМК), и можно выбрать наиболее благоприятные для опробования участки (точки). Построенные палеогеографические карты при слабой расчлененности палеорельефа в значительной мере субъективны, т.е. восстановление пути переноса ИМК при локальном прогнозировании не всегда возможно, а слепое опробование по сети носит вероятностный характер из-за неравномерного распределения в промежуточном коллекторе дезинтегрированного кимберлитового материала. Предложенная в 80-х годах В.П.Афанасьевым методика интерпретации и выделения перспективных участков по расчетным коэффициентам соответствия [1], учитывающим комплексные характеристики ИМК, также страдает определенными недостатками. Данная методика не вполне учитывает естественное разнообразие этих характеристик в кимберлитовых телах и неравномерность распределения ИМК в отложениях, вмещающих ореол. В итоге применяемые методики интерпретации результатов шлихоминералогии позволяют прогнозировать только значительные площади, перспективные на выявление кимберлитовых тел, где поиски,

опирающиеся главным образом на бурение, будут иметь неоправданно высокие затраты. Попытки искусственной локализации отдельных участков обычно не дают положительных результатов, приводят к дискредитации минералогического метода и неоправданным выводам о бесперспективности всей площади.

Рассмотрим методику и технологию прогнозной оценки алмазности с применением шлихо-минералогического метода, частично апробированную в Якутской алмазной провинции, ориентированную на оптимизацию данного метода в целях его использования для локального прогноза коренной алмазности.

При региональном минералогическом картировании определяются границы минералогических таксонов, таких как «провинция», «субпровинция» и «минералогическая зона». Затем в соответствии с принятой нами иерархией минералогических объектов [2] и структурой поисков месторождений алмазов (рис. 1) производится минералогическое районирование на основе минералогического и геолого-минералогического картирования (МК, ГМК) м-бов 1:200 000 до 1:25 000 с выделением таксонов уровней — минералогические район, узел, участок. Учитывая специфику проявлений кимберлитового магматизма, размеры тел и степень проявленности сопутствующих признаков во вмещающих и перекрывающих кимберлиты породах, этот этап в полном объеме можно отнести к среднемасштабным работам. Следующий этап включает поиски м-бов 1:25 000 и 1:10 000 с выделением таксона «минералогический ореол». Далее выполняется важный и объемный блок тематических работ по разбурке ореолов на гравитационные ловушки, первичные и вторичные ореолы. Первичные ореолы разделяются на перспективные и неперспективные. Для перспективных ореолов в комплексе с другими методами определяется территория вероятного нахождения коренного источника, который и является узло-локальным перспективным участком. Поисково-оценочные работы проводятся в пределах выделенных гравитационных ловушек и узлолокальных участков. В результате должны быть выделены коренные источники алмазов и дана оценка россыпной алмазности.

Наиболее слабо проработан на практике этап тематической обработки материалов, от которого зависит как результативность всей системы поисков алмазов, так и объем финансовых затрат.

Структура обработки шлихоминералогических материалов ранее выполненных работ приведена на рис. 2. Наиболее полная обработка возможна только при условии использования архивных первич-

ных материалов, поскольку в отчетах в основном приводится уже проинтерпретированная или отсортированная информация, которая в определенной степени субъективна. Поэтому объективные фактические данные можно найти только в первичных материалах по документации и информационных аналитических массивах. На этом этапе большую роль приобретают тематические исследования по углубленной обработке шлихоминералогических материалов по определенной системе. Проводятся количественный учет минералов, идентификация ореолов на основе их моделей от различных по размерам и продуктивности коренных источников, комплексный анализ полных минеральных ассоциаций ореолов, расшифровываются условия формирования промежуточных коллекторов.

В настоящее время при интерпретации шлихо-минералогических материалов количественные характеристики ореолов принимаются из расчета количества зерен ИМК на определенный стандартный объем пробы (обычно 10 л), т.е. содержания зерен ИМК в объеме породы. Такой метод оправдан при региональном и среднемасштабном минералогическом районировании, а также при косвенной оценке россыпной алмазности промежуточного коллектора, когда при установленной прямой корреляции распределения ИМК и алмазов необходимо определить запасы (объем) «песков» (горной массы) и содержание в них полезного компонента. В этом случае приведенные характеристики взаимосвязаны, и на их основании можно производить расчеты по определению запасов. Шлихоминералогическим методом могут определяться не только ореолы ИМК, но и местоположение их источника.

Как известно, на содержание ИМК в промежуточном коллекторе влияют три фактора: минералогическая продуктивность коренного источника, удаленность от него и литодинамические условия формирования промежуточного коллектора. При этом последний фактор часто имеет главенствующее значение, так как определяет возможности концентрации в этих условиях минералов тяжелой фракции (ТФ), в состав которой входят и ИМК, и алмазы. Минералы ТФ, сопоставимые по удельным весам с ИМК, являются гравитационными спутниками последних, приобретенными на пути транспортировки, и имеют признаки, отражающие этот путь — по мере удаления от коренного источника уменьшается доля ИМК в весе ТФ, по мере приближения к коренному источнику уменьшается количество гравитационных спутников и увеличивается весовая доля полезного компонента (или его генетических спутников) в весе ТФ. Доля традиционных ИМК в головке потока рассеяния от кимберли-

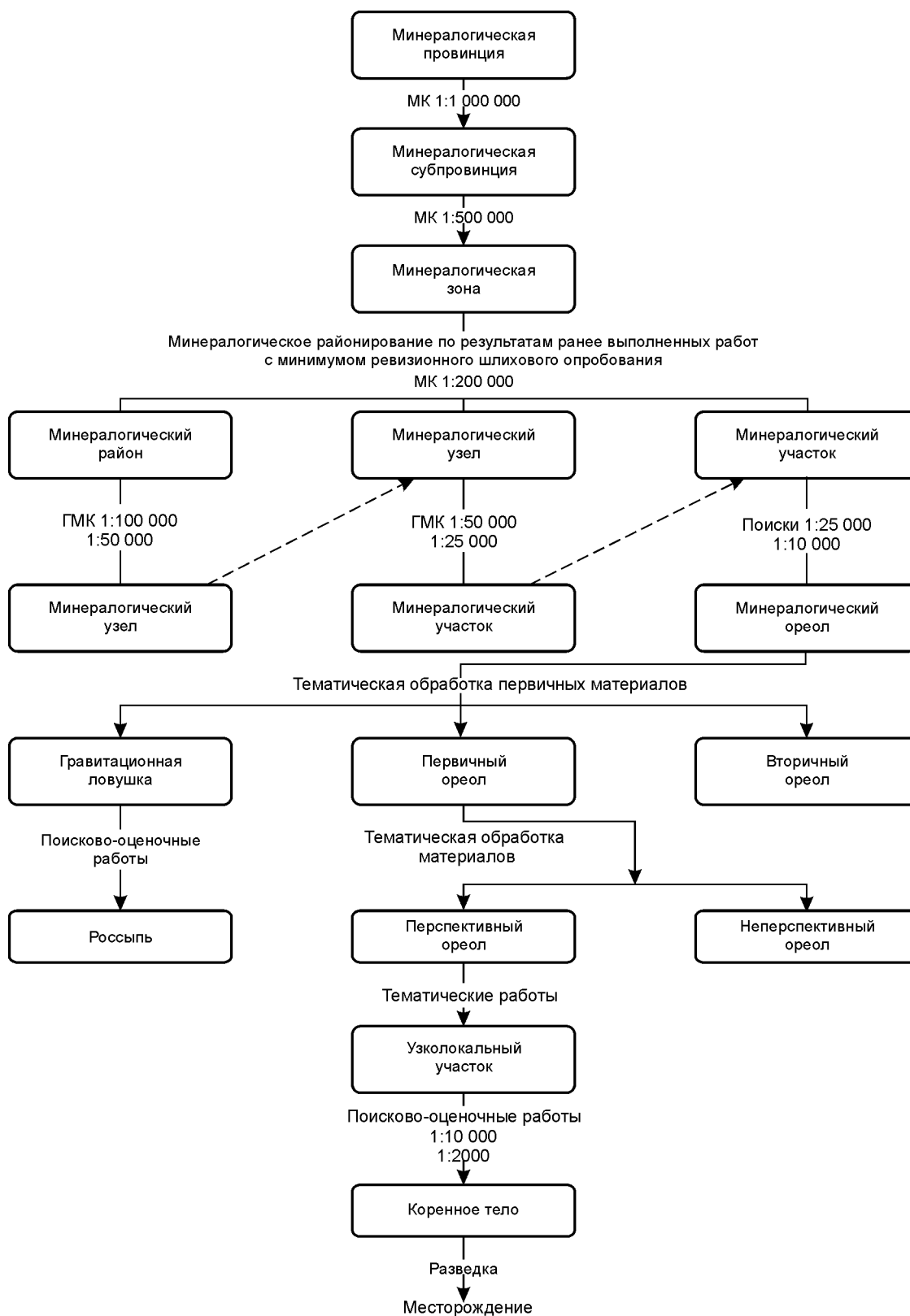


Рис. 1. Структура поисков месторождений алмазов с применением шlichоминералогического метода

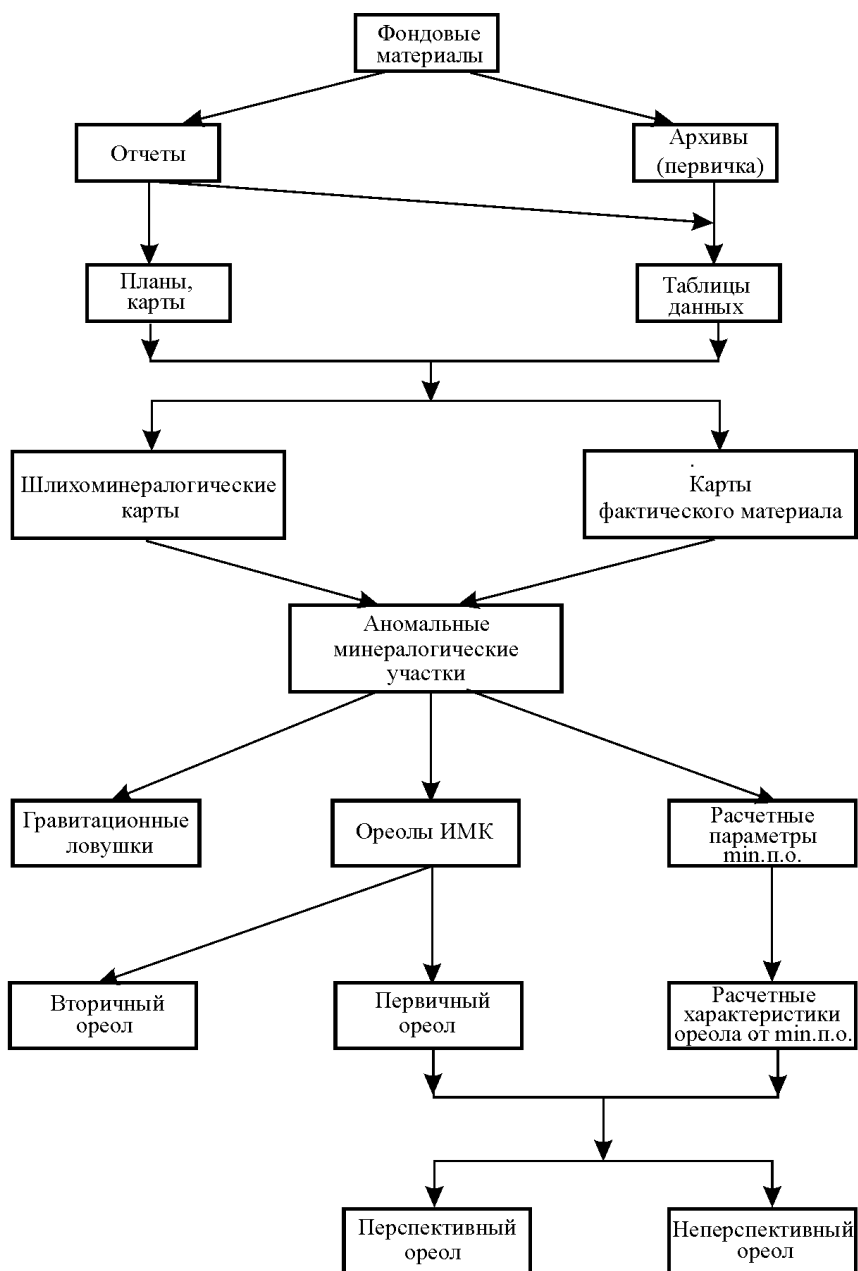


Рис. 2. Структура обработки фондовых шлихоминералогических материалов:

min.п.о. — минимально-промышленный объект (коренной источник алмазов) по площади выхода на поверхности кимберлитовмещающих пород

тового тела наиболее высока и приближается к 100%. По мере удаления, а соответственно, и увеличения области питания опробуемого участка от промежуточного коллектора, вмещающего ореол, она уменьшается. Скорость уменьшения зависит от минералогической продуктивности коренного тела. Чем выше минералогическая продуктивность тела и медленнее приращение области питания, тем ниже скорость уменьшения весовой доли ИМК.

Различие литодинамических условий формирования промежуточных коллекторов создает крайне неравномерное распределение минералов ТФ, дающее вариации в тысячу раз и более [2, 3]. Соответственно, в таких же пропорциях в объеме осадочного коллектора изменяется и количество ИМК, являющихся составной частью ТФ. То есть традиционная методика выявления, локализации и разбраковки ореолов по содержанию ИМК на объем пробы в большей мере отражает именно вторичный фактор — естественную неравномерность распределения ТФ в породе. При этом часть ореолов может быть не распознана из-за слабой гравитационной отсадки при формировании коллектора, а некоторые будут «ложными», обусловленными не близостью к коренному источнику, а наличием гравитационных ловушек.

Исходя из вышеизложенного, представляется логичным обрабатывать шлихоминералогические материалы при разбраковке минералогических ореолов по двум схемам, условно названным «россыпной» и «коренной».

*Россыпная схема.* Интерпретация ведется традиционным методом, путем расчета содержаний ИМК на стандартный объем пробы. Выделяются и локализуются в основном гравитационные ловушки, благоприятные для выявления россыпей и россыпепроявлений алмазов. Подобная схема применима и на этапе минералогического районирования до уровня минералогического участка.

*Коренная схема.* Интерпретацию следует проводить на этапе выделения и разбраковки ореолов. Она ведется на количественной основе путем расчета весовой доли ИМК в весе ТФ в наиболее представительных гранулометрических классах ( $-0,5$  и  $+0,5-1,0$ ) с последующей разnosкой значений на планы и выделением по ним аномальных участков. При этом автоматически устраняется большая часть ошибок и погрешностей метода в технологической цепочке отбор–промывка (обработка), поскольку при достаточно представительных пробах соотношение веса ТФ и ИМК в основном будет сохраняться независимо от потерь.

Дальнейшая идентификация выделенных контрастных и локальных ореолов (минералогических

аномалий) осуществляется с учетом разнообразия ассоциации ИМК, гранулометрического состава, износа и сохранности зерен минералов, химического состава. При этом из-за разнообразия ИМК в кимберлитах, обусловленного вещественным составом, постмагматическими изменениями, а также гипергенными процессами в промежуточных коллекторах, идентификационные параметры ИМК в различных участках могут различаться, что в свою очередь требует индивидуального подхода к их интерпретации. Стабильным и устойчивым признаком остается только предлагаемый параметр весовой доли ИМК в ТФ.

Для того чтобы не занизить перспективность ореола, при расчетах доли ИМК в весе ТФ необходимо из веса последней исключать аутигенные минералы и техногенную примесь, которые не имеют никакой связи с формированием ореола.

В дальнейшем гравитационные ловушки должны оцениваться на россыпи алмазов, а минералогические ореолы по характеристике сохранности и гранулометрического спектра ИМК — разбраковываться на первичные и вторичные.

Последующая работа с первичными ореолами заключается в разделении их на перспективные и неперспективные, т.е. образованные за счет кимберлитовых тел промышленного и непромышленного типов. Данная оценка возможна путем сопоставления характеристик ореола (интенсивности, площади распространения, минеральной ассоциации ИМК и их химического состава) с комплексными моделями ореолов от коренных источников с различной минералогической продуктивностью.

Параметры прогнозируемых коренных источников, выраженные в площади сечения кимберлитовой трубки на уровне эрозионного среза, можно определить по аналогии с известными телами и их ореолами для данного алмазоносного района через интенсивность ореола, минералогическую продуктивность и среднее содержание ИМК в кимберлите. Для примера в табл. 1 приведены основные характеристики ореолов от некоторых кимберлитовых тел юга Якутской алмазоносной провинции. Отчетливо просматривается зависимость интенсивности и размера ореола от минералогической продуктивности создающего его коренного источника, а соответственно, и размера его на поверхности. Заметим, что ореолы от малых тел в непосредственной близости от трубки практически не улавливаются сетью горных выработок даже  $100 \times 100$  м, поскольку головка ореола (потока) весьма узка. Так, у тела 6 при более детальном рассмотрении ширина струи выноса ИМК у трубки составляет всего 18 м. Для тела 2 при закономерном снижении весовой доли

### 1. Основные характеристики ореолов от некоторых кимберлитовых тел юга Якутской алмазоносной провинции

Параметры		Кимберлитовые тела						
		1	2	3	4	5	6	
Кимберлитовые трубки	Площадь сечения, м <sup>2</sup>	123 000	12 100	16 000	13 800	4000	1400	
	Среднее содержание ИМК (р <sub>0</sub> +р <sub>1</sub> ), вес. %	1,88	0,29	0,78	1,79	0,25	0,29	
	Минералогическая продуктивность, вес. %·м <sup>2</sup>	231 240	3509	12 480	24 702	1000	406	
Ореолы от кимберлитовых трубок	Максимальное количество ИМК в пробе объемом 10 л на удалении от трубки в км	До 0,5	Н.д.	197	44 292	1393	117	—
		0,5–1	»	93	47 300	25 445	462	72
		1–2	54 802	1060	1687	495	203	—
		2–3	1654	Е.зн.	929	47	36	
		3–4	2002		42	19	96	
		4–5	1619		Е.зн.	11	Е.зн.	
		5–6	246		»	Е.зн.		
		6–7	747		»	»		
		7–8	137		»	»		
		8–9	70		»	»		
	9–10	170		»	»			
	Максимальная весовая доля ИМК в ТФ (мг/г) на удалении от трубки в км	До 0,5	Н.д.	112	977	742	7	—
		0,5–1	»	58	303	990	16	23
		1–2	950	60	356	162	35	—
		2–3	748	<4	52	284	7	
		3–4	567		21	16	4	
		4–5	539		4	8	<2	
		5–6	174		8	8		
		6–7	278		4	4		
		7–8	25		2	2		
8–9		39		<1	1			
9–10	64		<1	<1				

Примечание. Н.д. — данные отсутствуют; Е.зн. — единичные знаки.

ИМК в ТФ по мере удаления на расстояние 1–2 км происходит резкое увеличение количества ИМК в объеме породы. Такое соотношение характеризует именно гравитационную ловушку, к которой приурочена здесь россыпь алмазов.

Выделив ореол и определившись с размерами его коренного источника, необходимо выяснить, может ли данный объект представлять практическую ценность для горнодобывающего предприятия. Для этого следует вычислить параметры, в частности, размеры минимально-промышленного (минимально рентабельного) кимберлитового тела для данного района.

Размеры объекта рассчитываются для каждого конкретного поискового участка и напрямую зависят от удаления горнообогатительного комбината, мощности вскрыши, ожидаемого содержания и стоимости алмазов. В качестве примера изменчивости параметров от этих условий приводятся размеры мини-

мально-промышленных высоко- и среднеалмазоносных кимберлитовых тел для одного из районов Якутской алмазоносной провинции в экономических условиях 80-х годов XX в. (табл. 2, 3).

Далее по алмазам из промежуточного коллектора в пределах ореола ИМК определяют степень алмазоносности прогнозируемого коренного источника. На основе комплексных минералогических исследований алмазов выделены пять типов первоисточников [4, 5], характеризующихся набором определенных морфогенетических их разновидностей.

1. Кимберлитовый высокоалмазоносный с резким преобладанием алмазов I разновидности по Ю.Л.Орлову [6], представленных ламинарными кристаллами октаэдрического, ромбододекаэдрического и переходного между ними габитусов и образующих непрерывный ряд, а также присутствием алмазов с оболочкой IV разновидности, серых кубов III разновидности и поликристаллических агре-



## 2. Диаметр минимально-промышленного среднеалмазного кимберлитового тела для одного из районов Якутской алмазодобывающей провинции, м

Мощность вскрыши, м	Удаление в км (среднее)														
	0-10 (7,5)	10-20 (15)	20-30 (25)	30-40 (35)	40-50 (45)	50-60 (55)	60-70 (65)	70-80 (75)	80-90 (85)	90-100 (95)	100-110 (105)	110-120 (115)	120-130 (125)	130-140 (135)	140-150 (145)
0	100	105	111	116	123	130	138	144	152	159	167	178	188	202	221
20	125	130	137	144	152	160	168	179	189	202	214	226	239	250	262
40	156	162	170	181	191	204	217	229	240	253	267	284	299	315	330
60	199	209	222	233	244	257	272	298	301	320	339	357	377	402	442
80	250	260	275	290	303	323	341	358	381	404	425	453	478	500	523
100	292	327	347	366	387	410	430	457	481	502	530	555	585	616	648
120	401	416	438	462	484	510	533	560	595	625	658	703	742	785	828
140	500	520	540	568	602	636	669	712	751	795	838	885	925	980	1040
150	549	568	607	636	664	713	751	790	838	886	934	982	1030	1088	1156

## 3. Диаметр минимально-промышленного высокоалмазного кимберлитового тела для одного из районов Якутской алмазодобывающей провинции, м

Мощность вскрыши, м	Удаление в км (среднее)														
	0-10 (7,5)	10-20 (15)	20-30 (25)	30-40 (35)	40-50 (45)	50-60 (55)	60-70 (65)	70-80 (75)	80-90 (85)	90-100 (95)	100-110 (105)	110-120 (115)	120-130 (125)	130-140 (135)	140-150 (145)
0	23	24	26	27	28	30	32	34	35	37	39	42	44	47	50
20	29	30	32	34	35	37	39	42	44	47	50	52	55	58	61
40	36	37	40	42	45	48	51	53	56	59	62	66	69	73	77
60	46	49	52	54	57	60	63	67	70	74	79	83	88	94	99
80	58	60	64	68	71	75	79	84	88	94	99	105	109	116	121
100	73	76	81	85	90	95	100	106	112	117	123	129	136	143	151
120	94	96	101	108	112	119	124	130	138	146	153	164	172	181	193
140	112	121	125	133	139	148	157	166	175	185	195	206	216	228	242
150	128	132	141	148	155	166	175	184	195	206	217	228	240	253	269

гатов VIII–IX разновидностей. По соотношению габитусов, морфогенетических типов кристаллов и разновидностей среди алмазов I-го типа первоисточника можно выделить ряд ассоциаций кристаллов по названию районов или отдельных фаз кимберлитового магматизма в их пределах.

2. Кимберлитовый убогалмазоносный с преобладанием додекаэдров с шагренью и полосами пластической деформации жильного типа и типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа с присутствием бесцветных кубовидов I разновидности.

3. Метаморфогенный с алмазами II разновидности.

4. Невыясненного генезиса; характерен для россыпей северо-восточной части Сибирской платформы, коренные источники которых до настоящего времени не обнаружены. Кристаллы представлены графитизированными ромбододекаэдрами V разновидности, сложными двойниками и сростками додекаэдров VII разновидности с легким ( $\delta^{13}\text{C}=-23\%$ ) изотопным составом углерода, равномерно окрашенными кубоидами II разновидности с промежуточным ( $\delta^{13}\text{C}=-13,60\%$ ) изотопным составом углерода, образующими ассоциацию эбеляхского (нижнеленского) типа.

5. Импактный из поликристаллов алмаза типа карбонадо с примесью гексагональной модификации углерода — лонсдейлита (якутит) [7].

Всесторонне изучив алмазы из исследуемого ореола и определив тип источника, можно уже на уровне поисковых работ предварительно получить сведения о степени алмазоносности предполагаемого коренного тела, качестве и цене алмазного сырья, а учитывая данные по параметрам, приведенные в табл. 1, оценить предполагаемые запасы.

Для косвенной оценки степени алмазоносности можно использовать результаты анализа ассоциации ИМК, наличие минералов-спутников ал-

мазов. Однако этот критерий по ряду причин менее надежен, чем первый — по алмазам.

По степени алмазоносности искомого объекта, размерам минимально-промышленного тела и параметрам прогнозируемого по ореолу источника ореол либо отбраковывается, либо делается попытка выделить узлокальный перспективный участок с возможной кимберлитовой трубкой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Антипин И.И.* Совершенствование методических приемов обнаружения и локализации ореолов индикаторных минералов при поисках погребенных кимберлитовых тел. Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. – Мирный, 1998.
2. *Антипин И.И., Антипин И.Ив.* Структура поисков месторождений алмазов с применением шлихоминералогического метода // Геология алмазов — настоящее и будущее. Воронеж, 2005. С. 1318–1330.
3. *Антипин И.И., Антипин И.Ив., Погребня В.В.* К проблеме методики шлихоминералогических поисков полезных ископаемых на закрытых территориях // Матлы Международной конференции 14–18 октября 2002 г. «Проблемы геодинамики и минерации Восточно-Европейской платформы». Воронеж, 2002. С. 124–127.
4. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Борис Е.И.* Среднемасштабное районирование территории Центрально-Сибирской алмазоносной субпровинции по типоморфным особенностям алмазов // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. Воронеж, 2001. С. 337–357.
5. *Коптиль В.И.* Типоморфизм алмазов северо-востока Сибирской платформы в связи с проблемой прогнозирования и поисков алмазных месторождений: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. – Новосибирск, 1994.
6. *Орлов Ю.Л.* Минералогия алмаза. 2-е изд. – М.: Наука, 1984.
7. *Типоморфизм алмазов из кимберлитовых тел и россыпей Сибирской платформы по данным их комплексного исследования как один из критериев регионального и локального прогноза / В.И.Коптиль, Ю.М.Биленко, В.П.Жихарева и др. // Основные направления повышения эффективности и качества геологоразведочных работ на алмазы. Тез. докл. VI Всесоюз. совещания. Иркутск, 1990. С. 289–291.*

УДК 553.8+551.243.6

© Коллектив авторов, 2006

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ СТРУКТУР, КОНТРОЛИРУЮЩИХ АЛМАЗОНОСНЫЕ КИМБЕРЛИТЫ НАКЫНСКОГО ПОЛЯ ЯКУТИИ

П.А.Игнатов, К.Ю.Бушков, Я.И.Штейн (РГГРУ), А.В.Толстов, Ю.Т.Яныгин (Ботуобинская ГРЭ АК «АЛРОСА»)

Закономерности пространственного положения кимберлитов рассмотрены по отношению к крупным структурам — кратонам, рифтам, зонам крупных разломов. Изучение кимберлитовмещающих структур проводилось по керну скважин в Накынском алмазоносном поле. Особенностью фактического материала, используемого авторами, является систематический анализ признаков тектонических нарушений, фиксируемых по авторской специализированной документации керна в центральной части Накынского поля. Выводы о генетической связи тектонических нарушений и ассоциирующей с ними минерализации сделаны на основе детальных наблюдений в пределах Ботуобинского, Нюрбинского месторождений и Мархинского рудопроявления. Выявлены признаки кимберлитовмещающих структур в м-бе 1:2000, проанализировано пространственное их положение по площади центральной части Накынского поля в м-бах 1:10 000 и 1:50 000.

Тектонические нарушения (трещины и собственно разломы) устанавливаются по серии деформаций седиментационных текстур осадочных пород. Они представлены разными по генезису и интенсивности структурами: кливажные трещины; зеркала скольжения; микросбросы и микровзбросы с амплитудами от миллиметров до первых сантиметров и крутыми углами падения; серии смещений с амплитудами до дециметров и первых метров; тектонические брекчии; зоны расланцевания; иногда милониты мощностью дециметры и первые метры. Встречаются субпослойные плоскости зеркал скольжения, подвороты слоев, мелкие опрокинутые и S-образные складки волочения с амплитудами до первых дециметров, которые фиксируют межслоевые сдвиги. В керне наблюдаются также нарушения нормального субгоризонтального залегания пластов в виде более крутых их падений до 10–15°, что интерпретируется как признаки флексур с амплитудами до первых метров. Они связаны

с пластичными пластами мергелей и приурочены к малоамплитудным сбросам.

Отмеченные нарушения, сближенные в пределах первых десятков метров, группируются в линейные зоны. Их порядок устанавливается по мощности, интенсивности проявлений и протяженности. По данным бурения ширина влияния разломов, вмещающих дайки долеритов, достигает 400–600 м, протяженность — километров. Мелкие разломы представлены единичными тектоническими швами мощностью первые десятки метров и прослеживаются на сотни метров. Все разломы имеют кулисное строение, что устанавливается по раздувам и пережикам мощностей указанных тектонических нарушений. Во многих местах они отчетливо совпадают с крупномасштабными магнитными и сейсмическими (высокочастотное зондирование) аномалиями. На ряде участков признаки тектонических нарушений фиксируются исключительно по данным документации керна. Так различаются явные и скрытые нарушения.

Среди локальных тектонических нарушений выделены две группы, сформированные в условиях горизонтального растяжения и сжатия. Они близки к однотипным деформациям, описанным ранее [6, 12, 13, 15]. К раздвиговым нарушениям первой группы относятся сбросы с амплитудами от дециметров до 20–30 м, зафиксированные в стенках карьеров и установленные в геологических профилях. Они сопровождаются: ступенчатыми зеркалами скольжения с крутопадающими плоскостями и бороздами; микросбросами, плоскости которых часто выполнены кальцитом; флексурами, крылья которых прослежены на протяжении первых метров; тектоническими брекчиями карбонатных пород с кальцитовым, включая друзовые выделения, цементом; зонами тектонической трещиноватости, выполненными кальцитом, доломитом, пиритом или гипсом. Предполагается, что сбросовые деформации преобладали во время регионального гори-

зонтального растяжения при раскрытии раздвигов Виллойско-Мархинской глубинной зоны и внедрении девонских силлов и даек долеритов. Дайковые тела среднепалеозойских траппов фиксируют осевые зоны нарушений этого типа и отчетливо картируются по магнитометрии. В центральной части Накынского поля они сформировали каркас северо-восточных и субмеридиональных северо-западных разломов (Северный, Южный, Ботуобинский, Дьяхтарский, Западный, Восточный), отражающих узел пересечения Виллойско-Мархинской и Средне-Мархинской зон глубокого заложения.

Нарушения, обусловленные горизонтальным сжатием, включают взбросовые, сдвиговые и складчатые деформации, в том числе взбросы и сдвиги с амплитудами в первые метры, которые устанавливаются при документации карьеров кимберлитовых трубок. При изучении керна устанавливаются микродеформации и новообразования — опрокинутые антиклинальные складки и S-образные складки волочения; субвертикальные и межпластовые зеркала скольжения с горизонтальной ориентировкой борозд, милониты; нитевидные субвертикальные прожилки и их субпластовые микрораздувы, выполненные кальцитом, пиритом, реже целестином, баритом, доломитом или гидрослюдой; субпослойные метазернистые и клиновидно-зубчатые прожилковые выделения пирита; субвертикальные сутуро-стилолитовые швы; участки интенсивной перекристаллизации карбонатных пород; зонки микроразвальцевания оолитов. Основные деформации горизонтального сжатия, очевидно, сопровождали становление кимберлитов, эксплозивных брекчий базальтоидов и других флюидизитов. Это обосновано приуроченностью сдвиговых деформаций к зоне Диагонального разлома, контролирующего тела кимберлитов Накынского поля; выполнением кимберлитовыми жилами плоскостей микровзбросов; директивными текстурами обломков кимберлитовых брекчий, расположенных параллельно их тектоническим контактам; параллельной тектоническому контакту флюидалностью в порфириновых кимберлитах. Для Накынского поля этот этап определен как поздний девон — ранний карбон [14].

Независимыми признаками разломов являются линейные формы древнего карста. Они развиваются в зонах сближенных тектонических швов и слагают в плане более широкие полосы. Карстовые образования перекрыты юрской толщей и представлены различными элювиальными, делювиальными и флювиальными отложениями. Связь древних карстовых образований с разломами устанавливается по следующим фактам. В каждом из вскрытых раз-

резов с крупными карстовыми полостями наблюдаются те или иные признаки разломов. В крупных обломках, выполняющих карстовые полости, обычно можно найти прожилки кальцита, реже кливажные тектонические трещины. В коренных породах основания карстовых полостей, как правило, отмечается тектонический кливаж, затрагивающий крепкие сгустковые или оолитовые известняки. В плане хорошо согласуются позиции крупных карстовых полостей и провалов и тектонических швов.

Минералого-геохимические признаки разломов Накынского поля отражены в закономерном размещении ореолов вторичного пирита, барита, целестина и кальцитов, обладающих красной фотолюминесценцией. Повышенное количество кальцитовых прожилков отмечается в экзоконтактах даек и силлов базитов, щелочных базитов, иногда наблюдается метазернистая кальцитизация по массе породы. Об участии глубинных газов, прорыв которых сопровождал формирование кимберлитов, в проявлении кальцитовой минерализации свидетельствуют следующие факты. Часть кальцитовых прожилков встречается в ассоциации с такими же тектоническими нарушениями, что и жилы, и прожилки кимберлитов, распределяясь вдоль плоскостей микровзбросов и сдвиговых нарушений. На Мархинском рудопроявлении кальцитовые прожилки «заполняют» ортогональную систему сдвиговых нарушений, контролирующих кимберлиты. Наблюдалось ответвление кальцитовых прожилков от жил порфириновых кимберлитов и кимберлитовых брекчий. В экзоконтактах трубок Ботуобинская и Нюрбинская обнаружено повышенное количество кальцитовых прожилков и жезд. Подобная кальцитизация ранее описана в околотрубочном пространстве кимберлитовых месторождений Мирнинского и Далдыно-Алакинского полей [10]. Таким образом, кальцитовая минерализация связана с девонским этапом тектономагматической активизации. Имеющиеся материалы указывают на ее полигенность и полихронность.

Исследованы люминесцентные особенности кальцитов. Известно, что фотолюминесценция (ФЛ) карбонатов является их типоморфным признаком; для многих цветов ФЛ кальцитов определены ионы-люминогены, отвечающие за ФЛ данного типа [2]. По ФЛ во внешне гомогенных кальцитовых прожилках устанавливается до пяти различно люминесцирующих генераций. Наблюдаются красные, оранжевые, желтые, голубые, белые и фиолетовые цвета ФЛ. Часто встречается красная, оранжевая, желтая, белая фосфоресценция кальцитов длительностью до 3–4 с.

Как правило, красная фотолюминесценция

кальцитов связывается с изоморфной примесью  $Mn^{2+}$  [1]. На основании данных изучения типоморфных особенностей кальцитов из различных образований (от осадочных кальцитов марганцевых месторождений до гидротермальных и карбонатитовых) можно выявить причины, влияющие на изоморфное вхождение марганца в структуру кальцита. Первые три (повышенные температуры минералообразования, флюидное, литостатическое или тектоническое давление и активность марганца в растворе) априори равновероятны, четвертая (автоколебательные процессы самоорганизующихся систем) носит гипотетический характер.

При однородном геологическом строении кальцитовая минерализация с повышенной примесью двухвалентного марганца в любом случае должна быть связана со скрытыми тектоническими нарушениями, по которым разгружались горячие флюиды или глубинные рассолы. Изучение составов кальцитов с различными цветами ФЛ по однородно люминесцирующим монофракциям и зональным прожилкам с применением методов ЭПР-спектроскопии, рентгенорадиометрического анализа показало, что кальциты с красной ФЛ отличаются повышенным содержанием ионов  $Mn^{2+}$ . Различные концентрации железа — элемента-гасителя фотолуминесценции [2, 11] — не оказывают влияния на интенсивность последней.

Детальное картирование в м-бах 1:2000–1:10 000 показывает, что кальциты с красной ФЛ фиксируются в экзоконтакте даек долеритов и кимберлитов. Также наблюдается хорошее пространственное совпадение ореолов кальцитов с красной ФЛ со структурными узлами, вмещающими кимберлиты и тела щелочных базитов, скрытыми сдвиговыми структурами.

Результаты изучения флюидных включений в кальците и целестине в сростках с кальцитом (лаборатория ИГЕМ РАН, аналитик Л.А.Дорожкина) показали, что флюид был гетерогенным, состоящим из раствора и углекислотного флюида. Присутствие сингенетичных водно-солевых и азотно-углекислотных включений позволило рассчитать давление по методу Калюжного по пересечению изотерм, определяемых температурой гомогенизации водно-солевых включений, и изохор, построенных по плотности (или молярному объему) включений азотно-углекислотного флюида. Для кальцитов из сдвиговых нарушений, в том числе и из Диагонального разлома, получены высокие температуры гомогенизации, в среднем 270–300°C. По этим данным выделяются три типа растворов: низкоминерализованные хлоридно-натриевые и хлоридно-магниево-натриевые и рассольные.

В кальцитах с красной и оранжевой ФЛ, содержащих марганец  $>1500$  г/т и  $Mn^{2+} >40 \cdot 10^{17}$  сп/гр, чаще встречаются относительно высокие значения  $\delta^{13}C$  (–3,5, –2,0, –2,8, –3,0 ‰) и  $\delta^{18}O$  (17,7, 16,7, 16,6 и 16,3‰) по сравнению с кальцитами с другой ФЛ. Такие изотопные тренды прежде всего следует связывать с более высокобарическими условиями образования этих кальцитов. В меньшей мере они фиксируют изменения температурного режима, поскольку изотопный состав кислорода варьирует незначительно и, более того, растет для кальцитов с красно-оранжевыми цветами ФЛ. Кроме того, выявленные вариации  $\delta^{13}C$  и  $\delta^{18}O$  можно объяснить участием в минералообразовании различных газов и воды. Кальциты с фиолетовой ФЛ, характерной для органического вещества, отличаются легким изотопным составом углерода. Особо легкий изотопный состав углерода ( $\delta^{13}C = -28,1$  и  $-16,7$ ‰) зафиксирован в пробах с сине-фиолетовой и зеленоватой бело-голубой ФЛ соответственно, что указывает на участие в минералообразовании органического вещества.

Только для вторичных кальцитов из зоны Диагонального разлома и околотрубочного пространства характерны кальциты с голубой ФЛ. Голубая ФЛ связывается с примесью  $Eu^{2+}$ , которая считается репером мантийных образований [11].

Как показано выше, внешне однородная кальцитовая минерализация палеозойского этапа полистадийна. Установлены различные источники  $CO_2$  и вод, участвовавших в минералообразовании. Кальцитовая минерализация кимберлитовмещающих и кимберлитоконтролирующих сдвиговых нарушений имеет качественные геохимические особенности.

В пределах центральной части Накынского поля выявлены своеобразные доломитовые, кальцит-доломитовые прожилки, содержащие подчиненное количество оскольчатых кварцевых зерен, алюмосиликатного вещества, иногда листочков хлорита, обломочки микрокварцитов и вулканического стекла. Наличие микрообломков вулканического стекла с вкрапленниками плагиоклаза и директивное расположение остроугольных кварцевых зерен параллельно контактам прожилков позволили отнести данные образования к флюидизитам, т.е. к интрузивным туфам.

Макроскопически данные образования представлены зелеными и грязно-зелеными прожилками мощностью от первых миллиметров до 1 см. О возможной парагенетической связи флюидизитовых прожилков с кимберлитами могут свидетельствовать их взаимопереходы. Так, в скв. Д-71 наблюдался прожилок кимберлита, который на протяжении

полуметра выклинивался вверх. В нижней его части в карбонатизированном цементе отмечались листочки флогопита и очень мелкие зерна пиропса, в верхней — прожилки были неотличимы от кальцит-доломитового агрегата флюидизита. Подобные прожилки флюидизитов, ответвляющиеся от кимберлитов, фиксировались на Нюрбинском и Ботуобинском месторождениях. Они часто встречаются в ассоциации со взбросовыми и сдвиговыми тектоническими нарушениями, как и прожилки кимберлитов. Прожилки, как правило, развиты в пределах структурных узлов размером  $700 \times 1800$  м, которые вмещают кимберлиты и (или) брекчии щелочных базитов. В некоторых узлах прогнозируются не выявленные кимберлиты.

В карбонатных породах распространена пиритовая минерализация. Пирит из реликтов триас-юрской коры выветривания не рассматривается. Очевидно, он образовался из восстановительных вод юрского угленосного бассейна. Возраст основной пиритовой минерализации определен по частой ассоциации пиритовых прожилков с кальцитовыми. Иногда пирит — более ранний по отношению к кальцитовым прожилкам, иногда — более поздний. Ореолы пиритизации встречаются в экзоконтакте даек базитов, тел щелочных базитов и кимберлитов. На Мархинском рудопроявлении пиритовые прожилки и ореол пиритизации в целом укладываются в ортогональную систему нарушений (по Диагональному разлому и поперечным к нему нарушениям).

В основе расшифровки генезиса пиритов лежат данные о приуроченности пиритовой минерализации к определенным уровням в разрезе, контроле ее размещения литологическим составом пород. Пирит тяготеет к экранам более глинистых известняков и доломитов; метазернистые пириты формируют своеобразные текстуры типа колец Лизеганга. В пределах центральной части Накынского поля ореолы пиритизации распространены крайне неравномерно и прослеживаются в экзоконтакте эндогенных образований всех типов. Метазернистая пиритизация часто сопровождается флюидизитовыми прожилками. В шлифах наблюдаются коррозионные соотношения пирита с обломочными зернами кварца. На Мархинском и Ботуобинском месторождениях ореол прожилковой метазернистой пиритизации пространственно совпадает с ориентировкой кимберлитовмещающих сдвиговых нарушений. Тонкие прожилки и метазернистые пиритовые образования встречены в микронарушениях плоскости Диагонального разлома.

Выполненные изотопные исследования серы пиритов по Накынскому полю показали, что  $\delta^{34}\text{S}$

близки к нулю ( $-5 \dots +3\%$ ). Такие значения изотопов характерны для метеоритной серы, встречены в глубинных включениях в кимберлитах [4, 5], и приближаются к таковым в пробах вторичных пиритов из экзоконтакта трубки Ботуобинская (скв. В-32-22, глубина 158 м,  $\delta^{34}\text{S}=+5,8\%$ ), в дальнем околотрубочном пространстве той же диаграммы (скв. 523-439, глубина 155 м,  $\delta^{34}\text{S}=+7,1\%$ ). Важно отметить, что эта скважина расположена в оси рудоуправляющего Диагонального разлома.

Вышеизложенные факты позволяют предполагать, что пиритизация связана с диффузией сероводорода в ослабленных структурных узлах. В целом она отвечает палеозойскому этапу тектономагматической активизации.

Прожилки барита и целестина пространственно ассоциируют с участками сдвиговых деформаций. Они часто выполняют плоскости послонных зон дробления, ряд прожилков установлен в плоскости Диагонального разлома на Мархинском объекте, на фланге Ботуобинского месторождения, рядом с жилой порфировых кимберлитов в Диагональном разломе между Ботуобинским и Нюрбинским месторождениями, послонные кальцит-целестиновые прожилки — в экзоконтакте Нюрбинской диаграммы. Намечается несколько уровней распространения целестиновой минерализации в разрезе. Однако в пределах Диагонального разлома крутопадающие и субпослонные прожилки барита и целестина встречаются на меньших глубинах.

Изотопные составы стронция из проб целестина, отобранных вблизи Нюрбинской диаграммы из кимберлитовмещающих сдвиговых нарушений и на Ханнинской поисковой площади из послонных прожилков в сдвиговых нарушениях, идентичны ( $^{87}\text{S}/^{86}\text{Sr} 0,7089 \pm 0,0001$ ). Эти значения и резкое их возрастание по мере удаления от кимберлита ( $0,710-0,754$ ) существенно отличаются от таковых для карбонатных пород, вмещающих кимберлиты некоторых полей Якутии [8]. Отметим, что полученные значения являются промежуточными.

В целестине однофазные вакуоли имеют азот-углекислотный состав. Присутствие существенно газовых включений, сингенетичных двухфазным газ+раствор, указывает на то, что минералообразующая система временами была гетерогенной и состояла из водно-солевого и углекислотного флюидов. В первичных флюидных включениях температура плавления эвтектики варьирует в узком интервале  $-60,8 \dots -54,9^\circ\text{C}$ , что соответствует эвтектике водно-солевой системы  $\text{CaCl}_2\text{-NaCl-H}_2\text{O}$  (теоретическое значение  $-55,0^\circ\text{C}$ ). Следовательно, основной компонент раствора —  $\text{CaCl}_2$ , но возможно

присутствие других катионов. Концентрация раствора 20,2–20,5 мас.%, экв. NaCl. Поэтому растворы, участвующие в минералообразовании, относятся к высокосоленым. Изучение флюидных включений в целестинах и баритах из сдвиговых нарушений, в том числе из Диагонального разлома, позволило оценить температуры минералообразования в 200–430°C, а давление в некоторых случаях составляло 1560 бар. Учитывая небольшой (до 300 м), по данным БГРЭ, реконструированный эрозионный срез на момент внедрения кимберлитов, такие высокие *PT*-оценки объясняются не столько литостатическим, сколько тектоническим давлением. Картирование целестиновой минерализации в совокупности с анализом литогеохимических данных также показало ее пространственную связь со сдвиговыми структурами, вмещающими кимберлиты Накынского поля.

Приведенные изотопные соотношения, ассоциация целестина с баритом, результаты термобарогеохимических исследований и картирования указывают на происхождение целестина из глубинных коровых гидротермальных растворов, ассимилировавших часть формационных стронциеносных соленых вод и рассолов.

Главной особенностью строения Накынского поля является наличие скрытой протяженной структуры — Диагонального разлома, выделенного геологами БГРЭ. Разлом очень слабо выражен в геофизических полях и лишь намечается по данным высокочастотного зондирования и детальной магнитометрии. В его пределах локализованы Ботубинское, Нюрбинское и Мархинское месторождения.

На участке Мархинского месторождения детально изучены скважины наклонного бурения по Диагональному разлому. Это позволило ориентировать в пространстве выявленные признаки тектонических нарушений: падение и простирание поверхностей отдельных сместителей, контактов кимберлитовых жил, борозд скольжения в плоскости нарушений и минерализованных трещин. На рудопроявлении встречены все основные петрографические типы кимберлитов — порфиновые кимберлиты, автолитовые кимберлитовые и кимберлитовые брекчии. Дайково-жильная форма тела позволила получить более представительный разрез Диагонального разлома, чем на известных месторождениях. В этой связи структура Мархинского месторождения представляется ключевой для понимания механизма формирования главной рудовмещающей структуры поля.

В зоне Диагонального разлома установлены характерные особенности нарушений. В его пределах

широко распространены признаки сдвиговых нарушений, выраженные в многочисленных зеркалах скольжения с горизонтальным расположением борозд. Преобладают крутопадающие плоскости, однако отмечаются и послойные зеркала скольжения. По керну наклонных скважин устанавливается юго-восточное падение разлома под углом 85–87°, что подтверждается бурением «вилки» двух наклонных скважин. Зона нарушений имеет мощность 40–110 м, ее увеличению соответствует наибольшая мощность кимберлитовой дайки.

В пределах участка все нарушения укладываются в три системы: крутопадающие взбросо-сдвиговые и сбросо-сдвиговые нарушения с простиранием, как у Диагонального разлома; нормальные к нему крутопадающие и субпослойные сдвиговые северо-западные нарушения; весьма редкие сбросовые нарушения северо-восточного простирания, юго-западного падения, параллельные Дьяхтарскому разлому.

Кимберлиты часто имеют тектонические контакты с вмещающими породами, в них много зеркал скольжения с горизонтальным расположением борозд. Верхний контакт кимберлитов с вмещающими породами преимущественно тектонический, нижний — флюидоразрывной. В порфириновых кимберлитах наблюдается флюидальность, которая параллельна тектоническому контакту. В одном из пересечений порфиривого кимберлита отмечен слабо смещенный обломок с зонкой расщепления, аналогичной по ориентировке нарушению в экзоконтакте жилы кимберлитов. Распространение в этой части площади выдержанной маркирующей пачки ордовикских мергелей с текстурами варвов, биотурбаций и взмучивания в ее основании позволило провести уверенную корреляцию разрезов. По нарушениям залегания пачки составлена схема блоковой тектоники участка (рис. 1). Ориентировка разломов, ограничивающих блоки, показана с учетом наблюдаемых в керне простираний нарушений.

В некоторых наклонных скважинах по расположению борозд скольжения и вертикальным амплитудам сдвиговых нарушений реконструировано направление смещения блоков нарушений. В скв. Д-М-3 на глубине 182 м реконструировано правосдвиговое смещение по одному из тектонических швов Диагонального разлома. Нарушение — сбросо-сдвиговое, северный блок разрыва приподнят, а южный — сброшен. Данное наблюдение подтверждает установленные мелкоблоковые перемещения (см. рис. 1). По наблюдаемой вертикальной составляющей амплитуд сдвигов и сбросо-сдвигов, ориентировке сдвиговых борозд в плоскости крутопадающего нарушения (от 90 до 75° к оси керна) мож-

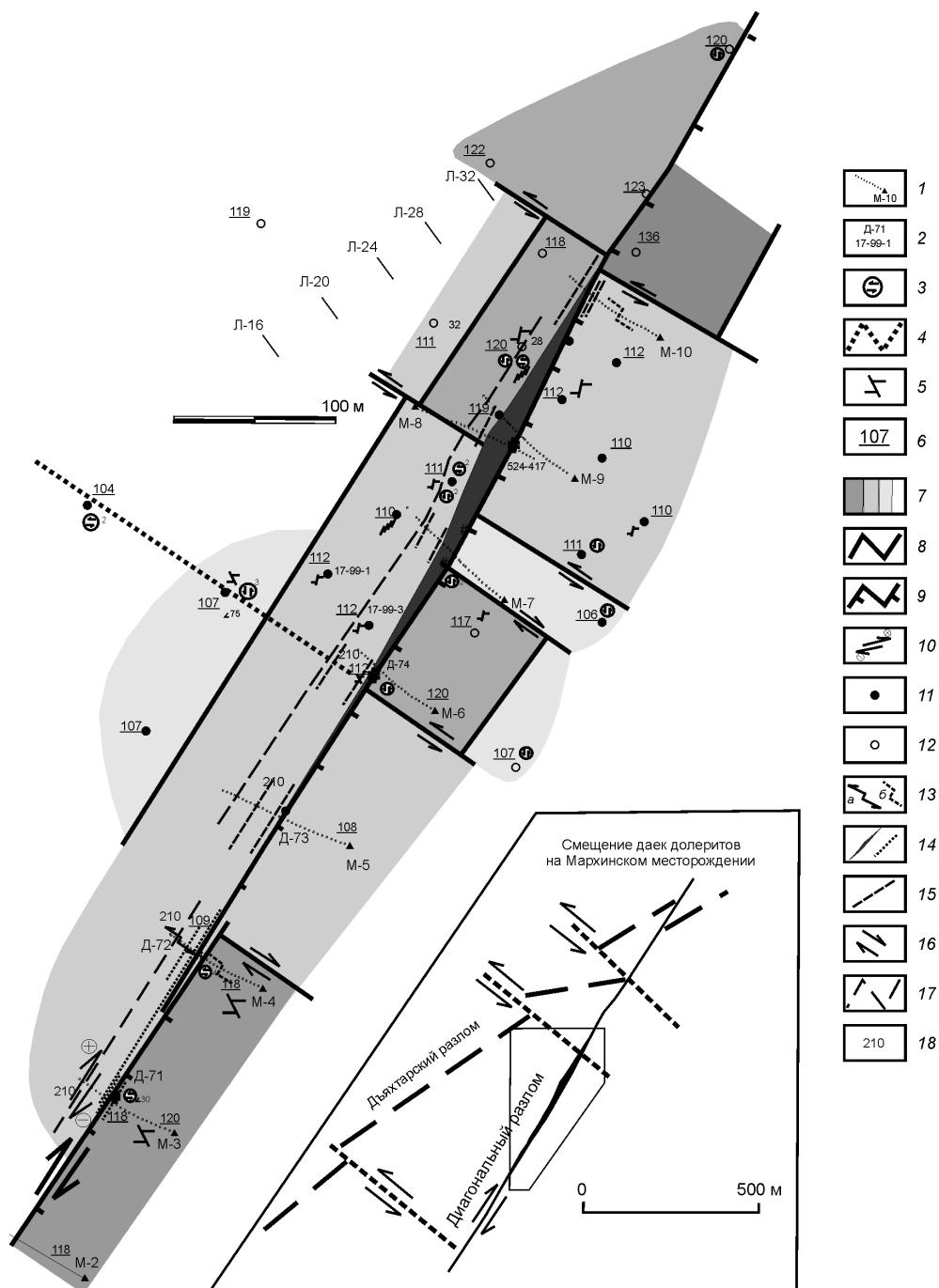
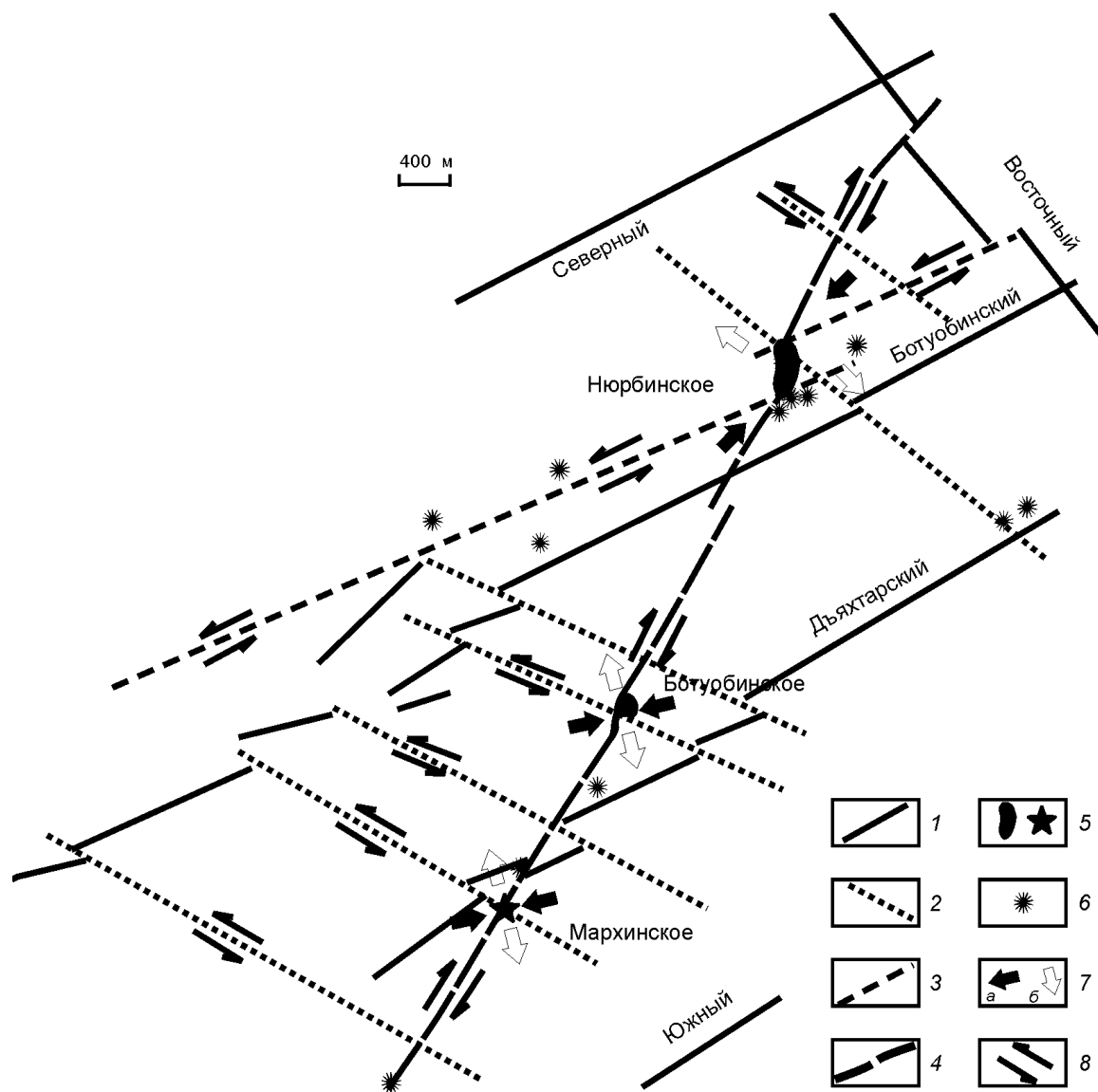


Рис. 1. Структурная схема Мархинского месторождения:

1 — наклонные скважины и их номера; 2 — вертикальные скважины и их номера; 3 — зеркала скольжения с горизонтальными бороздами (только в вертикальных скважинах); 4 — сдвиговые нарушения (только по керну); 5 — наклонные скважины с преобладанием взрывовых нарушений в плоскости Диагонального разлома; 6 — глубина залегания маркирующей пачки, м; 7 — блоки с различной глубиной залегания подошвы маркирующей пачки; 8 — разломы, ограничивающие блоки; 9 — основной шов Диагонального разлома (штрихи показывают его падение); 10 — фрагмент Диагонального разлома, на котором по керну установлено правое сбросо-сдвиговое смещение (знаки «+» и «-») — относительно приподнятые и опущенные блоки; 11 — вертикальные скважины с признаками обстановок сжатия (сутуро-стилолитовые швы, перекристаллизация пород); 12 — вертикальные скважины с признаками обстановок растяжения (карст, зияющие тектонические трещины); 13 — фрагмент северо-западного нарушения с левосдвиговой кинематикой (а) и сдвиговые северо-западные нарушения (б); 14 — кимберлитовая дайка и жилы; 15 — участки с признаками сдвиговых деформаций, нарушения, параллельные Диагональному разлому; 16 — предполагаемое смещение по сдвигам вдоль разломов, ограничивающих блоки; 17 — граница сдвиговой зоны Диагонального разлома; 18 — глубина залегания кровли глинистой пачки в разрезе верхнего кембрия





**Рис. 2. Кимберлитоконтролирующие сдвиговые структуры центральной части Накынского поля:**

1 — дайки Вилойско-Мархинской зоны разломов; 2 — поперечные кимберлитоконтролирующие сдвиги; 3 — продольные кимберлитоконтролирующие левые сдвиги; 4 — рудовмещающий Диагональный разлом, правый сдвиг; 5 — кимберлитовые тела; 6 — эксплозии щелочных базальтоидов; 7 — предполагаемое положение осей сжатия (а) и растяжения (б) в проекции на горизонтальную плоскость; 8 — предполагаемые смещения блоков разрывов

но оценить амплитуды горизонтальных смещений вдоль Диагонального разлома на Мархинском рудопроявлении. Они составляют от 20 до 110 м. В скв. Д-М-4 на глубине 178 м установлено левосдвиговое нарушение с северо-западным простираанием, нормальным по отношению к Диагональному разлому.

В зоне Диагонального разлома фиксируется резкая дифференциация разрезов скважин по степени карстования. В осевой части разлома карст отмечается до глубин 140 м, а на расстоянии в первые десятки метров от разлома встречаются практически не затронутые карстом разрезы.

Приведенные факты свидетельствуют о сдвиговом типе главной рудовмещающей структуры поля, которая была заложена до внедрения кимберлитового расплава. Сдвиговые деформации обычно развиваются в условиях сжатия, однако одновременно в пространстве могут существовать локальные обстановки растяжения.

На рассматриваемом участке Мархинского месторождения откартировано распределение структур сжатия и растяжения. К структурам обстановок сжатия отнесены: вертикальные и пологие сутуростилолитовые швы, формирующие в некоторых разрезах парастилолиты; уплотненные и перекристаллизованные известняки и доломиты, бескарстовые породы. К структурам обстановок растяжения отнесены сильно закарстованные породы и зияющие трещины в незакарстованных известняках и доломитах. Признаки растяжения пространственно совпали с относительно опущенными блоками в пределах структуры, а признаки сжатия — с взброшенными блоками. В пределах наиболее изученной части рудопроявления признаки сжатия и растяжения локализованы в двух секторах. Установленные правые микросбросо-сдвиги по Диагональному разлому хорошо согласуются с блоковой тектоникой участка, составленной по смещениям маркирующей поверхности. Это предполагает правосдвиговую кинематику смещений по Диагональному разлому. Таким образом, фактически наблюдаемые признаки обстановок сжатия и растяжения занимают закономерную позицию относительно сдвигов. Мелкоблоковая структура, выраженная чередованием приподнятых и опущенных блоков, вероятно, отражает изменения объема и образование полостей для внедрения кимберлитового расплава в условиях латерального сжатия.

Картирование признаков разрывных нарушений в центральной части Накынского поля на площади около 80 км<sup>2</sup> и в пределах участков месторождений позволило установить два типа тектонических нарушений. Сбросовые ассоциируют с

проявлениями траппового магматизма раннего этапа, сдвиговые и взбросовые — с поздними кимберлитами и эксплозиями щелочных базитов. Полосы с признаками сдвиговых деформаций пересекают и местами смещают дайки как Виллойско-Мархинской, так и Средне-Мархинской систем. Ранее отмечалось закономерное смещение магнитных аномалий, связанных с дайками, также интерпретировавшееся как проявление послетрапповых сдвигов [9].

Кимберлитовые жилы выполняют плоскости микровзбросов, микросдвиговых нарушений и сколовых трещин без смещения. На тектонических контактах кимберлитов развиты зеркала скольжения с горизонтальным расположением борозд (см. рис. 1). На участках Мархинского и Ботуобинского месторождений откартированы сдвиговые нарушения, нормальные к простираанию Диагонального разлома. В пределах этих поперечных зон, помимо отмеченных, наблюдаются проявления сдвигов — послонные и вертикальные зеркала скольжения, складки волочения.

На западном и восточном контактах Нюрбинской диатремы откартированы S-образные милонитовые швы. Учитывая тектонические контакты трубки, в том числе в карьере, этот факт интерпретируется как формирование Нюрбинского месторождения в зоне сдвиговых нарушений. Кроме того, в околотрубочном пространстве откартированы кулисообразные сдвиги, субпараллельные дайке долеритов, выполняющей Ботуобинский разлом. В карьере Нюрбинского месторождения в юго-западной части трубки во вмещающих породах наблюдались системы вертикальных трещин с горизонтальным расположением борозд скольжения простираанием 10–20 и 300–310°, соответствующим отмеченным сдвигам. Эти факты интерпретируются авторами как доказательство регионального сжатия при формировании месторождений Накынского поля. Разломы кимберлитового этапа формировались как структуры с высокой долей сдвиговой составляющей в кинематике.

Картирование признаков нарушений по керну скважин по равномерной сети от 40×40 до 400×400 м, а также анализ данных магниторазведки позволил составить схему сдвиговой тектоники центральной части Накынского поля (рис. 2). Структуры всех месторождений связаны с раскрытием рудовмещающей Диагональной структуры в результате пересечения сдвигами, нормальными и косыми к ее простираанию.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Велихова Н.А. Связь состава и некоторых физических

- свойств кальцита с условиями его образования: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. – М., 1973.
2. Горобец Б.С., Рогожин А.А. Спектры люминесценции минералов. Справочник. – М., 2001.
  3. Деформации кембрийских пород Мало-Ботуобинского района, вмещающих кимберлиты / П.А.Игнатов, В.А.Ивашин, В.И.Старостин и др. // Руды и металлы. 1997. № 2. С. 40–46.
  4. Илупин И.П., Ваганов В.И., Прокопчук Б.И. Кимберлиты. Справочник. – М.: Недра, 1990.
  5. Касьмова Ф.И. Геолого-геохимические условия образования алмаза по данным изучения термобарогеохимии минералов-индикаторов из кимберлитов Якутии: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. – М., 1994.
  6. Никитин Б.М. Деформации вмещающих пород при формировании кимберлитовых трубок // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1980. № 11. С. 41–49.
  7. Новые приемы оценки локальных площадей на коренные месторождения алмазов / П.А.Игнатов, Я.И.Штейн, С.Д.Черный и др. // Руды и металлы. 2001. № 5. С. 32–43.
  8. О систематике изотопов стронция в кимберлитах Якутии / С.Б.Брандт, Б.М.Владимиров, М.Н.Масловская и др. // Советская геология. 1982. № 1. С. 94–103.
  9. Перспективы выявления новых кимберлитовых тел в юго-восточной части Якутской алмазоносной провинции / И.И.Божевольный, А.В.Минаков, С.Д.Черный и др. // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов и других полезных ископаемых. Мирный, 1998. С. 235–237.
  10. Потыняк И.В., Мязь Н.И. О возможности применения метода декрепитации в практике поисков скрытых кимберлитовых тел // Минералогический сборник Львовского ГУ. 1979. № 32/2.
  11. Портнов А.М., Горобец Б.С. Люминогены — индикаторы режимов минералообразования в стратифицированной земной коре // Докл. АН СССР. 1981. Т. 261. № 2.
  12. Структурный контроль кимберлитовых тел Мало-Ботуобинского района / А.С.Гладков, Н.Н.Зинчук, С.И.Шерман и др. // Геология алмаза — настоящее и будущее (геологи к 50-летию юбилею г. Мирный и алмазодобывающей промышленности России). Воронеж, 2005.
  13. Тектонофизический подход к анализу структурного контроля алмазоносных кимберлитовых трубок (на примере трубки Айхал) / А.С.Гладков, К.Ж.Семинский, С.А.Борняков и др. // Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. Воронеж, 2003.
  14. Уточнение возраста кимберлитов Накынского поля / В.И.Шаталов, В.Т.Тарабукин, В.С.Болачев и др. // Отечественная геология. 1999. № 4. С. 3–4.
  15. Филиппов И.Д. Деформации сдвига в осадочном чехле северо-востока Сибирской платформы // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов и других полезных ископаемых. Мирный, 1998. С. 74–76.

УДК 553.81:553.061.12

© Коллектив авторов, 2006

## НОВАЯ КИМБЕРЛИТОВАЯ ТРУБКА ЗИМНЕБЕРЕЖНОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА

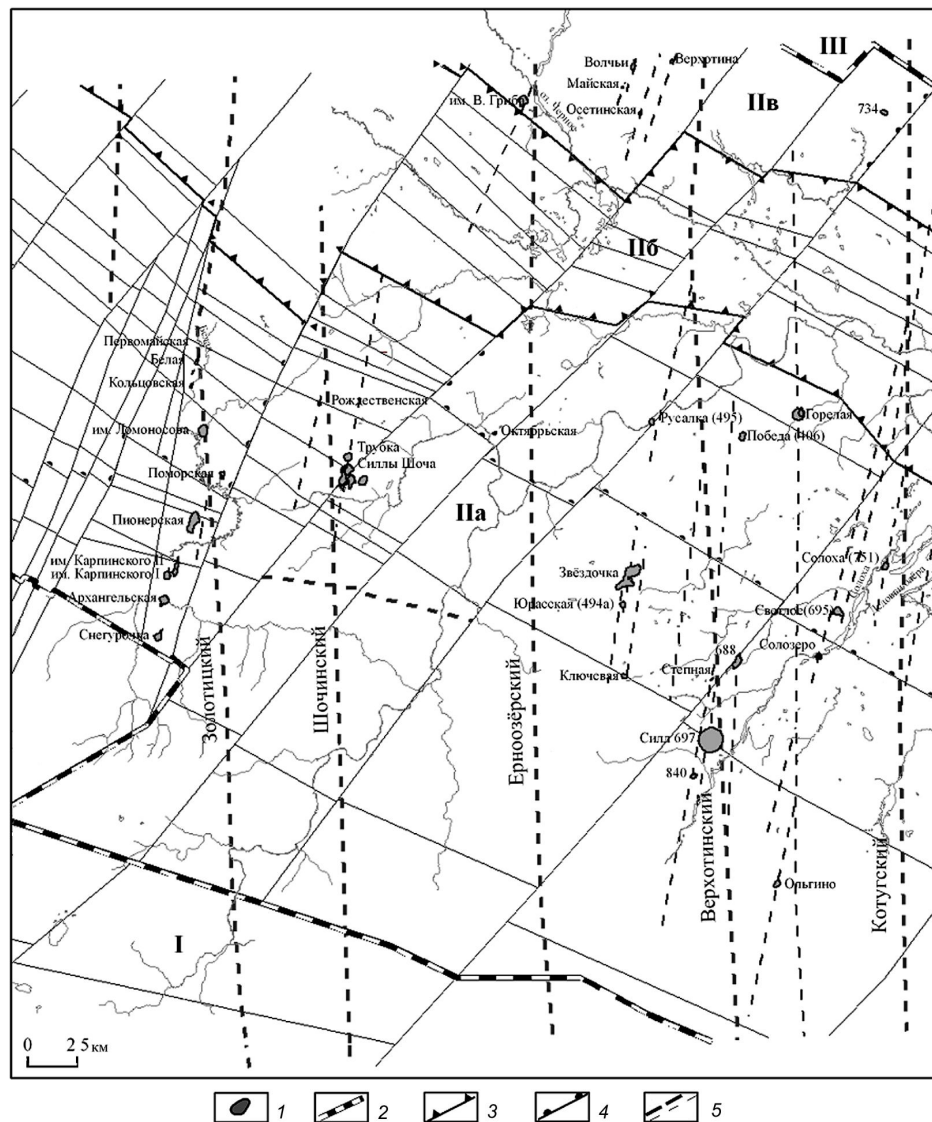
Г.В.Минченко, В.А.Ларченко («АЛРОСА-Поморье»), В.А.Первов, А.А.Носова (ИГЕМ РАН), А.П.Гунин, Т.Н.Маркова, С.Л.Бортник, Е.А.Андросов («АЛРОСА-Поморье»)

При поисковых работах в центре Зимнебережного алмазоносного района в северо-восточной части Верхнекепинской лицензионной площади, принадлежащей ОАО «Севералмаз», 6 января 2005 г. при заверке локальной магнитной аномалии 162 «АЛРОСА-Поморье» АК «АЛРОСА» была вскрыта новая кимберлитовая трубка, названная Рождественская. Она расположена на водоразделе рек Золотица и Шоча в 5,5 км северо-восточнее трубки им. Ломоносова одноименного месторождения.

Трубка Рождественская выявлена в результате

аэромагнитной съемки м-ба 1:10 000 на Падунской площади (Г.З.Гриневицкий, 1982) Зимнебережного алмазоносного района. Под наземную детализацию и заверочное бурение аномалия 162 выделена и рекомендована главным геофизиком геофизической партии «АЛРОСА-Поморье» АК «АЛРОСА» В.И.Сотниковым. Диагностику принадлежности керна к кимберлитам непосредственно на месте бурения скважины выполнил техник-геолог Зимнебережной партии О.В.Щелканов.

В структурном плане трубка локализуется в пределах Товского выступа архейского кристалли-



**Рис. 1. Тектоническая схема центральной части Зимнебережного алмазоносного района, по А.П.Гунину, 2005:**  
 1 — кимберлиты и родственные им породы; 2 — границы структур кристаллического фундамента постархейского заложения; I — Керещкий грабен, II — Зимнебережное поднятие, III — Мегорский грабен; 3 — границы структур кристаллического фундамента средне-, позднерифейского заложения (IIa — Товский выступ, IIб — Падунский грабен, IIв — Верхотинский выступ); 4 — границы ступеней выступов кристаллического фундамента; 5 — рудоконтролирующие долгоживущие разломы раннепротерозойского заложения, подновлявшиеся в герцинский тектономагматический цикл (а — достоверные, б — предполагаемые)

ческого фундамента (рис. 1) в центральной части Зимнебережного алмазоносного района. Она приурочена к Шочинской рудоконтролирующей субмеридиональной зоне разломов. В верхней части жерла трубка прорывает слабо литифицированные терригенные осадки падунской свиты верхнего венда–нижнего кембрия (?), представленные аргиллитами, алевролитами, алевропесчаниками, а также нижележащие породы мезенской и усть-пинежской свит верхнего венда — алевролиты, ар-

гиллиты, реже песчаники. Сверху она перекрыта терригенными, терригенно-карбонатными отложениями нижнего (визейский ярус) и среднего (московский ярус, урзугская свита) карбона и четвертичными осадками мощностью 71–74 м (рис. 2). Кратерная часть трубки эродирована, вскрыта только ее жерловая часть.

На основании прорыва рудовмещающей толщи и наличия перекрывающих отложений стратиграфический возраст трубки Рождественская опреде-

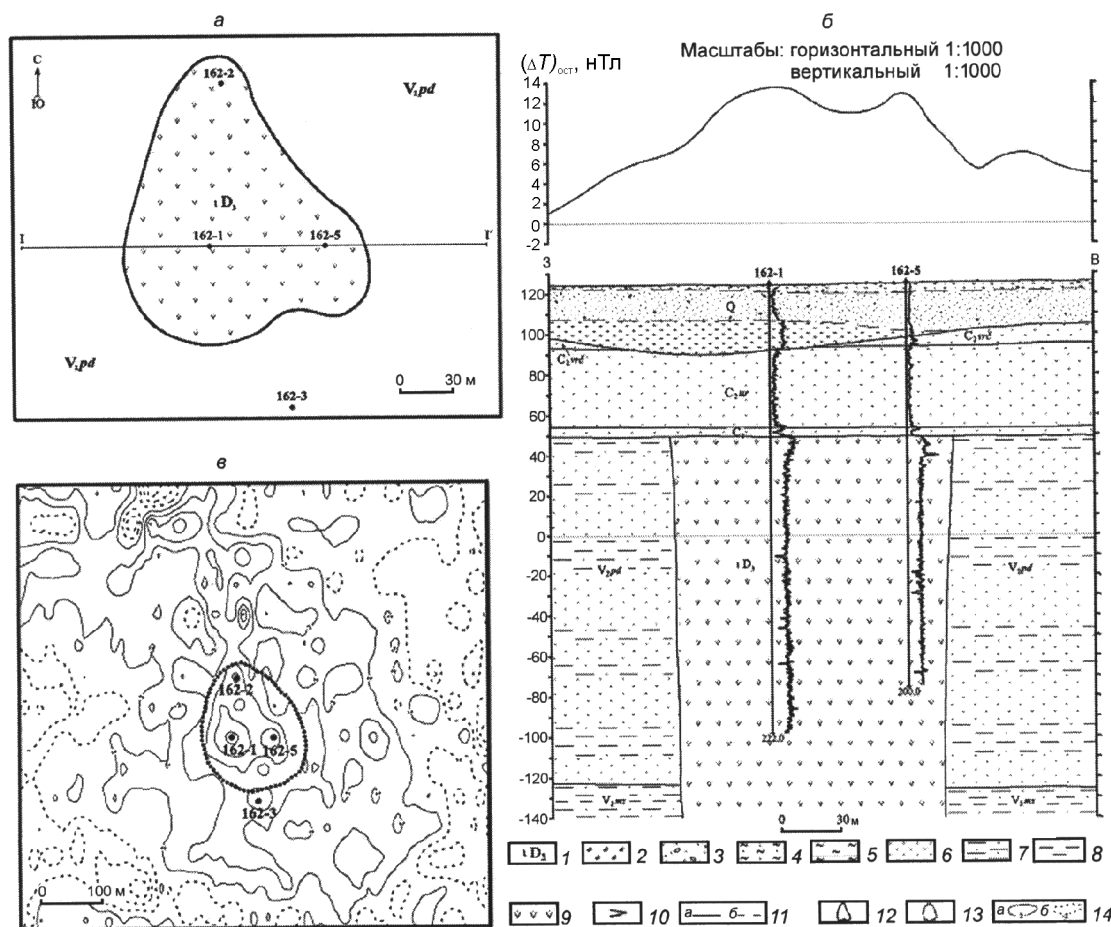


Рис. 2. Геологический план (а), разрез по линии I–I, трубки Рождественская (б), план изолиний магнитного поля (в), по А.П.Гуину, 2005:

Q — четвертичная система; каменноугольная система: C<sub>2</sub>urc — средний отдел, московский ярус, восреченская свита, C<sub>2</sub>ur — средний отдел, московский ярус, урзугская свита, C<sub>1</sub> — нижний отдел; вендская система, верхний отдел, котлинский горизонт: V<sub>2</sub>pd — падунская свита, V<sub>2</sub>mz — мезенская свита; D<sub>3</sub> — девонская система, верхний отдел; породы: 1 — кимберлиты жерловой фации, 2 — почвенно-растительный слой, 3 — пески с гравием и галькой, 4 — суглинки, 5 — глины, 6 — песчаники, 7 — алевролиты, 8 — аргиллиты, 9 — ксенотуфобрекчия; 10 — гамма-картаж интегральный; 11 — геологические границы на разрезе (а — стратиграфические, б — литологические); 12 — контур трубки; 13 — контур магнитовозмущающего объекта; 14 — изолинии магнитного поля (а — положительные, б — отрицательные)

ляется как постпоздневендский – раннекембрийский (?) – довизейский.

В плане под перекрывающимися породами по геофизическим данным и результатам заверочного бурения трубка имеет грушеобразную форму с доминирующим субмеридиональным удлинением. По всей видимости, такая форма обусловлена ее локализацией в зоне пересечения системы рудовмещающих разломов типа трещин отрыва и скола.

Размер трубки в плане на уровне эрозионного среза по данным бурения и наземных геофизических работ 179×160 м, площадь 1,8 га. Она относится к мелким по размеру телам, в пространстве имеет форму усеченного конуса с крутыми контактами (70–80°). Это подтверждается замерами крутопада-

ющих контактов в скв. 162-2, пройденной по границе кимберлитового тела с вмещающими породами. Поверхность трубки слабоогнута с пологим наклоном в южном направлении. В северной части абсолютная отметка поверхности пород трубки с отложениями перекрывающего комплекса составляет +54 м (скв. 162-2), в центральной — +49,6...+49,7 м (скв. 162-1, 162-5).

Трубка Рождественская имеет простое однофазное внутреннее строение. Кратерная ее часть полностью эродирована, жерловая — сложена столбом ксенотуфобрекчии, которая с глубины 142–148 м (скв. 162-2, 162-5) постепенно переходит в туфобрекчию.

По данным аэромагнитной съемки м-ба

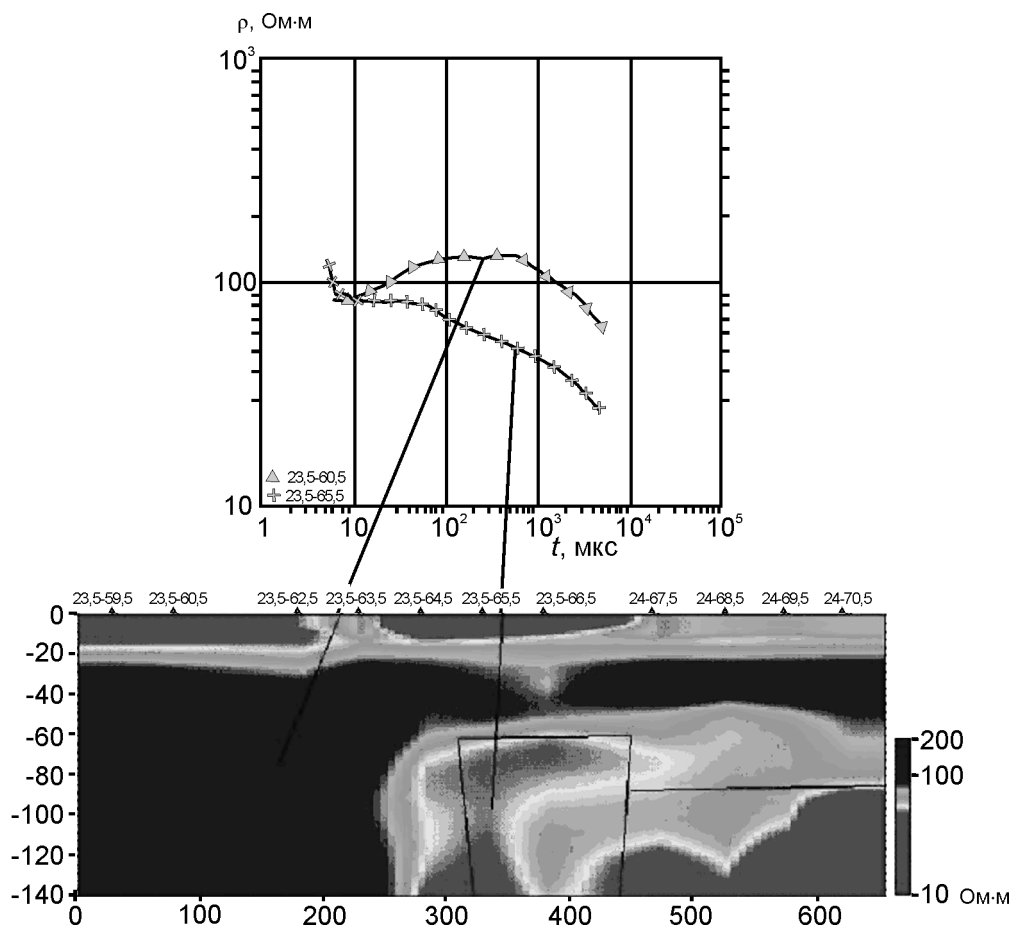


Рис. 3. Геоэлектрический разрез трубки Рождественская, по Ю.В.Короткову, 2005

1:10 000 трубке соответствует рядовая аэромагнитная аномалия № 162 интенсивностью до 6,5 нТл, размером 650×500 м, с северо-северо-восточной ориентацией длинной оси. По результатам аэроэлектрромагнитной съемки ДИП-А м-ба 1:25 000 над ней наблюдается совпадение электроразведочной аномалии с аэромагнитной, причем контур первой на порядок больше. Электроразведочная аномалия обусловлена как самой трубкой, так и фрагментом четвертичной палеодолины в северо-восточной части тела, на борту которой располагается трубка.

По результатам высокоточной аэромагнитной съемки м-ба 1:5000 не произошло существенного увеличения (в 2–3 раза) контрастности аномалии, обычно фиксируемого над слабомагнитными трубками (Первомайская, Белая) при переходе к детальным высокоточным съемкам.

По результатам наземных детализационных геофизических работ размеры аномалии составили 550×400 м, интенсивность магнитной аномалии в

эпицентре достигла 14 нТл (см. рис. 2).

По данным метода МПП TEM-FAST с петлей 50×50 м (рис. 3) трубка Рождественская прослеживается в виде проводника 40–50 Ом·м на фоне 100–150 Ом·м во вмещающих породах падунской свиты. Петлей 100×100 м ввиду малых параметров трубки фиксируется только зона рудовмещающего разлома западнее трубки, вытянутая в северо-северо-западном направлении, с сопротивлением порядка 80 Ом·м на фоне 150–200 Ом·м.

Геоэлектрический разрез-трансформация  $[\rho_k(h_k)]$  по одному из субширотных профилей проходит через эпицентр наземной магнитной аномалии (см. рис. 3). Данные результаты получены с использованием портативной аппаратуры TEM-FAST 48НРС. Обработка и интерпретация полевых материалов выполнялась с использованием специального программного пакета TEM-RESEARCHER. Хорошо видны западная граница тела с вмещающими породами в виде вертикаль-

ного проводника с разницей значений  $\rho_k$  в 3–4 раза и проводящая зона. Проводник, расположенный к востоку от тела, по всей видимости, образован за счет проникновения с глубин минерализованных вод по ослабленной зоне разлома. В площадном варианте на горизонтальных срезах хорошо фиксируется протяженная субмеридионально ориентированная зона.

Проводящие зоны, вытянутые по направлению разлома и имеющие низкие, иногда близкие к нулю значения кажущегося сопротивления, отмечаются у многих кимберлитовых трубок Зимнебережного алмазоносного района. Они различаются лишь разной интенсивностью проявления. В отличие от проводящих зон, образованных палеодолинами, данные зоны глубинного происхождения и не «оторваны» от проводящих горизонтов, связанных с мельскими отложениями, а на диэлектрических разрезах они выглядят значительными поднятиями относительно упомянутых горизонтов. Это хорошо видно на геоэлектрических разрезах, выполненных по профилям субширотного простирания с шагом наблюдения 100 м и размером петли 100×100 м.

По полученным результатам предлагаются следующие рекомендации по ведению электроразведочных работ в условиях Зимнебережного алмазоносного района:

электроразведка наиболее эффективна до глубин 30–40 м при наличии двухслойного геоэлектрического разреза (район месторождения им. М.В. Ломоносова);

электроразведка достаточно эффективна до глубин 60–70 м даже при наличии трехслойного геоэлектрического разреза при отсутствии экранирующих обводненных горизонтов;

кимберлитовые трубки небольших размеров могут быть выделены электроразведкой при сгущении сети наблюдения (петлей 50×50 м), в то время как трубки средних и больших размеров — при использовании петли 100×100 м.

Основные петрофизические параметры ксенотуфобрекций (объемный вес, плотность, пористость, влажность) были определены в МГУ

(В.К.Гаранин, 2005 г.) для петрофизических моделей кимберлитовых трубок и более надежной интерпретации геофизических данных при поисковых работах. Кроме того, данные параметры служат индикатором условий образования, характера структуры и состава вмещающих пород и руд различных типов месторождений алмазов.

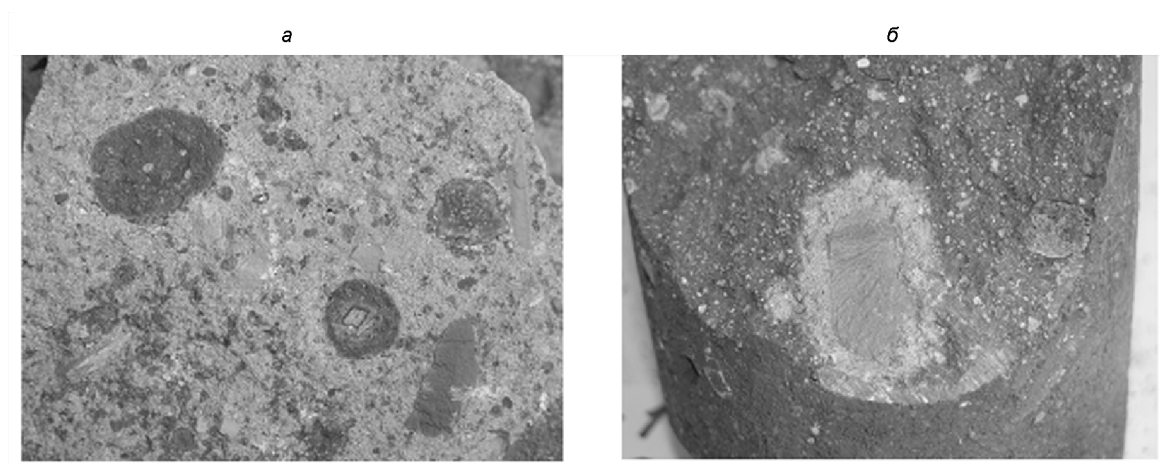
По трубке Рождественская в образце ксенотуфобрекций изучены объемная масса (2,29 г/см<sup>3</sup>), плотность (2,63 г/см<sup>3</sup>), эффективная пористость (15%), условно-мгновенное насыщение (0,85%), период насыщения (0,96 ч), средняя скорость насыщения (1,74·10<sup>-3</sup>%/ч), скорость распространения продольных (2,33 км/с) и поперечных (1,25 км/с) волн, магнитная восприимчивость (20·10<sup>-5</sup> ед. СИ), коэффициент Пуассона (0,3), модули Юнга (1,07·10 ГПа), сдвига (0,4·10 ГПа), объемного сжатия (0,89·10 ГПа), акустическое сопротивление (6,13 Мом), а также температура Дебая (173 К). Плотность, условно-мгновенное насыщение, период полунасыщения, эффективная пористость определялись методом гидростатического взвешивания сухих и насыщенных образцов при свободном водонасыщении.

Проведенные исследования показали типичные для ксенотуфобрекций района плотность и пористость. В целом невысокие содержания ферромагнитных минералов в ксенотуфобрекциях трубки обуславливают низкие величины естественной остаточной намагниченности ( $I_n$ ) и магнитной восприимчивости ( $\chi$ ). Магнитные характеристики, измеренные для двух образцов, несколько варьируют, что связано с неравномерным распределением зерен ферромагнитных минералов в породе (таблица).

Термомагнитный анализ позволил определить температуру Кюри основной ферромагнитной фазы изученного образца породы, которая составляет около 500°С и соответствует магнетиту с изоморфными примесями, приводящими к понижению температуры Кюри по сравнению со значением последней для чистого стехиометрического магнетита (585°С). Далее наблюдается «хвост» намагниченности, обусловленный присутствием в исследуемом образце гематита — антиферромагнетика.

Магнитные характеристики образца ксенотуфобрекций трубки Рождественская

Номера образцов	Исходные данные					После нагрева до $T$ 600° С		
	$I_n$ , А/м	$\chi$ , 10 <sup>-6</sup> ед. СИ	$I_{RS}$ , А/м	$H_C$ , мТл	$H_{CR}$ , мТл	$I_{RS}$ , А/м	$H_C$ , мТл	$H_{CR}$ , мТл
162-1/5-1	0,01	198	40,1	14,4	25,9	136	10,7	15,7
162-1/5-2	0,04	240	43,3	13,8	25,6	Не изм.	Не изм.	Не изм.



**Рис. 4. Ксенотуфобрекчия трубки Рождественская, фото О.Л.Цыкалюка:**  
*а* — обр. 162/2, глубина 155,8 м; *б* — обр. 162/1, глубина 208,2 м

После нагрева образца до 600°C температура Кюри основной ферромагнитной фазы не изменяется, и отмечается некоторое уменьшение параметров коэрцитивности ( $H_C$ ,  $H_{CR}$ ) и возрастание остаточной намагниченности насыщения ( $I_{RS}$ ). Такое поведение магнитных характеристик после нагрева образца, скорее всего, свидетельствует об укрупнении ферромагнитных зерен в породе и релаксации напряжений в них.

Петрофизические исследования показали, что основным магнитным минералом, обеспечивающим возникновение локальной магнитной аномалии над трубкой Рождественская, является вторичный новообразованный магнетит, низкие концентрации которого обуславливают слабую контрастность этой локальной аномалии.

Кимберлитовая ксенотуфобрекчия — красно-серого цвета с фиолетовым оттенком (рис. 4, *а*), участками в зонах трещиноватости осветленная, светло-серая (см. рис. 4, *б*) до белого с зеленоватым оттенком. Порода брекчиевой текстуры (мелко-, среднеобломочная, неравномерно-обломочная), мелкопорфировой структуры, глинистая, в различной степени карбонатизирована, хлоритизирована, сапонитизирована.

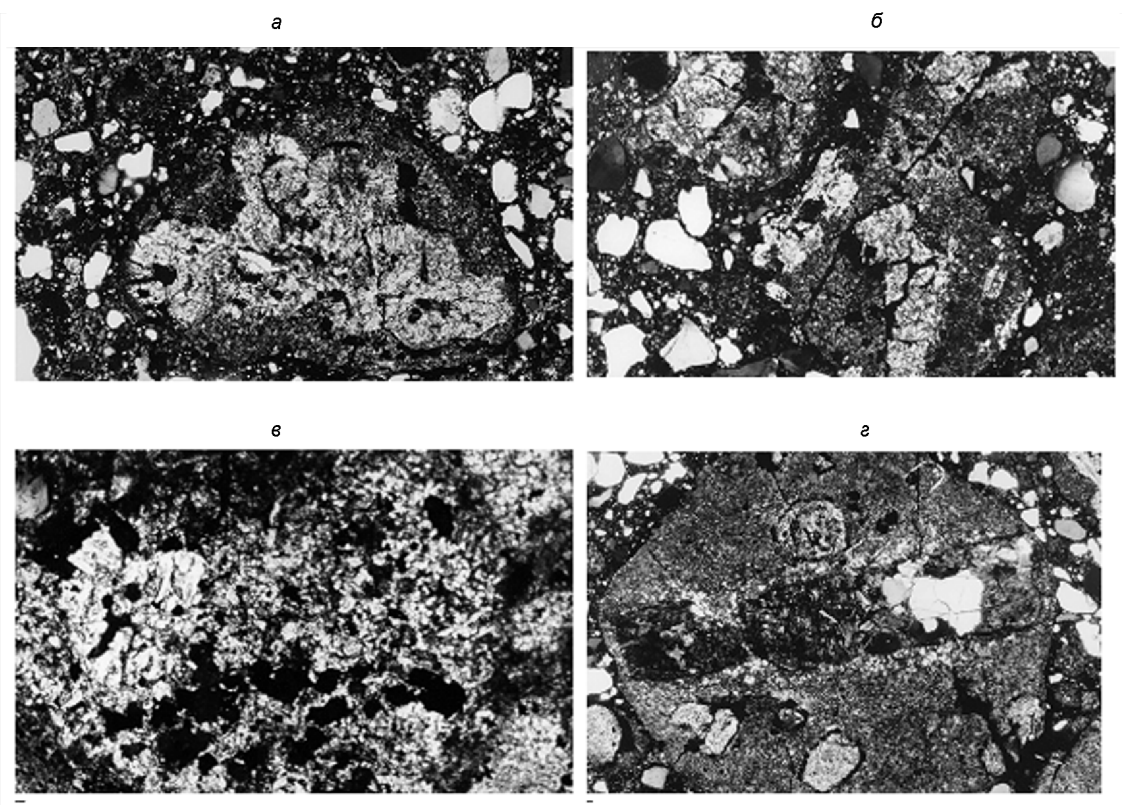
Основная масса породы сложена псевдоморфозами сапонита по слабо сцементированным обломкам кварца, автолитовых лапиллей и вмещающих пород. Состав породы существенно кварцевый. Содержание магматического материала не превышает 5–15 об. %, распределение его неравномерное (см.

рис. 4, *а, б*). Представлен в основном ядерными и безъядерными автолитами, реже псевдоморфозами по гломеропорфировым сросткам или единичным зернам оливина второй генерации. Основная масса породы сильно «загрязнена» мелкими терригенными примесями (кварцевые зерна) вмещающих пород — алевролитов, аргиллитов и песчаников устьпинезской, мезенской и падунской свит, интенсивно измененных вследствие процессов вторичной минерализации.

На поверхности столба ксенотуфобрекчий наблюдаются реликты коры выветривания, которая прослеживается до глубины 93 м. Порода красноцветная выветрелая, интенсивно дезинтегрированная, местами с пятнами ожелезнения, особенно по трещинам, выполненным карбонатно-глинистым материалом. В интервале глубин 74–97 м желтоватые разности сапонита почти полностью исчезают.

Магматический материал представлен автолитами, редкими обломками порфировых кимберлитов, псевдоморфическими замещениями по оливину, пластинками слюды. Его содержание достигает 15–20% объема породы. Ксеногенный материал составляет 25–35% объема породы и в подавляющем большинстве представлен зернами кварца, обломками осадочных пород (карбонатные породы, аргиллиты, алевролиты, песчаники), в меньшей степени обломками пород кристаллического фундамента (гнейсами, биотитовыми гранитами, зернами полевого шпата). Между автолитами, обломками пород чехла и пород фундамента заполните-





**Рис. 5. Кимберлитовая ксенотуфобрекция, по Т.Н.Марковой:**

фото прозрачного шлифа 162-1/113; *a* — автолит с гломеропорфировым сростком вкрапленников оливина второй генерации, псевдоморфно замещенного сапонитом, ув. 5; *б* — обломок порфирового кимберлита, ув. 2,5; *в* — автолит, участок с призматически-зернистой структурой основной массы, ув. 5; *г* — ядерный автолит, ядро представлено бититовым гранитом, ув. 2,5

лем служат зерна кварца, полевого шпата и цементирующая масса.

Автолиты имеют округлую, овальную формы, размер — от долей до 30 мм. Выделяются безъядерные и ядерные разности (рис. 5; см. рис. 4). Ядрами в ядерных автолитах чаще всего являются микроксенолиты аргиллита, песчаника, зерна кварца, обломки гранита (см. рис. 5, *г*), реже сростки замещенных зерен оливина (см. рис. 5, *a*) или их порфировых выделений. Обломочный материал в ядрах часто полностью сапонитизирован. Иногда вокруг обломков имеется пленка интенсивно сапонитизированного вещества. Встречаются автолиты, у которых ядро представлено псевдоморфозами по оливину с идиоморфным контуром.

Среди безъядерных автолитов различаются порфировые и афировые разности. К порфировым выделениям относится оливин второй генерации, развитый в виде отдельных индивидов и гломеропорфировых сростков. Оливин псевдоморфно замещается сапонитом, реже агрегатом карбоната и са-

понита, к внешней границе псевдоморфоз приурочена рудная вкрапленность. У некоторых более крупных зерен сильнее изменена центральная зона. Участки с призматически-зернистой структурой фиксируются вблизи порфировых выделений, а также ядер. Призматически-зернистая структура обусловлена наличием мелких пластинок светло-коричневой слюды.

Структура основной массы автолитов всех типов криптозернистая, в отдельных случаях призматически-зернистая (см. рис. 5, *в*). В криптозернистом агрегате при больших увеличениях отмечается чешуйчатый, листовато-чешуйчатый, сапонитовый, гидрослюдисто-сапонитовый агрегат с тонкой рудной вкрапленностью.

Размер рудных минералов в основной массе автолитов всех типов варьирует от тысячных долей до 0,01–0,025 мм (у границ с псевдоморфозами размер минералов достигает 0,05 мм). Рудный минерал, магнетит, титаномагнетит сильно изменены, у многих зерен фиксируется кайма, появляющаяся,

очевидно, за счет более сильного изменения.

Встречены редкие обломки кимберлита порфировой структуры размерами до 7,2–10 мм (см. рис. 5, б). Порфиновые выделения — сапонитовые псевдоморфозы по оливину второй генерации. Сапонит представлен листовато-чешуйчатым агрегатом, участками с параллельным расположением листочков, участками — с хаотичным. Вокруг отдельных псевдоморфоз наблюдается вкрапленность рудного минерала. Основная масса породы сложена сапонитовым агрегатом и пылевой рудной вкрапленностью. Отмечаются также отдельные более крупные кристаллы рудного минерала (до 0,2 мм), интенсивно измененного. Степень изменения порой настолько сильна, что от минерала остается только каркас. Иногда в обломках присутствуют линзочки неправильной формы, выполненные кварц-карбонатным агрегатом. В единичных случаях встречаются обломки предположительно слюдяного кимберлита или пикрита, где порфиновые выделения сложены гломеропорфировыми сростками по оливину второй генерации и пластинками флогопита и их сростками, при этом основная масса — криптозернистая. Размер пластин слюды достигает 0,08 мм, они сильно корродированы.

Связующая масса ксенотуфобрекчии — глинистая красно-серого цвета с фиолетовым оттенком, составляет 40–50% объема породы. По харак-

теру заполнения — поровая, по структуре — агрегатная крипто-, тонкозернистая; состав преимущественно карбонатно-гидрослюдисто-железистый. В зонах повышенной трещиноватости — осветленная гидрослюдисто-карбонатного состава светло-серого цвета с зеленоватым оттенком.

В некоторых автолитах С.М.Саблуковым (рис. 6) обнаружены реликты псевдоморфоз кубической формы предположительно по нефелину. Нефелин в пределах Зимнебережного алмазного района ранее был обнаружен В.К.Соболевым только в трубках Крутиха Северная и Крутиха Южная Ижемского поля, сложенных одной из наиболее глиноземистых, щелочных (натрового типа щелочности), сильно дифференцированных пород магнетиально-глиноземистой серии. По-видимому, этим объясняется необычный химический состав пород трубки Рождественская, преобладание натрия над калием в восьми из 12 изученных проб из ксенотуфобрекчии. В то же время, это еще одно свидетельство принадлежности изученной породы к одной из наиболее титанистых и железистых (сильно дифференцированных) разновидностей кимберлитов железо-титанистой серии.

Таким образом, по характеру строения магматического материала — отсутствию псевдоморфоз по оплавленным вкрапленникам оливина и их обломкам (оливин первой генерации), представляющим дезинтегрированный материал глубинных

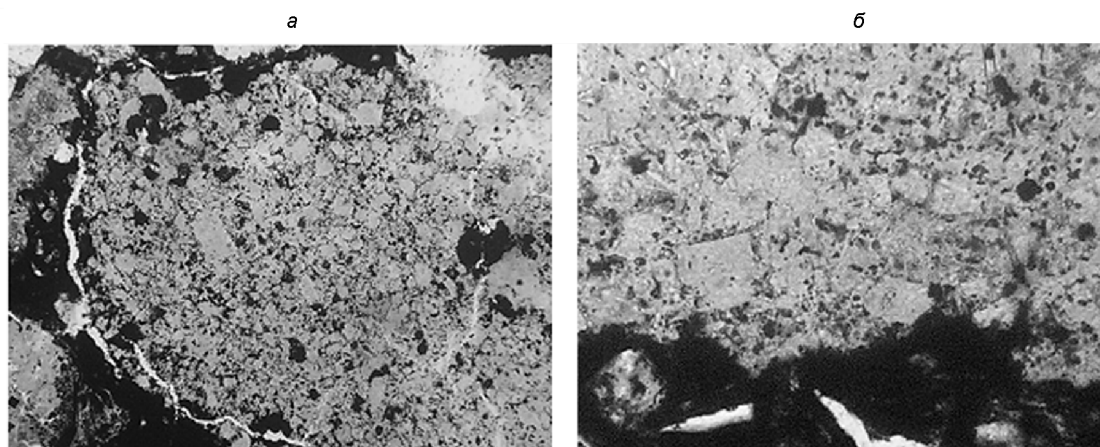


Рис. 6. Общий вид автолита в шлифе (а) и детали его строения (б) из трубки Рождественская, по С.М.Саблукову, 2005

пород, наличие автолитов с гломеропорфировыми сростками псевдоморфоз по мелким идиоморфным кристаллам оливина (оливин второй генерации), кристаллизовавшегося непосредственно из щелочно-ультраосновных магм в гипабиссальных условиях, а также присутствию среди ксеногенного материала большого количества ксенолитов карбонатных пород (известняков, доломитизированных известняков, доломитов) из денудированной части рудовмещающего разреза — ксено-

туфобрекцию трубки Рождественская можно считать близкой по составу к ксенотуфобрекциям трубок Победа (406), Шоча Северо-Восточная (136а), Октябрьская (Н-1006).

Слабая интенсивность магнитной аномалии, создаваемой породами жерловой фации диатремы Рождественская, обусловлена низкими концентрациями вторичного новообразованного магнетита.

УДК 553.81:553.061.12

© Коллектив авторов, 2006

## МИНЕРАЛЫ-ИНДИКАТОРЫ ИЗ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ И КСЕНОЛИТЫ НОВОЙ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ ЗИМНЕБЕРЕЖНОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА

Г.В.Минченко, В.А.Ларченко («АПРОСА-Поморье»), В.А.Первов, А.А.Носова (ИГЕМ РАН), А.П.Гунин, Т.Н.Маркова, С.Л.Бортник, Е.А.Андросов («АПРОСА-Поморье»)

Терригенные образования визейского яруса нижнего карбона и урзугской свиты московского яруса среднего карбона являются промежуточными коллекторами, сложенными прибрежно-морскими и континентальными фациями пород, которые по литорали и разрезу заражены минералами-индикаторами, образующими дальнепринесенной ореол, генетически не связанный с трубкой Рождественская.

В нижнекаменноугольных отложениях над трубкой Рождественская найдено 152 зерна *пироп* разных размеров и степени износа (54 зерна из скв. 162-5, 49 из скв. 162-2, 16 из скв. 162-1, 33 из скв. 162-3).

В керне четырех скважин, пробуренных непосредственно на трубке Рождественская, в пробах из отложений визейского яруса по всему разрезу визейского коллектора обнаружено 40 зерен пироп. Характер распределения пиропов по классам износа в этом коллекторе (рис. 1, а) носит нормальный характер, причем медиана падает на II класс износа, а ветви распределения показывают существенную долю индивидов III класса износа и отсутствие неизношенных (с келефитовой поверхностью и нулевого класса износа, типичных для кимберлитового тела). Такое распределение указывает на длительное пребывание пиропов в гидравлической

среде и значительную удаленность от источника сноса. Наиболее часто отмечается для переотложенных пиропов из более древних коллекторов.

Пиропы IV класса износа представлены двумя осколками крупных зерен фиолетового цвета с матированной поверхностью, их размер от 1,2×0,75 до 1,05×0,75 мм.

Пиропы III класса износа обнаружены в количестве 20 целых и колотых зерен. Они имеют тонкоматированную и шероховатую поверхность, неправильную форму. На одном из зерен наблюдаются признаки травления в виде глубокого канала. Размеры зерен варьируют от 1,75×1,56 до 0,7×0,45 мм. Среди них доминируют зерна фиолетово-красного цвета (шесть штук), одно зерно имеет слабо-фиолетовую окраску и одно — оранжево-красную.

Пиропы II класса износа зафиксированы в количестве 29 колотых, часто трещиноватых, иногда уплощенных зерен преимущественно с корродированной поверхностью. Размер зерен варьирует от 1,05×0,6 до 0,35×0,35 мм. Окраска зерен фиолетовая (44,8%), фиолетово-красная (37,9%), оранжево-красная (17,3%).

Пиропы I класса износа представлены одним колотым зерном фиолетового цвета размером

0,45×0,4 мм с примазками железисто-глинистого материала на поверхности.

Распределение пиропов по гранулометрическому составу в визейском коллекторе нормальное, в то время как для коренных источников — логнормальное (см. рис. 1, б). Наблюдаемый попутный пик в районе гранулометрического класса  $-1,75+1,5$  мм свидетельствует о том, что изучаемый ореол сформирован из нескольких разных источников. Наличие крупных гранулометрических классов указывает на присутствие в районе трубки Рождественская неизвестного кимберлитового тела железно-титановой серии. Аналогичный гигантизм минералов-индикаторов отмечался в трубке им. В.Гриба. Наличие многочисленных пиропов класса  $-1,25+0,75$  мм может говорить о присутствии в районе трубки Рождественская еще нескольких коренных источников, находящихся на большем удалении.

Все пиропы наиболее крупного гранулометрического класса  $+1,5$  мм относятся к III классу износа. Среди пиропов гранулометрического класса  $-1,25+0,75$  мм отмечены зерна разного класса износа от IV до II, причем зерна II класса износа преобладают (62,5%), что свидетельствует о совмещении трех различных ореолов. В гранулометрическом классе  $-0,75+0,5$  мм доминируют пиропы II класса износа (91,6%) и имеется только одно зерно III класса износа. В самом мелком гранулометрическом классе  $-0,5+0,25$  мм встречены зерна только II класса износа (93,3%). Одно зерно I класса износа можно связать с поступлением из трубки Рождественская.

В степени износа пиропов из визейского и урзугского коллекторов фиксируется нарушение соотношения последовательности классов износа по простирацию первичного ореола (от неизношенных пиропов непосредственно рядом с телом до II и III классов износа в голове ореола), что подтверждает гипотезу об оторванности и значительной удаленности наблюдаемого ореола от кимберлитового тела. Так как выявленный ореол расположен непосредственно над трубкой, он может быть только вторичным, оторванным и перемещенным (регрессивным).

Гранулометрическая последовательность распределения пиропов в визейском и урзугском коллекторах характеризуется нарушением логнормального закона распределения зерен по классам крупности за счет появления пика в классе  $-1,75+1,5$  мм. Это свидетельствует о полигенности формирования ореола за счет совмещения двух или более разнородных ореолов от разноудаленных кимберлитовых тел.

В пробах из керна скважин, пробуренных по урзугскому коллектору, обнаружено 111 зерен пиропов, распределенных по всему разрезу коллектора. Одно из изученных зерен оранжево-красного цвета отнесено к IV классу износа; оно целое, овальной формы, размером  $1,6 \times 1,2$  мм. К III классу износа принадлежат 34 колотых, реже целых зерна пиропов с корродированной и шероховатой поверхностью. Среди них преобладают индивиды с фиолетовой (55,8%), фиолетово-красной (26,4%) окраской, реже встречаются оранжево-красные (11,7%), оран-

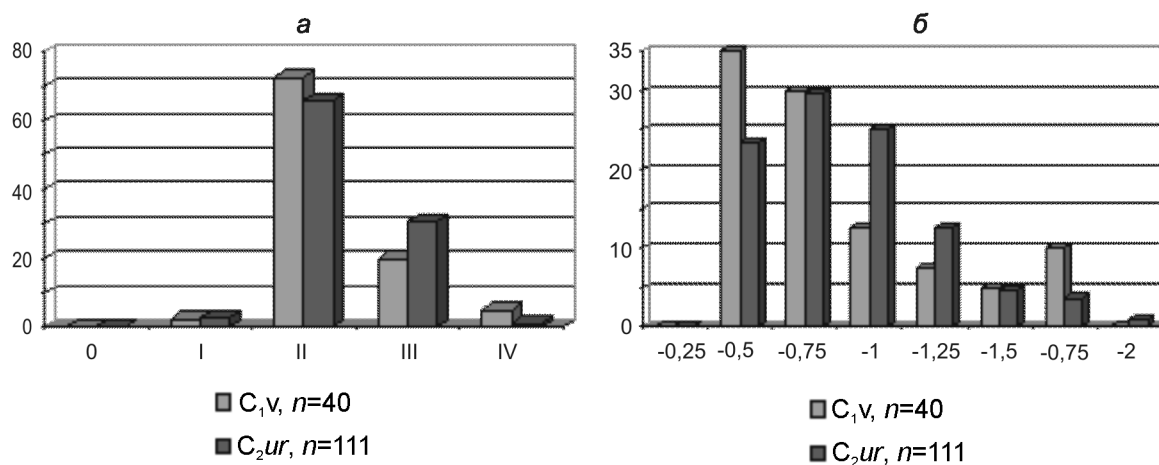


Рис. 1. Характер распределения пиропов в коллекторах каменноугольного возраста над трубкой Рождественская:

а — по классам износа; б — по гранулометрическому классам; C<sub>1v</sub> — визейский, C<sub>2ur</sub> — урзугский коллектора

жевые (6,1%). Размеры зерен варьируют от  $1,8 \times 1,35$  до  $0,5 \times 0,5$  мм. Преобладают зерна размером до 1 мм (58,8%), а зерна мельче 0,5 и 0,25 мм отсутствуют.

Пиропы II класса износа (73 шт.) доминируют в изученной выборке и представлены в основном колотыми, реже целыми (7 шт.) индивидами. Преобладают разности с фиолетовой (49,3%), фиолетово-красной (41,1%) окраской. Оранжевые зерна не встречены, а оранжево-красные составляют 9,6% изученной выборки. Поверхность зерен корродированная, очень редко шероховатая, их размер варьирует от  $1,55 \times 1$  до  $0,4 \times 0,3$  мм.

Встречено только три зерна, в том числе одно целое, пиропов I класса износа. Они имеют фиолетовую (2 шт.) и фиолетово-красную окраску и корродированную поверхность. В одном зерне наблюдался канал травления, заполненный гидроксидами железа. Размер зерен изменяется от  $0,7 \times 0,45$  до  $0,3 \times 0,3$  мм.

Характер распределения пиропов по гранулометрическим классам в урзугском коллекторе (см. рис. 1, б) практически не отличается от такового в нижележащем визейском коллекторе.

В самом крупном классе  $-2+1,75$  мм обнаружено только одно целое фиолетовое зерно пиропы III класса износа с шероховатой поверхностью. В классе  $-1,75+1,25$  мм отмечается смесь целых и колотых зерен разной степени износа — II (33,3%), III (55,5%), IV (11,2%) классов с корродированной и шероховатой поверхностью, что позволяет судить о разнородности этого ореола.

Для зерен  $-1,25+1$  мм наблюдается исчезновение индивидов IV класса износа и доминирование (64,8%) зерен III класса износа над разностями II класса. Только одно изученное зерно целое (III класса износа), остальные — колотые. Поверхность зерен шероховатая у индивидов III класса износа и матированная у разностей II класса.

Гранулометрический класс  $-1+0,75$  мм представлен преимущественно колотыми зернами (89,3%) III класса износа (57,1%) с корродированной поверхностью. Зерна IV класса износа отсутствуют. Среди зерен  $-0,75+0,5$  мм доминируют преимущественно колотые зерна II класса износа (87,9%). Пиропы III класса износа составляют 9,1%. Среди них встречено единичное колотое зерно I класса износа (3%) с каналом травления, заполненным гидроксидами железа.

Пиропы размером  $-0,5+0,25$  мм представлены колотыми зернами II класса износа (до 86,4%) с корродированной и сахаровидной поверхностью, реже I класса износа (9,1%). Доля зерен III класса износа (4,5%) самая низкая в изученной грануло-

метрической выборке.

*Пикроильмениты* гранулометрических классов  $-1+0,5$  и  $-0,5+0,25$  мм встречены в скважинах над трубкой. Это целые и колотые зерна монолитного строения III и IV классов износа (скв. 162-5 — 177, скв. 162-1 — 33, скв. 162-2 — 158, скв. 162-3 — 28 зерен).

Пикроильмениты IV класса износа в визейском коллекторе представлены уплощенными целыми и колотыми зернами округло-овальной формы с корродированной и лейкоксенизированной поверхностью размером преимущественно  $-1+0,5$  мм (рис. 2). Встречено только одно зерно класса  $+1,25$  мм. Пикроильмениты III класса износа присутствуют в виде целых и колотых зерен размером  $<1$  мм. Крупных  $>1,25$  мм зерен в этом классе не обнаружено.

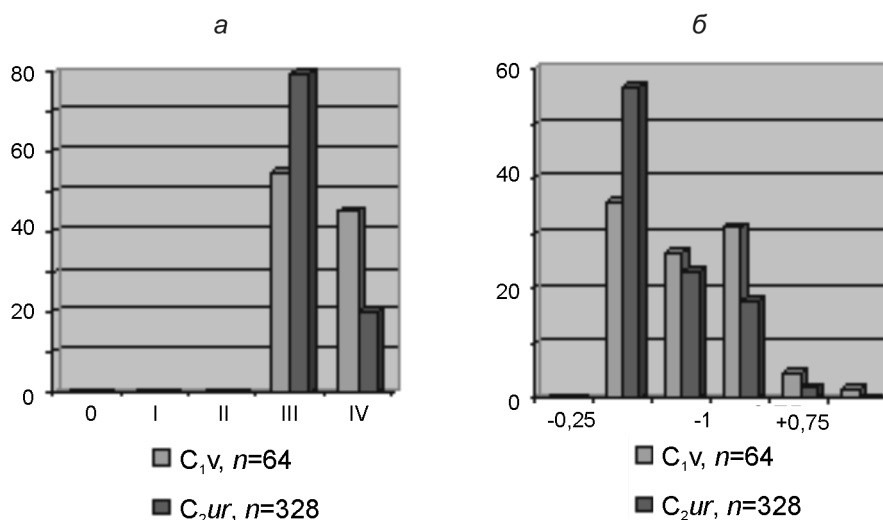
Пикроильмениты IV класса износа в урзугском коллекторе, как и в визейском, представлены уплощенными округло-овальной формы зернами с корродированной и лейкоксенизированной поверхностью размером преимущественно  $-1+0,5$  мм. Преобладают целые зерна, колотые встречаются значительно реже. Зерна  $>1,25$  мм не отмечаются. Среди пикроильменитов III класса износа преобладают целые зерна размером  $<1$  мм, колотые наблюдаются редко. Поверхность зерен корродированная и лейкоксенизированная.

В целом пикроильмениты визейского и урзугского коллекторов удалены от кимберлитового тела и слагают вторичный, перемещенный и оторванный (регрессивный) ореол, не связанный непосредственно с трубкой Рождественская.

*Ксенолиты вмещающих пород* представлены обломками пород кристаллического фундамента, поздневендского осадочного чехла, а также большим количеством обломков карбонатных пород из денудированной части разреза рудовмещающей толщи. Глубинные включения мантийных пород не обнаружены.

В трубке содержится огромное количество (40–50%, или  $>30$  об. %) ксенолитов карбонатных, терригенных пород и пород кристаллического фундамента. Среди терригенных ксенолитов отмечаются ксенолиты рудовмещающих пород золотицкой подсветы верхнего венда – нижнего кембрия, мезенской и усть-пинежской подсветы верхнего венда. В последних преобладают аргиллиты и алевролиты, встречаются обломки гнейсов, габброидов, гранулитов и эклогитоподобных пород кристаллического фундамента. Породы характеризуются высокой степенью вторичных изменений.

Среди обломков пород поздневендского чехла диагностируются аргиллиты, алевролиты, алевропесчаники, песчаники, алевролиты с карбонатным цементом. В ксеногенных кристаллокластах резко



**Рис. 2. Характер распределения пикроильменитов в коллекторах каменноугольного возраста над трубкой Рождественская:**

*a* — по классам износа; *b* — по гранулометрическому классам; C<sub>1v</sub> — визейский, C<sub>2ur</sub> — урзугский коллектора

преобладает кварц. Источником поступления в ксенотуфобрекчию зерен кварца и полевого шпата служили как породы фундамента, так и породы чехла. Размер зерен варьирует в широком диапазоне от алевритового до крупнопесчаного (0,7 мм). В подавляющем большинстве зерна хорошо окатаны, округлой и овальной форм. В некоторых случаях присутствуют их остроугольные осколки. Отдельные более крупные индивиды интенсивно раздроблены. Поверхность зерен часто коррозионная, на периферии и по трещинам часть зерен сапонитизирована.

*Ксенолиты карбонатных пород* по объему и размерам доминируют среди всех ксенолитов. Они имеют светло-серую окраску, иногда до белой с зеленоватым оттенком, разнообразны по структуре, текстуре и составу. Представлены обломками известняков, доломитизированных известняков с мелкозернистой, тонкозернистой структурой, доломитами, доломитизированными известняками с линзами кварца. В некоторых случаях наблюдается мелкая вкрапленность рудного минерала.

По данным предварительного изучения части отобранных ксенолитов (А.С.Алексеев и др., 2005 г.), в них обнаружены спикулы кремневых губок, остатки древних иглокожих, составные членики стеблей, элементы конодонтов, остатки морских лилий и беззамковых брахиопод, мшанок, челюсти морских многощетинковых червей, чешуя телодонтов, зубы рыб.

Конодонты представлены фрагментами челюстного аппарата (рис. 3, *a*). В обр. 162-1/24 (см. рис.

3, *a*) с глубины 166,2–166,3 м (зеленовато-серый доломитизированный известняк с бугристыми поверхностями наслоения) определены конодонты рода *Icriodella* sp. Этот род распространен в интервале среднего ордовика (карадок) – нижнего силура. К сожалению, по одному неполному фрагменту пока не удалось идентифицировать вид и, следовательно, уточнить возраст пород.

В обр. 162-1/27 (см. рис. 3, *a*) с глубины 169,3–169,5 м (доломит темно-серый, тонкозернистый, сахаровидный, со следами биокластов) найдено несколько десятков фрагментов конодонтов ордовикского облика. Они имеют хорошую сохранность и пригодны для точного определения. В этих же образцах обнаружены остатки мшанок, иногда сильно окремененные. В обр. 162-1/146 (известняк доломитизированный зеленовато-серый, глинистый, брекчиевидный, с мелкими щелевидными кавернами выщелачивания) выявлено около 40 конодонтовых фрагментов, в обр. 162-1/16 (доломит желтовато-зеленый, тонкозернистый, глинистый) — несколько фрагментов хорошей сохранности ордовикского возраста.

Многочисленные фрагменты конодонтов ордовикского облика содержит обр. 162-5/19 (известняк доломитизированный зеленовато-серый, слоистый, с бугристыми поверхностями напластования, покрытыми темным материалом), в то время как в обр. 162-5/41, представленном зеленовато-серым доломитизированным известняком, найдено только два фрагмента конодонтов (см. рис. 3, *a*). Кроме того, в

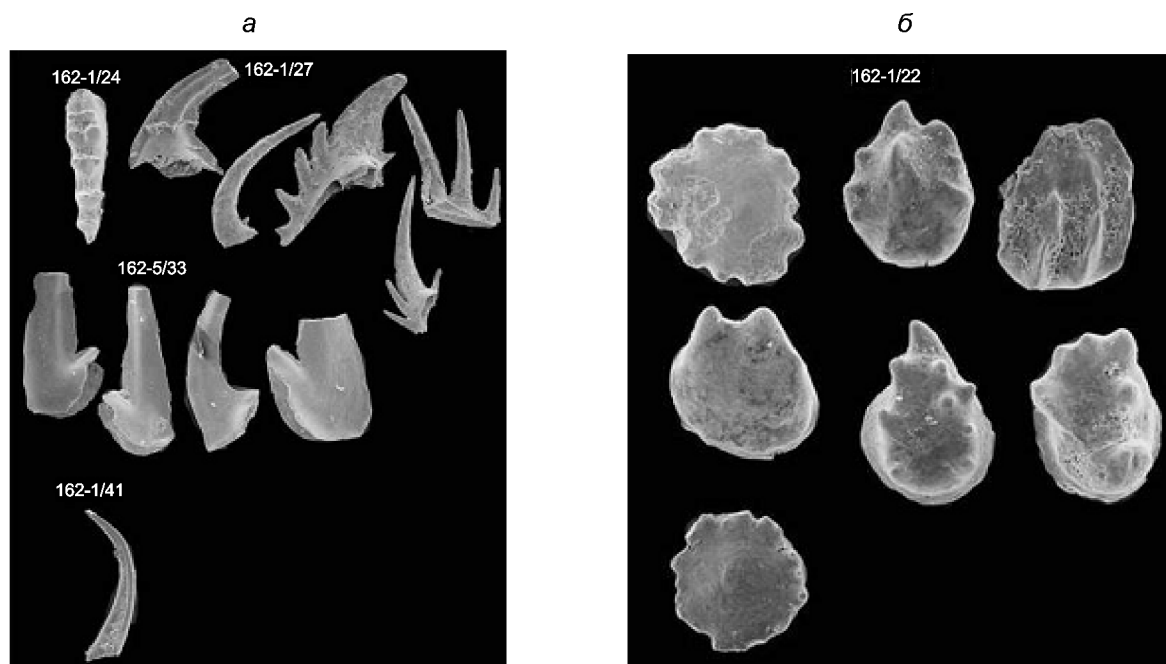


Рис. 3. Находки фауны в ксенолитах палеозойского возраста:

*a* — элементы челюстного аппарата конодонтов ордовикского возраста; *б* — чешуя телодонтов

одном из образцов при его подготовке к растворению обнаружен остаток какого-то довольно крупного иглокожего, изучение которого продолжается.

В большом количестве чешуя телодонтов присутствует в обр. 162-1/22 (см. рис. 3, б). Известняк доломитизированный светло-зеленовато-серый, тонкозернистый, с редкими кавернами по ядрам раковин гастропод, образующих субвертикальную прослойку, содержит массовые чешуи телодонтов — древних бесчелюстных моллюсков, существовавших с позднего (возможно, среднего) ордовика по поздний девон. Большинство чешуй головные, а туловищные — единичны. Последние, скорее всего, принадлежат к роду *Sandivia* Karatajute-Talimaa, 1997 (верхний ордовик). Известно, что чешуи телодонтов широко распространены в верхнеордовикских, силурийских и нижнедевонских отложениях расположенной восточнее Тимано-Печорской провинции. Из рода *Sandivia* в Тимано-Печорской провинции известны два вида — *S. melnikovi* Karatajute-Talimaa и *S. angusta* Karatajute-Talimaa. Они распространены в верхнем ордовике (мукерская и хрейверская свиты усть-зыбского горизонта). Таким образом, скорее всего, изученный фрагмент имеет позднеордовикский возраст. Небольшое количество чешуй телодонтов

содержится в образце зеленовато-фиолетовой глины 162-1/20.

Фрагмент темно-серого зуба рыбы обнаружен в обр. 162-1/42. Судя по всему, он был захоронен не в известняке, а в матриксе кимберлита. Первые зубастые рыбы появляются с позднего силура, а в массовом количестве они известны с раннего девона. В глинистом и алевроитовом зеленовато-коричневом сахаровидном доломите с мелкими пустотами, заполненными красноватыми кристаллами (обр. 162-2/25в), найдены ветвистые спиккулы губок. В одном образце встречены сколекодонты — челюсти морских многощетинковых червей, которые довольно хорошо изучены и также имеют стратиграфическое значение. Тека дициклической морской лилии, которая, скорее всего, представляет собой новый вид и род, выявлена в обр. 162-5/33. После растворения в этом же образце найдены редкие остатки беззачатковых брахиопод, членики стеблей иглокожих, фрагменты конодонтов.

Все это свидетельствует о наличии в пределах Зимнебережного алмазоносного района в период образования трубки Рождественская мощной толщи ордовикских отложений, сложенной как карбонатными (известняки, доломиты), так и терригенными (глины) породами. Не исключено существо-

вание толщи средне- и верхнедевонских образований.

Обильные органические остатки в ксенолитах указывают на возможность достаточно точного определения возраста отдельных обломков и построения на этой основе сводного разреза верхних горизонтов эродированной в настоящее время рудовмещающей толщи.

По аналогии с соседними трубками взрыва стратиграфический возраст трубки Рождественская условно принимается как позднедевонский (франский).

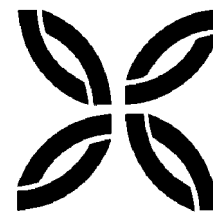
*Ксенолиты пород кристаллического фундамента* представлены мелкими обломками розовато-коричневых гранитогнейсов, габброидов, гранулитов и эклогитоподобных пород. Чаще всего

они наблюдаются в виде ядер в зональных автолитах. Наличие подобных ксенолитов свидетельствует о неглубоком залегании кристаллического фундамента.

Итак, в отложениях промежуточных коллекторов над трубкой Рождественская зафиксирован чужеродный полигенный и полихронный дальнеприносной ореол минералов-индикаторов алмазов, в котором доминируют сильно изношенные пикроильмениты, не выявленные при изучении пород самой трубки. Подобная ситуация серьезно затрудняет поиски кимберлитов шлихоминералогическим методом по каменноугольным коллекторам. В этом случае ведущим поисковым методом в пределах Зимнебережного алмазоносного района остается геофизический.



# ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ



30 августа 2006 г. исполнилось 75 лет **Юнне Георгиевне Зориной** — кандидату геолого-минералогических наук, старшему научному сотруднику отдела металлогении и прогноза месторождений цветных и благородных металлов.

Ю.Г.Зорина работает в ЦНИГРИ с 1986 г. До этого в течение многих лет во ВНИИЗарубежгеологии продуктивно руководила комплексными исследованиями геологического строения и перспектив нефтегазоносности Берингова, Охотского и Японского морей, защитила кандидатскую диссертацию. В ЦНИГРИ была ответственным исполнителем многих госбюджетных тем по изучению геологии и металлогении современных и древних океанов, в том числе геолого-геоморфологических и геофизических характеристик и рудоносности различных сегментов срединно-океанических хребтов. Участвовала в создании моделей формирования современных колчеданных руд в пределах основных структурно-тектонических зон океанских бассейнов, переходных зон и островных дуг; работала над составлением и подготовкой к изданию Атласа специализированных геолого-геофизических карт и разрезов по Анголо-Бразильскому и Маскаренско-Австралийскому трансокеанским геотраверзам; систематизировала геолого-геофизические материалы по Средиземноморскому региону для геолого-геофизического атласа Черного и Средиземного морей; принимала активное участие в создании монографии «Геоструктуры и минерагения Средиземноморья» (2005 г.).



Высокая квалификация и широта научных интересов Ю.Г.Зориной в области морской геологии нашли отражение более чем в 140 научных трудах.

Научные и производственные достижения юбиляра неоднократно отмечались грамотами и благодарностями. Она награждена медалями «300 лет горно-геологической службе России», «Ветеран труда», юбилейной медалью в честь 300-летия Российского флота, удостоена премии им. М.Б. и Н.И. Бородаевских, знака «Отличник разведки недр». За активное участие в проведении 27-й сессии МГК (г. Москва) награждена дипломом и золотым значком. Ю.Г.Зорина пользуется уважением и заслуженным авторитетом в коллективе института.

Сердечно поздравляем Юнну Георгиевну с юбилеем, желаем крепкого здоровья и новых творческих успехов.

*Ученый совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала*

18 мая 2006 г. исполнилось 70 лет **Олегу Сергеевичу Набровенкову** — кандидату геолого-минералогических наук, лауреату премии Правительства России.

О.С.Набровенков работает в ЦНИГРИ с 1959 г. Он — высококвалифицированный специалист в области прогнозирования золотороссыпных месторождений.

Работы О.С.Набровенкова посвящены прогнозам и поискам россыпей золота и оценке перспектив россыпной золотоносности Ленского и Баргузинского районов, Восточной Сибири, Дальнего Востока, Полярного и Приполярного Урала, Таймыра, Киргизии, Монголии, Арабской Республики Египет, Никарагуа, Гвинейской Республики. Его исследования, направленные на создание геолого-генетических основ прогноза и поисков россыпных месторождений золота, способствовали выявлению связей россыпей с различными типами источников питания, совершенствованию методики геолого-геоморфологического картирования золотороссыпных провинций, оценке перспектив россыпной золотоносности традиционных и новых районов. Результаты многолетних исследований послужили основой разработки геолого-геоморфологического блока легенд к комплекту карты «Экзогенная золотоносность и платиноносность РФ», удостоенной премии Правительства Российской Федерации за 2000 г.

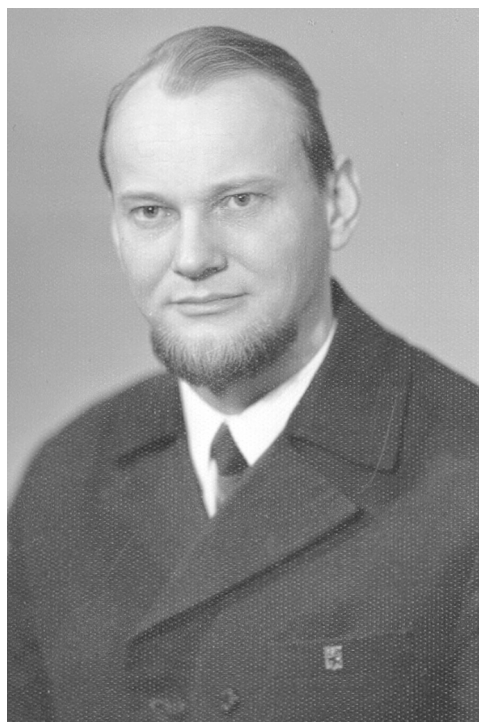
О.С.Набровенковым опубликовано более 100 научных работ.

В настоящее время Олег Сергеевич занимается вопросами металлогенического районирования приморских регионов Востока России в целях оценки их россыпной золотоносности, является ведущим экспертом рабочей группы по Новосибирской и Кемеровской областям.

Значительный вклад О.С.Набровенкова в укрепление минерально-сырьевой базы страны отмечен медалями «За доблестный труд», «850 лет Москвы», знаком «300 лет горно-геологической службе России», премией им. М.Б. и Н.И.Бородаевских, званием «Ветеран труда».

Олег Сергеевич — доброжелательный, отзывчивый, скромный человек. Свой юбилей он встречает с новыми творческими планами и идеями.

Поздравляем Олега Сергеевича с юбилеем, желаем здоровья, счастья, дальнейших творческих достижений.



*Ученый совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала*

15 июня исполнилось 70 лет **Халиту Хамидовичу Лайпанову** — кандидату геолого-минералогических наук, старшему научному сотруднику отдела геологии, методов поиска и экономики месторождений благородных металлов.

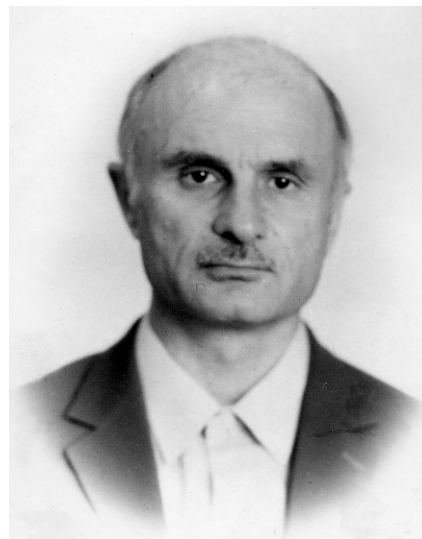
Х.Х.Лайпанов работает в ЦНИГРИ с 1965 г., сначала младшим, а с 1976 г. — старшим научным сотрудником. Является высококвалифицированным специалистом, владеющим современными минералого-петрографическими, оптическими, рентгено-структурными и другими методами исследований. Участвовал в составлении прогнозных карт и оценке золоторудных объектов в Магаданской области, Кызылкумах, Приморье и на Северном Кавказе. Скрупулезный анализ руд и окolorудных метасоматитов, решение узловых вопросов формирования золотого оруденения и его прогнозирования отличают выполненные им разработки. Рекомендации Х.Х.Лайпанова использовались при геологоразведочных работах и поисках скрытого оруденения на флангах рудных полей в Кокпатае и Дукате.

В настоящее время Х.Х.Лайпанов работает над проблемой наращивания ресурсов полиметаллических руд за счет выявления скрытого оруденения на флангах и глубоких горизонтах на Садонском рудном поле в Северной Осетии.

Х.Х.Лайпанов пользуется уважением и заслуженным авторитетом у научных работников и геологов-производственников.

Поздравляем Халита Хамидовича с юбилеем, желаем крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов.

*Ученый совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала*



29 мая 2006 г. исполнилось 70 лет **Тамаре Васильевне Шведовой** — заведующей библиотекой ЦНИГРИ.

Т.В.Шведова работает в институте с 1953 г., сначала старшим библиотекарем, с 1974 г. — заведующей библиотекой. Ею систематизирована и оформлена картотека научных изданий, проведена большая работа по составлению и редактированию информационного библиографического справочника основных опубликованных научных работ ЦНИГРИ за 1936–1984 гг., библиографического справочника «Научные труды ЦНИГРИ» за 1985–1995 гг. и книги «Люди и труды ЦНИГРИ», изданных к юбилейным датам института.

Т.В.Шведова помогает читателям в подборе литературы по определенной тематике, консультирует по таблицам УДК.

Дисциплинированный и трудолюбивый работник, доброжелательный человек - она пользуется уважением и любовью сотрудников.

Поздравляем Тамару Васильевну с юбилеем, желаем доброго здоровья и счастья.

*Ученый совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала*





27 июня 2006 г. исполнилось 60 лет со дня рождения и 37 лет трудовой деятельности в ЦНИГРИ **Татьяны Петровны Кузнецовой** — кандидата геолого-минералогических наук, старшего научного сотрудника отдела компьютерных технологий и информатики.

Т.П.Кузнецова после окончания МГУ 25 лет проработала в отделе цветных металлов в должности инженера, младшего и старшего научного сотрудника. В 1978 г. защитила кандидатскую диссертацию по минеральному составу и генезису колчеданно-полиметаллических руд Холдинского месторождения. Является высококвалифицированным специалистом в области минералогии и рудной геологии, владеет широким комплексом традиционных и новейших методов исследования руд.

В настоящее время Т.П.Кузнецова формирует основную и тематические экспозиции музея ЦНИГРИ «Руды благородных, цветных металлов и алмазов», организывает презентации музейных образцов на

международных и отраслевых выставках.

Т.П.Кузнецова — добросовестный сотрудник, отзывчивый человек, пользующийся уважением коллектива.

Поздравляем Татьяну Петровну с юбилеем, желаем крепкого здоровья, счастья, успехов в труде.

*Ученый совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала*

**По итогам конференции «Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений на основе их комплексных моделей — достижения и перспективы» (4-6 апреля 2006 г., г. Москва, ЦНИГРИ) издан сборник следующих базовых докладов**

*Ледовских А.А.* (руководитель Федерального агентства по недропользованию).  
Вступительное слово

*Бавлов В.Н., Михайлов Б.К., Вартамян С.С.* Основные результаты ГРР по воспроизводству МСБ твердых полезных ископаемых в 2005 г. и задачи на 2006 г.

*Беневольский Б.И., Вартамян С.С., Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Михайлов Б.К.* Система прогноза и воспроизводства МСБ благородных и цветных металлов России — научное обоснование и реализация

*Кривцов А.И.* Актуальные проблемы развития прикладной металлогении

*Мигачев И.Ф.* Металлоносность рудномагматических систем — прогнозы и их реализация

*Аксенов Е.М.* МСБ неметаллических полезных ископаемых — проблемы использования и воспроизводства

*Вартамян С.С., Волчков А.Г.* Реализация системы моделей месторождений благородных и цветных металлов при проведении геологоразведочных работ на территории России

*Вартамян С.С., Карпенко И.А., Петраш Н.Г., Карпухина М.В., Куликов Д.А., Черемисин А.А.* Опыт и основные результаты оперативной геолого-экономической оценки объектов прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ, изучаемых за счет средств Федерального бюджета

*Риндзюнская Н.М., Матвеева Е.В., Набровенков О.С., Филиппов В.П.* Модели россыпных месторождений золота России

*Ваганов В.И., Голубев Ю.К., Прусакова Н.А.* Технологии геологоразведочных работ на коренные месторождения алмазов

*Сердюк С.С.* Систематика золотоносных месторождений и формаций — комплексная модель их прогноза, поисков и оценки

*Покалов В.Т., Чердаков В.И.* Прогнозирование и оценка молибденовых и вольфрам-молибденовых месторождений на основе их комплексных моделей

*Архангельская В.В., Рябцев В.В., Шурига Т.Н.* Прогнозирование танталовых и тантал-ниобиевых месторождений на основе их обобщенных поисково-геологических моделей

*Павловский А.Б., Митрофанов Н.П., Бурова Т.А.* Прогноз, поиски и оценка разнотипных месторождений олова на основе их комплексных моделей

*Еремин Н.И., Дергачев А.Л., Сергеева Н.А.* Минералого-геохимические признаки масштабности колчеданных месторождений вулканогенных ассоциаций

*Витковский И.М., Конкина О.М., Кузнецов В.В., Лобач В.И., Чанышев И.С.* Прогнозные ресурсы в системе программно-целевого управления воспроизводством МСБ благородных и цветных металлов России

*Августинчик И.А., Мызенкова Л.Ф., Карпекина Н.Ф.* Экспрессная оценка затрат на освоение месторождений благородных и цветных металлов на основе геолого-экономических моделей (по зарубежным горнорудным проектам)

*Кузнецов В.В., Финкельштейн М.Я., Кирпичева Е.Ю., Рыбалкин М.Н.* Применение ГИС-технологий для прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов на основе банка моделей разноранговых металлогенических таксонов

В данном номере журнала публикуются доклады по моделям алмазоносных месторождений

**ИЗДАНИЯ ЦНИГРИ**
*Серия «Модели месторождений благородных и цветных металлов»*

Меднопорфировые месторождения / А.И.Кривцов, В.С.Звездов, И.Ф.Мигачев и др. – М.: ЦНИГРИ, 2001. – 232 стр.	10 у.е.	Месторождения колчеданного семейства / А.И.Кривцов, О.В.Минина, А.Г.Волчков и др. – М.: ЦНИГРИ, 2002. – 282 стр.	10 у.е.
Строение и развитие золотоносных рудообразующих систем / М.М.Константинов, Т.Н.Косовец, С.Г.Кряжев и др. – М.: ЦНИГРИ, 2002. – 192 стр.	10 у.е.	Стратиформные свинцово-цинковые месторождения в карбонатных толщах / Г.В.Ручкин, А.И.Донец. – М.: ЦНИГРИ, 2002. – 123 стр.	10 у.е.
Пространственные металлогенические таксоны. Справочное пособие / В.И.Ваганов, В.И.Кочнев-Первухов, А.И.Кривцов и др. – М.: ЦНИГРИ, 2003. – 82 стр.	10 у.е.	Сu-Ni-МПГ месторождения норильского типа / А.И.Кривцов, В.И.Кочнев-Первухов, О.М.Конкина и др. – М.: ЦНИГРИ, 2001. – 180 стр.	20 у.е.
Системы оценки и разведки россыпных месторождений золота и платиноидов на основе многофакторных моделей / В.И.Куторгин, В.А.Джобадзе, А.С.Тарасов и др. – М.: ЦНИГРИ, 2002. – 236 стр.	20 у.е.	Золото-серебряные месторождения / М.М.Константинов, Н.П.Варгунина, Т.Н.Косовец и др. – М.: ЦНИГРИ, 2000. – 239 стр.	10 у.е.

**Методические руководства**
**«Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов»**

Вып. "Золото" / Отв. ред. Б.И.Беневольский. – М.: ЦНИГРИ, 2002. – 182 стр.	30 у.е.	Вып. "Свинец и цинк" / Отв. ред. Г.В.Ручкин. – М.: ЦНИГРИ, 2002. – 169 стр.	30 у.е.
Вып. "МПГ" / Отв. ред. А.И.Кривцов. – М.: ЦНИГРИ.	10 у.е.	Вып. "Никель и кобальт" / Отв. ред. А.И.Кривцов. – М.: ЦНИГРИ, 2002. – 54 стр.	10 у.е.
Вып. "Алмазы" / Отв. ред. Ю.К.Голубев. – М.: ЦНИГРИ, 2002. – 76 стр.	30 у.е.	Вып. "Экзогенная золотоносность" / Отв. ред. С.С.Вартанян, Н.М.Риндзюнская. – М.: ЦНИГРИ, 2002. – 130 стр.	30 у.е.
Вып. "Медь" / Отв. ред. А.И.Кривцов. – М.: ЦНИГРИ, 2002. – 212 стр.	30 у.е.		
Металлогения андезитовидных вулканоплутонических поясов / А.И.Кривцов, И.Ф.Мигачев и др. Часть 1. – М.: ЦНИГРИ, 1997. – 326 стр.	10 у.е.	Мировая МСБ благородных и цветных металлов 1970–2000–2025 гг. Обзор-анализ / А.И.Кривцов, И.Ф.Мигачев, Б.И.Беневольский и др. – М.: ЦНИГРИ, 2003. – 136 стр.	20 у.е.
Металлогения андезитовидных вулканоплутонических поясов / А.И.Кривцов. Часть 2. – М.: ЦНИГРИ, 1999. – 268 стр.	10 у.е.	Золотоносность Урала. Объяснительная записка к карте коренной золотоносности Урала масштаба 1:1 000 000 / Н.К.Курбанов, П.С.Ревякин, П.Г.Кучеревский, В.И.Романов, С.А.Светлов. – М.: ЦНИГРИ, 2005. – 144 стр.	10 у.е.
Типоморфизм самородного золота. Методические рекомендации для геологоразведочных работ / Л.А.Николаева, А.М.Гаврилов, А.Н.Некрасова и др. – М.: ЦНИГРИ, 2003. – 70 стр.	20 у.е.	«Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений на основе их комплексных моделей – достижения и перспективы». Научно-практическая конференция (4-6 апреля 2006 г., Москва, ЦНИГРИ), М.: ЦНИГРИ, 2006 г. – 210 стр.	10 у.е.

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

Телефон: (495) 313-18-18, 315-43-47

Факс: (495) 313-18-18

E-mail: [tsnigri@tsnigri.ru](mailto:tsnigri@tsnigri.ru)

© Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, 2006