

# ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 4 / 2023

Основан в марте 1933 года

Журнал выходит шесть раз в год

## УЧРЕДИТЕЛИ



Министерство природных ресурсов и экологии  
Российской Федерации



Российское геологическое общество



Центральный научно-исследовательский  
геологоразведочный институт  
цветных и благородных металлов

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:  
А.И.Иванов

А.И.Черных (зам. главного редактора),  
Н.В.Милетенко (зам. главного редактора),  
Т.М.Папеско (зам. главного редактора),

Е.М.Аксенов, А.Н.Барышев, А.И.Варламов,  
С.С.Вартанян, В.Д.Конкин, А.А.Кременецкий,  
С.Г.Кряжев, М.И.Логвинов, Г.А.Машковцев,  
И.Ф.Мигачёв, Е.А.Наумов, А.Ю.Розанов,  
Г.В.Седельникова, И.Г.Спиридонов,  
В.И.Старостин, Е.Г.Фаррахов, Г.К.Хачатрян

## Содержание

<b>МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ</b>	<b>ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ</b>
<i>Молчанов А. В., Белова В. Н., Семенова В. В.</i> Локализация площадей для проведения ГДП (ГМК)-200 на золото на основе составления и анализа карт закономерностей размещения и прогноза большеобъёмных черносланцевых и эпитеpmальных месторождений золота Российской Федерации масштаба 1:2 500 000 ..... 3	<i>Хачатрян Г. К., Анашкина Н. Е.</i> Типоморфизм алмазов из россыпей Присаянья в связи с проблемой их коренных источников ..... 25
<i>Иванова И. И.</i> Рациональное планирование геологоразведочных работ при поисках медно-порфировых объектов на территории Мэлдэжской интрузивно-купольной структуры (Магаданская область) на основе трёхмерного геолого-геофизического моделирования и использования нейросетей ..... 16	<i>Саблуков С. М.</i> О петрологических принципах выделения перспективных площадей для поисков месторождений алмазов на севере Русской платформы ..... 35
	<b>ДИСКУССИИ</b>
	<i>Конкин В. Д., Донец А. И., Мигачёв И. Ф.</i> Пространственно-временная связь золоторудных и стратиформных полиметаллических месторождений в черносланцевых толщах Олоkitского рудного узла ..... 56

Редакция: *Т. М. Папеско, А. П. Фунтикова*  
Компьютерная верстка: *А. Д. Юргина*

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

Свидетельство о регистрации в средствах массовой информации

№ 01217 от 03 июня 1992 г.

Подписано в печать 00.00.2023

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1  
Телефон: (495) 315-28-47. Факс: (495) 315-43-47. E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Сайт: [http://tsnigri.ru/o\\_geology](http://tsnigri.ru/o_geology)

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

Типография ФГБУ «ЦНИГРИ»

## Локализация площадей для проведения ГДП (ГМК)-200 на золото на основе составления и анализа карт закономерностей размещения и прогноза большеобъёмных черносланцевых и эпипермальных месторождений золота Российской Федерации масштаба 1:2 500 000

Рассмотрены вопросы локализации площадей для проведения ГДП (ГМК)-200 на основе составления и анализа карт закономерностей размещения и прогноза большеобъёмных черносланцевых и эпипермальных месторождений золота Российской Федерации масштаба 1:2 500 000. Рассмотрены региональные прогнозные критерии локализации золоторудных объектов, их проявленность на территории РФ. Даны рекомендации по постановке ГДП (ГМК)-200 в пределах листов, благоприятных для локализации площадей, перспективных на выявление в дальнейшем большеобъёмных черносланцевых и эпипермальных месторождений золота. Приведены прогнозные ресурсы золота и серебра по территории Дальневосточного федерального округа и Арктической зоны Российской Федерации.

*Ключевые слова:* металлогенический анализ, прогнозные критерии, месторождения, золото, рекомендации, ресурсы, Российская Федерация.

МОЛЧАНОВ АНАТОЛИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, Anatoly\_Molchanov@vsegei.ru

БЕЛОВА ВАЛЕНТИНА НИКОЛАЕВНА, старший научный сотрудник, Valentina\_Belova@vsegei.ru

СЕМЕНОВА ВАЛЕНТИНА ВАСИЛЬЕВНА, ведущий инженер, Valentina\_Semenova@vsegei.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского» (ФГБУ «ВСЕГЕИ»), г. Санкт-Петербург

## Distinguishing of areas for conducting the GDP (GMM)-200 for gold, based on the compilation and analysis of the distribution regularities and forecast maps for the black-shale and epithermal type large-volume gold deposits of the Russian Federation at scale 1:2 500 000

A. V. MOLCHANOV, V. N. BELOVA, V. V. SEMENOVA

All-Russian Scientific Research Geological Institute named after A. P. Karpinsky, St. Petersburg

The article is devoted to problems of distinguishing the areas for conducting the GDP (GMM)-200 oriented for the black-shale and epithermal type large-volume gold deposits. The approach is based on compilation of the distribution regularity and forecast maps of the Russian Federation at a scale of 1:2 500 000, specialized for these gold deposits, and their analysis. Regional forecast criteria of the gold ore objects and the character of their manifestation over the territory of the Russian Federation are considered. Recommendations are given for setting up the GDP (GMM)-200 programs for map sheets favorable for localization of areas promising for revealing the large-volume black shale and epithermal gold deposits. The forecasted resources of gold and silver of the Far Eastern Federal District and the Arctic zone of the Russian Federation are presented.

*Key words:* metallogenic analysis, forecast criteria, mineral deposits, gold, recommendations, resources, Russian Federation.

На территории Российской Федерации и её континентального шельфа выявлены месторождения практически всех известных на Земле видов полезных ископаемых (в том числе стратегические, высоколиквидные и остродефицитные), выступающие в качестве фундамента экономики России.

Пространственно-временное распределение конкретных месторождений, а также разноранговых минерагенических подразделений (от рудных или потенциальных рудных узлов, районов, минерагенических зон и провинций) отражено на прогнозно-минерагенической карте Российской

Федерации и её континентального шельфа масштаба 1:2 500 000. Данная карта, составленная сотрудниками отдела металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых (рис. 1) в виде ГИС-проекта [8], в настоящее время выступает в качестве основного документа для аргументации постановки региональных геологоразведочных работ (ГРР) применительно к ГДП-200/2 и крупнее. Хотя прогнозно-минерагеническая карта Российской Федерации и её континентального шельфа масштаба 1:2 500 000 и показывает многообразие и масштабность минерально-сырьевой базы страны, но, по сути, является регистрационной, обобщённой в отношении минерагенических подразделений ранга металлогенических зон, рудных (потенциальных рудных) районов и узлов. В идеале карта должна строиться на основе совмещения монометалльных карт, составленных в виде отдельных слоёв ГИС-проекта, с отражением в каждом слое проявленности конкретных прогнозных критериев применительно к конкретным видам и типам полезных ископаемых. Только в этом случае будут строго обоснованы номенклатурные листы для постановки ГДП (или ГМК)-200/2 как перспективные для локализации площадей под дальнейшие поиски месторождений полезных ископаемых, с указанием ведущего полезного ископаемого в рамках предложенных листов, их ожидаемого рудно-формационного типа и возможного объекта-аналога.

В соответствии со Стратегией развития минерально-сырьевой базы страны до 2035 г., утверждённой распоряжением Правительства РФ от 22.12.2018 № 2914-р, золото относится к полезным ископаемым второй группы, для которых достигнутые уровни добычи недостаточно обеспечены запасами разрабатываемых месторождений. В связи с чем перед региональными прогнозно-металлогеническими исследованиями, охватывающими всю территорию Российской Федерации, актуальной становится задача локализации площадей для проведения ГДП (ГМК)-200, перспективных на выявление месторождений золота, востребованных геолого-промышленных типов, в том числе большеобъёмных черносланцевых и эпитеpmальных.

К 2022 г. сотрудниками отдела металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых ФГБУ «ВСЕГЕИ» на основе имеющихся данных по региональным геологическим исследованиям, включая материалы, полученные при создании Государственных геологических карт ГК-1000/3

и ГДП-200/2, а также накопленной информации по региональной и отраслевой металлогении, балансовым запасам месторождений золота, количественной оценке прогнозных ресурсов (авторских и утверждённых) территории Российской Федерации (по состоянию на 01.01.2021), были созданы ГИС-проекты «Карта закономерностей размещения и прогноза большеобъёмных черносланцевых месторождений золота территории Российской Федерации масштаба 1:2 500 000» [5] и «Карта закономерностей размещения и прогноза эпитеpmальных месторождений золота территории Российской Федерации масштаба 1:2 500 000» [6] в программной среде ArcGIS с использованием основного приложения платформы ArcMap (версия 10.2), визуализированный вид которых приведён на рисунках 2 и 3.

Составленные ГИС-проекты являются многослойными (рис. 4), что позволяет при необходимости увидеть местоположение разноранговых металлогенических таксонов (металлогенические зоны, рудные и потенциально рудные районы, узлы) и конкретных рудных объектов (месторождения, рудопроявления, пункты минерализации) золота в геофизических полях, в областях развития различных типов рудоносных гидротермально-метасоматических образований, в пределах развития различных по возрасту, генезису и составу геологических тел, интерпретационных структур космофотоматериалов и др.

Привязка металлогенических таксонов ранга металлогенических зон, рудных и потенциальных рудных районов и узлов обоснована на картах как геологически, включая проявленность различных прогнозных критериев, так и фактическим размещением месторождений и прогнозных ресурсов всех категорий по конкретным локальным и площадным перспективным объектам.

Легенды к картам закономерностей размещения большеобъёмных черносланцевых и эпитеpmальных месторождений золота масштаба 1:2 500 000 традиционно состоят из двух блоков – геологического и металлогенического.

**Геологический блок** представляет собой условные обозначения различных геологических подразделений (магматических, вулканических, стратифицированных осадочных и осадочно-метаморфических), показанных на геологической карте России и прилегающих акваторий масштаба 1:2 500 000 [1], созданной в 2021 г. в ФГБУ «ВСЕГЕИ». Геологические подразделения, которые



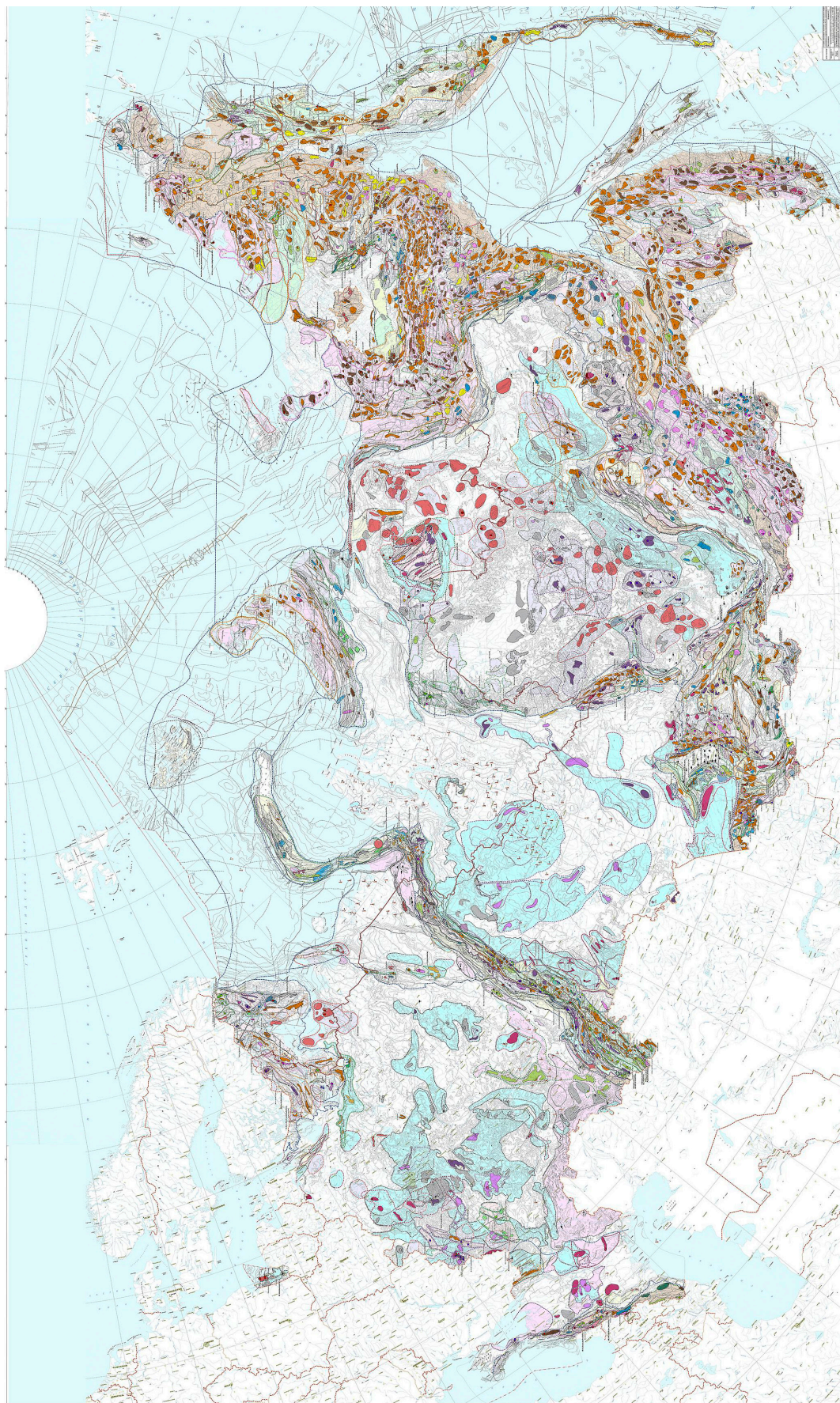


Рис. 1. Прогнозно-минералогическая карта Российской Федерации и её континентального шельфа масштаба 1:2 500 000





Рис. 2. Карта закономерностей размещения и прогноза большеобъёмных чернослапцевых месторождений золота территории Российской Федерации масштаба 1:2 500 000





Рис. 3. Карта закономерностей размещения и прогноза эпitherмальных месторождений золота территории Российской Федерации масштаба 1:2 500 000



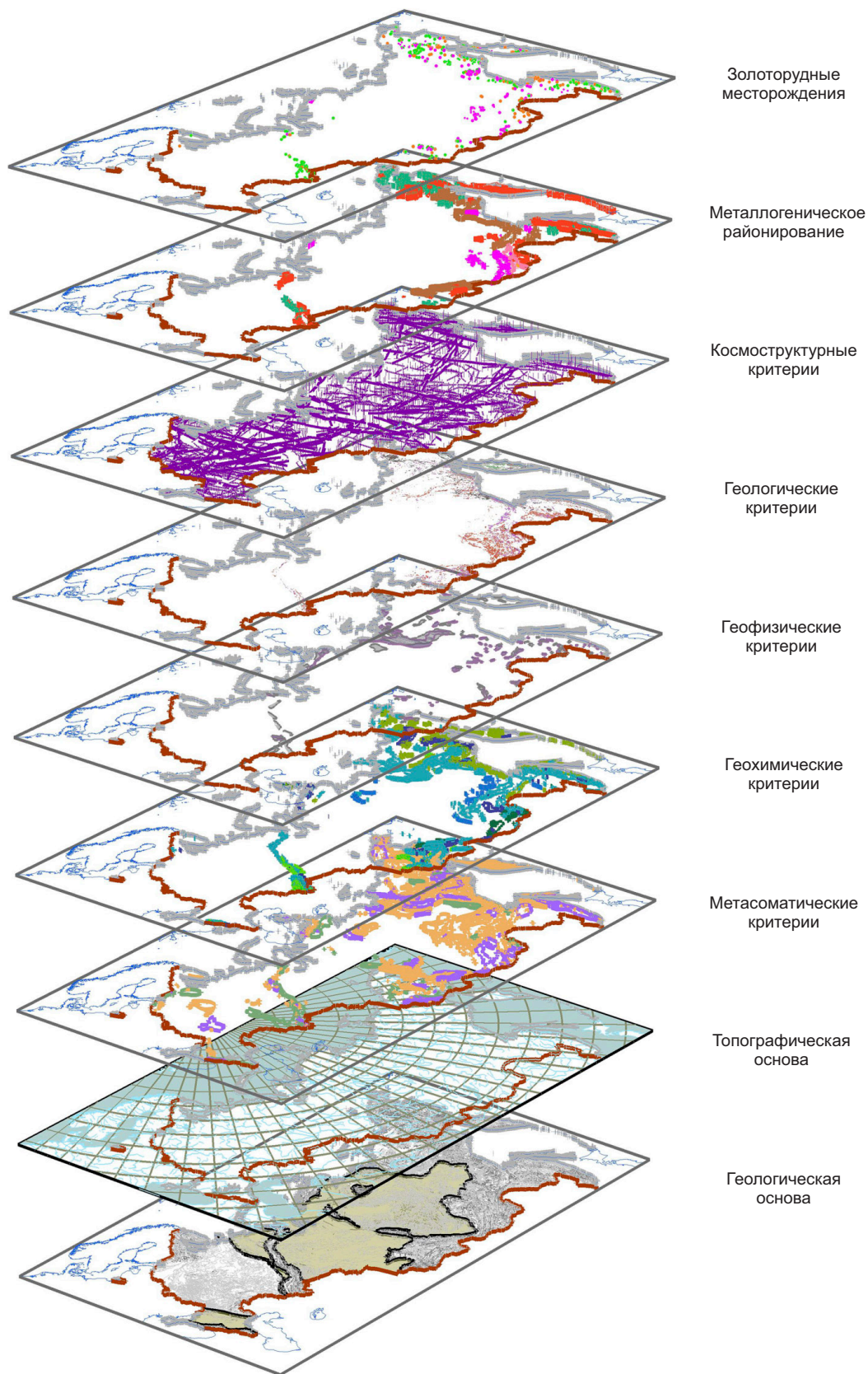


Рис. 4. Структура ГИС проектов «Карты закономерностей размещения и прогноза большеобъёмных черносланцевых и эпипермальных месторождений золота территории Российской Федерации масштаба 1:2 500 000»

не имеют существенного влияния на формирование и (или) размещение прогнозируемого золотого оруденения, показаны в чёрно-белом варианте. Те же геологические образования (стратифицированные, магматогенные), которые прямо или косвенно влияют на формирование и (или) размещение в геологическом пространстве большеобъёмного черносланцевого или эпиптермального золотого оруденения, в легендах и, соответственно, на картах показаны в цветовой гамме в соответствии с геологическим возрастом. По сути, в созданных легендах приводится «расшифровка» геологических критериев (магматических, вулканических, стратифицированных осадочных и осадочно-метаморфических) размещения большеобъёмных черносланцевых и эпиптермальных месторождений золота на территории Российской Федерации.

Само собой разумеется, что большеобъёмные месторождения золота в чёрных сланцах располагаются в черносланцевых толщах различного возраста. В связи с чем все стратифицированные геологические подразделения, выходящие на дневную поверхность и содержащие черносланцевые толщи, на полотно карты закономерностей размещения и прогноза большеобъёмных черносланцевых месторождений золота изображаются в традиционной цветовой гамме. Для черносланцевых золотоносных провинций типично сочетание углисто-терригенных и карбонатных формаций различных ступеней метаморфизма.

В настоящее время установлено, что в пределах золоторудных полей, включающих большеобъёмные черносланцевые месторождения золота, характерно развитие дайковых серий преимущественно базитового (лампрофиры, габбро-диабазы), умеренно кислого (адамелитовые и гранодиоритовые порфиры), реже кислого (гранит-порфиры) составов. По-видимому, магматогенные процессы, приведшие к формированию дайковых серий, наравне с метаморфогенными процессами послужили триггером к мобилизации, перераспределению и переотложению золота в промышленно значимых объёмах с формированием большеобъёмных черносланцевых месторождений золота. Следует напомнить, что магматические образования в основном вещественно не зафиксированы на современном уровне эрозионного среза известных рудных полей и месторождений большеобъёмного черносланцевого типа, то есть являются не вскрытыми современной эрозией. Типичный пример такого

положения – месторождение Мурунтау в Узбекистане, где по геофизическим данным на глубине нескольких километров предполагается наличие гранитоидного магматогенного очага.

В легенде и на карте закономерностей размещения и прогноза эпиптермальных месторождений золота цветом показаны лишь плутонические и гипабиссальные комплексы, а также вулканические и осадочно-вулканогенные образования, ответственные за формирование и (или) локализацию эпиптермальных месторождений.

**Металлогенический блок.** При формировании большеобъёмных черносланцевых месторождений золота существенную роль играли рудоносные гидротермально-метасоматические процессы тектоногенного и плутоногенного рядов, а также переходные синэпигенетические метаморфо-метасоматические процессы [4, 7]. Для эпиптермальных месторождений золота определяющую роль играли плутоногенные и вулканогенные рудоносные гидротермально-метасоматические процессы, вещественно зафиксированные в соответствующих рудоносных гидротермально-метасоматических формациях [4, 7]. Следует подчеркнуть, что рудоносные гидротермально-метасоматические процессы как выступали в роли одного из главных агентов по мобилизации, перераспределению и последующему переотложению золота и сопутствующих рудных элементов в благоприятных структурно-вещественных обстановках, так и способствовали привносу рудных компонентов из более глубоких горизонтов земной коры и (или) верхней мантии. В связи с этим в легендах к картам показаны *метасоматические критерии*. Ареалы развития рудоносных гидротермально-метасоматических формаций ранга областей, районов, узлов и площадей [4, 7], продуктивные на золото, показаны цветной штриховкой (рис. 5, А, Б).

Главенствующее значение для локализации оруденения имеют разноранговые и разнотипные разрывные структуры, выступающие и как рудоподводящие каналы, и как рудовмещающие структуры.

В то же время определённую роль в локализации золотого оруденения играют и различные типы пликативных структур. Так, *рудные районы* тяготеют к *синклинорным структурно-формационным зонам* и представляют собой первичные синклиналильные или грабен-синклиналильные прогибы.

Структурное положение рудных полей большеобъёмных черносланцевых месторождений золота

А

Условия формирования гидротермально-метасоматических формаций		Типы и виды рудоносных гидротермально-метасоматических формаций	Ранги ареалов ГМФ			
			Области	Районы	Узлы	Площади
Плутоногенные	Мезозонные	ОКС – Оксепалитовый: оксепалитовая (нерасчленённая), березит-оксепалитовая, биотит-оксепалитовая, гумбеит-оксепалитовая, лиственит-оксепалитовая, скарн-оксепалитовая, пропилит-оксепалитовая				
		ФИЛ – филлизитовый: филлизитовая (нерасчленённая), гумбеит-филлизитовая				
Тектоногенные	Приразломные	ГББ – Гумбеит-березитовый: гумбеит-березитовая				
		ПРБ – Пропилит-березитовый: пропилит-березитовая, пропилит-эйситовая, пропилит-лиственитовая, аргиллизитоидная (тектоногенная)				
		ПГБ – Пропилит-гумбеитовый: пропилит-гумбеитовая				
		ПРС – Пропилит-серицитолитовый: пропилит-серицитолитовая				
Переходные синклинетические	Метаморфо-метасоматические	МСЛ – Метасланцевый: апотерригенно-зеленосланцевая, кремнисто-сланцевая, джеспилитовая, кремнисто-кרבонатно-черносланцевая, скарноидная				

Б

Условия формирования гидротермально-метасоматических формаций		Типы и виды рудоносных гидротермально-метасоматических формаций	Ранги ареалов ГМФ			
			Области	Районы	Узлы	Площади
Плутоногенные	Мезозонные	ОКС – Оксепалитовый: оксепалитовая (нерасчленённая), березит-оксепалитовая, биотит-оксепалитовая, гумбеит-оксепалитовая, лиственит-оксепалитовая, скарн-оксепалитовая, пропилит-оксепалитовая				
		ФИЛ – филлизитовый: филлизитовая (нерасчленённая), гумбеит-филлизитовая				
		ГББ – Гумбеит-березитовый: гумбеит-березитовая				
Вулканоногенные	Континентальные кратонационные	КФ – Калишпатофировый: калишпатофировая (нерасчленённая), калишпатофир-аргиллизитовая, калишпатофир-эйситовая, калишпатофир-березитовая				
		ФФ – Фельдшпатофировый: калишпатофировая (нерасчленённая), фельдшпатофир-пропилитовая, фельдшпатофир-вторичнокварцитовая, фельдшпатофир-березит-аргиллизитовая, фельдшпатофир-адуляритовая				
	Океанические рифтогенные	АФ – Альбитофировый: альбитофировая (нерасчленённая), альбитофир-пропилит-березитовая, альбитофир-адуляритовая, альбитофир-березитовая, альбитофир-аргиллизитовая				

Рис. 5. Метасоматические критерии большеобъёмных черносланцевых месторождений золота (А) и эпипермальных месторождений золота (Б). Рудоносные гидротермально-метасоматические формации



определяется их приуроченностью к региональным зонам смятия, пластического течения и будинажа, связанных с надвигами и взбросами. Характерны межпластовые пологие срывы и литологически благоприятные горизонты.

Подходящей средой локализации эпитеpmальных месторождений выступают области, районы, узлы и площади масштабно проявленных рудоносных гидротермально-метасоматических образований, прежде всего, в пределах вулканоплутонических сооружений.

В легендах и составленных ГИС-проектах отражены *тектонические критерии*, показывающие локализацию оруденения в разноранговых и разнотипных разрывных структурах. *Космоструктурные критерии* отражают положение золотого оруденения относительно кольцевых и линейных структур, выделенных при интерпретации космических снимков. Знаками показаны кольцевые структуры различной генетической принадлежности, а также линейные структуры регионального и трансрегионального ранга. *Геохимические критерии* указывают на положение оруденения в границах геохимических таксонов благороднометалльной геохимической специализации, в том числе в сочетании с цветными и редкими металлами. Цветом показаны границы геохимических таксонов в соответствии с их специализацией (благородные, цветные и редкие металлы, а также их сочетание), благоприятные для выявления большеобъемных черносланцевых и эпитеpmальных золоторудных объектов. При этом геохимическая специализация зон и районов снята с геохимической карты России, созданной в 2020 г. сотрудниками ФГБУ «ИМГРЭ». Границы геохимических зон и районов отображаются различными цветами, показывающими геохимическую специализацию этих подразделений. *Геофизические критерии* отражают положение золотого оруденения в региональных гравиметрическом и аномальном магнитном полях России масштаба 1:2 500 000. Установлено, что геофизические критерии для определения перспектив выявления золотого оруденения в черносланцевых толщах неоднозначны применительно ко всей территории страны при построениях в масштабе 1:2 500 000. Так, *анализ карты аномального магнитного поля России масштаба 1:2 500 000, созданной во ВСЕГЕИ* [3], показывает, что наиболее благоприятными для наличия большеобъемных черносланцевых и эпитеpmальных месторождений золота с той или иной степенью

вероятности являются участки с отрицательными значениями аномального магнитного поля либо переходные (градиентные) зоны.

Закономерности проявления большеобъемных черносланцевых и эпитеpmальных месторождений золота в *региональных гравиметрических полях* в целом по территории Российской Федерации [2] однозначно не устанавливаются. Так, в пределах Байкальской минерагенической провинции золоторудное большеобъемное черносланцевое оруденение приурочено к участкам пониженного гравитационного поля, а также к его градиентным зонам. В пределах же Алтае-Саянской минерагенической провинции (Енисейский кряж) большеобъемные черносланцевые месторождения золота тяготеют к полям аномально высоких значений гравитационного поля и к его градиентным зонам. Такая же ситуация установлена и для эпитеpmальных месторождений золота. Положение эпитеpmальных месторождений в Охотско-Чукотской минерагенической провинции приурочено к участкам пониженного гравиметрического поля силы тяжести, а в Сихотэ-Алинской провинции – к площадям с высокими значениями гравиметрического поля. В то же время при проведении среднекрупномасштабных прогнозно-металлогенических или поисковых работ в пределах конкретных минерагенических провинций, минерагенических зон, рудных и потенциальных рудных районов и узлов геофизические критерии могут занимать одно из ведущих значений для прогнозирования перспективных площадей, рудных полей и месторождений.

В *металлогенических блоках легенд* введены обозначения разноранговых металлогенических таксонов (минерагенические провинции, минерагенические зоны, рудные или потенциальные рудные районы и узлы) и их рудная специализация. Золоторудные объекты<sup>1</sup> ранжированы по рангу – месторождения (крупные, средние, мелкие), рудопроявления, пункты рудной минерализации и их рудноформационной принадлежности.

<sup>1</sup> В ГИС-проектах «Карты закономерностей размещения и прогноза большеобъемных черносланцевых и эпитеpmальных месторождений золота» учтены лишь коренные (разноранговые) золоторудные объекты соответствующих рудноформационных типов. Россыпные объекты золота рекомендуется учитывать при локализации площадей, перспективных на выявление месторождений золота, при прогнозно-металлогенических исследованиях масштаба 1:200 000 и крупнее.

Общее количество месторождений золота, относимых на конец 2022 г. к большеобъёмным черносланцевым и находящимся в базе данных к ГИС-проекту «Карта закономерностей размещения большеобъёмных черносланцевых месторождений золота Российской Федерации масштаба 1:2 500 000», составляет 125 шт. Из них одно уникальное, 12 крупных, 37 средних и 74 малых. Кроме того, в базу данных включены 158 проявлений золотой минерализации этого типа, относимых к золото-сульфидно-кварцевой, золото-малосульфидной и золото-сурьмяно-мышьяковой формациям.

В атрибутивных таблицах к ГИС-проекту «Карта закономерностей размещения и прогноза большеобъёмных черносланцевых месторождений золота Российской Федерации масштаба 1:2 500 000» приводятся сведения по количеству прогнозных ресурсов различных категорий ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ) по конкретным минерагеническим таксонам – рудным и потенциальным рудным узлам и районам.

Анализ проявленности прогнозных критериев, отражённых на «Карте закономерностей размещения и прогноза большеобъёмных черносланцевых месторождений золота Российской Федерации масштаба 1:2 500 000» позволил рекомендовать для постановки ГДП (ГМК)-200/2 как наиболее благоприятных для локализации большеобъёмных черносланцевых месторождений золота по всем федеральным округам РФ (с учётом ООПТ и изученности) 75 номенклатурных листов, из них для первой очереди, то есть для ввода в работу до 2030 г., 20 листов. Кроме того, в атрибутивных таблицах приведены конкретные номенклатурные листы масштаба 1:200 000, рекомендованные для постановки ГДП (ГМК)-200/2 первой и второй очереди, по конкретным федеральным округам Российской Федерации как наиболее благоприятные для локализации большеобъёмных черносланцевых месторождений золота. В таблицах указываются также конкретные прогнозные критерии, проявленные в пределах рекомендованных номенклатурных листов (геологические, тектонические, геохимические, метасоматические, космоструктурные, геофизические, металлогенические). Отдельным слоем («Рекомендации») в ГИС-проекте показаны листы, рекомендованные для постановки ГДП (ГМК)-200/2 как благоприятные для локализации в их пределах площадей, перспективных на выявление большеобъёмных черносланцевых месторождений золота (рис. 6, А).

В атрибутивных таблицах приведены прогнозные ресурсы золота «черносланцевого типа» отдельно по Дальневосточному ФО (в т):  $P_3$  – 1091,9 (327),  $P_2$  – 953,8 (120,6),  $P_1$  – 1258,6 (108,5) и Арктической зоне России (в т):  $P_3$  – 675 (300),  $P_2$  – 500,4 (47,4),  $P_1$  – 625,7 (53,9)<sup>2</sup>.

Количество эпitherмальных месторождений, занесённых в базу данных ГИС-проекта «Карта закономерностей размещения и прогноза эпitherмальных месторождений золота территории Российской Федерации масштаба 1:2 500 000», составляет 137 шт., из них 7 крупных, 45 средних и 85 малых. Кроме того, в базу данных занесена информация по 236 проявлениям эпitherмальной золоторудной минерализации. По типу рудоносности рудные объекты классифицированы на Au, Ag, Au-Ag, Au-Ag-Te.

В атрибутивных таблицах к ГИС-проекту «Карта закономерностей размещения и прогноза эпitherмальных месторождений золота Российской Федерации масштаба 1:2 500 000» приведены сведения по количеству прогнозных ресурсов различных категорий ( $P_1$ ,  $P_2$ , рудным  $P_3$ ) по конкретным минерагеническим таксонам – рудным, в том числе потенциальным, узлам и районам.

Анализ проявленности прогнозных критериев, отражённых на карте закономерностей размещения и прогноза эпitherмальных месторождений золота Российской Федерации масштаба 1:2 500 000, позволил рекомендовать для постановки ГДП (ГМК)-200/2 как наиболее благоприятных для локализации эпitherмальных месторождений золота по всем федеральным округам РФ 89 листов, из них первой очереди 48 листов. Кроме того, в атрибутивных таблицах приведены конкретные номенклатурные листы масштаба 1:200 000 для постановки ГДП (ГМК)-200/2 первой и второй очереди по конкретным федеральным округам России как наиболее благоприятных для локализации эпitherмальных месторождений золота. В таблицах указываются также конкретные прогнозные критерии, проявленные в пределах рекомендованных номенклатурных листов (геологические, тектонические, геохимические, метасоматические, космоструктурные, геофизические, металлогенические). Отдельным слоем («Рекомендации») в ГИС-проекте показаны листы, рекомендованные для постановки ГДП (ГМК)-200/2 как благоприятные

<sup>2</sup> В скобках приведены авторские прогнозные ресурсы.



для локализации в их пределах площадей, перспективных на выявление эпитермальных месторождений золота (см. рис. 6, Б).

В атрибутивных таблицах приведены прогнозные ресурсы золота «эпитермального типа» от-

дельно по Дальневосточному ФО (в т): **золото:**  $P_3 - 3877,3$  (706,4),  $P_2 - 2137,2$  (791,9),  $P_1 - 1077,9$  (280,2), **серебро:**  $P_3 - 26633,5$  (13033),  $P_2 - 2303,7$  (12433,9),  $P_1 - 15202,9$  (6721) и Арктической зоне России (в т): **золото:**  $P_3 - 388,5$  (250),  $P_2 - 1225,5$ ,

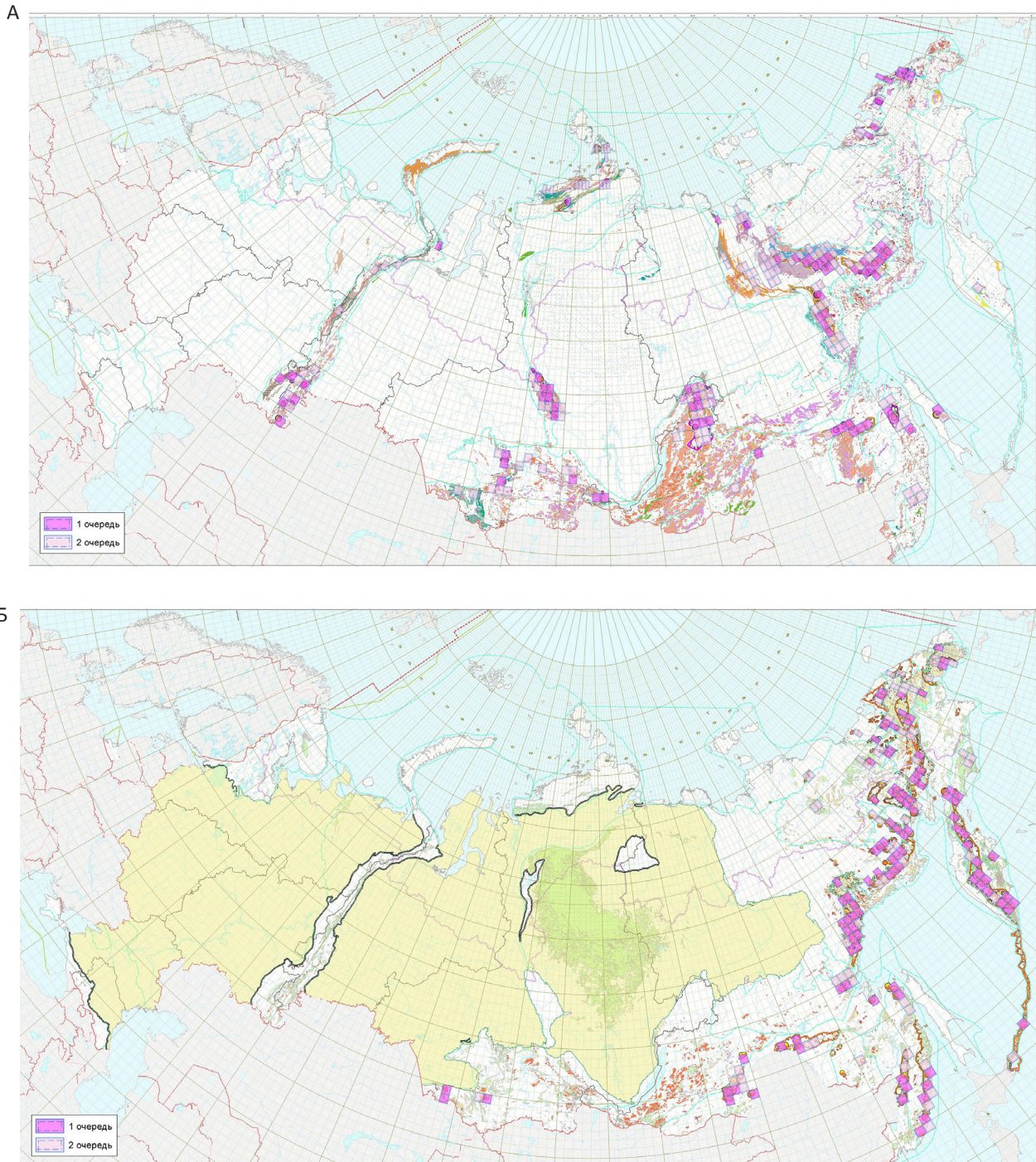


Рис. 6. Слой «Рекомендации». Листы, рекомендованные для постановки ГДП (ГМК)-200/2, благоприятные для локализации в их пределах площадей первой и второй очереди, перспективных на выявление большеобъемных черносланцевых (А) и эпитермальных (Б) месторождений золота



$P_1 - 230,8$ , **серебро**:  $P_3 - 4684$  (7200),  $P_2 - 9237$ ,  $P_1 - 2853$ .

В заключение следует подчеркнуть, что на основе анализа проявленности на территории Российской Федерации прогнозных критериев большеобъемных черносланцевых и эпитермальных месторождений золота, отражённых на картах закономерностей размещения и прогноза большеобъемных черносланцевых и эпитермальных месторождений золота Российской Федерации масштаба 1: 2500 000, разработаны рекомендации по оперативному (*листы первой очереди*) и среднесрочному (*листы второй очереди*) планированию проведения региональных геологосъёмочных работ ГДП (ГМК)-200/2 в целях изучения, локализации и освоения ресурсов золота основных минерагенических провинций, рудных районов, зон и узлов территории Российской Федерации (за счёт средств федерального бюджета). При этом, анализируя минерагеническое районирование

страны в целом, необходимо подчеркнуть, что преобладающее количество рудных районов и узлов, включая потенциальные их разности, а соответственно и количество запасов и прогнозных ресурсов золота «черносланцевого» геолого-промышленного типа, располагаются в коллизионных, коллизионно-аккреционных и аккреционно-коллизионно-(активноокраинных) минерагенических провинциях, располагающихся в административном отношении в основном в пределах Дальневосточного, Сибирского и Уральского федеральных округов, а количество запасов и прогнозных ресурсов золота «эпитермального» геолого-промышленного типа располагаются в аккреционно-коллизионно-активноокраинных, коллизионных и коллизионно-аккреционных минерагенических провинциях, располагающихся в административном отношении в основном в пределах Дальневосточного и Сибирского федеральных округов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геологическая карта России и прилегающих акваторий масштаба 1:2 500 000 [Карты] : физическая карта.* – СПб. : Издательство ВСЕГЕИ, 2019. – 16 с.
2. *Гравиметрическая карта России и прилегающих акваторий (Актуализированная версия) [Карты] : физическая карта.* – СПб. : Издательство ВСЕГЕИ, 2014. – 4 с.
3. *Карта аномального магнитного поля России и прилегающих акваторий (актуализированная версия). Масштаб 1:2 500 000 [Карты] : физическая карта // Гл. ред. Т. П. Литвинова.* – СПб. : Издательство ВСЕГЕИ, 2014. – 4 с.
4. *Карта гидротермально-метасоматических формаций России. Масштаб 1:2 500 000 [Карты] : физическая карта // Ред. О. В. Петров, В. В. Шатов, А. В. Молчанов, Е. В. Плющев.* – СПб. : Издательство ВСЕГЕИ, 2014. – 5 с.

5. *Карта закономерностей размещения и прогноза большеобъемных черносланцевых месторождений золота территории Российской Федерации масштаба 1:2 500 000 [Карты] : физическая карта // Ред. О. В. Петров, В. В. Шатов, А. В. Молчанов.* – СПб. : Издательство ВСЕГЕИ, 2022. – 5 с.
6. *Карта закономерностей размещения и прогноза эпипермальных месторождений золота территории Российской Федерации масштаба 1:2500 000 [Карты] : физическая карта // Ред. О. В. Петров, В. В. Шатов, А. В. Молчанов.* – СПб. : Издательство ВСЕГЕИ, 2022. – 5 с.
7. *Петров О. В., Плющев Е. В., Шатов В. В., Молчанов А. В., Соловьев Н. С., Кашин С. В., Соболев А. Е., Терехов А. В.* Гидротермально-метасоматические формации России // Региональная геология и металлогения. – 2016. – № 66. – С. 6–19.
8. *Прогнозно-минерагеническая карта Российской Федерации и ее континентального шельфа масштаба 1:2 500 000 [Карты] : физическая карта // Ред. О. В. Петров, В. В. Шатов, А. В. Молчанов.* – СПб. : Издательство ВСЕГЕИ, 2019. – 5 с.

### REFERENCES

1. *Geologicheskaya karta Rossii i prilegayushchikh akvatoriy masshtaba 1:2 500 000 [Geological map of Russia and adjacent water areas, scale 1:2,500,000, physical map], Saint Petersburg, VSEGEI publ., 2019, 16 p. (In Russ.)*

2. *Gravimetricheskaya karta Rossii i prilegayushchikh akvatoriy (Aktualizirovannaya versiya), fizicheskaya karta [Gravimetric map of Russia and adjacent water areas (Updated version), physical map], Saint Petersburg, VSEGEI publ., 2014, 4 p. (In Russ.)*
3. *Karta anomal'nogo magnitnogo polya Rossii i prilegayushchikh akvatoriy (aktualizirovannaya versiya).*

- Масштаб 1: 2 500 000, физическая карта [Map of the anomalous magnetic field of Russia and adjacent water areas (updated version). Scale 1: 2,500,000, physical map]. Ed. T. P. Litvinova, Saint Petersburg, VSEGEI publ., 2014, 4 p. (In Russ.)
4. *Karta gidrotermal'no-metasomaticheskikh formatsiy Rossii. Masshtab 1:2 500 000, fizicheskaya karta* [Map of hydrothermal-metasomatic formations in Russia. Scale 1:2 500 000, physical map]. Ed. O. V. Petrov, V. V. Shatov, A. V. Molchanov, Ye. V. Plyushchev, Saint Petersburg, VSEGEI publ., 2014, 5 p. (In Russ.)
  5. *Karta zakonomernostey razmeshcheniya i prognoza bol'sheob'yemnykh chernoslantsevykh mestorozhdeniy zolota territorii Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:2 500 000, fizicheskaya karta* [Map of patterns of placement and forecasting of large-volume black shale gold deposits on the territory of the Russian Federation, scale 1:2,500,000, physical map]. Ed. O. V. Petrov, V. V. Shatov, A. V. Molchanov, Ye. V. Plyushchev, Saint Petersburg, VSEGEI publ., 2022, 5 p. (In Russ.)
  6. *Karta zakonomernostey razmeshcheniya i prognoza epitermal'nykh mestorozhdeniy zolota territorii Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:2 500 000, fizicheskaya karta* [Map of patterns of distribution and forecasting of epithermal gold deposits on the territory of the Russian Federation, scale 1:2,500,000, physical map]. Ed. O. V. Petrov, V. V. Shatov, A. V. Molchanov, Saint Petersburg, VSEGEI publ., 2022, 5 p. (In Russ.)
  7. *Petrov O. V., Plyushchev Ye. V., Shatov V. V., Molchanov A. V., Solov'yev N. S., Kashin S. V., Sobolev A. Ye., Terekhov A. V. Gidrotermal'no-metasomaticheskiye formatsii Rossii* [Hydrothermal-metasomatic formations of Russia]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2016, No. 66, pp. 6–19. (In Russ.)
  8. *Prognozno-mineragenicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii i yeye kontinental'nogo shel'fa masshtaba 1:2 500 000, fizicheskaya karta* [Predictive mineralogical map of the Russian Federation and its continental shelf, scale 1:2,500,000, physical map]. Ed. O. V. Petrov, V. V. Shatov, A. V. Molchanov, Saint Petersburg, VSEGEI publ., 2019, 5 p. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 15.06.23; одобрена после рецензирования 18.07.23; принята к публикации 18.07.23.  
The article was submitted 15.06.23; approved after reviewing 18.07.23; accepted for publication 18.07.23.

По всем вопросам, связанными со статьями, следует обращаться в редакцию  
по тел. +7 (495)315-28-47,  
E-mail: ogeo@tsnigri.ru

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

### Рациональное планирование геологоразведочных работ при поисках медно-порфировых объектов на территории Мэлдэкской интрузивно-купольной структуры (Магаданская область) на основе трёхмерного геолого-геофизического моделирования и использования нейросетей

В работе приводится описание метода, позволяющего на основе трёхмерного математического моделирования, статистических методов и искусственного интеллекта принимать решение об эффективности использования различных геофизических измерений. В качестве эталона рассмотрены несколько хорошо изученных медно-порфировых рудопроявлений, для которых вычислены закономерности между петрофизическими, определяемыми по результатам геофизических измерений (магнитной проницаемости, удельного электрического сопротивления, вызванной поляризуемости и др.) и геолого-геохимическими параметрами.

Верификация метода осуществлялась для района Мэлдэкской купольной структуры, где сосредоточены рудопроявления разного типа, при этом данная территория специалистами оценивалась как слабоизученная в геологическом отношении. Детальные исследования проводились на участках Лора и Тальниковый. Для них построены априорные эталонные модели. Результаты моделирования свойств применены к проектированию полевого эксперимента для нового участка – Шхиперская площадь. Объекты на них в настоящее время находятся на стадии поисков и оценки.

*Ключевые слова:* медно-порфировые месторождения, Магаданская область, планирование полевого эксперимента, трёхмерное геолого-геофизическое моделирование, нейронные сети.

ИВАНОВА ИРИНА ИГОРЕВНА, геолог, anisimovaii@yandex.ru

Росгеология, Акционерное общество «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья» (АО «СНИИГГиМС»), г. Новосибирск

### Rational planning of geological exploration for porphyry copper objects within the Meldek intrusive-dome structure in the Magadan Region, based on application of 3D geological and geophysical modeling and neural networks

I. I. IVANOVA

Rosgeologiya, Joint Stock Company "Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources" (JSC "SNIIGGIMS"), Novosibirsk

The article describes a method that makes it possible to decide, based on the 3D mathematical modeling, statistical methods, and artificial intelligence, on the effectiveness of application of various geophysical measurements. Several well-studied porphyry copper prospects were used as reference objects, for which regular relationships were calculated between the petrophysical parameters, determined using geophysical techniques (magnetic permeability, electrical resistivity, induced polarization, and others), and the geological and geochemical parameters.

Verification of the method was carried out for the region of the Meldek dome structure, where ore occurrences of various types were concentrated, the area assessed by specialists as poorly studied in terms of geology. The detailed studies were carried out at the Lora and Talnikovoy prospects. A priori reference models were developed for them. Results of the modeling of the characteristics were applied to the planning of a field experiment for a new site, namely the Shkhiperskaya area. Objects at this area are currently at the exploration and assessment phase.

*Key words:* porphyry copper deposits, Magadan Region, field experiment planning, 3D geological and geophysical modeling, neural networks.



**Введение.** Большой объём накопившихся данных по геофизическим исследованиям и результатам бурения, выполненного на рудных месторождениях, позволяет применять перспективные методы машинного обучения как для оптимизации работ, рассчитывая производительность разных схем измерения и стратегии выполнения работ, так и для интерпретации полученных материалов. Однако большинство существующих разработок применения машинного обучения предназначено для нефтегазового сектора, с другим типом данных и размером области. Расчёты для рудных объектов в них выполнять не представляется возможным. Для моделирования и использования нейронных сетей для рудных объектов разработана платформа, построенная на базе хранилища большого объёма данных. Наиболее важная опора этой системы – способность преобразовывать различные типы данных с помощью соответствующего метода в единую конечноэлементную сетку, для тесной связи их с результатами бурения. В качестве примера рассмотрим медно-порфировые месторождения, являющиеся самым важным в мире источником меди, на долю которых приходится более 60% годового мирового производства и около 65% известных ресурсов меди. Также они являются важным источником других металлов, особенно молибдена, золота и серебра, в ряде месторождений попутно извлекают рений, теллур, элементы платиновой группы, мышьяк и цинк. Несмотря на относительно низкие содержания компонентов в рудах месторождений медно-порфирового типа, они имеют значительное социальное и экономическое значение, что особенно важно для развития таких регионов, как Магаданская область. Медно-порфировые месторождения образовывались повсеместно большую часть истории Земли начиная с архея, обычно в верхней части земной коры в тектонически активных конвергентных окраинах, на глубине 5–7 км. Вулкано-плутонические пояса восточных районов России являются естественным элементом Тихоокеанского складчатого обрамления, с которым связаны крупнейшие месторождения медно-порфирового типа. Выявленные в последние годы на востоке России весьма крупные месторождения Малмыж и Песчанка позволяют высоко оценивать перспективы региона.

В качестве объекта исследований выбран район работ Мэлдэксской интрузивно-купольной структуры, располагающийся в пределах Охотско-Чу-

котского вулкано-плутонического пояса на полуострове Кони-Пьягина. В её пределах выявлены и хорошо изучены рудопоявления: Тальниковый, Лора, Рыжик, Прямой, Крутой, Верный. Данные измерений с названных объектов использованы как обучающие. Южнее вышеописанных рудопоявлений в 2021–2022 гг. выполнены полевые геолого-геофизические измерения на участках Сульфидный и Мандычан Шхиперской площади (рис. 1). Результаты данных измерений использованы как тестовые.

**Общие геологические сведения о районе работ.** Площадь исследований отнесена к внутренней зоне Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП). Геологические особенности территории характеризуют её причастность к зоне сочленения континентальной и океанической плит (зона Беньоффа) островодужного типа и определяются принадлежностью к двум крупным геологическим структурам мезозой: Нюрчанскому вулканогенному прогибу и Кони-Пьягинскому магматогенному поднятию. Здесь развиты многофазные габбро-диорит-гранитовые интрузивы Кони-Пьягинского магматогенного поднятия, несущие молибден-медно-порфировое и золото-сульфидное оруденение и меловые вулканиты среднего-основного состава с проявлениями золото-серебряного оруденения.

Интерес представляет пространственное совмещение таких факторов, как пересечение зоны Мэлдэксской интрузивно-купольной структуры с зоной разломов [3], где размещены рудопоявления Тальниковый, Рыжик, Прямой, Крутой, Верный и другие (см. рис. 1).

На территории распространены юрские и меловые отложения, разделённые на свиты и толщи, а также неогеновые и четвертичные отложения различных генетических типов. Стратиграфические образования принадлежат трём комплексам. Геосинклинальные отложения юрского возраста представлены преимущественно морскими осадочными, вулканогенно-осадочными и вулканическими образованиями. Выше, с угловым несогласием, залегают континентальные образования, которые отнесены к Охотскому отрезку ОЧВП верхнеюрско-мелового возраста. Наиболее молодые – рыхлые отложения четвертичного возраста – выполняют речные долины. Выходы интрузивных образований прорывают юрские, ранне-меловые стратифицированные и субвулканические образования и представлены раннемеловым

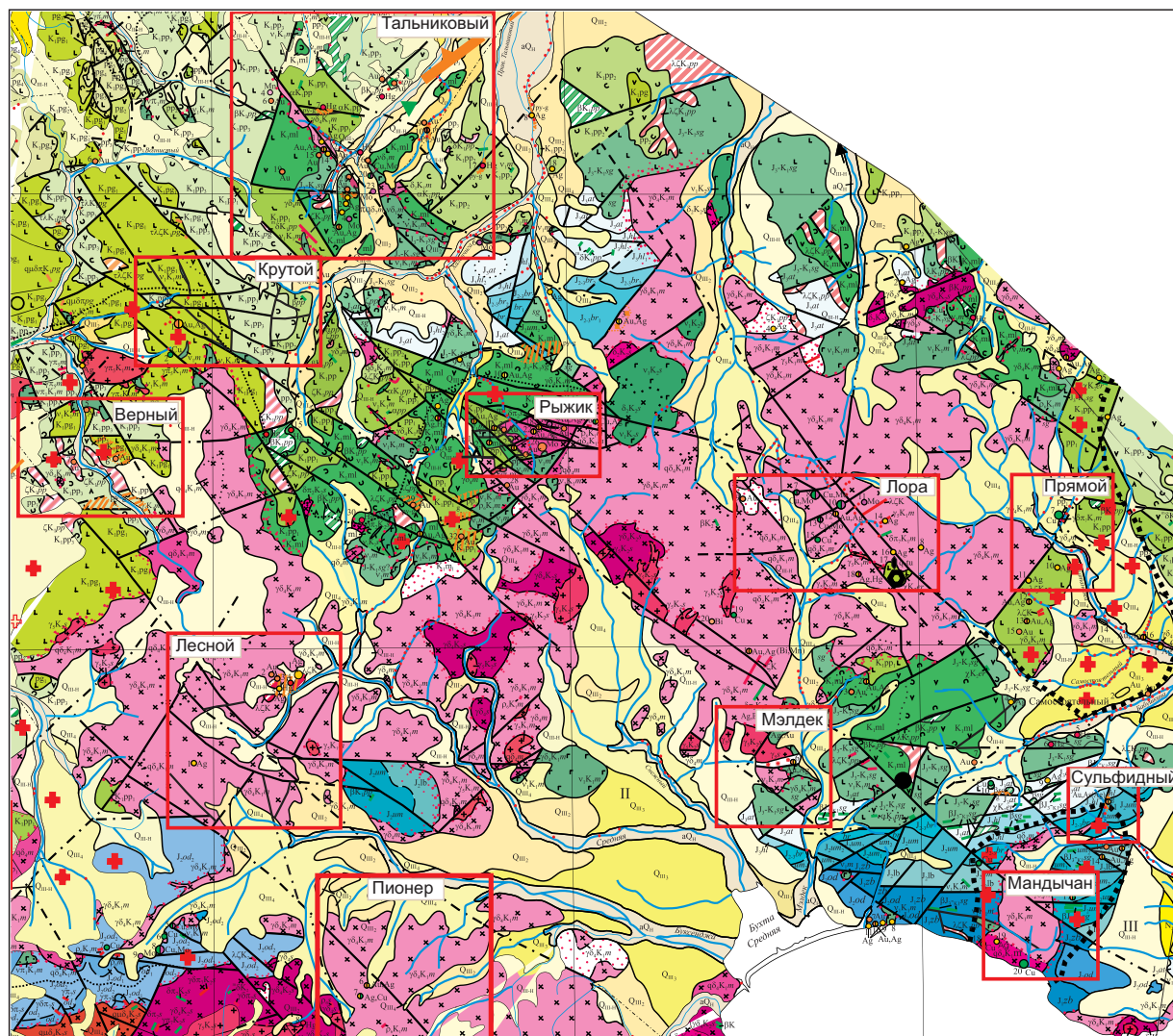


Рис. 1. Схема участков рудопроявлений Мэлдэской интрузивно-купольной структуры

магаданским, поздне меловым светлинским интрузивными комплексами. Магматические образования, связанные с заложением и формированием ОЧВП, развитые вдоль побережья Охотского моря, объединены термином «охотский комплекс». Субвулканические и жерловые образования представлены раннемеловыми штоками, дайками, реже силлами базальтов, андезибазальтов, андезитов, микродиоритов, дацитов и риодацитов. Разрывные нарушения на площади образуют группы различно ориентированных сближенных разломов, преимущественно линейных, реже дуговых. С зонами глубинных разломов связаны проявления динамотермального метаморфизма, зоны гидротермально-изменённых пород, рудопроявления.

**Метод исследования.** Метод создания трёхмерной геолого-геофизической модели рудных месторождений [2] с помощью математического моделирования и статистической обработки данных, позволяющий делать выводы об эффективности геофизических методов для решения конкретных геологических задач, предусматривает последовательность выполнения следующих этапов:

1. Постановка геологической задачи и выбор объекта моделирования.
2. Загрузка и анализ имеющихся по объекту геолого-геофизических данных в едином формате и оценка их качества.
3. Создание куба геологического строения на основе данных бурения и представлений геолога.

4. Построение куба содержания данных полезных компонентов, в том числе металлов по геохимическим результатам.

5. Задаётся трёхмерная сеточная модель среды с заданным уровнем детализации и количеством сеточных элементов на основании блокового геологического строения.

6. Выбирается область исследований.

7. Выполняется статистический анализ с распределением свойств по всему кубу данных и по заданным параметрам (например, в некоторой геометрической области и по типу пород и процессов).

8. Выявляется корреляционная связь между изучаемыми параметрами.

9. Загружается в нейронную сеть массив данных с кубов распределения и определяется вес каждого измеряемого параметра для решения конкретной задачи.

10. Определяется эффективность применения того или иного исследования на основании веса параметра, очевидно связанного с геологической эффективностью, и стоимости работ.

Для решения задачи использовалась собственная разработка компьютерного обеспечения, основанная на статистическом анализе и применении нейронной сети. В настоящее время программный продукт тестируется рядом учебных заведений (рис. 2).

**Используемые материалы.** Для верификации вышеописанного метода использованы данные по материалам магниторазведки и спектрометрии в наземном и в аэроформате, а также наземной электроразведки (методы ВП-СГ, МКП-ВП, ВЭЗ-ВП), электротомографии. Также взяты материалы исследования пород по данным РФА-анализа и табличные данные по петрофизическим свойствам из ряда отчётов.

**Геологический куб.** Рассматриваемый участок включает в себя молибден-медно-порфировое рудопоявление, вытянутое в северо-западном направлении на 5,5 км, при ширине до 2 км. Рудоносные тела, зоны метасоматически изменённых пород расположены вдоль Главного северо-западного разлома, являющегося основной магмо- и рудоконтролирующей структурой. Вмещающие породы – гранодиориты. Рудоносная порфировая фаза медно-порфировой системы генетически связана с диоритовыми порфиритами и гранодиорит-порфирами. На участке Лора выделены 2 рудных тела, локализованные в относительно приподнятом тектоническом блоке, на пересечении зоны

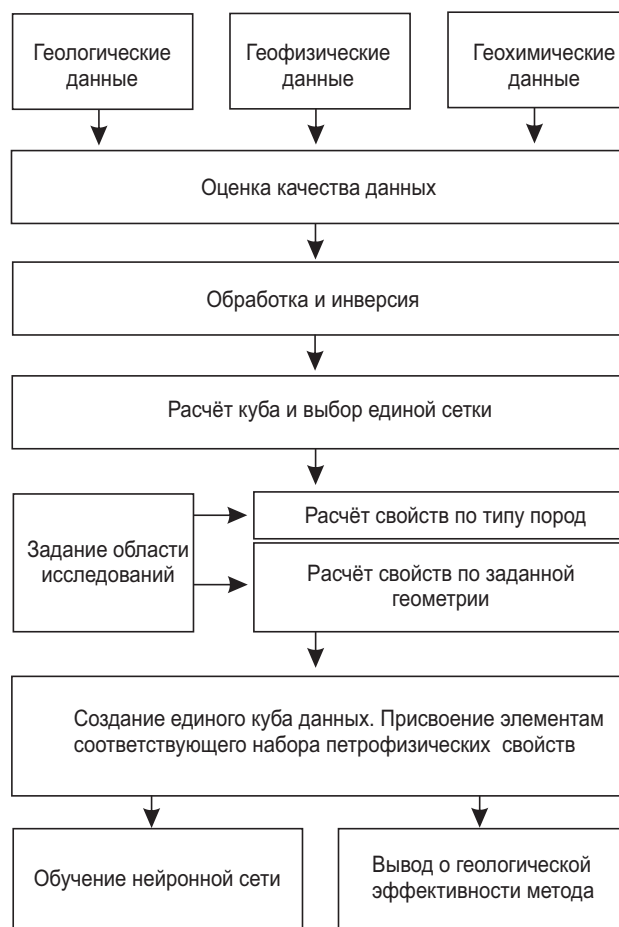


Рис. 2. Разрабатываемый метод оценки эффективности геофизических работ

северо-западного разлома с разломом северо-восточного направления. Рудоносная зона, вмещающая рудные тела 1 и 2, разбурена по сети  $200 \times 200$  м, со сгущением сети в аномальной зоне до плотности  $100 \times 100$  м. Рудные тела морфологически характеризуются как залежи неправильной призматической формы длиной до 1000 и шириной от 200 до 500 м. Простираются их северо-западное, обусловлено ориентировкой порфировых интрузий, которые представлены дайками, включающими трубообразные тела брекчий. По данным бурения, рудные тела имеют субвертикальный юго-западный контакт и погружаются в северо-восточном направлении под углами  $60-70^\circ$ .

**Куб магниторазведки.** Мэлдэкская купольная структура выделяется кольцевой магнитной аномалией контрастностью до 4000 нТ и размером около 16 000–18 000 м в диаметре. Аномалия присутствует на картах как наземной, так и аэромагнитной



съёмки различных годов. Относительно природы происхождения таких сильных магнитных аномалий высказывались несколько суждений. Точка зрения автора заключается в том, что влияющим фактором, помимо высокой концентрации магнитных аномалий, является процесс термонамагничивания. В 1960-х гг. исследователями в описываемом районе были отобраны несколько тысяч образцов пород разного типа и проведены полевые и лабораторные исследования, в том числе на терморазмагничивающей установке. Результаты лабораторных измерений показали, что после каждого цикла нагрев–охлаждение термостатическая намагниченность пород возрастает. При  $T$  350 °C ориентация слабых и стихийно расположенных доменов и частиц меняется, они выстраиваются вдоль силовых линий магнитного поля. То есть существование глубинных термических источников может прогревать породы вдоль ослабленных зон, что совместно с наличием магнитных минералов создаёт высококонтрастные кольцевые (линейные аномалии). Учитывая, что вдоль них расположены зоны с наиболее благоприятными условиями для рудообразования (высокая температура, большая энергия для кристаллообразования, меньшее давление, наличие пустот, привнос материала), то можно считать такие магнитные аномалии критерием расположения рядом с ними участков, перспективных на наличие месторождения.

Факт локального прогрева участка исследований подтверждается и спутниковыми данными теплового индекса TIRS (10) с Landsat-8, характеризующего температуру поверхности, а не атмосферы. Более «прогретого» участка на полуострове Кони-Пьягина нет, что является с научной точки зрения интересным фактом и требует дальнейшего изучения с помощью более глубоких методов исследования, например, сейсморазведки и электроразведки методом переходных процессов (рис. 3).

*Куб радиометрических свойств.* Радиометрическое исследование на лабораторной установке проводилось на 1700 образцах. Результаты измерений показали, что вулканы района характеризуются низкой гамма-активностью. 90% всех замеров образцов укладываются в интервал 3–10 мкр/ч, что видно из вариационных кривых распределения естественной гамма-активности. Средняя активность составляет (мкр/ч): базальтов и их туфов – 4,7, андезитов и их туфов – 6,7, туфов дацитов – 8. Осадочные породы различаются доста-

точно чётко. Средняя активность (в мкр/ч): песчаников, алевролитов береговой свиты – 6,4, отложений мэлдэксской и ровнинской толщ – 8, халанчиканской свиты – 12,5. Её повышенную активность связывают с тонкообломочной разностью (алевролитов и аргиллитов), часто насыщенной органикой. Интрузивные образования характеризуются различными вариантами распределения гамма-активности, что подчёркивает неоднородность строения массива. Габбро и нориты имеют минимальную активность 3–5 мкр/ч, локализируются преимущественно в эндоконтактной зоне. Наблюдается закономерное повышение гамма-активности от периферии интрузивного комплекса к центру. Различия видны и из графиков гамма-активности раннемеловых гранодиоритов (графики 9–10). Они разделились на две группы со средней активностью 8,7 и 11,6 мкр/ч. Для определения свойств пород используют статистику. Рассматривая гистограммы с распределением свойств, можно отметить слабую дифференциацию пород, отчётливо выделяются только поздне-меловые ( $K_2$ ) граниты.

*Куб электромагнитных свойств горных пород.* Инверсионная геоэлектрическая модель совместно с данными каротажа КС позволяют определить значения удельного электрического сопротивления. Из анализа интервалов табличных значений «Удельное электрическое сопротивление (УЭС)» и «ВП» (табл. 1) видно, что дифференцировать породы сложно, интервалы перекрываются. Предшественниками [1] также выполнен корреляционный анализ электромагнитных полей с содержанием меди в литохимических пробах. Они отмечают, что корреляционная связь между компонентами геоэлектрического поля (КС и ВП) и содержанием меди в литохимических пробах в пределах выбранных интервалов **практически отсутствует**.

Несмотря на то, что корреляционный анализ, проведённый ранее, не показал эффективность применения геофизических исследований для оконтуривания рудных зон, принято решение использовать описанный выше метод, включающий нейросетевые технологии.

Для этого сначала необходимо было разбить область исследований на блоки (рис. 4), каждому из них присвоить набор соответствующих им петрофизических параметров и содержаний полезных компонентов. Расчёт средних значений свойств для каждого блока и корреляционных зависимостей

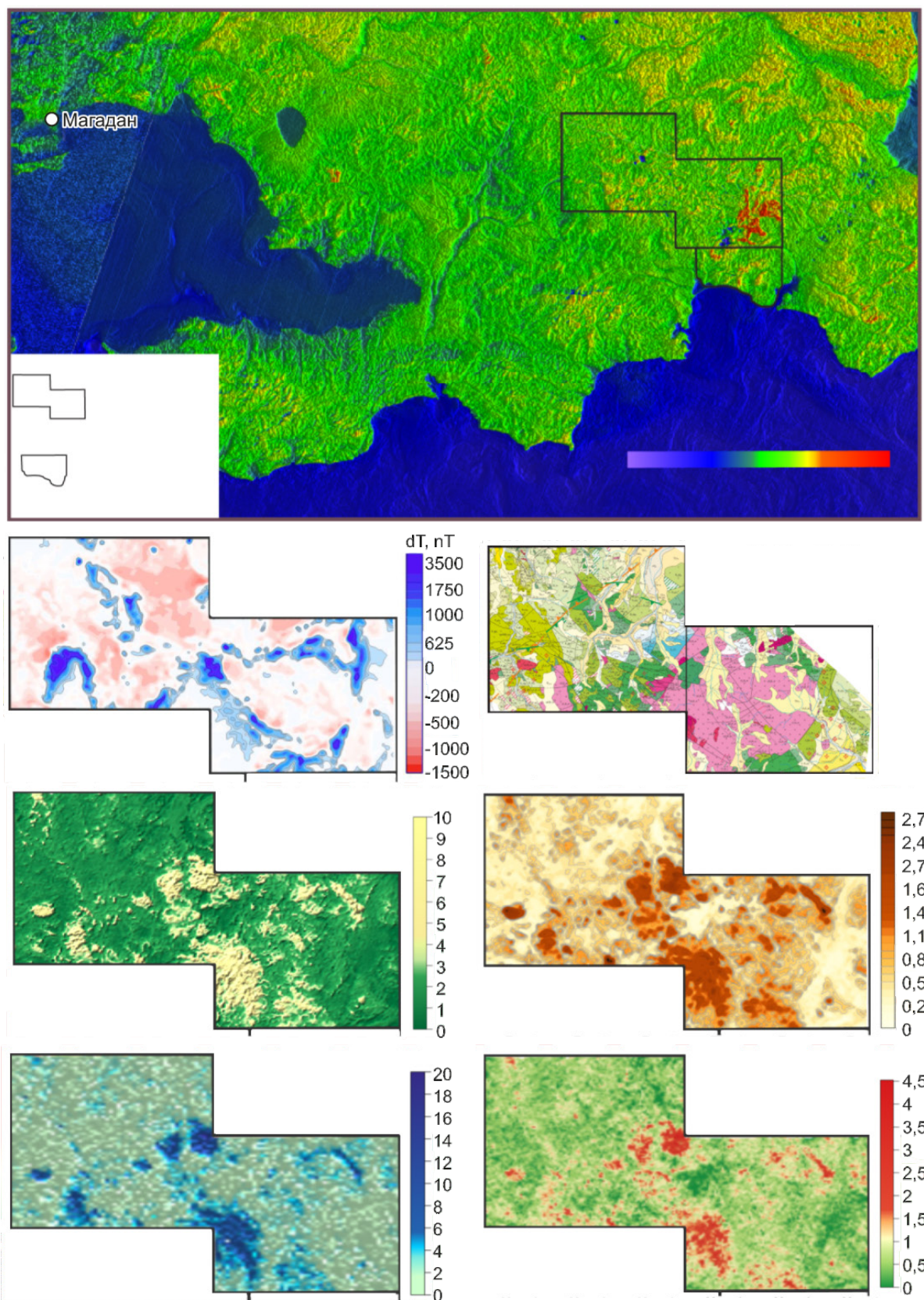


Рис. 3. Результаты исследований геофизическими методами

### 1. Среднеарифметические значения электромагнитных свойств пород изучаемого района

Породы	УЭС, Омм			Поляризуемость, %		
	Среднее	Минимальное	Максимальное	Средняя	Минимальная	Максимальная
Гранодиориты неизменённые	1500	2000	3000	0,3	0,01	2,9
Гранодиориты метасоматически изменённые	800	1000	1200	1,5	0,02	11,82
Гранодиорит-порфиры неизменённые	700	1000	1200	1,15	0,04	4
Гранодиорит-порфиры метасоматически изменённые	300	500	700	0,6	0,4	1,02
Диоритовые порфиры	400	500	600	0,8	0,03	3,3
Грейзены пиритизированные	500	700	900	0,6	0,04	0,7
Биотит-ортоклаз-кварцевые и серицит-ортоклазовые метасоматиты	1000	1200	1400	1,8	0,04	2,45

показал усиление *обратной корреляционной связи между ВП и УЭС* по мере возрастания содержания меди, что объясняется общим трендовым нарастанием степени гидротермально-метасоматической проработки геологических образований.

Обучение нейронной сети проводилось с прогнозированием следующих метрик: 1) выявление апикальных зон, характерных для расположенных рядом перспективных участков; 2) выявление зон с сульфидной минерализацией; 3) определение зон с повышенными содержаниями меди и молибдена.

Таким образом, апикальные области можно выявить по результатам измерений магниторазведки и гамма-спектрометрии с вероятностью 87%. При этом результаты магниторазведки почти в два раза выше результатов спектрометрии, то есть она наиболее информативна в решении такой задачи,

в том числе при поисках перекрытых интрузивов. Однако, такой вывод можно сделать только для конкретного района работ, где, по-видимому, зоны внедрения интрузий подвергались периодическому прогреванию, что в сочетании с повышенным содержанием железа привело к возникновению контрастных магнитных аномалий. При параметризации расположения зон повышенных содержания меди применение электроразведки имеет вес 6,75, магниторазведки – 1,78 и гамма-спектрометрии – 3,02. Значение прогноза составляет 57%.

**Результаты.** В работе проведена оценка того, насколько хорошо алгоритмы машинного обучения могут моделировать взаимосвязь петрофизических свойств и геофизических измерений. Тест синтетических данных показывает, что нейронные сети, используемые нами, указывают на области

### 2. Результаты моделирования с помощью нейронной сети

Метрика	Методы	Вес каждого метода	Значение прогноза, %
Выявление апикальных зон	Магниторазведка,	1,36	87
	Гамма-спектрометрия	0,7	
Выявление зон с сульфидной минерализацией	Магниторазведка,	1,78	57
	Гамма-спектрометрия,	3,02	
	Электроразведка	6,75	



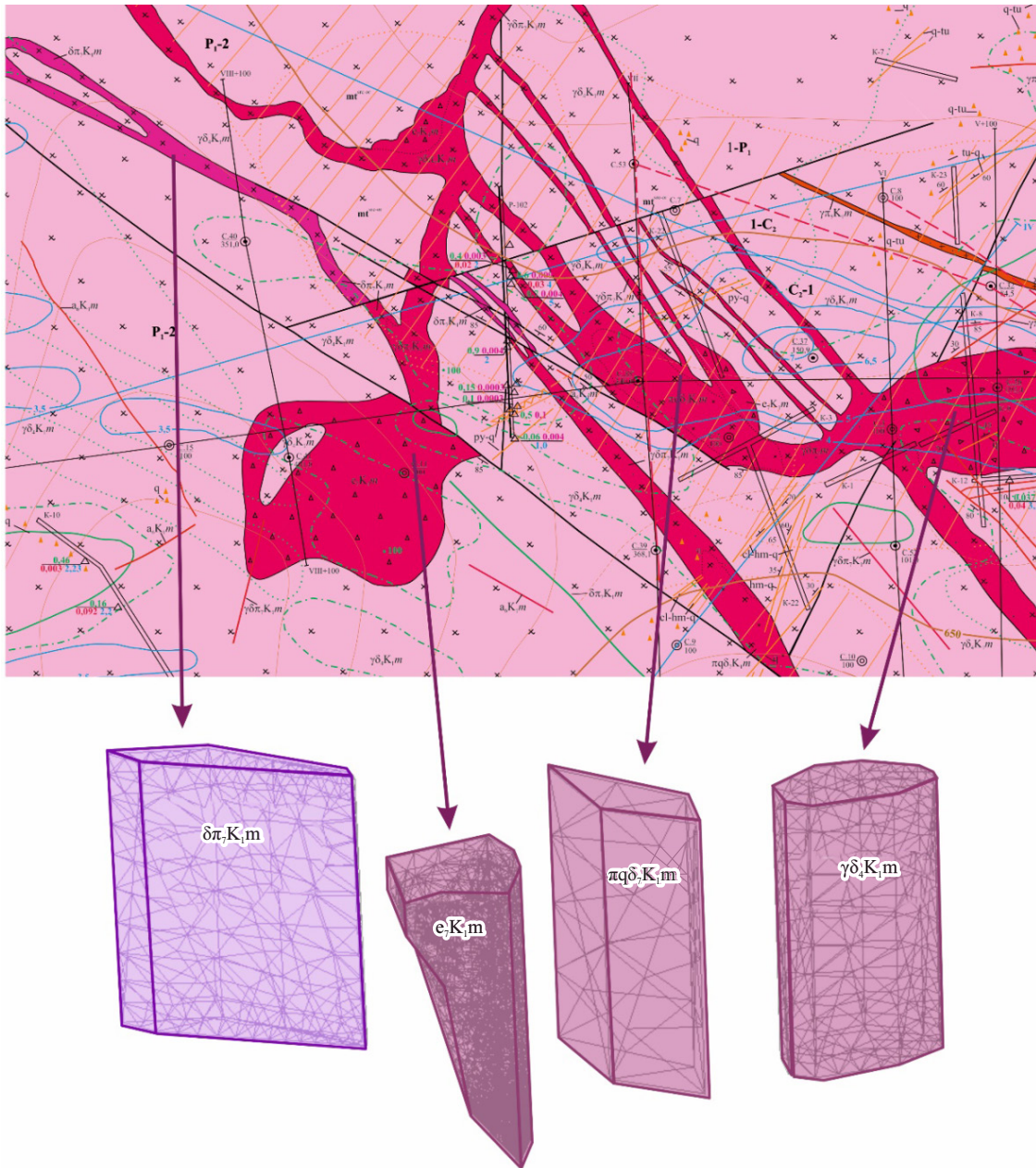


Рис. 4. Геологические объекты, разбитые на элементарные ячейки (блоки) с набором свойств

нахождения апикальных частей со средней точностью предсказания 87%, области сульфидной минерализации с вероятностью 57%. Для корректной работы рассмотренного алгоритма машинного обучения необходимо использовать минимум 10 000 данных измерений.

Сравнительный анализ подходов к статистическому анализу данных показывает, что алгоритмы машинного обучения достигают лучшего результата, чем обычное статистическое моделирование

свойств. Внедрение технологии построения конечноэлементных моделей на основе статистического обобщения свойств пород для участка Мэлдэжского поля способствует снижению рисков неудачного выбора геофизических методов на стадии проектирования полевых работ. Использование метода позволило уточнить геофизическую конфигурацию Мэлдэжского рудного поля, в контурах которого на сопредельной площади установлен ряд рудопоявлений.

Высказано предположение о происхождении контрастных магнитных аномалий. Возможно, что они обусловлены высокотемпературным глубинным очагом, о чём также свидетельствуют изменения температуры поверхности, полученные со снимка Landsat. Данный вопрос требует дальнейшего изучения более глубинными геофизическими методами.

Говоря о практической геологической составляющей исследования, следует отметить, что наи-

более перспективными на новой площади Шкиперская являются участки Сульфидный и Мэлдэк.

*Автор выражает благодарность А. Алексееву и Р. Колесову за предоставление первичных полевых материалов, использованных в данном исследовании, и А. Н. Глухову за полезные предложения и комментарии по району работ. Особая благодарность С. Г. Мишенину за исключительно важные замечания и помощь в выполнении работы.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Живулько Т. А.* Информационный отчёт по проведённым поисковым работам на Лоринской лицензионной площади. – Хабаровск, 2014.
2. *Иванова И. И., Долгушин А. П., Гурьев В. А.* Построение интегрированной геолого-геофизической 3D-модели медно-молибденового месторождения порфирового типа Эрдэнэт // ГеоЕвразия-2021. Гео-

логоразведка в современных реалиях : труды IV Международной геолого-геофизической конференции и выставки. – М. : ООО «ПолиПРЕСС», 2021. – Т. I. – С. 163–166.

3. *Шубин С. А., Ртищева Л. И., Попова Л. Н.* и др. Отчёт о поисково-оценочных работах на рудопоявлении Лора. – Магадан, 2003. – 290 с.
4. *Yao J., Guasch L., Warner M.* Neural networks as a tool for domain translation of geophysical data. – Geophysics. – 2023. – V. 88, Is. 3. – P. 267–275.

### REFERENCES

1. *Zhivul'ko T. A.* Informatsionnyy otchet po provedonnyim poiskovym rabotam na Lorinskoy litsenzyonnoy ploshchadi [Information report on prospecting work carried out on the Lorinskaya licensed area]. Khabarovsk, 2014. (In Russ.)
2. *Ivanova I. I., Dolgushin A. P., Gur'yev V. A.* Postroyeniye integrirovannoy geologo-geofizicheskoy 3D-modeli medno-molibdenovogo mestorozhdeniya porfirovogo tipa [Building an integrated geological and geophysical 3D model of the Erdenet porphyry copper-molyb-

denum deposit]. GeoEvraziya-2021. Geologorazvedka v sovremennykh realiyakh, trudy IV Mezhdunarodnoy geologo-geofizicheskoy konferentsii i vystavki, Moscow, PoliPRESS publ., 2021, V. I, pp. 163–166. (In Russ.)

3. *Shubin S. A., Rtishcheva L. I., Popova L. N.* et al. Otchet o poiskovo-otsenochnykh rabotakh na rudoproyavlenii Lora [Report on prospecting and appraisal work at the Lora ore occurrence]. Magadan, 2003, 290 p. (In Russ.)
4. *Yao J., Guasch L., Warner M.* Neural networks as a tool for domain translation of geophysical data, Geophysics, 2023, V. 88, Is. 3, pp. 267–275.

Статья поступила в редакцию 25.05.23; одобрена после рецензирования 19.06.23; принята к публикации 22.06.23. The article was submitted 25.05.23; approved after reviewing 19.06.23; accepted for publication 22.06.23.

## Типоморфизм алмазов из россыпей Присаянья в связи с проблемой их коренных источников

С применением метода ИК-Фурье спектроскопии впервые исследованы структурные примеси и дефекты в алмазах из россыпей Присаянья. Среди них преобладают индивиды (главная популяция) с пониженными общим содержанием азота и степенью его агрегации в кристаллах. В большинстве своём эти алмазы характеризуются послойным строением граней (октаэдры, ромбододекаэдры и переходные между ними формы) и сходны с алмазами из трубок Далдыно-Алакитского района Якутии. Высказывается предположение, что коренными источниками алмазов главной популяции из россыпей Присаянья были тела кимберлитов.

*Ключевые слова:* алмаз, кристалл, структурные примеси, азот, водород, внутреннее строение, ИК-спектроскопия, россыпи, кимберлиты, лампроиты.

ХАЧАТРЯН ГАЛИНА КАРЛЕНОВНА, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, khachatryan\_g\_k@mail.ru

АНАШКИНА НАТАЛЬЯ ЕВГЕНЬЕВНА, кандидат технических наук, научный сотрудник, anashkina@tsnigri.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

## Typomorphism of placer diamonds from the Near-Sayany Region in connection with the problem of their primary sources

G. K. KHACHATRYAN, N. E. ANASHKINA

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

Structural impurities and defects in diamonds from placer deposits of the Near-Sayany Region were first investigated using the IR-Fourier spectroscopy technique. The diamonds are dominated by individuals (the main population) with relatively low both the total nitrogen contents and the degree of its aggregation in the crystals. For the most part, these diamonds are characterized by a laminated structure of the faces (octahedra, rhombododecahedra, and their transitional forms) and are similar to diamonds from pipes of the Daldyn-Alakit district in Yakutia. It is suggested that the primary sources of diamonds of the main population from the placers of the Near-Sayany Region were represented by kimberlite bodies.

*Key words:* diamond, crystal, structural impurities, nitrogen, hydrogen, internal structure, IR spectroscopy, placers, kimberlites, lamproites.

Алмазы в Присаянье впервые были обнаружены в середине прошлого столетия сотрудниками ЦНИГРИ в аллювии р. Уда. В дальнейшем на реках Туманшет-Бирюсинского междуречья и других (рис. 1) были найдены несколько сотен кристаллов массой от 10 до 1500 мг. Коренные источники алмазов из россыпей Присаянья до сих пор не установлены, причём существуют разные представления об их типе. С точки зрения К. Н. Егорова и его коллег [3], россыпи сформировались за счёт тел кимберлитов и лампроитов

разного состава, а В. П. Афанасьев с соавторами [1] в качестве источника россыпей рассматривает Ингашинские алмазоносные жильные тела флогопит-оливиновых лампроитов (см. рис. 1).

Об условиях образования и коренных источниках алмазов из россыпей Присаянья можно судить на основе типоморфных свойств этих кристаллов, которые в настоящее время мало изучены. Ранее были охарактеризованы главным образом внешние признаки кристаллов – гранулометрия, морфология, скульптуры поверхности, окраска



и др. [4]. Согласно этим данным, в россыпях кристаллы с послойным строением граней (октаэдр, ромбододекаэдр и переходные между ними формы) находятся примерно в равных соотноше-

ниях с додекаэдроидами при небольшом преобладании последних (соответственно 40,7:48,9%). В подчинённом количестве встречаются октаэдроиды, а также кристаллы кубического габитуса

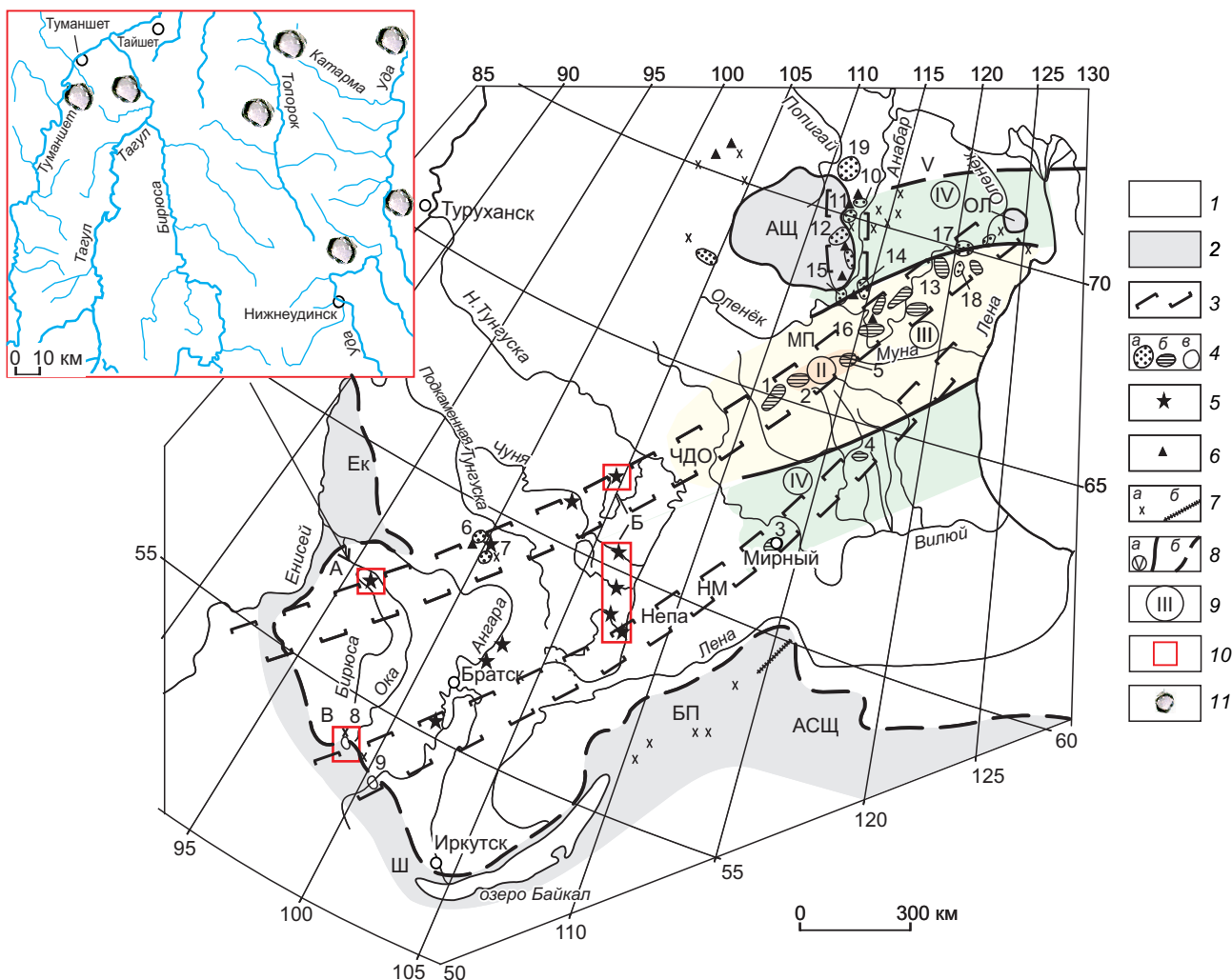


Рис. 1. Алмазоносные объекты Иркутской области на территории Сибирской платформы и Прибайкалья:

1 – чехол Сибирской платформы; 2 – щиты и их фрагменты (AR-PR): АЩ – Анабарский, ОЛ – Оленёкский, АСЩ – Алдано-Становой, БП – Байкало-Патомский, Ш – Шарыжалгайский, Ек – фрагмент Енисейского края; 3 – контуры линейментов, определяющих минерагенические зоны: ЧДО – Чадобецко-Далдыно-Оленёкского, НМ – Накынско-Мирнинского; 4 – контуры алмазоносных районов и полей с кимберлитами и родственными породами: а – мезозойского (MZ), б – палеозойского (PZ), в – допалеозойского возрастов (1 – Алакит-Мархинского, 2 – Далдынского, 3 – Мирнинского, 4 – Накынского, 5 – Мунского, 6 – Тайчикуно-Нембинского, 7 – Чадобецкого, 8 – Белозиминского, 9 – Окинского); 10 – Орто-Ыаргинского, 11 – Нижнекуонапского, 12 – Среднекуонапского, 13 – Восточно-Укукитского, 14 – Западно-Укукитского, 15 – Куранахского, 16 – Чомурдахского, 17 – Куойского, 18 – Молодинского, 19 – Попигайского; 5 – алмазы в аллювии; 6 – тела карбонатитов; 7 – тела щелочного и щёлочно-ультраосновного составов (а – массивы, б – пояс даек лампрофиров); 8 – границы зон распространения главных популяций алмаза (II-V) из тел кимберлитов (а) и из россыпей (б); 9 – области распространения алмазных популяций определённого типа; 10 – алмазоносные объекты Иркутской области: А – россыпи Присяня, Б – россыпи Нижней Тунгуски, В – Ингашинские тела лампроитов; 11 – некоторые известные места находок алмазов Присяня

и балласты. Наиболее распространены бесцветные кристаллы, при этом на поверхности некоторых из них имеются зелёные и бурые пятна пигментации. Реже отмечаются алмазы с зелёно-голубой, лилово-коричневой, жёлтой, бурой и фиолетовой окрасками. Характерная особенность алмазов из россыпей Присаянья – их высокая сохранность, причём доля целых, неповреждённых кристаллов составляет порядка 55%. Это может указывать на близость коренных источников алмазов россыпей, в случае если транспортировка алмазов осуществлялась водными потоками.

Наряду с россыпями Присаянья в Иркутской области известны россыпи алмазов в бассейне р. Нижняя Тунгуска (см. рис. 1). Алмазы упомянутых россыпей близки по кристалломорфологии, сохранности и другим типоморфным характеристикам [4].

Морфологические особенности кристаллов отражают лишь заключительную стадию их эволюции, поэтому для более обоснованного суждения о генезисе алмазов Присаянских россыпей и типе их коренных источников необходимо использовать весь комплекс генетически информативных типоморфных признаков алмаза. К ним относятся ранее не изученные: распределение структурных примесей в кристаллах, позволяющее оценивать температурные и глубинные условия алмазообразования [7], а также внутреннее строение кристаллов, отражающее механизм и историю их роста.

*Образцы и методы исследования.* С применением метода ИК-Фурье спектроскопии проанализированы 57 кристаллов алмаза из россыпей Присаянья средней массой 10 мг размером  $-2+1$  и  $-4+2$  мм. Большинство из них – бесцветные, также встречаются камни с дымчатой, бурой, красно-коричневой, желтоватой и зеленоватой окрасками. По кристалломорфологическим характеристикам (см. рис. 2 и таблицу) изученные образцы сходны с кристаллами, описанными в работе [4].

Метод ИК-спектроскопии позволяет оценивать содержание структурных дефектов и примесей в алмазах. Среди них наиболее информативными в генетическом плане являются азот в форме пар (А)-, одиночных (N)- и тетраэдрически сгруппированных (В) атомов, которые замещают углерод в кристаллической решётке алмаза, а также водород (Н) и плейтлетс (Р) – пластинчатые дефекты интерстициальной природы [5, 11, 13, 16, 19]. Кон-

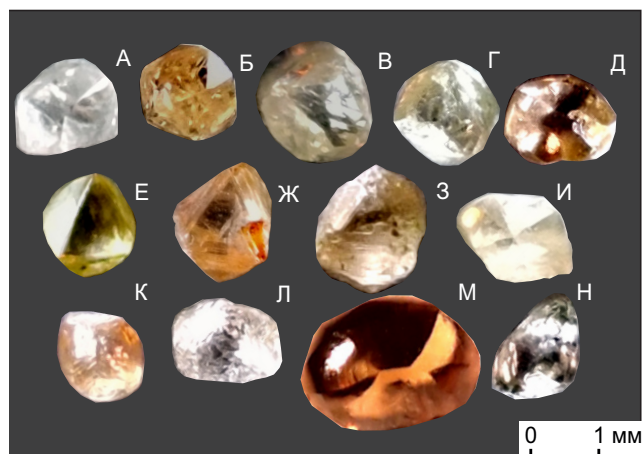


Рис. 2. Алмазы из россыпей Присаянья:

А–Д, Л–Н – додекаэдровиды (№№ 125, 130, 47, 124, 129, 150, 251, 151 соответственно); Е–К – кристаллы ряда октаэдр–ромбододекаэдр (№№ 142, 148, 144, 153, 147 соответственно)

центрация азота оценивалась количественно с использованием методики, изложенной нами ранее [8], а содержание водорода и плейтлетс в условных единицах – по коэффициентам поглощения спектральных линий около  $3107$  и  $1365$   $\text{см}^{-1}$  соответственно.

Большинство ИК-спектров получено на ИК-Фурье спектрометре Nicolet 380 с помощью микроскопа Centaurus компании THERMO Scientific в диапазоне  $650$ – $4000$   $\text{см}^{-1}$  со спектральным разрешением  $2$ – $4$   $\text{см}^{-1}$ . Более крупные кристаллы ( $-4+2$  мм) анализировались в диапазоне  $400$ – $4000$   $\text{см}^{-1}$  на том же спектрометре с использованием микроскопической приставки фирмы Carl Zeiss, Jena.

Внутреннее строение алмазов изучалось на примере одного из кристаллов (№ 157), из которого была изготовлена плоскопараллельная пластина. Исследование проводилось методом цветной катодной люминесценции на растровом электронном микроскопе «Стереоскан МК-II А» на физическом факультете МГУ им. М. В. Ломоносова.

*Результаты исследований.* По данным ИК-спектроскопии (см. таблицу), в изученной коллекции алмазов преобладают (~30% от всех) кристаллы с относительно низким суммарным содержанием азота ( $N_{\text{tot}}$ ), не превышающим  $110$  at.ppm. В этих кристаллах за небольшим исключением (№№ 131, 143, 147, 148) основной формой вхождения азота

Концентрации структурных дефектов в алмазах из россыпей Присяня

№ образца	Габитус кристалла	Содержание азота, ат.ррм			%NB	P, см <sup>-1</sup>	H, см <sup>-1</sup>
		NA	NB	Ntot			
47	д	>150	570	–	–	12,3	1,3
52	д	169	142	311	46	4,4	0,1
77	о	18	13	31	42	0,1	0,0
78	д	152	240	392	61	17,9	0,5
79	о	85	98	183	54	7,4	0,6
80	д	493	214	707	30	13,5	0,1
81	д	134	117	251	47	9,9	0,2
82	д	45	187	232	81	12,6	1,6
83	р/д	90	208	298	70	14,0	0,2
84	д	129	91	220	41	7,3	0,3
85	о	132	70	202	35	0,0	0,0
86	р/д	113	202	315	64	14,6	0,9
87	д	372	436	808	54	27,5	2,3
89	о	67	27	94	29	2,1	0,7
90	д	36	9	45	20	0,2	0,5
92	д	148	41	189	22	3,5	0,1
93	о	238	182	420	43	7,7	0,3
94	р/д	104	2	106	2	0,0	0,0
119	д	258	173	431	40	10,6	0,5
120	д?	114	114	228	50	9,6	1,9
121	д	298	270	568	48	18,5	1,4
122	д	170	198	368	54	14,7	1,1
124	д	>140	332	–	–	10,5	6,3
125	д	>160	151	–	–	8,2	0,1
126	р/д	121	110	231	48	9,3	0,3
127	д	285	175	460	38	7,1	0,2
128	о	84	158	242	65	12,1	2,1
129	д	157	193	350	55	13,3	1,7
130	д	221	746	967	77	17,2	6,7
131	–	25	32	57	56	2,2	0,5
133	д	125	358	483	74	12,9	0,4
134	д	202	168	370	45	10,8	1,2
135	д	182	173	355	49	12,7	0,4
136	д	>190	470	–	–	17,0	0,8
138	о	74	40	114	35	2,0	0,5
139	о	29	28	57	49	1,2	0,0
142	о	17	16	33	48	0,8	0,3
143	д	19	86	105	82	4,0	1,5



Окончание таблицы

№ образца	Габитус кристалла	Содержание азота, at.ppm			%NB	P, см <sup>-1</sup>	H, см <sup>-1</sup>
		NA	NB	Ntot			
144	р/д	102	38	140	27	2,3	0,9
145	д	34	8	42	19	0,5	0,1
146	д	>150	225	–	–	5,3	0,0
147	р/д	18	72	90	80	2,2	3,1
148	о	9	95	104	91	0,5	3,0
149	д	10	1	11	9	0,7	0,1
150	р/д	168	152	320	48	2,9	2,6
151	д	29	5	34	15	0,7	0,3
152	д	19	249	268	93	1,1	1,2
153	р/д	38	17	55	31	1,4	0,4
154	д	19	13	32	41	0,5	0,1
157	о	30	8	38	21	0,3	0,4
158	д	25	7	32	22	0,7	0,1
196	о	423	217	640	34	2,4	0,4
251	д	352	55	407	14	2,3	0,0
252	д	54	191	245	78	6,3	0,9
253	д	528	74	602	12	6,5	0,1
254	д	439	123	562	22	2,9	0,1
255	д	371	92	463	20	3,0	0,0

Примечание. о – октаэдр, д – додекаэдр, р/д – ромбододекаэдр и промежуточные члены ряда октаэдр–ромбододекаэдр; «–» – нет данных.

в алмаз являются А-дефекты, то есть концентрация азотных пар – NA – выше, чем тетраэдрических групп – NB. При этом доля азота в В-форме или степень его агрегации (%NB) составляет от 2–49% (см. таблицу). Подавляющее большинство низкоазотных алмазов характеризуется пониженным содержанием структурной примеси водорода и плейтлетс. Низкоазотный кристалл № 157 был исследован более детально с помощью методов цветной катодной люминесценции и ИК-спектроскопии (рис. 3). Этот кристалл октаэдрического габитуса принадлежит к ряду октаэдр–додекаэдр и характеризуется дитригональной формой октаэдрических граней.

Строение кристалла контрастно-зональное, что подчёркивается разными цветами катодной люминесценции и внутренним строением соответствующих зон. Центральная область (тёмно-синяя),

не считая включений (красные), выглядит достаточно однородной, промежуточная (зелёная) характеризуется волнистыми контурами фронта роста граней и волокнистым строением, а узкая внешняя зона (жёлто-зелёная) имеет послойно-октаэдрическое строение граней с прямолинейными границами между ними. Всё это указывает на смену механизма роста алмаза в процессе его кристаллизации. Вместе с тем значимые различия в распределении структурных примесей в объёме этого кристалла не наблюдаются. На фоне низкого содержания основных структурных дефектов в ИК-спектрах проявляется только азот в А-форме (главный пик около 1282 см<sup>-1</sup>) и водород (линия около 3107 см<sup>-1</sup>). Содержание структурного водорода от центра кристалла к его периферии снижается (см. рис. 3). Помимо структурных примесей в этом алмазе присутствует фазовая примесь

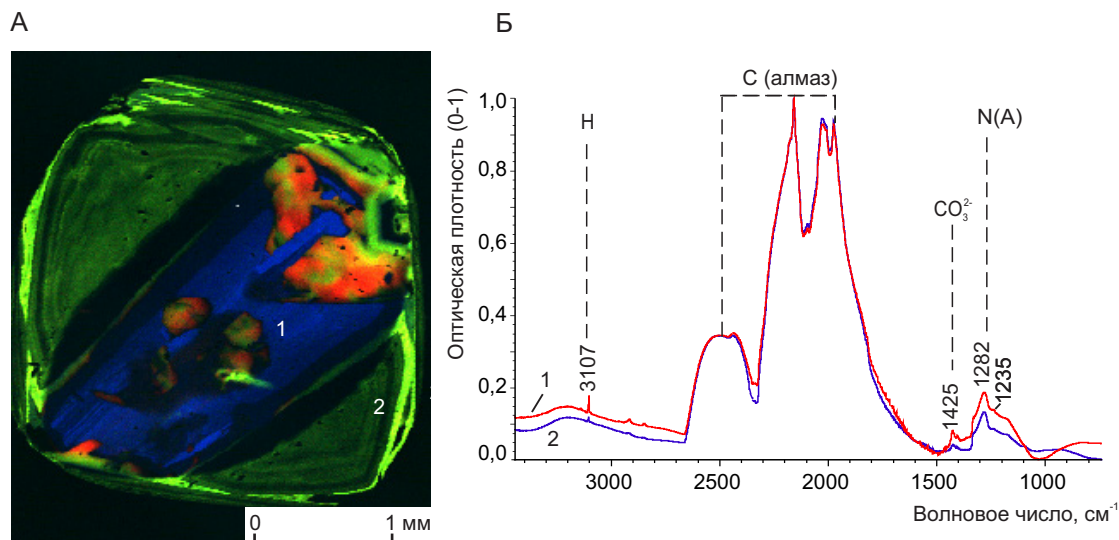


Рис. 3. Внутреннее строение (А) и ИК-спектры (Б) разных зон (1, 2) кристалла алмаза из россыпей Присяянья

карбоната, проявляющаяся пиком около  $1425\text{ см}^{-1}$ , что довольно типично для алмазов с волокнистым внутренним строением [12].

Распределение структурных примесей в алмазах изученной коллекции взаимосвязано с габитусом кристаллов (см. таблицу и рис. 4). Так, октаэдры с тригональной и дитригональной формой граней, а также плоскогранные ромбододекаэдры и переходные между октаэдром и ромбододекаэдром формы (см. рис. 2, Е–К) преимущественно характеризуются относительно пониженным общим содержанием азота ( $<420\text{ at.ppm}$ ). По сравнению с ними значительная часть додекаэдров, например кристаллы, представленные на рис. 2, А–Г, обладает более высокими содержаниями азота, составляющими  $430\text{--}967\text{ at.ppm}$ . Остальные додекаэдровиды, такие как кристаллы на рис. 2, Д, Л–Н, по распределению структурных дефектов подобны октаэдрам и ромбододекаэдрам и, по-видимому, образовались за счёт растворения последних.

Таким образом, в россыпях Присяянья преобладают алмазы с пониженными значениями общего содержания азота и степени его агрегации в кристаллах. Они представлены индивидами с послойным строением граней ряда октаэдр–ромбододекаэдр и производными от них додекаэдроидами. Область распространения таких кристаллов выделена на диаграмме (см. рис. 4) цветом и в

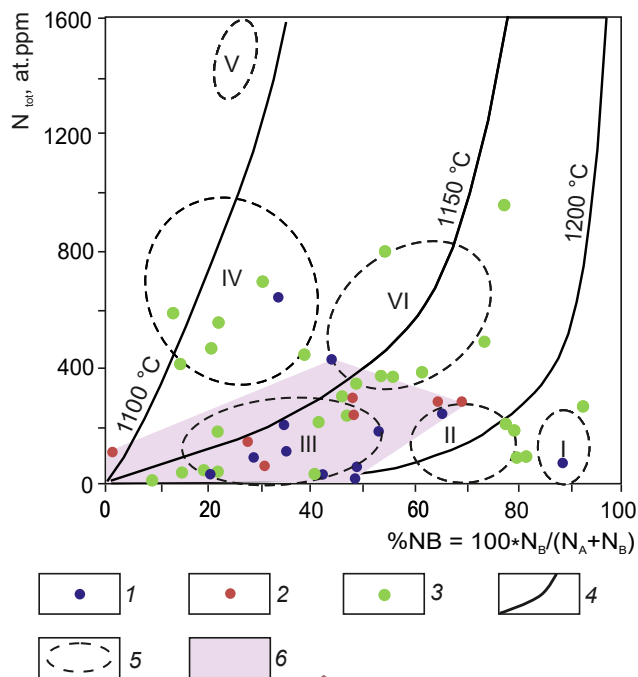


Рис. 4. Распределение азотных центров в алмазах из россыпей Присяянья и сравнительная характеристика условий их кристаллизации по модели [18]:

1 – октаэдры; 2 – алмазы ряда октаэдр–ромбододекаэдр; 3 – додекаэдровиды; 4 – изотермы для условного «возраста» алмазов 3 млрд лет; 5 – области распространения алмазных популяций типов I–VI, по [7]; 6 – область распространения алмазов с послойным строением граней

основном соответствует полю среднетемпературных популяций алмазов III типа [7].

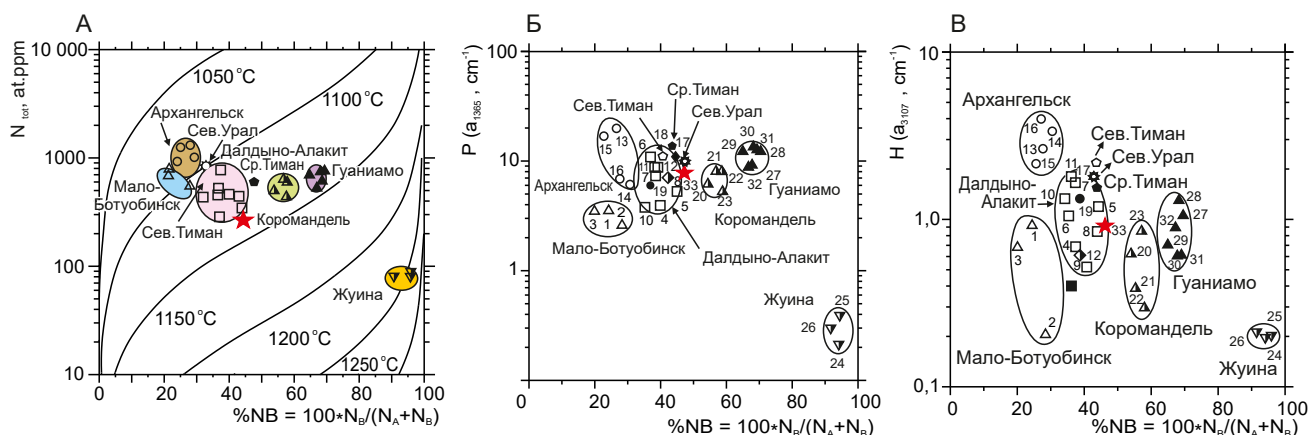
Усреднённые значения содержаний водорода, плейтлетс, азота ( $N_{tot}$ ) и степени его агрегации для изученной выборки алмазов из россыпей Присаянья нанесены на диаграммы (рис. 5, А–В). По этим параметрам они сходны с алмазами из трубок Далдыно-Алакитского района Якутии.

По комплексу свойств, включая кристалломорфологию, довольно близкими аналогами саянских алмазов являются алмазы из россыпей Северного и Среднего Тимана и Северного Урала (см. рис. 5, А–В), коренные источники которых тоже неизвестны.

**Обсуждение результатов.** Как показали проведённые исследования, по условиям образования алмазы из россыпей Присаянья наиболее близки к алмазам из трубок Далдыно-Алакитского района Якутии: Дальняя, Айхал, Прогнозная и других. Наиболее наглядно это сходство прослеживается при детальном сравнении соответствующих кри-

сталлов по содержанию в них азота в различных формах, плейтлетс и водорода на примере трубки Дальняя (рис. 6). Возникает вопрос, почему сопоставляемые алмазы столь различны по кристалломорфологии? В россыпях доминируют округлые алмазы – додекаэдрониды, а в трубках – плоскогранные ромбододекаэдрониды. Возможно, что алмазы из россыпей имеют не один, а два или более коренных источника, как предполагается в работе [3]. Действительно, главная популяция алмазов из россыпей Присаянья, относящаяся к III типу [7], преимущественно представлена именно ламинарными кристаллами, подобными алмазам из средне- и высокоалмазоносных кимберлитовых тел Якутии (см. рис. 4).

Вместе с тем часть округлых алмазов так называемого «уральского типа» из этих же россыпей, по-видимому, имеет иной коренной источник, так как относится к популяциям (см. рисунки 4 и 5), сопоставимым с алмазами из россыпей Урала и некоторых других районов [9]. Примерами



**Рис. 5. Усреднённые значения содержаний структурных дефектов в выборках алмазов из разных месторождений мира: А – азота ( $N_{tot}$ ) и степени его агрегации (%NB), Б – плейтлетс (P), В – водорода (H):**

трубки Мало-Ботубинского района: 1 – Интернациональная (57), 2 – Спутник (34), 3 – им. XXIII партсъезда (62); трубки Далдыно-Алакитского района: 4 – Айхал (35), 5 – Дальняя (35), 6 – Комсомольская (39), 7 – Краснопресненская (43), 8 – Прогнозная (40), 9 – Сытыканская (32), 10 – Удачная (38), 11 – Зарница (36); россыпи северо-восточной Якутии: 12 – Тас-Ары (43); трубки Архангельской области: 13 – Архангельская (39), 14 – им. Карпинского-1 (77), 15 – им. М. В. Ломоносова (102), 16 – Поморская (159); россыпи Северного Урала: 17 – (32); 18 – трубка Премьер, ЮАР (19); 19 – трубка DO-27, Канада (201); россыпи района Коромандель, Бразилия: 20 – Грота до Пимпим (34), 21 – Эспириту-Санто (32), 22 – Имбе (32), 23 – Криминоза (32); россыпи района Жуина: 24 – Сан-Луис (31), 25 – Вермельо (33), 26 – Цикора (34); силлы и россыпи Венесуэлы: 27 – силлы (51), 28 – Кебрада-Гранде (40), 29 – Лос Кокитос (52), 30 – Чиуауа (33), 31 – Ринги-Ринги (33), 32 – Сентелья (40), 33 – россыпи Присаянья (57); в скобках – число кристаллов в каждой выборке; изотермы (А) проведены для «возраста» алмазов 3 млрд лет, по [18]

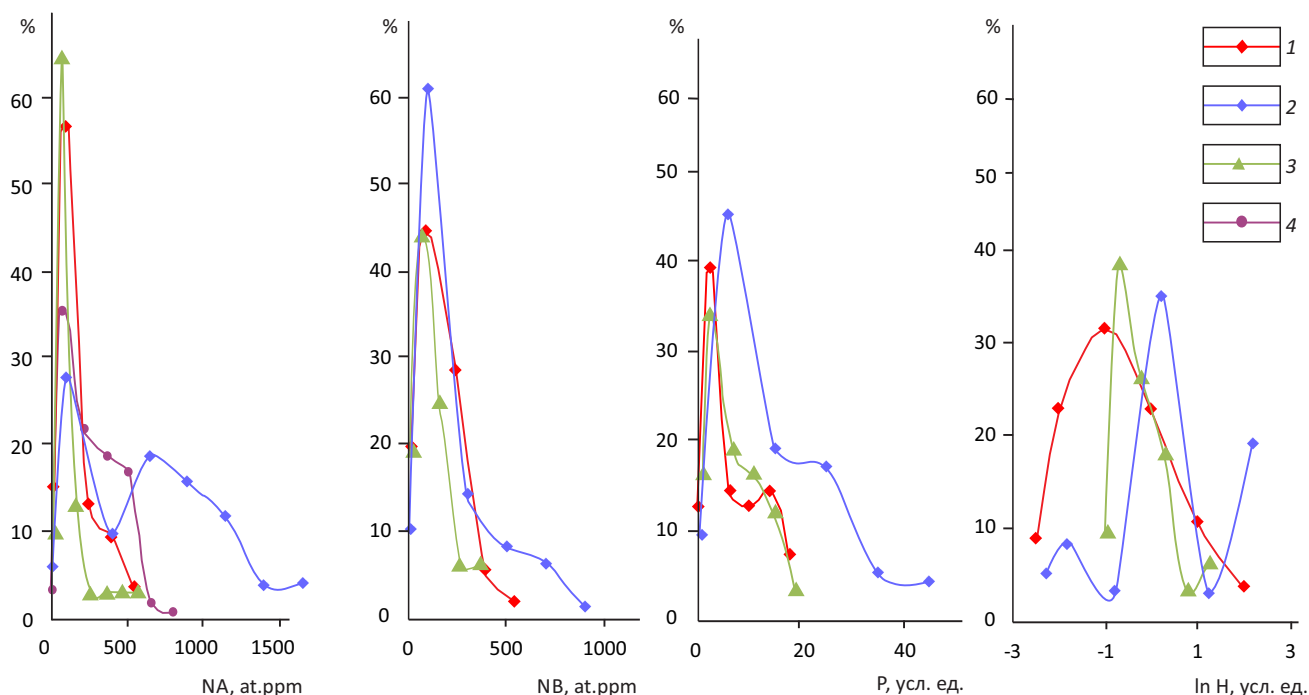


Рис. 6. Кривые распределения алмазов из россыпей Иркутской области и кимберлитовых трубок:

1 – россыпи Присяянья (57); 2 – трубка им. М. В. Ломоносова, Архангельская область (102); 3 – трубка Дальняя, Якутия (35); 4 – россыпи Нижней Тунгуски (110) [2]; в скобках приведено число образцов в выборке

коренных проявлений алмазов этого типа служат кимберлитовые трубки, приуроченные к краевым частям платформ, такие как трубки Золотицкого поля (Восточно-Европейская платформа), трубка Шенгли (Северо-Китайская платформа). С учётом геологической позиции россыпей Присяянья (см. рис. 1) наличие ещё не выявленных кимберлитовых трубок подобного типа в Иркутской области вполне вероятно. Об этом свидетельствует сходство алмазов из россыпей Присяянья и из трубки им. М. В. Ломоносова Золотицкого поля Архангельской области (главная популяция) по распределению структурных дефектов в кристаллах (см. рис. 6).

Вопрос о лампроитовом источнике алмазов из россыпей Присяянья [1], с нашей точки зрения, пока остаётся открытым. Это обусловлено тем, что типоморфные свойства алмазов Ингашинских лампроитов, которые, по мнению В. П. Афанасьева с соавторами (2011), питали эти россыпи, изучены недостаточно. Вместе с тем очевидное сходство между алмазами россыпей Присяянья и известных лампроитовых трубок не прослеживается. Так, например, по распределению азота по-

пуляции алмазов из россыпей относятся типу III (см. рис. 4), а из лампроитовой трубки Аргайл – соответственно к типу I [7]. По изотопному составу углерода алмазы из россыпей Присяянья, изученные в работе [14], не обнаруживают отчётливых совпадений с алмазами из лампроитовых трубок Аргайл и Маджгаван [6, 17].

В работе [4] отмечено подобие кристалломоρφологических характеристик алмазов из россыпей Иркутской области, расположенных в Присяянье и в районе Нижней Тунгуски. Как видно на рис. 6, оно подчёркивается сходным распределением азота в А-форме в кристаллах из сопоставляемых россыпей. Всё это, по-видимому, свидетельствует о подобию или общности их коренных источников. Если транспорт алмазов осуществлялся водными потоками, то с учётом высокой сохранности россыпных алмазов можно допустить относительную пространственную близость их коренного источника. Предположение о «местном» локальном коренном источнике алмазов россыпей в Иркутской области, расположенной в краевой части Сибирской платформы, согласуется с необычным внутренним строением



отдельных кристаллов (см. рис. 3). Оно отражает сложную, многоэтапную историю формирования алмазов, которая сопровождалась перерывами и сменой механизма роста. Именно такие особенности весьма характерны для алмазов краевых частей платформ в разных регионах земного шара [10, 15].

Таким образом, можно предположить, что в россыпях Присаянья алмазы главной популяции, в большинстве своём сходные с алмазами из тру-

бок Далдыно-Алакитского района Якутии, произошли за счёт кимберлитовых источников. Не исключено, что ещё не выявленные тела алмазоносных кимберлитов, питающих россыпи Присаянья и Нижней Тунгуски, расположены на территории Иркутской области.

*Авторы благодарят Ф. В. Каминского за предоставление материалов для проведения исследований и ценные замечания.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В. П., Лобанов С. С., Похиленко Н. П.* и др. Полигенез алмазов Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 3. – С. 335–353.
2. *Биленко Ю. М.* Примесный азот в алмазах из месторождений Якутии : специальность 04.00.20 «Минералогия» : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геол.-минерал. наук / Биленко Юрий Михайлович. – Новосибирск : Институт геологии и геофизики, 1983. – 14 с.
3. *Егоров К. Н.* Вклад члена-корреспондента АН СССР М. М. Одинцова в развитие минерально-сырьевого комплекса Восточной Сибири // Геодинамика и тектонофизика. – 2011. – Т. 2, № 4. – С. 325–340. DOI:10.5800/GT-2011-2-4-0048
4. *Зинчук Н. Н., Коптиль В. И.* Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. – М. : Недра, 2003. – 604 с.
5. *Соболев Е. В., Лисойван В. И.* Примесные центры в алмазах // Тезисы VIII отчетной научной конференции Института неорганической химии Сиб. отд. АН СССР (13–23 апр. 1971 г.). – Новосибирск : Сиб. отд. АН СССР, 1971. – С. 60–61.
6. *Соболев Н. В., Галимов Э. М., Ефимова Э. С.* и др. Кристаллические включения, изотопный состав углерода, азотные центры алмазов и особенности состава граната из трубки Маджгаван (Индия) // Геология и геофизика. – 1993. – Т. 34, № 12. – С. 85–91.
7. *Хачатрян Г. К.* Азот и водород в кристаллах алмаза в аспекте геолого-генетических и прогнозно-поисковых проблем алмазных месторождений // Отечественная геология. – 2013. – № 2. – С. 29–40.
8. *Хачатрян Г. К.* Усовершенствованная методика оценки концентраций азота в алмазе и её практическое применение // Геологические аспекты минерально-сырьевой базы АК «АЛРОСА». Современное состояние, перспективы, решения. – Мирный : ООО «Мирнинская городская типография», 2003. – С. 319–321.
9. *Хачатрян Г. К., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И.* и др. Исследование оптически активных центров в алмазах из россыпей Урала в связи с проблемой выявления их коренных источников // Геология и геофизика. – 2004. – Т. 45, № 2. – С. 244–252.
10. *Хачатрян Г. К., Палажченко О. В., Гаранин В. К.* и др. Генезис «неравновесных» кристаллов алмаза из кимберлитовой трубки им. Карпинского-1 по данным катодной люминесценции и ИК-спектроскопии // Вестник МГУ. Серия 4: Геология. – 2008. – № 2. – С. 38–45.
11. *Bursill L. A., Glaisher R. W.* Aggregation and dissolution of small and extended defect structures in type I a diamond // American Mineralogy. – 1985. – V. 70. – P. 608–618.
12. *Chrenko R. M., McDonald R. S., Darrow K. A.* Infrared spectrum of diamond coat // Nature. – 1967. – V. 214. – P. 474–476.
13. *Evans T., Kiflawi I., Van Luyten W.* et al. Conversion of platelets into dislocation loops and voids in type IaB diamonds // Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences. – 1995. – V. 449. – P. 295–313.
14. *Galimov E. M., Kaminsky F. V., Ivanovskaya I. N.* Carbon isotope composition of diamonds from the Urals, Taiman, Sayan, the Ukraine and elsewhere // Geochemistry International. – 1978. – V. 15, № 2. – P. 11–18.
15. *Lu T., Chen H., Qiu Z.* et al. Multiple core growth structure and nitrogen abundances of diamond crystals from Shandong and Liaoning kimberlite pipes, China // European Journal of Mineralogy. – 2012. – V. 24. – P. 651–656.
16. *Smith W. V., Sorokin P. P., Gelles I. L., Lasher G. I.* Electron spin resonance of nitrogen donors in diamond // Physical Review. – 1959. – V. 115. – P. 1546–1552.
17. *Stachel T., Harris J. W., Hunt L.* et al. Argyle Diamonds: How Subduction Along the Kimberley Craton Edge Generated the World's Biggest Diamond Deposit // Society of Economic Geologists, Inc. Special Publication. – 2018. – № 20. – P. 145–167.
18. *Taylor W. R., Milledge H. J.* Nitrogen aggregation character, thermal history and stable isotope composition of some xenoliths-derived diamonds from Roberts Victor and Finch // 6<sup>th</sup> International Kimberlite Conference : Extended Abstract. – Novosibirsk. – 1995. – P. 620–622.
19. *Woods G. S., Collins A. T.* Infrared absorption spectra of hydrogen complexes in Type I diamonds // Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 1983. – V. 44, № 5. – P. 471–475.

## REFERENCES

1. *Afanas'yev V. P., Lobanov S. S., Pokhilenko N. P.* et al. Poligenez almazov Sibirskoy platformy [Polygenesis of diamonds of the Siberian platform]. *Geologiya i geofizika*, 2011, V. 52, No. 3, pp. 335–353. (In Russ.)
2. *Bilenko Yu. M.* Primesnyy azot v almazakh iz mestorozhdeniy Yakutii [Impurity nitrogen in diamonds from deposits of Yakutia]. Novosibirsk, Institut geologii i geofiziki publ., 1983, 14 p. (In Russ.)
3. *Yegorov K. N.* Vklad chlena-korrespondenta AN SSSR M. M. Odintsova v razvitiye mineral'no-syr'yevogo kompleksa Vostochnoy Sibiri [Contribution of Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences M.M. Odintsov in the development of the mineral resource complex of Eastern Siberia]. *Geodinamika i tektonofizika*, 2011, V. 2, No. 4, pp. 325–340. (In Russ.)
4. *Zinchuk N. N., Koptil' V. I.* Tipomorfizm almazov Sibirskoy platformy [Typomorphism of diamonds of the Siberian platform]. Moscow, Nedra publ., 2003, 604 p. (In Russ.)
5. *Sobolev Ye. V., Lisoyvan V. I.* Primesnyye tsentry v almazakh [Impurity centers in diamonds]. Tezisy VIII otchetnoy nauchnoy konferentsii Instituta neorganicheskoy khimii Sib. otd. AN SSSR, Novosibirsk, Siberian Branch of the Academy of Sciences of the USSR publ., 1971, pp. 60–61. (In Russ.)
6. *Sobolev N. V., Galimov E. M., Yefimova E. S.* et al. Kristallicheskiye vkluycheniya, izotopnyy sostav ugleroda, azotnyye tsentry almazov i osobennosti sostava granata iz trubki Madzhavan (Indiya) [Crystalline inclusions, isotopic composition of carbon, nitrogen centers of diamonds, and compositional features of garnet from the Majgavan pipe (India)]. *Geologiya i geofizika*, 1993, V. 34, No. 12, pp. 85–91. (In Russ.)
7. *Khachatryan G. K.* Azot i vodorod v kristallakh almaza v aspekte geologo-geneticheskikh i prognozno-poiskovykh problem almaznykh mestorozhdeniy [Nitrogen and hydrogen in diamond crystals in the aspect of geological-genetic and predictive-search problems of diamond deposits]. *Otechestvennaya geologiya*, 2013, No. 2, pp. 29–40. (In Russ.)
8. *Khachatryan G. K.* Uovershenstvovannaya metodika otsenki kontsentratsiy azota v almaze i yeyo prakticheskoye primeneniye [An improved method for estimating nitrogen concentrations in diamond and its practical application]. Mirnyy, Mirninskaya gorodskaya tipografiya publ., 2003, pp. 319–321. (In Russ.)
9. *Khachatryan G. K., Zinchuk N. N., Koptil' V. I.* et al. Issledovaniye opticheski aktivnykh tse ntrov v almazakh iz rossypay Urala v svyazi s problemoy vyyavleniya ikh korennykh istochnikov [Investigation of optically active centers in diamonds from placers of the Urals in connection with the problem of identifying their primary sources]. *Geologiya i geofizika*, 2004, V. 45, No. 2, pp. 244–252. (In Russ.)
10. *Khachatryan G. K., Palazhchenko O. V., Garanin V. K.* et al. Genezis “neravnovesnykh” kristallov almaza iz kimberlitovoy trubki im. Karpinskogo-1 po dannym katodnoy lyuminesstentsii i IK-spektroskopii [The genesis of “non-equilibrium” diamond crystals from the kimberlite pipe im. Karpinsky-1 according to the data of cathode luminescence and IR spectroscopy]. *Vestnik MGU. Seriya 4 Geologiya*, 2008, No. 2, pp. 38–45. (In Russ.)
11. *Bursill L. A., Glaisher R. W.* Aggregation and dissolution of small and extended defect structures in type I a diamond. *American Mineralogy*, 1985, V. 70, pp. 608–618.
12. *Chrenko R. M., McDonald R. S., Darrow K. A.* Infrared spectrum of diamond coat. *Nature*, 1967, V. 214, pp. 474–476.
13. *Evans T., Kiflawi I., Van Luyten W.* et al. Conversion of platelets into dislocation loops and voidite in type IaB diamonds. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 1995, V. 449, pp. 295–313.
14. *Galimov E. M., Kaminsky F. V., Ivanovskaya I. N.* Carbon-isotope composition of diamonds from the Urals, Timan, Sayan, the Ukraine and elsewhere. *Geochemistry International*, 1978, V. 15, No. 2, pp. 11–18.
15. *Lu T., Chen H., Qiu Z.* et al. Multiple core growth structure and nitrogen abundances of diamond crystals from Shandong and Liaoning kimberlite pipes, China. *European Journal of Mineralogy*, 2012, V. 24, pp. 651–656.
16. *Smith W. V., Sorokin P. P., Gelles I. L., Lasher G. I.* Electronspin resonance of nitrogen donors in diamond. *Physical Review*, 1959, V. 115, pp. 1546–1552.
17. *Stachel T., Harris J. W., Hunt L.* et al. Argyle Diamonds: How Subduction Along the Kimberley Craton Edge Generated the World's Biggest Diamond Deposit. *Society of Economic Geologists, Inc. Special Publication*, 2018, No. 20, pp. 145–167.
18. *Taylor W. R., Milledge H. J.* Nitrogen aggregation character, thermal history and stable isotope composition of some xenoliths-derived diamonds from Roberts Victor and Finch. 6<sup>th</sup> International Kimberlite Conference, Extended Abstract, Novosibirsk, 1995, pp. 620–622.
19. *Woods G. S., Collins A. T.* Infrared absorption spectra of hydrogen complexes in Type I diamonds. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 1983, V. 44, No. 5, pp. 471–475.

Статья поступила в редакцию 27.06.23; одобрена после рецензирования 07.07.23; принята к публикации 07.07.23.  
The article was submitted 27.06.23; approved after reviewing 07.07.23; accepted for publication 07.07.23.

## О петрологических принципах выделения перспективных площадей для поисков месторождений алмазов на севере Русской платформы

Комплексное изучение всех магматических проявлений Зимнебережного кимберлитового района (около 100 тел) позволило выявить закономерную петрологическую зональность района с центральным и линейным типом симметрии расположения вулканитов разного состава и разной степени алмазоносности. Элементы петрологической зональности разного типа отмечаются и для других районов Севера Русской платформы: Терского берега Кольского полуострова, Нёнокского района Онежского полуострова, Умбинского района Среднего Тимана, а также и для всего Беломорского региона в целом. Эти особенности можно использовать для выделения наиболее перспективных на месторождения алмазов поисковых участков. Из других районов Севера Русской платформы наиболее интересен Устьянский алмазоносный район юга Архангельской области, который характеризуется совмещением в пространстве всех благоприятных предпосылок и признаков, в том числе установленной алмазоносностью четвертичных отложений, а также Онежский полуостров и Тиман. Для скорейшего обнаружения месторождений алмаза необходимо объединение интеллектуальных, информационных, производственных и административных ресурсов отдельных недропользователей, научных и государственных организаций.

*Ключевые слова:* кимберлиты, алмаз, петрологическая зональность, Русская платформа, Зимний Берег, Онежский полуостров, Тиман, Устьянский район.

САБЛУКОВ СЕРГЕЙ МИХАЙЛОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, генеральный директор, Sablukoff@rambler.ru

ООО ИНПК «РУСГЕО», г. Москва

## On petrological principles of allocation of promising diamond-bearing areas for geological prospection in the northern Russian Platform

S. M. SABLUKOV

ООО ИНПК "RUSGEO", Moscow

A comprehensive study of all magmatic manifestations of the Zimny Bereg kimberlite district (about 100 bodies) revealed a regular petrological zonality of the district, demonstrating both the central and linear types of the symmetry of distribution of the volcanites different in their composition and diamond-bearing potential. Elements of various petrological zonality are also noted for other areas of the northern Russian Platform: for the Tersk coast of the Kola Peninsula, the Nenok district of the Onega Peninsula, the Umba district of the Middle Timan, as well as for the entire White Sea region as a whole. These features can be used to identify the prospecting sites most promising for discovery of diamond deposits. The other most interesting districts of the northern Russian Platform are the Ust-Yansk diamond-bearing districts of the southern Arkhangelsk Region (that is characterized by a spatial coincidence of all favorable prerequisites and features, including the determined diamond-bearing potential of Quaternary deposits), as well as the Onega Peninsula and Timan Ridge. For more expeditious discovery of new diamond deposits, the intellectual, informational, industrial, and administrative resources of the individual subsoil users and scientific and governmental organizations are to be consolidated.

*Key words:* kimberlites, diamond, petrological zonality, Russian Platform, Zimny Bereg, Onega Peninsula, Timan, Ust-Yana district.

**Принципы прогноза месторождений алмазов (краткий обзор).** Со времени открытия 19 февраля 1996 г. на аномалии Ан-441 месторождения алмазов им. В. Гриба прошло 27 лет [3]. За это время разными геологическими организациями на территории Зимнего Берега было открыто около 20 магматических объектов разного состава, однако алмазоносных тел среди них не выявлено. Такая же нерадостная ситуация сложилась и на территории Архангельской области и Севера Европейской части России в целом. Применение стандартных прогнозных и поисковых методов на выделяемых перспективных участках положительных результатов уже не даёт, поскольку геологическая ситуация на этих участках крайне сложная и неоднозначная. Для выхода из сложившегося поискового тупика и для обоснованного выделения перспективных поисковых площадей необходимо комплексное использование всех доступных принципов прогноза и методики поисков для выявления благоприятных предпосылок и признаков: общих и частных, региональных и локальных, прямых и косвенных, научных и производственных. Разнообразие типов принципов прогноза и поисков велико. В самом общем виде это следующие:

**1. Тектонические** (приуроченность к древней платформе и архейскому кратону, глубина залегания и рельеф кристаллического фундамента и поверхности Мохоровичича, зона влияния авлакогена, зона глубинных разломов мантийного заложения и др.).

**2. Неотектонические** (приуроченность к зонам современных поднятий дочетвертичного цоколя и к эпицентрам максимумов современного макросейсмического поля и др.).

**3. Морфоструктурные** (приуроченность к положительной кольцевой морфоструктуре центрального типа с дочерними кольцевыми морфоструктурами и зонам глубинных разломов и др.).

**4. Морфометрические** (приуроченность к области совмещения максимальных по площади аномальных зон плотности, изотропности и специфичности гидросети и др.).

**5. Геолого-стратиграфические** (приуроченность к области стратиграфических и угловых несогласий и длительного существования в условиях континентального режима («палеотектоническая ниша») и др.).

**6. Геофизические** (приуроченность к области совмещения в пространстве крупной низкоинтенсивной брахиформной положительной магнитной

аномалии и крупной брахиформной положительной гравитационной аномалии с внутренней областью разуплотнения, присутствие локальных электро-магнитных и гравитационных аномалий трубчатого типа и др.).

**7. Петрологические** (приуроченность к области вероятного развития наиболее благоприятных для месторождений алмазов типов магматических (вулканических) пород и др.).

**8. Минералогические** (приуроченность к области присутствия в четвертичных и (или) промежуточных коллекторах аномальных содержаний минералов-спутников алмаза прямого сноса кимберлитового происхождения и, прежде всего, минералов-спутников алмазного парагенезиса и др.).

**9. Алмазологические** (приуроченность к области находок в магматических породах, промежуточных и (или) четвертичных коллекторах кристаллов алмаза, прежде всего, алмаза из неизвестных коренных источников и др.).<sup>1</sup>

В приложении к поискам месторождений алмазов минералогические и «алмазологические» принципы прогнозирования применяются для выявления уже не благоприятных поисковых предпосылок, а поисковых признаков – косвенных и прямых соответственно.

**Петрологические принципы прогноза.** Среди упомянутых выше разнообразных принципов, видов и методов разномасштабного прогноза, на наш взгляд, обычно явно недооценивается важность использования петрологических принципов. В качестве примера можно привести известные нам результаты петрологического изучения алмазоносных кимберлитовых полей Якутии и отдельных кимберлитовых трубок в них. Например, сближенные в пространстве Далдынское и Алакит-

<sup>1</sup> Не уверен, что термин алмазология (diamondlogy) применяется здесь впервые, но если и впервые – этот термин абсолютно оправдан и необходим, поскольку алмаз по своему многообразию форм, состава, строения, происхождения, условий образования и объёму заложенной в нём информации является совершенно обособленным, отдельным и огромным «миром» (не имеющим аналогов среди других минералов), а изучение алмаза является огромной и отдельной областью, частью «Большой Науки». Подтверждением необходимости введения этого термина является уже, по сути, принятый в научном мире другой неологизм – термин «алмазопрогностика» [9].



Мархинское кимберлитовые поля, в которых известно более 120 кимберлитовых тел, при этом «практически все кимберлитовые трубки являются алмазоносными», но промышленный уровень алмазоносности отмечается только у восьми трубок [8]. По опубликованным результатам изучения пород трудно понять, есть ли какая-то связь характеристик вещественного состава (химического, минерального, изотопного состава, набора и состава мантийных включений и др.), расположения в пространстве и степени алмазоносности разных трубок этих полей, выделяются ли по каким-либо характеристикам отчётливые типы кимберлитовых пород и обособленные в пространстве группы трубок разных типов кимберлитовых пород? Например, в Зимнебережном кимберлитовом районе на стадии поисково-оценочных работ «в разной степени алмазоносными» по результатам первичного опробования считались породы самого разного петрологического типа (весьма контрастные по вещественному составу породы), в том числе кимпикриты и пикриты, киммелилититы и мелилититы Кепинского, Пачугского, Саянского Мегорского, Верхотинского, Чидвинского, Ижмозёрского кустов и даже некоторые трубки базальтов. Дальнейшие работы не подтвердили признаки реальной «алмазоносности» всех этих пород, что находится в полном соответствии с особенностями вещественного состава этих пород и изначально предполагалось нами. В противовес невнятной и незакономерной картине разнообразия (или, наоборот, однообразия) кимберлитовых пород упомянутых выше полей Якутии на Севере Русской платформы разная степень алмазоносности кимберлитовых пород находится в полном соответствии с особенностями их вещественного состава и расположения. Вне зависимости от того, вызвано ли такое различие разным характером магматизма или разной степенью изученности магматитов этих двух регионов, выявление такого соответствия позволяет использовать петрологические принципы прогноза при выделении наиболее перспективных участков для проведения поисковых работ на алмазы (а также для предварительной косвенной оценки степени потенциальной алмазоносности уже открытых магматических тел).

**Методы изучения магматических (вулканических) пород.** Сотрудники ООО ИНПК «РУСГЕО» задействованы на поисковых, разведочных работах и изучении коренных и россыпных месторо-

ждений алмаза с 1978 г. (кимберлитовые трубки Среднего Тимана, в том числе с 1982 г. с первой трубки Поморская на Зимнем Берегу). Детальное изучение всех или наиболее значимых девонских магматических объектов четырёх районов Севера Русской платформы (Среднего Тимана, Онежского полуострова, Терского Берега Кольского полуострова, Зимнего Берега) позволило выявить элементы закономерной петрологической зональности расположения разных типов магматических пород, как на уровне каждого кимберлитового района, так и на уровне Беломорского региона в целом [15, 22]. Наиболее детально система магматизма и схема петрологической зональности разработана для Зимнебережного района, в котором нами детально изучены **все** магматические объекты (около 100 тел). При изучении пород магматических тел использовались разные методы: детальная документация керн скважин и шурфов с отбором образцов и проб (в том числе тысяч мантийных ксенолитов), изучение геологического строения, степени выветривания, возраста (K-Ar, Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb изотопный анализ, палеофлористический и палеонтологический анализы), петрографических, геохимических, минералогических особенностей (включая рентгеноспектральный микроанализ, LAM ICP-MS анализ, сканирующую электронную микроскопию минералов) и Nd-Sr-изотопных особенностей пород. Именно детальное, всестороннее и взаимосвязанное изучение магматических тел позволяет получать наиболее полную, объективную информацию и выявлять наиболее важные, интересные, неочевидные и даже неожиданные закономерности их строения, состава и расположения. Огромную роль в процессе выявления этих закономерностей играет применение отдельного, особого метода, который постулировал Владимир Иванович Вернадский: «...Теперь мы имеем метод «эмпирического обобщения», по степени достоверности приравняемый к наблюдаемому факту». И ещё два применяемых нами (и, конечно же, всем известных) методологических принципа выявления закономерностей: «Критерий истины – практика» (повторяемость и воспроизводимость результатов) и «Если совпадений больше двух – это уже не совпадение» (это закономерность).

**Магматизм Зимнебережного кимберлитового района** наиболее разнообразен, а также наиболее полно и детально нами изучен. Здесь присутствуют породы двух кимберлитовых серий,

дифференцированных по степени ультраосновности пород и соотношению реликтов исходного мантийного материала и продуктов кристаллизации расплава в субвулканических условиях [14]: безильменитовые породы глинозёмистой (Al) серии (кимберлиты–киммелилититы–беспироксеновые оливиновые мелилититы) и ильменит-содержащие породы железо-титанистой (Fe-Ti) серии (кимберлиты–кимпикриты–беспироксеновые щелочные пикриты, в том числе мелилит- и нефелинсодержащие). В случае отсутствия в породах пикроильменита (при полном переплавлении исходного глубинного материала) принадлежность пород к железо-титанистой (Fe-Ti) серии определяется повышенным (>9 г/т) содержанием в автолитах вулканокластических пород тантала, основным минералом-концентратом которого в кимберлитах является пикроильменит. В районе присутствуют также разновозрастные с кимберлитовыми породами позднедевонские трубки и силлы базальтов [13]. На основании комплексного изучения **всех** магматических тел Зимнего Берега была разработана геолого-генетическая «Система кимберлитового магматизма Зимнего Берега» [17], которая позволяет по минимальному набору признаков вещественного состава породы идентифицировать её петрологический тип, вид и разновидность, а также степень её потенциальной алмазонасности. Использование в практике геологоразведочных работ этой «Системы» позволяет минимизировать затраты на прямое опробование трубок (например, при сокращении объёмов или даже отмене поисково-оценочного бурения на заведомо бесперспективных объектах).

Все вулканы Зимнебережного района сближены в пространстве, образуют однотипные формы проявления (трубки и силлы, редко дайки) с близкими размерами и морфологией, имеют близкие структурно-текстурные особенности пород и одинаковый возраст – поздний девон [13]. Пространственно-временная связь и общность геологического строения позволяет предполагать и в разной степени генетическую общность всех раннегерцинских вулканических пород района, а значит, позволяет рассматривать вулканический район в целом как закономерный результат образования и развития мантийных очагов в результате воздействия внедрившегося астеносферного диапира [18]. Это подтверждает закономерная картина распределения по площади Зимнебережного района

вулканических проявлений с различными характеристиками вещественного состава.

Наиболее резкие и яркие различия между двумя сериями кимберлитовых пород проявлены не только в минералогическом (присутствие пикроильменита), но и в геохимическом отношении: в породах Fe-Ti-серии резко повышено содержание некогерентных элементов, особенно Ti, Ta и Nb, главным минералом-концентратом которых является пикроильменит. Распределение многих показателей вещественного состава пород объектов по площади Зимнебережного района обладает элементами симметрии, поскольку симметрично само расположение вулканических пород разного типа. Так, распределение некогерентных элементов (прежде всего титана и тантала) в автолитах пород по площади района подчиняется симметрии центрального типа. Наибольшие их значения отмечаются в центральной части района, наименьшие – по периферии. Изолинии содержания тантала на площади Зимнего Берега образуют чёткий концентрический рисунок.

В центральной части района расположены обогащённые танталом кимберлитовые породы Fe-Ti-серии, а по периферии – кимберлитовые породы Al-серии и базальты (только на востоке) (рис. 1). Соответствующим образом в центральной части района развит геохимически обогащённый гетерогенный эклогит-перидотитовый мантийный субстрат, а по периферии района – геохимически истощённый гомогенный дунитовый субстрат [18, 22]. Аналогичная зональность отмечается и для Nd-Sr изотопных характеристик кимберлитовых пород района [18]. Подобная симметрия обусловлена, вероятно, геометрией внедрившегося астеносферного диапира (интрузива), который не только формировал новые типы пород, но и оказывал метасоматическое воздействие разной степени на породы литосферной мантии. Эта схема петрологической зональности района была построена в 1990 г.; все найденные с тех пор магматические тела (около 20 тел) на Зимнем Берегу точно вписались в неё, то есть практика подтвердила существование этой схемы как объективной реальности. Более того, отрисованная по содержанию тантала в породах центральная часть района почти точно совпадает с контуром Зимнебережного района, выделенным по геофизическим данным [12]. Наибольшее количество кимберлитовых тел Fe-Ti-серии открыто в центральной части района, в эпицентре астеносферного диапира,

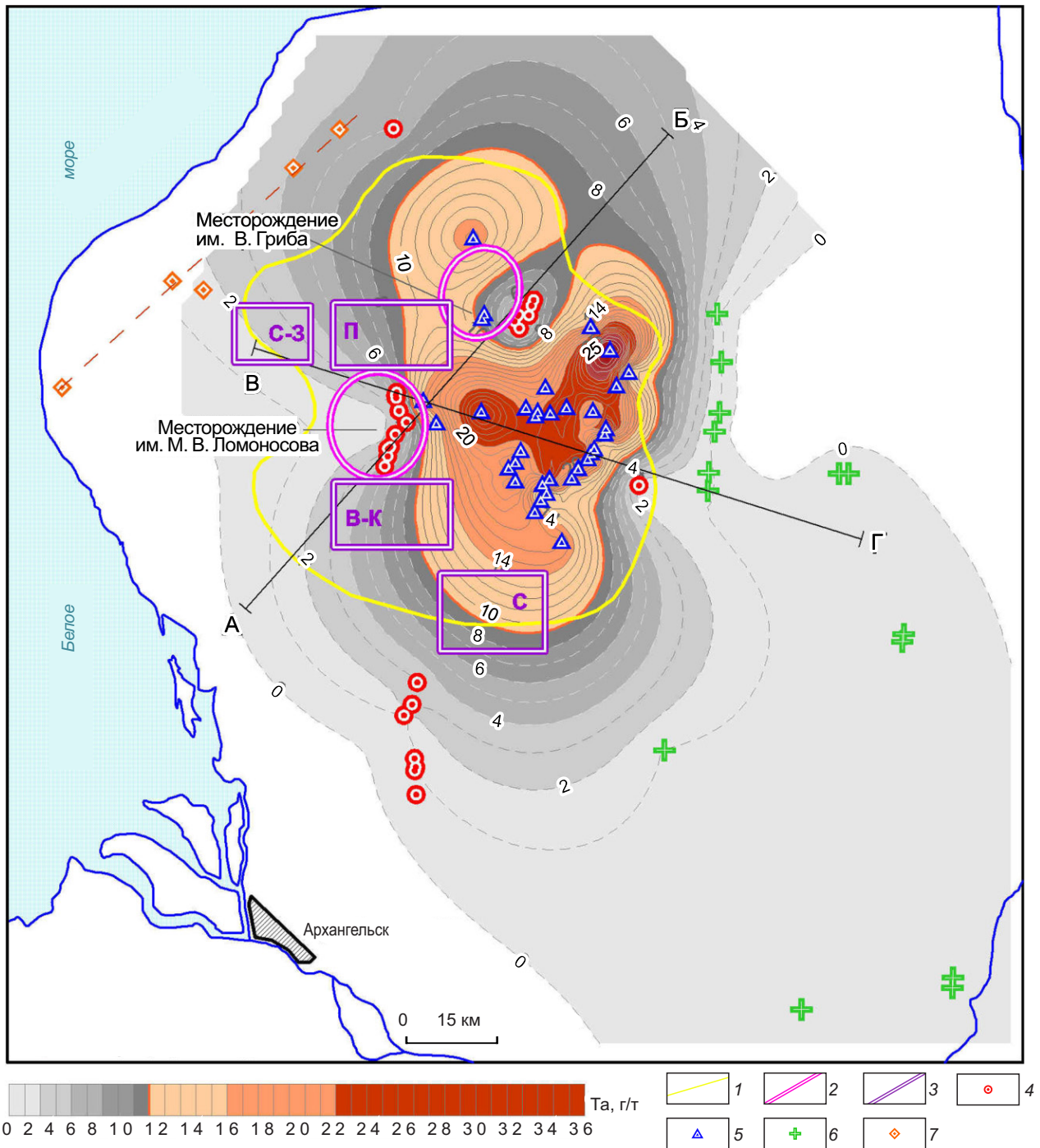


Рис. 1. Схема петрологической зональности Зимнебережного кимберлитового района:

1 – контур Зимнебережного района, выделенный по геофизическим данным [11]; 2 – площади детального опоискования флангов действующих горнодобывающих предприятий; 3 – перспективные участки прогнозно-поисковых работ (С-З – Средне-Золотицкая, П – Падунская, В-К – Верхне-Кепинская и С – Светлинская площади); кимберлиты: 4 – Al-серии, 5 – Fe-Ti-серии, 6 – базальты, 7 – лампрофиры венда; оранжевый цвет (оттенки) – гетерогенный эклогит-перидотитовый мантийный субстрат, серый цвет (оттенки) – гомогенный дунитовый мантийный субстрат [3]; изолиниями показано содержание тантала (в г/т) в автолитах трубок и силлах



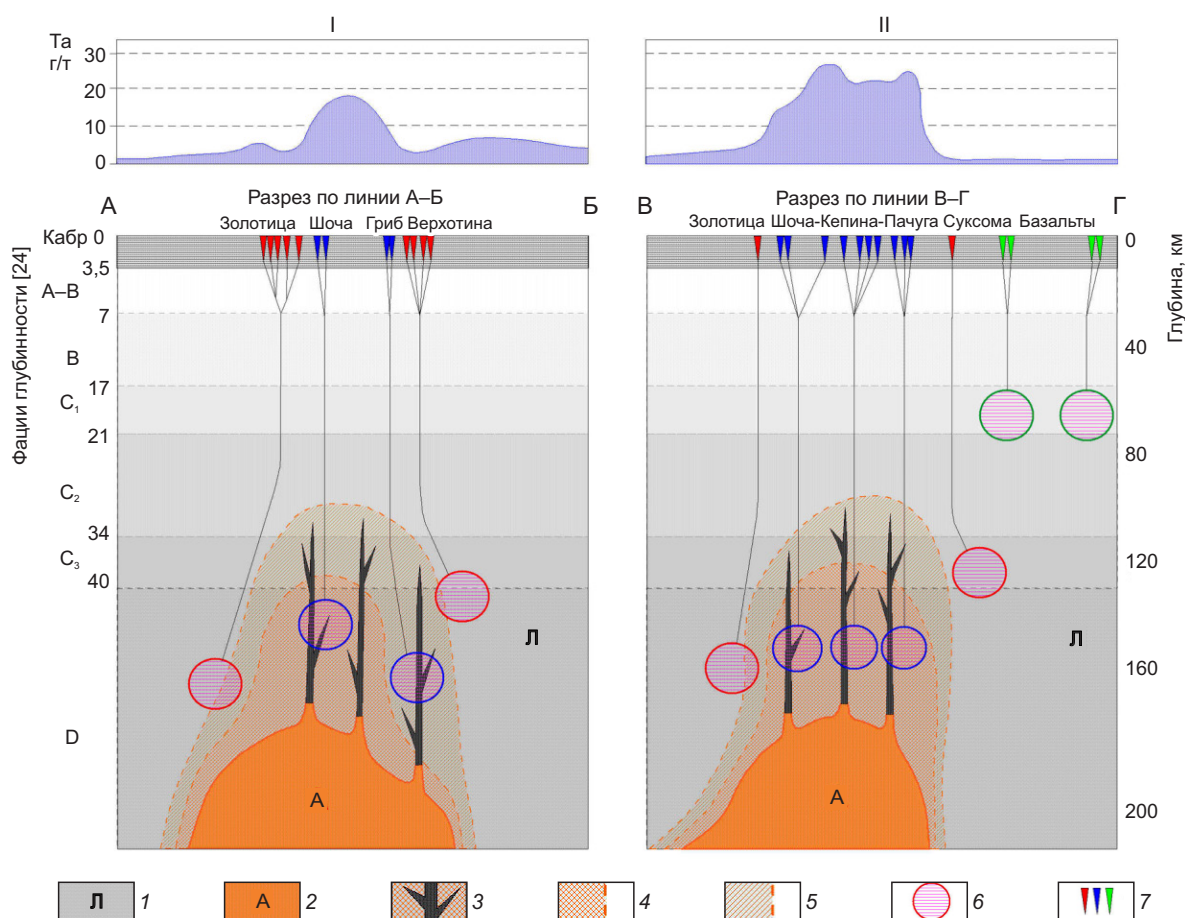


Рис. 2. Модельные разрезы верхней мантии Зимнебережного района по линии А–Б и В–Г (см. рис. 1):

1 – литосферная мантия; 2 – астеносферный интрузив; 3 – интрузии ильменитовых перидотитов; 4–5 – зоны метасоматического воздействия астеносферного интрузива различной степени: 4 – сильной, 5 – слабой; 6 – области магмогенерации для разных типов вулканических пород; 7 – вулканические трубки кимберлитовых пород Al-серии, Fe-Ti-серии, базальтов; I и II – диаграммы характера изменения содержания тантала (в г/т) в автолитах вулканических пород и силлах по линии разреза

где активное метасоматическое воздействие диапира на породы литосферной мантии привело, вероятно, к значительному растворению алмазов, поэтому кимберлиты в этой части района в лучшем случае слабоалмазоносны [11, 21]. Оба месторождения алмазов Зимнебережного района (им. М. В. Ломоносова и им. В. Гриба) расположены, по сути, по периферии, по обрамлению области эпицентра астеносферного диапира, в зоне экзоконтакта астеносферного диапира и литосферной мантии, где метасоматизирующее воздействие диапира было менее активным, недостаточным для растворения значительной части алмазов (рис. 2), но вполне достаточным для изменения Nd-Sr изотопных ха-

рактеристик кимберлитовых пород. Эти выявленные закономерности расположения вулканических тел разного типа должны использоваться (и уже используются) при оценке перспектив площадей Зимнебережного района. К сожалению, в кимберлитовых районах Якутии причины резко различной алмазоносности разных трубок одного района неизвестны и не изучались, поэтому выявление любого кимберлитового объекта при поисковом бурении по регулярной сети является там достижением, а на Зимнем Берегу в центральной, наиболее насыщенной трубками и силлами кимберлитов (но и подвергшейся наиболее сильному воздействию астеносферного диапира) части района

поисковые работы прекращены из-за учёта выявленной закономерности расположения кимберлитовых пород разной степени алмазоносности.<sup>2</sup>

Совершенно другой тип симметрии – линейный – характерен для распределения по площади Зимнебережного района когерентных элементов. Это обусловлено тенденцией уменьшения степени ультраосновности вулканических проявлений района с запада на восток от наиболее магнезиальных кимберлитов Золотицкого куста через кимберлиты Fe-Ti-серии, кимпикриты, киммелилититы к типичным базальтам. В этом направлении увеличивается содержание  $Al_2O_3$ , уменьшаются содержание Ni, а также общая магнезиальность пород, содержание глубинного материала и общая алмазоносность пород.

Таким образом, симметричный характер распределения по площади Зимнебережного района вулканических пород обусловлен, вероятно, с одной стороны, симметричным строением мантийного субстрата и геометрией внедрившегося астеносферного диапира (центральный тип симметрии), а с другой стороны – уменьшением содержания в породах глубинного материала, особенностями дифференциации образовавшихся расплавов и в какой-то мере уменьшением глубинности магмогенерации в направлении Запад–Восток (линейный тип симметрии).

**Терский Берег Кольского полуострова.** Сходная латеральная зональность расположения трубок взрыва по вещественному составу и глубине заложения магматического очага характерна и для Терскобережного вулканического поля, расположенного на Терском берегу Кольского полуострова [7, 15], в котором кимберлитовые породы также образуют закономерную дифференцированную серию, сходную, но занимающую промежуточное по составу пород положение между двумя контрастными сериями геолого-генетической «Системы вулканизма Зимнего Берега» (глинозёмистой и железо-титанистой) [18]. Однако направленность изменения пород в трубках взрыва по вещественному составу здесь зеркально противоположна по отношению к Зимнебережному району: с запада на восток происходит смена пород в следующей последовательности: щелочные пикриты (фидиты)–мелилититы–оливиновые мелилититы–

беспироксеновые оливиновые мелилититы (киммелилититы)–слабоалмазоносные кимберлиты. В этом направлении происходят увеличение степени ультраосновности вулканических пород и, вероятно, глубины заложения сформировавшего их магматического очага, вплоть до глубины алмазоносной мантии на крайнем восточном фланге Терского поля (кимберлитовые трубки Ермаковская-7 и Ермаковская-20).

Сопоставление зональности Терского поля и Зимнебережного района показывает, что не исключено существование общей закономерной петрологической зональности развития щёлочно-ультраосновного вулканизма Беломорского региона более крупного порядка. Эта зональность может характеризоваться плоскостным («зеркальным») типом симметрии (с плоскостью симметрии вдоль горла Белого моря) либо элементами симметрии центрального типа с центром симметрии в средней части Белого моря (рис. 3, А).

**Нёнокское поле Онежского полуострова.** Вулканические трубки взрыва другого района юго-восточного Беломорья – Нёнокского поля (около 40 тел) – однотипны по возрасту и геологическому строению с трубками Терского Берега и Зимнего Берега, однако до недавнего времени были крайне однообразными по составу. Породы Нёноксы были представлены крайними по низкой степени ультраосновности членами ряда кимберлитовых пород глинозёмистой серии [14] – фельдшпатоидными мелилититами и оливиновыми мелилититами. Лишь одна трубка (Усть-Сюзьма), образованная беспироксеновыми оливиновыми мелилититами, была почти полным аналогом трубок Ижемского куста глинозёмистой кимберлитовой серии Зимнего Берега. Эта трубка находилась на крайнем западе Нёнокского поля, что давало повод говорить о выявлении лишь небольшого фрагмента поля с линейной зональностью, малоконтрастной, но аналогичной по типу и направлению изменения характеристик линейной зональности Зимнебережного кимберлитового района и противоположной по направлению зональности Терского поля. Однако в 2008–2009 гг. в крайне западной части Нёнокского поля были открыты три трубки беспироксеновых оливиновых мелилититов, две из которых (трубки Ан-G056 и Ан-G429) по петрографическому составу, присутствию фрагментов глубинного материала и по Sm-Nd и Rb-Sr изотопным характеристикам могут быть диагностированы как киммелилититы, близкие по типу

<sup>2</sup> Да, такая закономерность на Зимнем Берегу на имеющихся материалах выявлена, а вдруг могут быть исключения? Ведь Природа не читает наших статей.

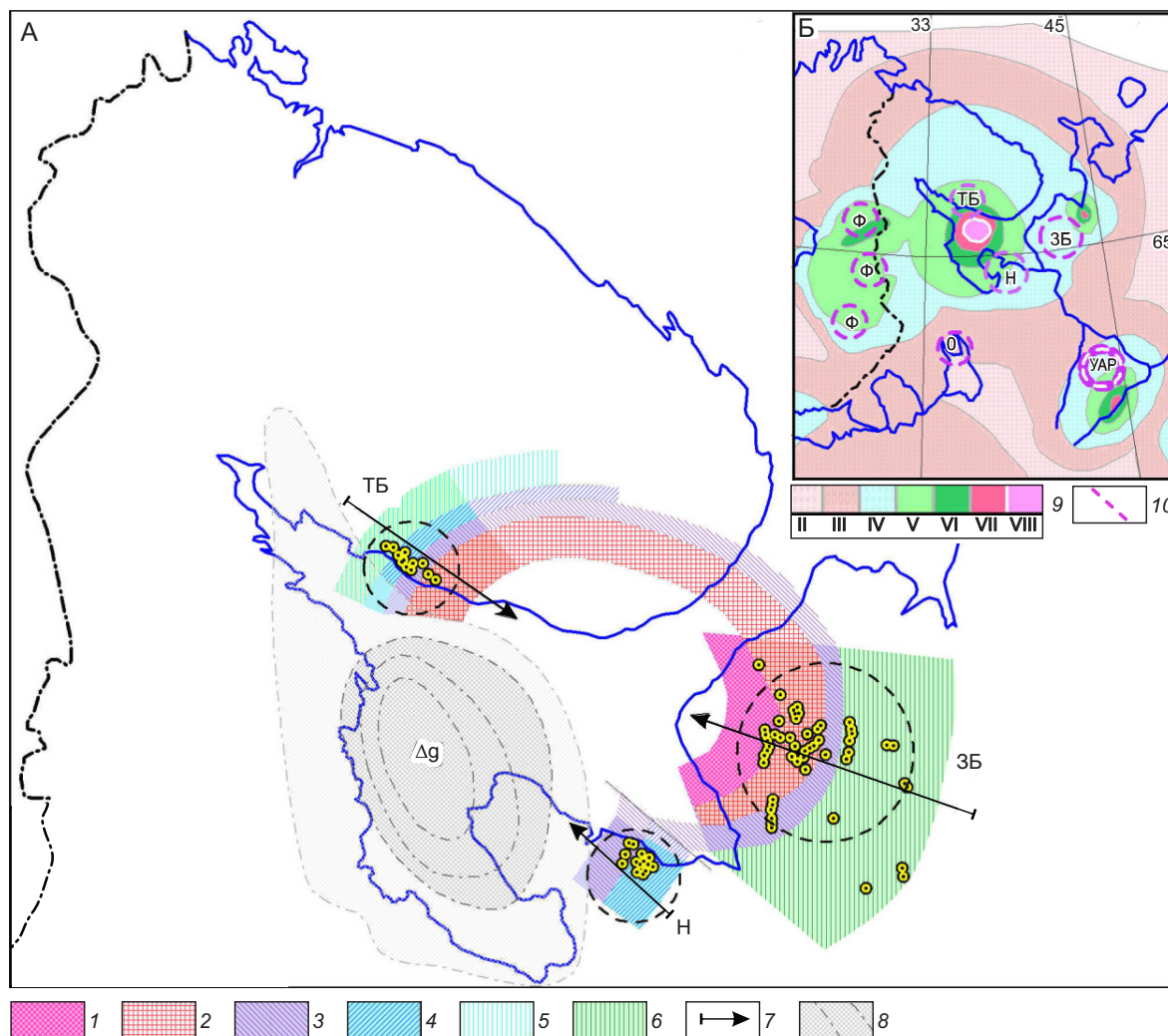


Рис. 3. Схема петрологической зональности Беломорского региона:

А – характер распределения раннегерцинских вулканитов: 1–6 – зоны развития вулканитов: 1 – алмазоносных кимберлитов, 2 – слабоалмазоносных кимберлитов, кимпикритов, киммелилитов, 3 – беспироксеновых оливиновых мелилитов, киммелилитов, 4 – оливиновых мелилитов, мелилитов, 5 – фойдитов, 6 – базальтов; 7 – направление увеличения степени ультраосновности вулканитов; 8 – Беломорский (Соловецкий) гравитационный максимум Δg; Б – фрагмент карты макросейсмического поля Русской платформы [1]: 9 – изосейсты II–VIII баллов; 10 – районы развития кимберлитового вулканизма: 3Б – Зимний Берег, ТБ – Терский Берег: Н – Нёнокский район, О – Онегозерский район (тело Кимозера), Ф – кимберлитовые и лампроитовые районы Финляндии, УАР – перспективный Устьянский алмазоносный район

киммелилитам Чидвинского и Верхотинского кустов Зимнего Берега [19]. В породах этих двух трубок присутствуют ранее не отмечавшиеся в трубках Нёнокского поля макрокристы оливина первой генерации (характерного и необходимого элемента кимберлитовых пород), включения шпинелевых перидотитов и макрокристы хромдиопсида (рис. 4), а также зёрна розового корунда и гра-

натов (пироп-альмандинов), характерных для включений разнообразных эклогитовых пород в кимберлитах (групп IA, IB, IC, IB, IC [19, 28, 29]), в том числе и для алмазоносных эклогитов, включая эклогиты группы IC – индикаторы развития в регионе процессов субдукции на уровне алмазоносной мантии. Эти находки подтвердили существование в Нёнокском поле элементов линейной



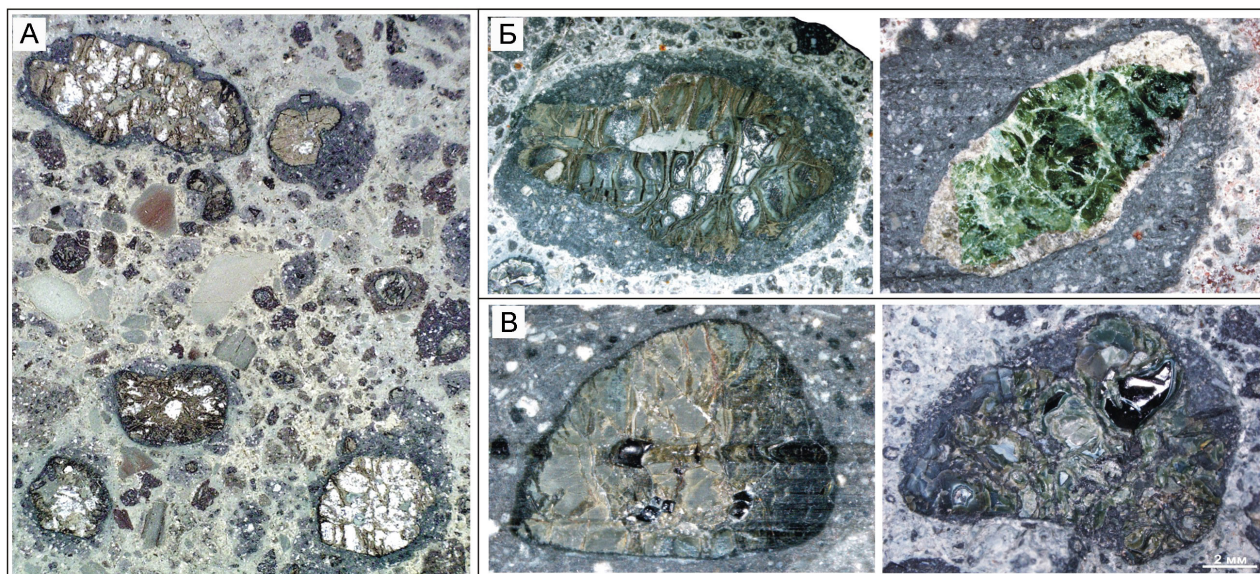


Рис. 4. Включения глубинного материала из трубки Ан-G056 Нёнокского района Онежского полуострова, общий вид:

А – ксенотуффизит киммелитита с макрокристаллами изменённого оливина «первой генерации»; Б – макрокристаллы оливина (изменённого) и клинопироксена; В – включения шпинелевых дунитов

петрологической зональности (киммелититы и беспироксеновые оливиновые мелилититы–оливиновые мелилититы–фельдшпатоидные мелилититы), имеющей тот же характер и то же направление повышения степени ультраосновности пород (восток-запад), что и у трубок Зимнего Берега. Не исключено, что в настоящее время на Онежском полуострове выявлена пока лишь часть полноценного кимберлитового поля, образованная вулканитами с наименьшей степенью ультраосновности.

**Беломорский регион.** Трубки Нёнокского поля, Терского Берега и Зимнего Берега однотипны по возрасту, геологическому строению и составу и образуют элементы общей картины зональности раннегерцинского (позднедевонского) вулканизма Беломорского региона. В центральной части Беломорского региона развиты алмазоносные и слабоалмазоносные кимберлиты, в промежуточной части – породы промежуточного состава (кимпикриты, киммелититы, беспироксеновые оливиновые мелилититы), а в периферийной части – неалмазоносные мелилититы, фойдиты и базальты. Раннегерцинские трубки Терского поля, Нёнокского поля и Зимнебережного района расположены на северном и восточном обрамлении

(склоне) Беломорского (Соловецкого) максимума  $g$ , связываемого с поднятием поверхности Мохо до отметки -30 км, то есть, возможно, с мантийным диапиром, интрузивом или плюмом [5, 27] (см. рис. 3, А).

Интересно отметить, что Беломорский максимум  $Dg$  почти точно совпадает с весьма контрастным максимумом интенсивности землетрясений (изосейсты до VII–VIII баллов!) в макросейсмическом поле Русской платформы [1], то есть фактически совпадает с эпицентром современных землетрясений (см. рис. 3, Б). А все известные пока девонские вулканические поля (Зимнебережное, Терскобережное и Нёнокское) приурочены к обрамлению этого максимума интенсивности землетрясений в области изосейст IV–V баллов. Поэтому, возможно, существование девонского Беломорского мантийного диапира (плюма) до настоящего времени проявляется, в том числе и в интенсивной тектонической жизни региона. При этом более древние позднерифейские проявления лампроитового и кимберлитового (в том числе алмазоносного) магматизма Финляндии приурочены к отдельному, менее интенсивному максимуму макросейсмического поля (изосейсты V–VI баллов), а ещё более древнее раннепротерозойское

Кимозёрское тело слабоалмазоносных кимберлитов на севере Онежского озера в макросейсмическом поле не проявлено вообще. Эти данные, возможно, показывают, что тектоническая активность районов уменьшается (затухает) с течением времени постепенно.

**Умбинское поле Среднего Тимана.** Сходная с кимберлитовыми районами Беломорского региона латеральная зональность расположения трубок взрыва по вещественному составу и глубине заложения магматического очага характерна и для Умбинского кимберлитового поля (Вольско-Вымская гряда Среднего Тимана). Здесь пока известны только три трубки взрыва кимберлитовых пород среднедевонского возраста, образующие закономерную дифференцированную серию, сходную с серией пород Терского Берега и также занимаю-

щую промежуточное по составу пород положение между двумя контрастными сериями геолого-генетической «Системы вулканизма Зимнего Берега» – глинозёмистой и железо-титанистой [15, 16, 26]. Здесь имеется также трубка взрыва базальтов предположительно того же возраста, вскрытая скважиной № 443. Рассмотрение расположения раннегерцинских вулканических трубок разного состава Умбинского поля показывает наличие элементов симметрии линейного типа (аналогичной симметрии пород Терскобережного кимберлитового поля Кольского полуострова) (см. рис. 4, А). В направлении запад–восток постепенно меняется состав вулканических пород: базальты (трубка Базальтовая, скв. № 443)–беспироксеновые флогопит-оливиновые мелилититы (трубка Средненская, 1 фаза внедрения)–киммелилититы (трубка

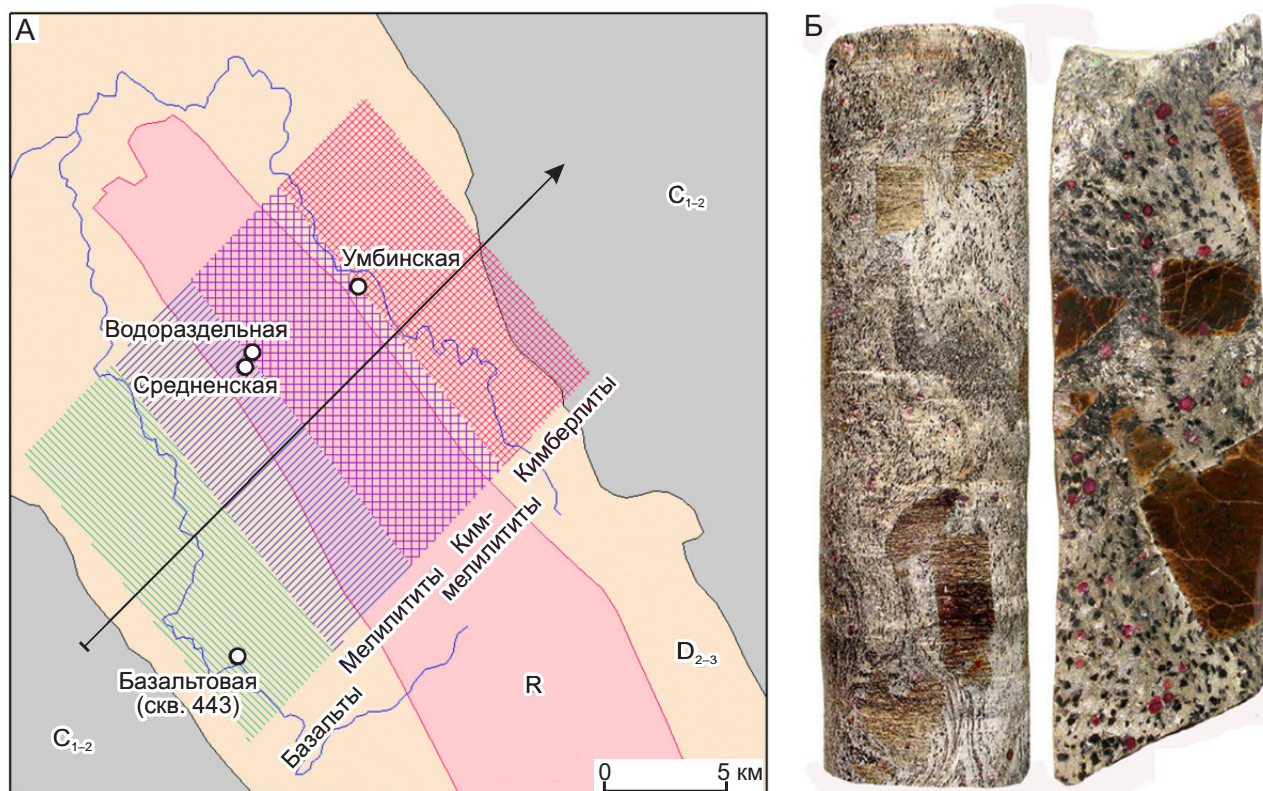


Рис. 5. Особенности кимберлитового вулканизма Тимана:

А – петрологическая зональность раннегерцинских вулканических пород Умбинского кимберлитового района Среднего Тимана; стрелкой показано направление увеличения степени ультраосновности вулканических пород; Б – гранат-ставролитовые двуслюдяные гнейсы, породы предполагаемого эпикарельского кристаллического фундамента Тимана: слева обуренная поверхность керна, справа распил керна (скв. № 112, материалы Ю. П. Ермоленко).



Водораздельная, 2 фазы внедрения)–киммелилиты + кимпикриты + кимберлиты (трубка Умбинская, 3 фазы внедрения). В этом направлении увеличиваются размеры трубок, усложняется их строение (многофазность), увеличивается содержание мантийного материала вплоть до присутствия в трубке Умбинская тела типичных кимберлитов (скв. № 459), не содержащих мелилита, но насыщенных макрокристами оливина, крупными пиропами и включениями эклогитов и дунитов. Алмазы в трубках не обнаружены, но рядом, в нескольких километрах от них в песчаниках живецкого яруса среднего девона открыто месторождение (рудопоявление) округлых алмазов «Ичет-Ю», что позволяет предполагать присутствие в районе и алмазоносных кимберлитовых трубок. Отсутствие единого мнения на происхождение такой структуры, как Тиман (платформенное или геосинклинальное), не позволяет однозначно оценивать перспективы алмазоносности этого региона. Однако даже внешний облик вскрытых Ю. П. Ермоленко на Северном Тимане в скв. 112 двуслюдяных гранат-ставролитовых супракрустальных парагнейсов (или сланцев) [4, 6] (см. рис. 4, Б) даёт основание для отнесения этих пород к совершенно другому, более древнему структурному этажу, нежели рифейские кварцит-черносланцевые толщи Тимана, – к фундаменту эпикарельской древней платформы (что доказывал П. Е. Оффман [10]), а не к геосинклинальной области.<sup>3</sup> Это, в свою очередь, даёт основание и для более благоприятной оценки перспектив алмазоносности Тиманского региона в целом. Особенно, учитывая то, что появились новые данные о палеопротерозойском, а не архейском возрасте кристаллического фундамента Зимнебережного алмазоносного района [23].

Симметричное расположение вулканических объектов кимберлитового района на севере Русской платформы проявляется и на более детальном уровне – уровне отдельного куста трубок. Так, в Золотицком кусте Зимнебережного района кимберлитовые трубки, расположенные в его центральной части (от Ломоносовской до Архангельской), многофазны, имеют наибольшие размеры,

<sup>3</sup> Для геолога, который задокументировал многие тысячи погонных метров керна однообразных углито-глинистых чёрносланцевых рифейских толщ, принадлежность гранат-ставролитовых гнейсов к иному, более древнему структурному этажу вполне очевидна.

сложно построенные кратерные части, высокую алмазоносность. По вещественному составу они характеризуются повышенными содержаниями MgO, Ni и пониженными содержаниями Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> и особенно Ta. Строение Золотицкого куста характеризуется зеркальным типом симметрии относительно его центра (изменение свойств в направлении центр–север и центр–юг).

Таким образом, в целом для всех районов раннегерцинского вулканизма севера Русской платформы характерны широкое разнообразие кимберлитовых пород, образующих в каждом районе дифференцированные по степени ультраосновности серии, тесная пространственно-временная и генетическая связь кимберлитового (в том числе и алмазоносного) вулканизма с мелилититовым и даже базальтовым и, как следствие этого, присутствие близкорасположенных вулканических объектов с резко различающимися признаками, в том числе и содержанием алмазов. Существование закономерных элементов разнотипной и разнопорядковой петрологической зональности распределения раннегерцинских вулканитов региона можно использовать при выделении наиболее перспективных площадей для проявления алмазоносного вулканизма на уровнях регион–поле (район)–куст трубок. Родственные кимберлитам породы – беспироксеновые оливиновые мелилититы и беспироксеновые щелочные пикриты – могут являться индикаторами присутствия в районе генетически с ними связанных алмазоносных кимберлитов. Петрологическая зональность распределения вулканитов может быть проявлена и в других кимберлитовых регионах мира разного возраста.

Петрологические предпосылки должны использоваться в прогнозных построениях разного масштаба наряду с геофизическими, тектоническими, минералогическими и др.

**Выделение перспективных поисковых площадей.** Подход к выделению перспективных поисковых площадей в Зимнебережном промышленно-алмазоносном районе и других районах севера Русской платформы существенно различается.

**Перспективные площади Зимнего Берега.** На Зимнем Берегу наиболее благоприятные результаты поисков ожидаются на флангах действующих горнодобывающих предприятий (см. рис. 1).

В обрамлении *месторождения им. В. Гриба* на это указывает широкое развитие минералов-спутников алмаза (прежде всего, пикроильменита)



в перекрывающих отложениях карбона. Однако сложная история формирования отложений карбона требует проведения работ по восстановлению направления перемещения обломочного материала в палеозое как на уровне района в целом, так и участках детализации конкретных шлиховых ореолов. Кроме того, интерес представляют участки, расположенные не только вдоль северо-северо-восточного разлома по линии трубка им. В. Гриба–трубка Северная, но и участки вдоль возможных других субпараллельных ему разломов, особенно в зоне северного борта Падунского грабена (так, в разных, параллельных разломных зонах расположены трубки Мир и Интернациональная в Мало-Ботуобинском районе Якутии).

Область *месторождения им. М. В. Ломоносова* также нельзя считать полностью опосредованной по следующим причинам: 1) бурение на безрудность территории будущего ГОКа по регулярной сетке проводилось в самом начале поисковых работ и не колонковым способом, а станком с гидродоёмом керна в виде шлама (песка и дресвы), и если скважина, пробуренная специально на кимберлитовой трубке Поморская, действительно позволяла правильно диагностировать поднятую дресву, то отличие поднятой дресвы слабо-литифицированных песчаников венда от дресвы песчаников кратерной части кимберлитовых трубок (в то время совершенно не изученных) могло быть и не замечено; 2) в 1984 г. в южной части месторождения заверку бурением аномалий проводили сотрудники экспедиции № 17 ПГО «Невское», которые раньше имели дело только с изучением кристаллических пород. Неточную диагностику пород кратерной части трубки, как пород венда, при заверке аномалий в этот период исключить нельзя (вспомним историю открытия даже опытными геологами трубки им. В. Гриба в 1996 г.); 3) в 1982 г. на трубке Поморская в керне перекрывающих пород урзугской свиты (?) нами было обнаружено включение с примазками песчаника. Это включение – катаклазированный гранатовый клинопироксенит мозаично-порфири-бластовой структуры с гранатом, типичным для алмазоносных эклогитов группы IV [29], и с необычным клинопироксеном (магнезиальным пижонитом). Судя по составу минералов, порода включения образовалась при очень высоком давлении и температуре. Ничего подобного этому включению не было найдено не только в трубке Поморская, но и ни в какой другой трубке Зимнего Берега.

Источник попадания этого включения в породы урзугской свиты неизвестен, но, несомненно, может представлять поисковый интерес.

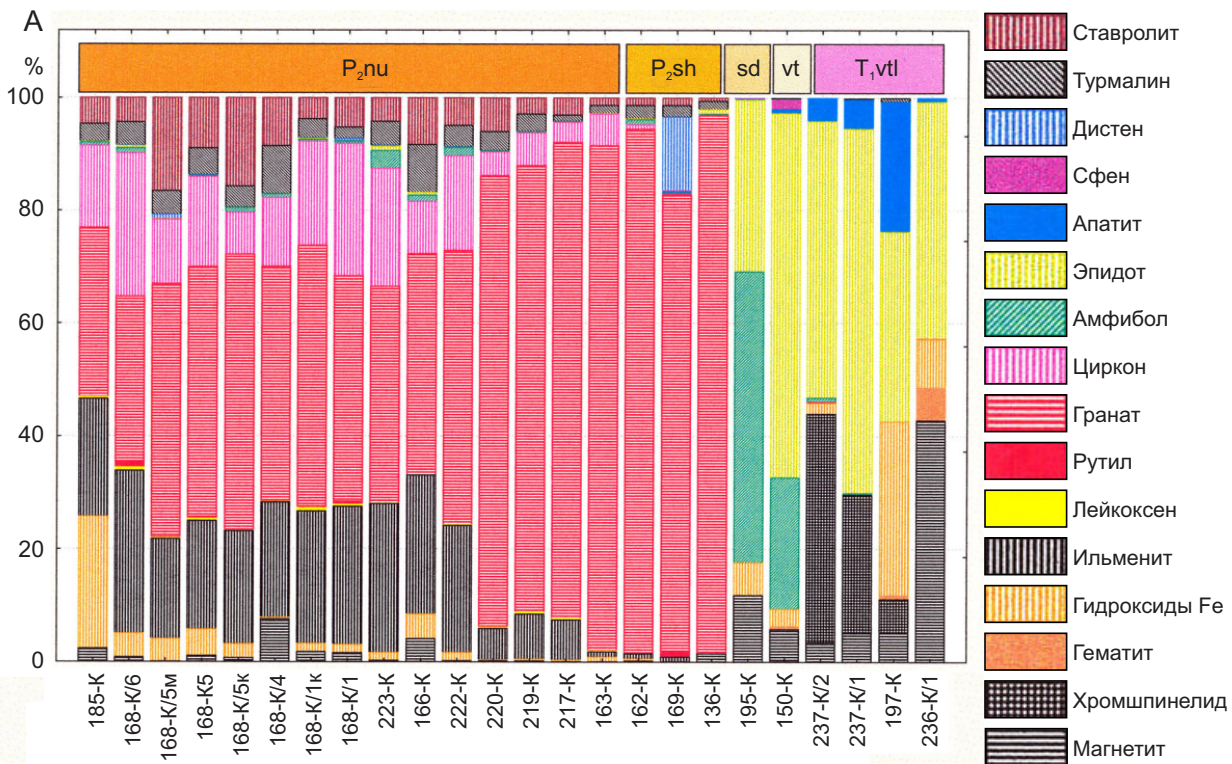
Среди других территорий Зимнего Берега особый интерес представляют площади, расположенные по периферии (обрамлению) области развития кимберлитовых пород Fe-Ti-серии, – области периферии внедрившегося астеносферного диапира, где степень метасоматического воздействия на породы литосферной мантии (и растворяющего воздействия на алмазы) была относительно умеренной. Особенно это касается площадей к северу и югу от трубок Золотицкого куста. В трубках этого куста к северному (трубка Белая и Первомайская) и южному краю (трубка Снегурочка) в 2–3 раза увеличивается содержание тантала, а в перекрывающих отложениях карбона на площадях Падунская и Верхне-Кебинская зафиксированы аномальные содержания крупных зёрен пикроильменита, что может указывать на вероятное присутствие к северу и югу от трубок кимберлитов Al-серии Золотицкого куста новых, ильменитсодержащих кимберлитовых трубок уже Fe-Ti-серии. Интересна и Светлинская площадь (с реками Светлая, Пачуга, Стуган), которая также расположена на удалении от эпицентра астеносферного диапира и по морфоструктурным (морфометрическим) характеристикам территории выделяется повышенными показателями энергии рельефа, аналогично площади развития силлов пикритов на р. Меле, а также недоопосредованная в 1985 г. Средне-Золотицкая площадь (см. рис. 1).

**Перспективные площади севера Русской платформы.** На территории севера Русской платформы можно выделить три типа площадей по степени достоверности перспектив и характеру необходимых прогнозно-поисковых работ (рис. 7).

**1. Площади с уже установленными месторождениями алмазов и (или) с широким кругом проведённых подготовительных прогнозно-поисковых работ и с весьма обнадёживающими полученными результатами – прямыми и (или) косвенными признаками возможного присутствия потенциально алмазоносных кимберлитовых тел.**

Это, прежде всего, **Зимнебережный промышленно-алмазоносный район**, охарактеризованный выше.

**Устьянский алмазоносный район.** Из новых перспективных районов наибольший интерес представляет Устьянский алмазоносный район, который



**Рис. 6. Минералогические особенности терригенных отложений Устьянского перспективного района:**

А – изменение вверх по разрезу общего минерального состава тяжёлой фракции коренных пород (потенциального «кимберлитовмещающего цоколя») от нижнеустьянской свиты татарского яруса верхней перми до ветлужской серии нижнего триаса; Б – внешний облик кристаллов алмаза, обнаруженных в шлиховых и мелкообъёмных пробах из современных аллювиальных и четвертичных моренных отложений (цифрами показан объём проб, в которых обнаружены алмазы)

характеризуется совмещением в пространстве всех благоприятных предпосылок и признаков, в том числе установленной россыпной алмазонасностью – повторяющимися находками в пробах малого объёма из четвертичных отложений крупных ювелирных кристаллов алмаза, что характерно только для высокоалмазонасных районов Якутии (рис. 6, Б) [20]. Здесь предполагается развитие алмазонасного кимберлитового вулканизма позднепермского–раннемезозойского возраста двух этапов. На первый этап тектонической перестройки – резкое поднятие территории района и смену морского режима на континентальный на границе казанского и татарского веков поздней перми – ука-

зывает смена известняков казанского яруса песчаниками уржумского горизонта татарского яруса. На западе Устьянской структуры в базальных горизонтах песчаников нижнеустьянской свиты татарского яруса развит контрастный ореол пироба и хромшпинелида, фиксирующий возможное присутствие кимберлитового поля «Западное» [20], с развитием слабоалмазонасных кимберлитов А1-серии (безильменитовых). На втором этапе на резкую тектоническую активизацию и структурную перестройку региона (которая могла сопровождаться и магматической активизацией) в это время указывает в том числе и общий минеральный состав коренных терригенных пород района,

отражающий изменение расположения источников сноса и направление перемещения обломочного материала на территорию района в разные эпохи. На рис. 6, А отчётливо фиксируются последствия резкой тектонической перестройки территории, произошедшей между сухонским и северодвинским временем татарского века поздней перми и изменившей северо-западное направление сноса материала (с Балтийского щита) на восточное направление сноса (с Урала). Терригенные породы уржумского горизонта нижнетатарского подъяруса верхней перми с размывом залегают на известняках казанского яруса, при этом «зрелая» циркон-ильменит-гранатовая минеральная ассоциация тяжёлой фракции песчаников нижнеустынской свиты сменяется почти чисто гранатовой минеральной ассоциацией сухонской свиты. Но начиная с северодвинского времени верхнетатарского века поздней перми минеральный состав тяжёлой фракции терригенных пород становится совершенно иным: для отложений северодвинского и вятского горизонта характерна уже «незрелая» магнетит-эпидот-амфиболовая и магнетит-амфибол-эпидотовая ассоциация (см. рис. 6, А). Сходная хромшпинелид-эпидотовая минеральная ассоциация отмечается и для залегающих выше пород ветлужского надгоризонта нижнего триаса, грубообломочные разности которых отличаются также обилием окатанных обломков уральских яшмоидов.

В дополнение к материалам по благоприятным предпосылкам и признакам алмазоносности Устьянского района, изложенным ранее [20], можно добавить следующие тектонические предпосылки. Устьянская морфоструктура занимает уникальное положение в зоне сочленения четырёх глобальных структур 1-го порядка Русской плиты: она является локальным поднятием, разделяющим Московскую и Мезенскую синеклизы, и одновременно – «мостиком», соединяющим Балтийский щит (Балтийскую антекклизу) и Волго-Уральскую антекклизу [27]. Такие зоны (двойные эскарпы, по [10]) в тектоническом отношении максимально благоприятны для проявлений внутриплитного магматизма. Подобной, но более активно переработанной тектоно-магматическими процессами зоной является Тианский кряж (поднятия) [10]. Интересно отметить, что на карте макросейсмического поля Русской платформы [1] Устьянский алмазоносный район, точно так же как и вулканические поля Беломорского региона (Зимнебережное, Терскобе-

режное и Нёнокское), приурочен к обрамлению максимума интенсивности землетрясений в области изосейст IV–V баллов, но другого, самостоятельного, отдельного весьма контрастного максимума (изосейсты до VI–VII баллов!), расположенного в зоне девонского Средне-Русского авлакогена (см. рис. 3, Б). Этот максимум интенсивности землетрясений не такой грандиозный, как Беломорский (с которым, во всяком случае, пространственно связан и активный интрузивный щелочной магматизм Балтийского щита), но является, по сути, единственным аналогичным и самостоятельным очагом современной (унаследованной) тектонической активности на севере Русской платформы. Это косвенно повышает перспективы потенциальной алмазоносности Устьянского района, поскольку наиболее богатые алмазами кимберлитовые районы характеризуются именно весьма ограниченной по масштабу сопутствующей магматической активностью (например, Мирнинское и Накынское кимберлитовые поля Якутской алмазоносной провинции).

Для проведения поисков в Устьянском алмазоносном районе работами ООО «Архангельские алмазы» на площади прогнозируемого кимберлитового поля Северное (где ожидается открытие алмазоносных ильменитсодержащих кимберлитов Fe-Ti-серии [20]) уже подготовлены наиболее интересные участки площадью от 2000 (для общих поисков) до 300 км<sup>2</sup> (для детальных поисков).

**Обдырское поднятие.** Другим интересным перспективным районом является Обдырское поднятие Среднего Тимана. Несмотря на то, что трубки Умбинская, Средненская и Водораздельная Умбинского поля Среднего Тимана были первыми кимберлитовыми трубками Русской платформы [26] и первыми трубками с установленным девонским возрастом [16] (эти трубки открыты Ухтинской ГРЭ в 1977–1978 гг., а первая на Зимнем Берегу трубка Поморская открыта Юрасской ГРЭ только в 1980 г.), отсутствие в них алмазов и присутствие глубинных минералов лишь гроспидитовой субфации графитпироповой фации глубинности С2 (21–34 кбар) [24], в частности многочисленных пиропов с содержанием  $Cr_2O_3$  только 1,5–5,5%, не позволяло говорить о внятных перспективах алмазоносности Умбинского поля, а вслед за ним и всего Тимана. Открытые в те же годы близкие к кимберлитам трубки поля «Исток Мезени» Четласского Камня содержали лишь единичные низкохромистые пиропы и тоже не давали оснований для положительной



оценки ни этого поля, ни такой структуры, как Тиман в целом. Однако случайное открытие при профилном бурении геологами Ухтинской ГРЭ в начале 1980-х гг. признаков (хотя и косвенных) присутствия потенциально алмазоносных кимберлитов на Обдырском поднятии Среднего Тимана позволило оценивать перспективы алмазоносности Тимана с большим оптимизмом. По данным [2], здесь установлен и оконтурен интенсивный комплексный хромшпинелид-пикроильменит-пироповый ореол, приуроченный к терригенным отложениям нерасчленённых визейского и серпуховского ярусов нижнего карбона, представленным слабосортированными глинами, алевролитами, песчаниками и гравелитами (вероятно, отложениями конусов выноса). Концентрации пиропов достигают 4% веса тяжёлой фракции, значительную часть выборок представляют зёрна размером 1–2,5 мм. Изредка встречаются зёрна с первичной магматической поверхностью, большая же часть пиропов характеризуется наличием признаков интенсивного гипергенного растворения кубоидного и дислокационного типа (вплоть до помутнения, обесцвечивания и сахаровидного облика поверхности зёрен). Состав пиропов самый разнообразный, содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  достигает 10,09%, что соответствует уже коэситовой субфации графит-пироповой фации глубинности СЗ (34–40 кбар) [24], приближающейся к алмаз-пироповой фации D (>40 кбар). Зёрна пикроильменита встречаются гораздо реже, они имеют размер до 1 мм, также как и пироп имеют признаки интенсивных гипергенных изменений, разнообразны по составу (содержание  $\text{MgO}$  достигает 13,07, а  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 6,43%). Если ещё учесть меньшую степень метаморфизма подстилающих пород рифея или венда (?) (устное сообщение В. М. Пачуковского), то поисковая и шлихо-минералогическая ситуация на этом участке Обдырского поднятия почти полностью аналогична поисковой ситуации на флангах месторождения алмазов им. В. Гриба в Зимнебережном алмазоносном районе! Отличие практически состоит лишь в том, что в аналогичных по возрасту, составу, структурно-текстурным особенностям и по условиям образования и гипергенных изменений промежуточных коллекторов груборучейской свиты нижнего карбона на Зимнем Берегу развит интенсивный ореол минералов-спутников алмаза (МСА) с резким преобладанием пикроильменита, а не пиропы как на Обдырском поднятии.

Поисковые работы по изучению шлихового ореола проводились только на этом локальном участке Обдырского поднятия в конце 1980-х гг. при недостатке финансирования, в спешке и с нарушением стадийности работ, поэтому не могут считаться исчерпывающими и завершёнными. Наличие такого интенсивного и контрастного ореола минералов-спутников алмаза ближнего сноса в перекрывающих отложениях карбона, а также находки алмазов в современных аллювиальных отложениях позволяют считать Обдырское поднятие в целом и участок выявленного ореола МСА во всяком случае перспективным и на обнаружение проявлений кимберлитового магматизма, возможно алмазоносного, и дают основание для проведения нового, целенаправленного и полноценного этапа прогнозно-поисковых работ на всём Обдырском поднятии. Это тем более оправданно и своевременно, поскольку коренной источник обнаруженного шлихового ореола МСА соответствует кимберлитам группы 1 Южной Африки, кимберлитам Fe-Ti-серии Зимнего Берега (так же как и трубка им. В. Гриба), а, по соотношению МСА пироп > пикроильменит (классификация [25]), коренной источник ореола может быть близок к таким трубкам Якутии, как Айхал, им. XXIII Съезда КПСС и Интернациональная.

**2. Площади с невятными и неочевидными пока результатами поисковых работ, требующие предварительной прогнозной подготовки, но теоретически имеющие перспективы выявления месторождений.**

Это, прежде всего, – **западная часть Онежского полуострова**. Подтверждённая тенденция усиления ультраосновных свойств трубок взрыва мелилититов Нёнокского поля в западном направлении (см. выше) указывает на перспективы обнаружения кимберлитовых тел на площади западной оконечности Онежского полуострова. Здесь ранее также отмечалась возможность существования прогнозного кимберлитового поля (отчёт ЦНИГРИ, А. А. Фельдман и др., 1988). Это прогнозируемое «Западно-Онежское» поле также должно быть рассмотрено в качестве перспективного района на поиски месторождений алмазов.

Кроме того, интерес представляет территория Среднего Тимана, включающая в себя Цилемский камень и северную часть Четласского Камня (Цилемско-Четласский потенциально перспективный район). Здесь в 1970–1980-е гг. проводились «лёгкие» мелкомасштабные (по сути, рекогносцировочные)

поисковые работы на алмазы, в результате которых в современной аллювии были обнаружены минералы-спутники алмаза ближнего сноса (в том числе крупные, до 2 мм зёрна пироба), а также единичные зёрна алмазов.

**3. Площади, перспективы которых в целом основаны на самых общих представлениях о благоприятных предпосылках проявления алмазоносного кимберлитового вулканизма, поисковые работы на которых не проводились либо проводились выборочно, в небольшом объёме и на локальных участках.**

На обнаружение раннегерцинских (девонских) кимберлитов наиболее перспективны такие обширные зоны, как зона «Карбонового уступа» и частично совпадающая с ней зона «Флексуры Полканова» – палеозойское обрамление юга и востока Балтийского щита (рис. 7).

Для выяснения возможности обнаружения кимберлитов мезозойского возраста интерес представляет район Тобышского поднятия у восточной границы Северного Тимана.

Исходя из того, что предыдущая масштабная комплексная работа по изучению и оценке перспектив

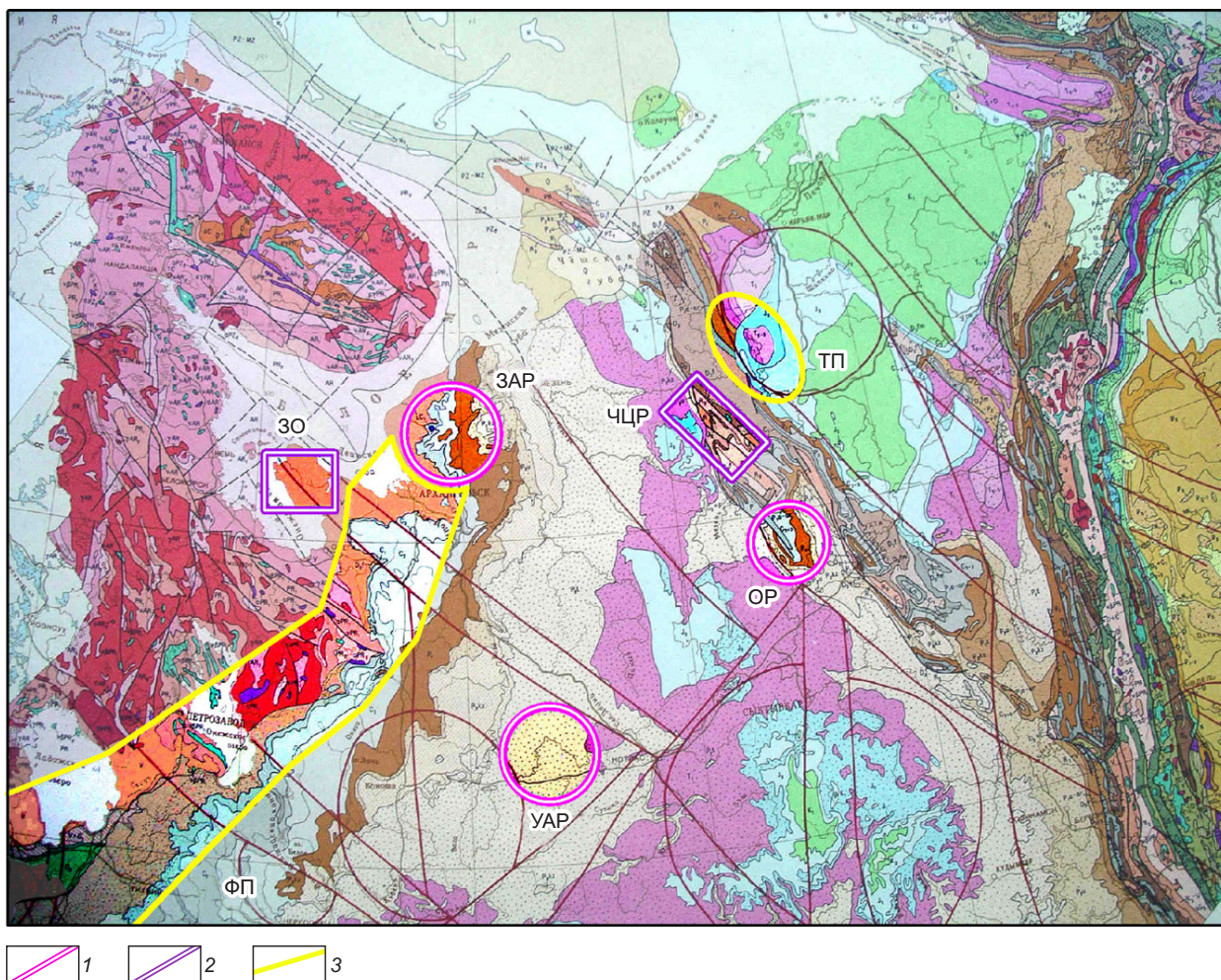


Рис. 7. Некоторые перспективные площади севера Русской платформы для постановки прогнозно-поисковых работ на алмазы:

площади: 1 – для детальных поисков (ЗАР – Зимнебережный алмазоносный район, УАР – Устьянский алмазоносный район, ОР – Обдырский район), 2 – для прогнозно-поисковых работ (ЗО – Западно-Онежское поле, ЧЦР – Четласско-Цилемский район), 3 – для общих прогнозных работ (ФП – зона Флексуры Полканова и Карбонового уступа, ТП – Тобышское поднятие)



алмазности Восточно-Европейской (Русской) платформы (отчёт ЦНИГРИ, Б. И. Прокопчук и др., 1985) проводилась 40 лет назад и за это время накоплен огромный объём нового каменного, фактического и теоретического материала, возникла необходимость на новом уровне знания геологической ситуации оценить перспективы алмазности как Русской платформы в целом, так и отдельных её частей.

**Некоторые пожелания по организации проведения возможных прогнозных (прогнозно-поисковых) работ.** К сожалению, в настоящее время нет возможности для проведения прогнозно-поисковых работ в направлении «от общего к частному» (как было во время СССР), каждый недропользователь (любого масштаба) работает совершенно отдельно, «каждый за себя» на своём «клочке земли» и не делится полученной геологической информацией с другими компаниями, что не позволяет проводить полноценные прогнозно-поисковые работы даже на соседних однотипных участках разных недропользователей. Если руководство Архангельской области заинтересовано в открытии новых месторождений алмаза, необходимо не в рамках Страны (как было раньше), а хотя бы в рамках области объединить информационные базы и усилия всех недропользователей и научных организаций в разработке направлений и методики прогнозно-поисковых работ и в выделении перспективных площадей. Под гарантии недопущения финансового или репутационного ущерба для раскрывших «свою» геологическую информацию частных компаний. Для этого необходимо:

1. Создать межведомственную группу или совет из наиболее заинтересованных и опытных бизнесменов, геологов и исследователей для разработки программы прогнозно-поисковых работ на алмазы по области в целом и по отдельным участкам детальных работ, с вовлечением в обработку необходимой для этого информации отдельных компаний и с привлечением для консультаций на добровольной основе первооткрывателей месторождений алмазов.

2. Объединить имеющиеся разрозненные базы геологических, геофизических и минералогических данных для выделения наиболее перспективных площадей разного ранга, для разработки палеогеографических карт на разные эпохи с определением общего направления перемещения обломочного материала и по району в целом, и на участ-

ках детализации конкретных шлиховых ореолов.

3. Оценить возможности комплексного применения разных, самых современных методов прогноза и поисков: геофизических, геоморфологических, морфометрических и др. (включая применения БПЛА и иностранных методик геофизических съёмок), а также методов интерпретации полученных результатов.

4. Решиться, наконец, на проведение поискового бурения «по сетке» (с обязательным применением шлихо-минералогических методов) на наиболее перспективных и локализованных площадях (в Якутии такой метод поисков с успехом применяется уже многие десятки лет).

5. Внести в Государственные органы, имеющие право законодательной инициативы, предложение о включении поправок в Закон о Недрах, в которых чётко прописывались бы виды, качество и минимальный объём фактического информационного и каменного материала, который обязаны предоставлять Государственным органам частные поисковые компании-недропользователи в процессе работ (на отдельных этапах) и по завершению работ на полученных лицензионных участках недр.

**Заключение.** Как показал сорокапятилетний опыт изучения алмазности севера Русской платформы, именно детальное, всестороннее и взаимосвязанное изучение магматических тел позволяет получать наиболее полную, объективную информацию и выявлять наиболее важные, интересные, неочевидные и даже неожиданные закономерности их строения, состава и расположения.

На севере Русской платформы разная степень алмазности кимберлитовых пород находится в полном соответствии с особенностями их вещественного состава и расположения, что позволило выявить закономерную петрологическую зональность как отдельных кимберлитовых районов (Зимнего Берега, Терского берега Кольского полуострова, Нёнокского района Онежского полуострова, Умбинского района Среднего Тимана), так и всего Беломорского региона в целом. Эти выявленные петрологические особенности вулканизма региона необходимо учитывать для выделения наиболее перспективных на месторождения алмазов поисковых участков, а петрологические принципы прогноза использовать наряду с другими прогнозными принципами (тектоническими, геофизическими и др.).



Для скорейшего обнаружения месторождений алмаза необходимо объединение интеллектуальных, информационных, производственных и административных ресурсов отдельных недропользователей, научных и государственных организаций.

Только общими, объединёнными усилиями можно в кратчайшие сроки добиться максимально объективного и достоверного обоснования выделения перспективных участков и конкретных путей выявления на них месторождений алмазов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ананьин И. В.* Связь сейсмичности Русской платформы с современными тектоническими движениями // *Современные движения земной коры.* – 1968. – № 3. – С. 283–295.
2. *Бакулина Л. П., Афанасьев В. П., Топлюк В. В.* Поиски кимберлитовых тел по погребенным ореолам рассеяния // *Труды XI геол. конф. Коми АССР (1988 г.) «Алмазоносность Европейского Севера России».* – Сыктывкар : Коми НЦ УрО, 1993. – С. 134–138.
3. *Веричев Е. М., Саблуков С. М., Саблукова Л. И., Журавлёв Д. З.* Новый тип алмазоносных кимберлитов Зимнего Берега (Архангельская алмазоносная провинция) // *Доклады РАН.* – 1999. – Т. 368, № 2. – С. 226–229.
4. *Данилов М. А., Соболев В. К., Скрипниченко В. А., Ефремов И. В., Горяшин В. И., Ермоленко Ю. П.* Первая находка гранат-ставролитовых сланцев на Северном Тимане // *ДАН СССР.* – 1979. – Т. 244, № 1. – С. 189–193.
5. *Добрынина М. И.* Особенности размещения палеозойского магматизма северной части Русской плиты с позиций континентального рифтогенеза // *Геология и полезные ископаемые севера Европейской части СССР.* – Архангельск : Мин-во геологии СССР; Архангельскгеология; Географическое общ-во СССР, 1991. – С. 5–22.
6. *Ермоленко Ю. П.* Геология и рудоносность Северо-Западного Тимана : специальность 04.00.01 «Общая и региональная геология» : автореф. дис. на соискание учёного степеней. канд. геол.-минерал. наук / Юрий Павлович Ермоленко. – М. : МГРИ, 1981. – 29 с.
7. *Калинкин М. М., Арзамасцев А. А., Поляков И. В.* Кимберлиты и родственные породы Кольского региона // *Петрология.* – 1993. – Т. 1, № 2. – С. 205–214.
8. *Костровицкий С. И., Спеццус З. В., Яковлев Д. А., Фон-дер-Флаас Г. С., Суворова Л. Ф., Богуш И. Н.* Атлас коренных месторождений алмазов Якутской кимберлитовой провинции / Отв. редактор ак. Н. П. Похиленко. – Мирный : типография ООО «МГТ», 2015. – 480 с.
9. *Никулин В. И., Лелюх М. И., Фон-дер-Флаас Г. С.* Алмазопрогностика (Концепция и методология). – Иркутск : НПФ «Алмаз-Прогноз», 2002. – 320 с.
10. *Оффман П. Е.* Происхождение Тимана // *Труды Геол. ин-та.* – М. : Изд-во АН СССР, 1961. – Вып. 58. – 140 с.
11. Пат. № 2723628 «Способ выделения приоритетных ореолов рассеивания минералов-спутников алмазоносных кимберлитов» / С. М. Саблуков, Ю. Б. Стегницкий. – 2019.
12. *Прусакова Н. А.* Принципы выделения участков ранга «куста» кимберлитовых тел в Зимнебережном поле на основе структурно-геофизического районирования // *Региональная геология и металлогения.* – 2005. – № 26. – С. 179–184.
13. *Саблуков С. М.* Вулканизм Зимнего Берега и петрологические критерии алмазоносности кимберлитов : специальность 04.00.11 «геология, поиски и разведка рудных и нерудных месторождений; металлогения» : автореф. дис. на соискание учёного степеней. канд. геол.-минерал. наук / Сергей Михайлович Саблуков. – М. : ЦНИГРИ, 1995. – 24 с.
14. *Саблуков С. М.* О петрохимических сериях кимберлитовых пород // *Доклады АН СССР.* – 1990. – Т. 313, № 4. – С. 935–939.
15. *Саблуков С. М.* Петрологическая зональность кимберлитовых районов Архангельской алмазоносной провинции // *Материалы всероссийского совещания «Алмазы и алмазоносность Тимано-Уральского региона».* – Сыктывкар : Геопринт, 2001. – С. 127–129.
16. *Саблуков С. М., Дудар Л. П., Довжикова Е. Г., Фишман М. В.* Фазы формирования и возраст кимберлитовых трубок Среднего Тимана // *Труды ЦНИГРИ.* – 1983. – Вып. 182. – С. 64–74.
17. *Саблуков С. М., Саблукова Л. И.* Система раннегерцинского кимберлитового магматизма Севера Русской платформы как основа для диагностики пород и оценки их потенциальной алмазоносности // *Материалы научно-практической конференции, посвящённой 50-летию открытия первой алмазоносной кимберлитовой трубки «Зарница»: Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее (Алмазы-50)».* МПР РФ, ВСЕГЕИ, «АЛРОСА». – СПб. : ВСЕГЕИ, 2004. – С. 288–291.

18. *Саблуков С. М., Саблукова Л. И.* Степень астеносферного влияния как один из определяющих факторов разнообразия кимберлитовых пород // Труды VI Международного семинара «Глубинный магматизм, его источники и плюмы» (г. Мирный). – Иркутск : Изд-во ин-та географии СО РАН, 2006. – С. 175–190.
19. *Саблуков С. М., Саблукова Л. И.* Щелочной ультраосновной магматизм Нёнокского поля Онежского полуострова – отражение плюмовых и субдукционных процессов Беломорского региона (Архангельская алмазоносная провинция) // Труды X международного семинара «Глубинный магматизм, его источники и плюмы» (г. Судак). – Иркутск : Изд. института географии СО РАН, 2010. – С. 157–186.
20. *Саблуков С. М., Саблукова Л. И., Белов А. В., Ермаков Н. С., Лешуков С. И.* Признаки плюмовой магматической активности в средней части Русской платформы (Устьянский алмазоносный район) // Глубинный магматизм, его источники и плюмы. Труды XV международного семинара. – Иркутск : Изд-во Института геохимии СО РАН, 2019. – С. 61–95.
21. *Саблуков С. М., Саблукова Л. И., Гриффин В. Л.* Распределение редких элементов в глубинных минералах кимберлитов как признак плюмовых процессов на Севере Русской платформы // Труды IX международного семинара «Глубинный магматизм, его источники и плюмы» (г. Миасс). – Иркутск : Изд. Института географии СО РАН, 2009. – С. 135–171.
22. *Саблукова Л. И., Саблуков С. М.* Реконструкция строения мантийного субстрата Зимнебережного алмазоносного района по особенностям мантийных ксенолитов и вещественному составу вулканических пород // Региональная геология и металлогения. – 2005. – № 26. – С. 94–102.
23. *Самсонов А. В., Третьяченко В. В., Спиридонов В. А., Носова А. А., Каргин А. В., Ларионова Ю. О., Ларионов А. Н., Сазонова Л. В.* Палеопротерозойский коллизионный ороген в фундаменте Архангельской провинции: альтернатива правилу Клиффорда и новый критерий прогноза локализации алмазоносных кимберлитов // Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозные ресурсы, методические, инновационно-технологические пути ее повышения: материалы V всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию алмазной лаборатории ЦНИГРИ – НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО). – С. 166–169.
24. *Соболев Н. В.* Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. – Новосибирск : Наука, 1974. – 264 с.
25. *Харькив А. Д.* Минералогические основы поисков алмазных месторождений. – М. : Недра, 1978. – 136 с.
26. *Шутов Б. С., Смирнов Ю. Д., Лукьянова Л. И., Михайловская Д. Н.* Краткая минералого-петрографическая характеристика кимберлитов Среднего Тимана // Зап. ВМО. – 1983. – Ч. СХII, № 4. – С. 436–443.
27. *Юдахин Ф. Н., Щукин Ю. К., Макаров В. И.* Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. – Екатеринбург : УрО РАН, 2003. – 300 с.
28. *Coleman R. G., Lee D. E., Beatty L. B., Brannock W. W.* Eclogites and eclogites: their differences and similarities // Bull. Geol. Soc. Amer. – 1965. V. 76, № 3. – P. 483–508.
29. *Schulze D. J.* A classification scheme for mantle-derived garnets in kimberlite: a tool for investigating the mantle and exploring for diamonds // A Tale of Two Cratons: The Slave-Kaapvaal Workshop. – Lithos, 2003. – V. 71 (2–4). – P. 195–213.

## REFERENCES

1. *Anan'in I. V.* Svyaz' seismichnosti Russkoy platformy s sovremennymi tektonicheskimi dvizheniyami [Communication of the seismicity of the Russian platform with modern tectonic movements]. *Sovremennyye dvizheniya zemnoy kory*, 1968, No. 3, pp. 283–295. (In Russ.)
2. *Bakulina L. P., Afanas'yev V. P., Topolyuk V. V.* Piski kимberlitovykh tel po pogrebennym oreolam rassseyaniya [Search for kimberlite bodies by buried scattering halos]. *Trudy XI geol. konf. Komi ASSR (1988) "Almazonosnost' Yevropeyskogo Severa Rossii"*, Syktyvkar, Komi NTS UrO publ., 1993, pp. 134–138. (In Russ.)
3. *Verichev Ye. M., Sablukov S. M., Sablukova L. I., Zhuravlov D. Z.* Novyy tip almazonosnykh kimberlitov Zimnego Berega (Arkhangel'skaya almazonosnaya provintsiya) [A new type of diamond-bearing kimberlites of the Zimny Coast (Arkhangelsk diamond-bearing province)]. *Doklady RAN*, 1999, V. 368, No. 2, pp. 226–229. (In Russ.)
4. *Danilov M. A., Sobolev V. K., Skripnichenko V. A., Yefremov I. V., Goryashin V. I., Yermolenko Yu. P.* Pervaya nakhodka granat-stavrolitovykh slantsev na Severnom Timane [The first find of garnet-staurolite schists in the Northern Timan]. *DAN SSSR*, 1979, V. 244, No. 1, pp. 189–193. (In Russ.)
5. *Dobrynina M. I.* Osobennosti razmeshcheniya paleozoyskogo magmatizma severnoy chasti Russkoy plity s pozitsiy kontinental'nogo riftogeneza [Features

- of the distribution of Paleozoic magmatism in the northern part of the Russian Plate from the standpoint of continental rifting]. *Geologiya i poleznye iskopaemye severa Yevropeyskoy chasti SSSR*, Arkhangel'sk, 1991, pp. 5–22. (In Russ.)
6. *Yermolenko Yu. P.* Geologiya i rudonosnost' Severo-Zapadnogo Timana [Geology and ore content of the North-Western Timan]. Moscow, MGRI, 1981, 29 p. (In Russ.)
  7. *Kalinkin M. M., Arzamastsev A. A., Polyakov I. V.* Kimberlity i rodstvennyye porody Kol'skogo regiona [Kimberlites and related rocks of the Kola region]. *Petrologiya*, 1993, V. 1, No. 2, pp. 205–214. (In Russ.)
  8. *Kostrovitskiy S. I., Spetsius Z. V., Yakovlev D. A., Fon-der-Flaass G. S., Suvorova L. F., Bogush I. N.* Atlas korennykh mestorozhdeniy almazov Yakutskoy kimberlitovoy provintsii [Atlas of primary diamond deposits of the Yakut kimberlite province]. ed. N. P. Pokhilenko, Mirnyy, MGT publ., 2015, 480 p. (In Russ.)
  9. *Nikulin V. I., Lelyukh M. I., Fon-der-Flaas G. S.* Almazoprognostika (Kontseptsiya i metodologiya) [Almazoprognostics (Concept and Methodology)]. Irkutsk, Almaz-Prognoz publ., 2002, 320 p. (In Russ.)
  10. *Offman P. Ye.* Proiskhozhdeniye Timana [The origin of Timan]. *Trudy Geol. In-ta, Moscow, AN SSSR publ.*, 1961, Is. 58, 140 p. (In Russ.)
  11. Patent No. 2723628 "Sposob vydeleniya prioritnykh oreolov rassevaniya mineralov-sputnikov almazonosnykh kimberlitov" [Method for identifying priority dispersion halos of satellite minerals of diamond-bearing kimberlites]. *Sablukov S. M., Stegnitskiy Yu. B.*, 2019. (In Russ.)
  12. *Prusakova N. A.* Printsipy vydeleniya uchastkov ranga "kusta" kimberlitovykh tel v Zimniberezhnom pole na osnove strukturno-geofizicheskogo rayonirovaniya [Principles of identifying areas of the "bush" rank of kimberlite bodies in the Zimniberezhnoye field based on structural geophysical zoning]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2005, No. 26, pp. 179–184. (In Russ.)
  13. *Sablukov S. M.* Vulkanizm Zimnego Berega i petrologicheskiye kriterii almazonosnosti kimberlitov [Volcanism of the Winter Coast and petrological criteria for the diamond content of kimberlites]. Moscow, TSNIGRI publ., 1995, 24 p. (In Russ.)
  14. *Sablukov S. M.* O petrokhimicheskikh seriyakh kimberlitovykh porod [About petrochemical series of kimberlite rocks]. *Doklady AN SSSR*, 1990, V. 313, No. 4, pp. 935–939. (In Russ.)
  15. *Sablukov S. M.* Petrologicheskaya zonal'nost' kimberlitovykh rayonov Arkhangel'skoy almazonosnoy provintsii [Petrological zoning of kimberlite regions of the Arkhangel'sk diamondiferous province]. *Materialy Vserossiyskogo soveshchaniya Almazy i almazonosnost' Timano-Ural'skogo regiona, Syktyvkar, Geoprint publ.*, 2001, pp. 127–129. (In Russ.)
  16. *Sablukov S. M., Dudar L. P., Dovzhikova E. G., Fishman M. V.* Fazy formirovaniya i vozrast kimberlitovykh trubok Srednego Timana [Phases of formation and age of kimberlite pipes of the Middle Timan]. *Trudy TSNIGRI*, 1983, Is. 182, pp. 64–74. (In Russ.)
  17. *Sablukov S. M., Sablukova L. I.* Sistema rannegertsinskogo kimberlitovogo magmatizma Severa Russkoy platformy kak osnova dlya diagnostiki porod i otsenki ikh potentsial'noy almazonosnosti [The system of Early Hercynian kimberlite magmatism of the North of the Russian Platform as a basis for diagnostics of rocks and assessment of their potential diamond content]. *Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchonnoy 50-letiyu otkrytiya pervoy almazonosnoy kimberlitovoy trubki Zarnitsa, St. Petersburg, VSEGEI publ.*, 2004, pp. 288–291. (In Russ.)
  18. *Sablukov S. M., Sablukova L. I.* Stepen' astenosfernogo vliyaniya kak odin iz opredelyayushchikh faktorov raznobraziya kimberlitovykh porod [The degree of asthenospheric influence as one of the determining factors of the diversity of kimberlite rocks]. *Trudy VI Mezhdunarodnogo Seminara "Glubinnyy magmatizm, yego istochniki i plyumy"* (Mirnyy), Irkutsk, Institut geografii SO RAN publ., 2006, pp. 175–190. (In Russ.)
  19. *Sablukov S. M., Sablukova L. I.* Shchelochnoy ul'trasosnovnoy magmatizm Nonokskogo polya Onezhskogo poluostrova – otrazheniye polyumovykh i subduksionnykh protsessov Belomorskogo regiona (Arkhangel'skaya almazonosnaya provintsiya) [Alkaline ultrabasic magmatism of the Nenok field of the Onega Peninsula as a reflection of the poleum and subduction processes of the White Sea region (Arkhangel'sk diamondiferous province)]. *Trudy X Mezhdunarodnogo Seminara "Glubinnyy magmatizm, yego istochniki i plyumy"* (Sudak), Irkutsk, Institut geografii SO RAN publ., 2010, pp. 157–186. (In Russ.)
  20. *Sablukov S. M., Sablukova L. I., Belov A. V., Yermakov N. S., Leshukov S. I.* Priznaki plyumovoy magmaticheskoy aktivnosti v sredney chasti Russkoy platformy (Ust'yanskiy almazonosnyy rayon) [Signs of plume magmatic activity in the middle part of the Russian Platform (Ustyansk diamond-bearing region)]. *Glubinnyy magmatizm, yego istochniki i plyumy. Trudy XV mezhdunarodnogo seminara*, Irkutsk, Institut geokhimii SO RAN publ., 2019, pp. 61–95. (In Russ.)
  21. *Sablukov S. M., Sablukova L. I., Griffin V. L.* Raspre-deleniye redkikh elementov v glubinnykh mineralakh kimberlitov kak priznak plyumovykh protsessov na Severe Russkoy platformy [Distribution of rare elements in deep minerals of kimberlites as a sign of plume processes in the North of the Russian platform]. *Trudy IX Mezhdunarodnogo Seminara "Glubinnyy*



- magmatizm, yego istochniki i plyumy” (Miass), Irkutsk, Institut geografii SO RAN publ., 2009, pp. 135–171. (In Russ.)
22. *Sablukova L. I., Sablukov S. M.* Rekonstruktsiya stroyeniya mantiynogo substrata Zimneberezhnogo almazonosnogo rayona po osobennostyam mantiynykh ksenolitov i veshchestvennomu sostavu vulkanicheskikh porod [Reconstruction of the structure of the mantle substrate of the Zimneberezhny diamond-bearing region based on the features of mantle xenoliths and the material composition of volcanic rocks]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2005, No. 26, pp. 94–102. (In Russ.)
  23. *Samsonov A. V., Tretyachenko V. V., Spiridonov V. A., Nosova A. A., Kargin A. V., Larionova Yu. O., Larionov A. N., Sazonova L. V.* Paleoproterozoiyskiy kollizionnyy orogen v fundamente Arkhangel'skoy provintsi: al'ternativa pravilu Klifforda i novyy kriteriy prognoza lokalizatsii almazonosnykh kimberlitov [Paleoproterozoic collisional orogen in the basement of the Arkhangelsk province: an alternative to the Clifford rule and a new criterion for predicting the localization of diamondiferous kimberlites]. *Materialy V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchennoy 50-letiyu Almaznoy laboratorii TSNIGRI – NIGP AK “ALROSA” (PAO)*, pp. 166–169. (In Russ.)
  24. *Sobolev N. V.* Glubinnyye vklucheniya v kimberlitakh i problema sostava verkhney mantii [Deep inclusions in kimberlites and the problem of the composition of the upper mantle]. Novosibirsk, Nauka publ., 1974, 264 p. (In Russ.)
  25. *Khar'kiv A. D.* Mineralogicheskiye osnovy poiskov almaznykh mestorozhdeniy [Mineralogical bases of prospecting for diamond deposits]. Moscow, Nedra publ., 1978, 136 p. (In Russ.)
  26. *Shutov B. S., Smirnov Yu. D., Luk'yanova L. I., Mikhaylovskaya D. N.* Kratkaya mineralogo-petrograficheskaya kharakteristika kimberlitov Srednego Timana [Brief mineralogical and petrographic characteristics of Middle Timan kimberlites]. *Zap. VMO*, 1983, Ch. CXII, No. 4, pp. 436–443. (In Russ.)
  27. *Yudakhin F. N., Shchukin Yu. K., Makarov V. I.* Glubinnoye stroyeniye i sovremennyye geodinamicheskiye protsessy v litosfere Vostochno-Yevropeyskoy platformy [Deep structure and modern geodynamic processes in the lithosphere of the East European Platform], Yekaterinburg, UrO RAN publ., 2003, 300 p. (In Russ.)
  28. *Coleman R. G., Lee D. E., Beatty L. B., Brannock W. W.* Eclogites and eclogites: their differences and similarities. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1965. V. 76, No. 3, pp. 483–508.
  29. *Schulze D. J.* A classification scheme for mantle-derived garnets in kimberlite: a tool for investigating the mantle and exploring for diamonds. *A Tale of Two Cratons: The Slave-Kaapvaal Workshop, Lithos*, 2003, V. 71 (2–4), pp. 195–213.

Статья поступила в редакцию 04.07.23; одобрена после рецензирования 17.07.23; принята к публикации 20.07.23.  
The article was submitted 04.07.23; approved after reviewing 17.07.23; accepted for publication 20.07.23.

## Пространственно-временная связь золоторудных и стратиформных полиметаллических месторождений в черносланцевых толщах Олокитского рудного узла

Предложена модель пространственно-временной связи стратиформного колчеданно-полиметаллического оруденения и стратоидного золотого в черносланцевых отложениях флишоидного строения Олокитского рудного узла. Выделены две обстановки нахождения разногенетических месторождений цветных и благородных металлов в пределах единого стратиграфического уровня осадконакопления ранга свиты.

*Ключевые слова:* Олокитский рудный узел, черносланцевые толщи, геолого-структурные обстановки, локальные конседиментационные прогибы, рудные узлы, поля, стратоидные месторождения золота, стратиформные колчеданно-полиметаллические месторождения.

КОНКИН ВИКТОР ДМИТРИЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, konkin@tsnigri.ru

ДОНЕЦ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, donets@tsnigri.ru

МИГАЧЁВ ИГОРЬ ФЕДОРОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, migatchev@tsnigri.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

## Spatial-temporal relationship between gold ore deposits and stratiform polymetallic deposits in blackshale sequences of the Olokit ore

V. D. KONKIN, A. I. DONETS, I. F. MIGACHEV

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

A model is suggested for the spatial-temporal coexistence of stratiform polymetallic massive sulfide deposits and stratoid gold ore deposits, confined to the flyschoid blackshale sequences of the Olokit ore cluster. Two types of the settings (the remote and combined ones) were identified for these genetically different ore deposits of base and precious metals, formed within a single formation-rank stratigraphic level of sedimentation.

*Key words:* Olokit ore cluster, blackshale sequence, geological and structural setting, local consedimentary trough, ore cluster, ore field, stratoid gold ore deposit, stratiform polymetallic massive sulfide deposit.

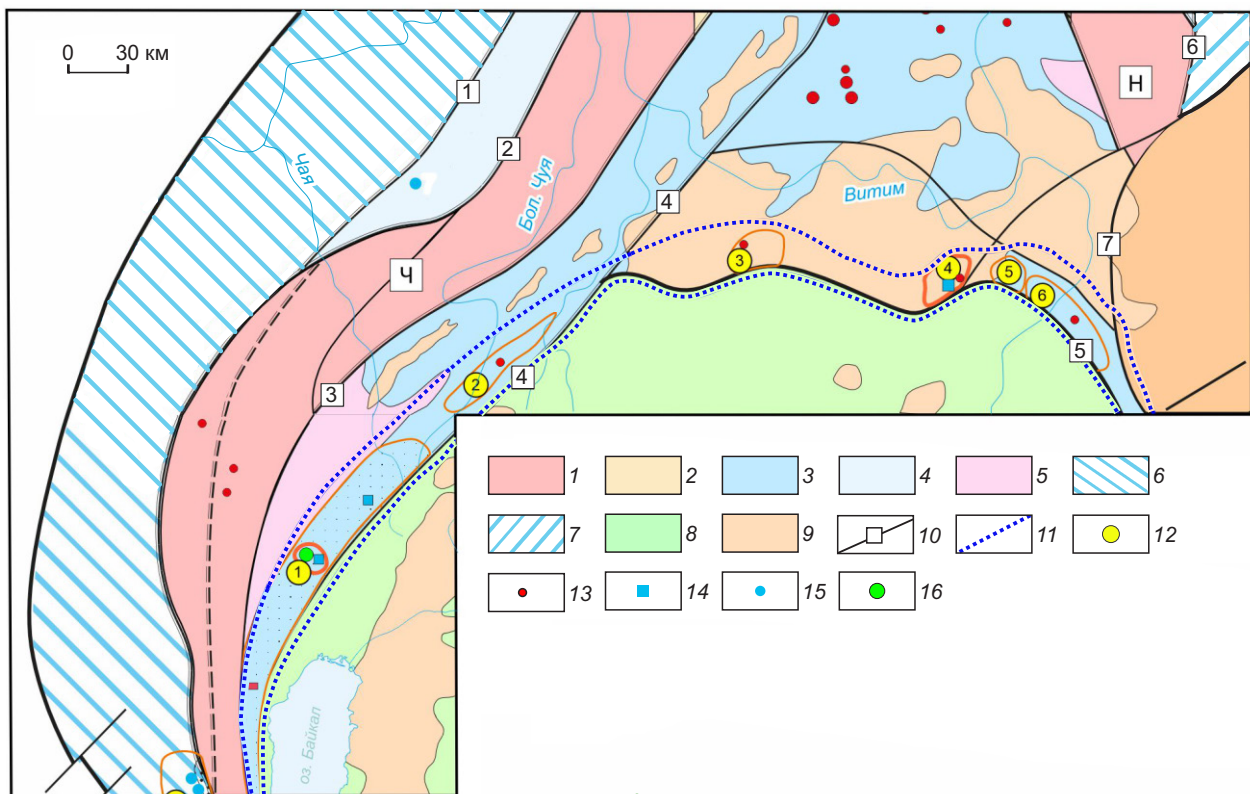
**Целевое назначение работы** – обратить внимание исследователей на расшифровку формационно-фациальных и геолого-структурных обстановок формирования рудных узлов и рудных полей с сочетанием различных минералого-геохимических типов *стратоидных* золоторудных и *стратиформных* колчеданно-полиметаллических месторождений (КПМ) в *черносланцевых толщах* локальных прогибов, выполненных латерально-вертикальным формационным рядом вулкано-

генных, вулканогенно-терригенных, терригенных (в том числе черносланцевых) и хемогенно-органогенных формаций и их рудовмещающими фациями.

Это позволит обосновать прогноз рудных узлов с комплексной металлогенией с совмещёнными в пространстве рудными полями месторождений цветных и благородных металлов для проведения последующих поисковых и поисково-оценочных работ.

**Олокитский рудный узел** локализован в пределах Олокито-Сюльбанской структурно-металлогенической зоны (рис. 1), расположенной в крайней части Байкало-Патомской складчатой области вдоль её границы с Байкало-Муйским поясом [3, 4, 5]. Зона представляет собой региональную полигенно-полихронную разломно-складчатую структуру протяжённостью более 650 км и шириной более 35 км. В её пределах известны стра-

тиформные колчеданно-полиметаллические месторождения и рудопоявления, а также золоторудные объекты в черносланцевых толщах, относимые нами к категории «стратоидных», то есть сформировавшиеся за счёт преобразования первичной сингенетичной золотосодержащей рассеянной сульфидной минерализации в последующие этапы складчатости, метаморфизма и гранитоидного магматизма. В двух комплексных рудных



**Рис. 1.** Фрагмент схемы размещения основных структурно-формационных блоков и металлогенического районирования Байкало-Патомской провинции и позиция Олокито-Делюнуран-Сюльбанской зоны. По А. И. Иванову [5], с дополнениями и упрощениями:

1 – выступы дорифейского Чуйско-Тонодско-Нечерского фундамента (Н – Нечерский, Ч – Чуйский); 2 – части антиклинория с фундаментом, перекрытым рифейскими отложениями; синклинии: 3 – Мамско-Бодайбинский, 4 – Байкало-Патомский; 5 – выходы образований дорифейского фундамента в краевых частях синклинориев; 6–7 – Сибирская платформа: зоны линейных складок, сформированные в краевой («шельфовой») части пассивной континентальной окраины: 6 – Приленская, 7 – Причарская; 8 – разновозрастные образования Байкало-Муйского пояса; 9 – позднепалеозойские гранитоиды (Ангаро-Витимский батолит); 10 – цифры в белых квадратах – номера разломов: 1 – Аakitкано-Джербинский, 2 – Алекано-Мало-Туюканский, 3 – Чуйский, 4 – Абчадский, 5 – Право-Мамаканский, 6 – Жуинский, 7 – Ничатский); 11 – контур Олокито-Сюльбанской зоны; 12 – рудные узлы, в том числе комплексные и их номера (цифры в жёлтых кружках): 1 – Холоднинский (комплексный – Ni-Cu-Pb-Zn-Au), 2 – Мамский (Au), 3 – Икибзяк-Додыхтинский (Au), 4 – Чаяндринский (комплексный – Au-Pb-Zn), 5 – Орловско-Королонский (Au), 6 – Урях-Бахтарнакский (Au); 13–16 – основные месторождения и рудопоявления полиметаллов и золота: 13 – золоторудные, 14 – колчеданно-полиметаллические, 15 – стратиформные свинцово-цинковые, 16 – медно-никелевые



узлах – Холоднинском и Чайндринском – выявлены и колчеданно-полиметаллические, и золото-рудные объекты, расположенные в пространственном отношении достаточно близко друг к другу и приуроченные к определённым литолого-стратиграфическим уровням.

В строении этих рудных узлов в составе рудовмещающих свит (соответственно ондокской и джалагунской) участвуют терригенно-карбонатные, терригенно-вулканогенные и вулканогенные отложения, сформировавшиеся вблизи *перманентно действовавших вулканоструктур центрального типа*.

Представляется, что вулканическая активность с гидротермальной деятельностью на ряду с сингенетичным осадочно-биогенным формированием рассеянной вкрапленности сульфидов и органического углерода ( $C_{орг.}$ ) обеспечивала поступление дополнительных рудоносных растворов с формированием в черносланцевых толщах рассеянной (до 10%) и концентрированной (более 25%) сульфидной вкрапленности (преимущественно пирита, реже пирротина, в том числе золотоносных) с формированием соответственно стратоидных золоторудных (на последующих этапах преобразований) и стратиформных колчеданно-полиметаллических месторождений в черносланцевых толщах.

Под термином «стратоидные месторождения золота» авторы понимают золоторудные месторождения в углеродистых терригенно-карбонатных толщах флишоидного строения с рудными телами золото-кварц-сульфидной, золото-сульфидной, золото-малосульфидно-кварцевой и золото-кварцевой рудных формаций с жильно-прожилковыми, прожилково-вкрапленными и жильными телами, субсогласно залегающими в горизонтах различных литолого-стратиграфических уровней терригенного разреза *флишоидного строения* с черносланцевыми фациями.

**В Олоkitском рудном узле** к настоящему времени, помимо *стратиформных* колчеданно-полиметаллических месторождений и рудопроявлений в черносланцевых толщах (*Холоднинское, Космонавтинское, Овольское и др.*), свинцово-цинковых в карбонатно-биогермных толщах (*Йоко-Рыбачье и др.*), выявлены месторождения и рудопроявления *стратоидных* золото-сульфидно-кварцевых руд (*Нерундинское и др.*). Кроме того, в этом же узле локализованы месторождения медно-никелевых руд (в том числе с элементами ЭПГ – *Довы-*

*ренское, Чайское, Авкитское*) в базит-гипербазитовых интрузиях и месторождения железистых кварцитов (*Тыйское и др.*) в терригенно-вулканогенных толщах.

Ведущим геолого-промышленным типом для Олоkitского рудного узла является колчеданно-полиметаллический в черносланцевых толщах, представленный несколькими объектами, главным из которых является Холоднинское *стратиформное* золотосодержащее колчеданно-полиметаллическое месторождение с уникальными запасами свинца и цинка.

*Стратоидное* золотое оруденение представлено Нерундинским золото-сульфидно-кварцевым месторождением.

*В пределах Олоkitского рудного узла* вскрываются стратифицированные углеродсодержащие и безуглеродистые толщи терригенных, вулканогенно-карбонатно-терригенных, карбонатных (хемогенно-органогенных) и вулканогенных пород рифея и рифей-венда.

Стратиграфическая последовательность накопления формационных комплексов, состав формаций и рудовмещающих фаций в пределах рудного узла отражены на стратиграфической колонке с деталями строения рудовмещающего разреза Холоднинского рудного поля с одноимённым месторождением (рис. 2).

Отметим, что в основании разреза преобладают терригенно-вулканогенные толщи с железистыми кварцитами *иловирьской–тыйской* свит нижне-среднерифейского времени. Эти толщи согласно перекрыты отложениями карбонатно-терригенной *авкитской* свиты, на которой согласно залегают углеродисто-терригенные толщи флишоидного строения *ондокской* свиты верхнего рифея. Выше согласно залегающие толщи представлены кремнисто-алевро-аргилитово-карбонатной верхнерифейской *итыкитской* и вулканогенной андезитобазальтовой верхнерифей-вендской *сыннырской–иняптукской* свитами. Все толщи верхнего рифея–венда с угловым несогласием перекрыты молассоидной толщей холоднинской свиты венд-кембрийского времени.

Для *фациально неоднородного ондокского стратоуровня*, помимо мощных углеродисто-терригенных толщ флишоидного строения, характерно наличие в латеральном ряду хемогенно-рифогенных карбонатных горизонтов и маломощных (до 250 м) горизонтов вулканогенной риолитобазальтовой формации. Флишоидные терригенные

Свиты, формации, их мощность и возраст (Олокинский прогиб)	Литология	Фашии и их мощность (Холоднинское рудное поле)
ХОЛОДНИНСКАЯ, Молассоидная >800 м (V-E)		Лавы и туфы преимущественно основного состава
СЫНЫРСКАЯ (ИНЯПТУКСКАЯ), андезито-базальтовая >800 м (R <sub>3</sub> )		Углеродистые кварцито-песчаники, графит-кварцсланцевые сланцы (300–500 м)
АСЕКТАМУРСКАЯ, углеродистая песчано-глинистая (черносланцевая филлитовидная) (1000–1300 м) (R <sub>3</sub> )		Углеродистые кварц-сланцевые сланцы, углеродистые алевро-глинистые сланцы с рассеянной редкой вкрапленностью сульфидов (700–800 м)
ИТЫКИТСКАЯ, Карбонатная (600–700 м) (R <sub>3</sub> )		Кварцито-песчаники с горизонтами гравелитов
ОНДОКСКАЯ, черносланцевая (углеродистая терригенно-флишоидная с линзо- и пластобразными телами колчеданно-полиметаллических руд) (1500 м) (R <sub>3</sub> )		Флишоидное переслаивание углеродистых кварц-сланцев-слабокарбонатных сланцев, слюдяных мелко-тонкозернистых кварцито-сланцев и горизонтов существенно карбонатных углеродистых метapelитов. Залежи стратиформных колчеданно-полиметаллических и свинцово-цинковых руд. Фашиальная изменчивость по латерали – смена бескарбонатных кремнистых углеродистых метapelитов на их карбонатсодержащие фашии. Характерна тонкая рассеянная послойная вкрапленность пирита и пирротина (350–400 м)
АВКИТСКАЯ, карбонатно-терригенная (карбонатно-кварцито-сланцевая) (1500–1700 м) (R <sub>3</sub> )		Переслаивание углеродистых кварц-сланцевых и кварцито-песчаников. Единичные тела колчеданных руд (40–110 м)
ИЛОВИРСКО-ТЫЙСКАЯ, карбонатно-терригенно-вулканогенная с железистыми кварцитами >3000 м (R <sub>1</sub> -R <sub>2</sub> )		Мелкослоистые преимущественно углеродистые кварц-сланцевые и слюдяно-кварцевые сланцы с гранатом (60–90 м)
НЮРУНДЮКАНСКАЯ, амфиболито-гранито-гнейсовая (PR <sub>1</sub> )		Мраморизованные известняки и кварц-сланцевые сланцы с гранатом (>500 м) авкитской свиты Амфиболито-гранито-гнейсовая и гранито-амфиболитовая гнейсовая с преобладанием амфиболитовых вулканитов основного состава

Рис. 2. Позиция стратиформных залежей колчеданно-полиметаллических руд на формационно-фашиальной колонке Олокинского прогиба и детали фашиального состава рудовмещающих черносланцевых фашии Холоднинского рудного поля

и хемогенно-органогенные *фации ондокской свиты* служат рудовмещающими для стратиформных колчеданно-полиметаллических и свинцово-цинковых месторождений. В отложениях этого (ондокского) стратоуровня отчётливо устанавливается фациальная изменчивость разреза средне-верхнерифейских отложений даже в пределах рудного поля, что отражено на колонке выполнения Олокитского прогиба и Холоднинского месторождения (см. рис. 2). Изменение фаций рудовмещающей ондокской свиты выражено сменой по латерали бескарбонатных кремнисто-терригенных углеродистых фаций на их карбонатсодержащие фации (до 40–45 %) даже в пределах рудного поля.

Отметим также, что на этом же стратоуровне в пределах ондокского палеоподнятия (см. одноимённую антиклиналь) формировались хемогенно-органогенные карбонатные толщи, вмещающие стратиформные свинцово-цинковые проявления Йоко-Рыбачьего рудного поля. Выявленные на этом же ондокском стратоуровне *стратоидное золоторудное Нерундинское* месторождение и другие золоторудные проявления, локализованные в черносланцевой формации, обнаружены только в области проявления гранитоидного магматизма.

Стратифицированные терригенные, карбонатные и вулканогенные толщи ниже-верхнего рифея смяты в линейные складки с крутонаклонными осевыми плоскостями и ундулирующими шарнирами, слагающими Олокитский синклинорий. В его строении выделяются две синклинали (Олокито-Мамская и Тья-Холоднинская) и Ондокская антиклиналь. Последняя осложнена интрузией базит-гипербазитового состава. При этом складчатые структуры унаследовали палеоструктурные формы рифтогенного прогиба (рисунки 3, 4).

Интрузивный магматизм в Олокито-Мамской зоне был проявлен на рифей-вендском (преимущественно габбро-диабазовый, базит-гипербазитовый и габбро-плагиогранитный) и палеозойском (преимущественно гранитоидный – гранит-граносиенитовый) этапах. С первыми связано формирование медно-никелевых руд, со вторыми – стратоидных золото-сульфидно-кварцевых руд в зонах с метасоматитами березит-лиственитового состава по черносланцевым толщам.

На рисунках 3 и 4 отражена позиция основных стратиформных колчеданно-полиметаллических, свинцово-цинковых и золоторудных месторождений в черносланцевых и карбонатных толщах *ондокской свиты*, а также сближенных с ними медно-

никелевых месторождений в расслоенных телах базит-гипербазитового состава верхнего рифея. Следует отметить, что одно из таких тел, с медно-никелевым профилем оруденения, установлено даже в пределах площади Холоднинского месторождения. Отметим, что стратоидное золоторудное Нерундинское месторождение выявлено на значительном удалении от площади Холоднинского рудного поля (см. рис. 3).

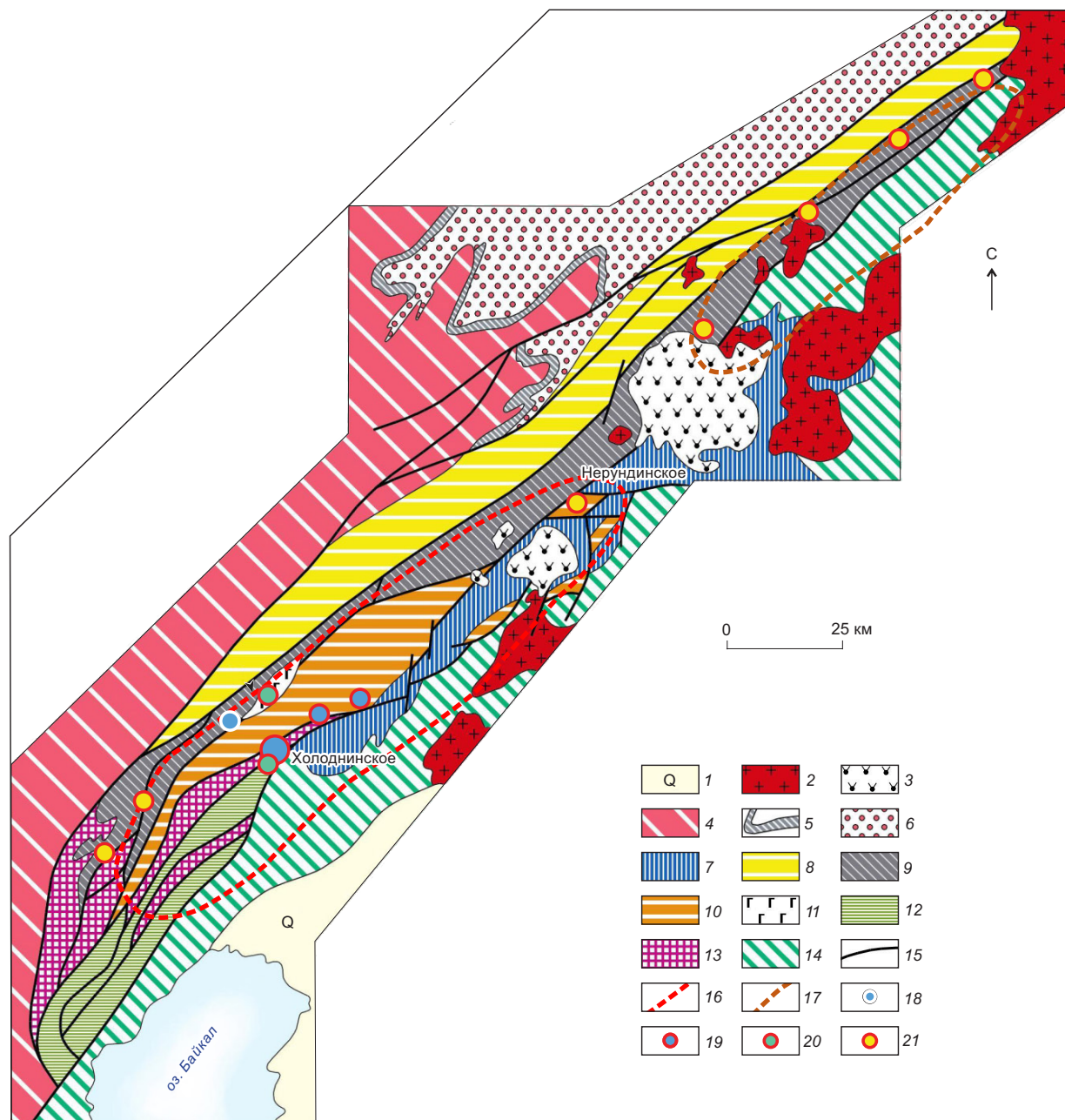
Поскольку внедрение мафит-ультрамафитовых массивов (в том числе никеленосных) не подчиняется стратификации осадочных толщ, а контролируется преимущественно зонами формирования магматических очагов и разломами глубинного заложения, то их частное сонахождение (пространственная связь) среди рудных узлов со стратиформными месторождениями полиметаллов и стратоидными золоторудными месторождениями определяется только по их наличию и *представляется случайным*.

Вместе с тем следует отметить, что зона ОДУС представляет частный фрагмент Байкало-Муйского офиолитового пояса обрамления Сибирской платформы, характеризующегося широким профилем интрузий базит-гипербазитового ряда, что не исключает возможности выявления такого сочетания и на других структурно-формационных блоках, в том числе и Сьюльбанской подзоне.

*Наряду со стратиформными колчеданно-полиметаллическими месторождениями* в терригенно-карбонатных и терригенных толщах с черносланцевыми фациями *ондокской свиты* по её простирацию, в 150–200 км от Холоднинского рудного поля, выявлены стратоидные золото-кварцевые и золото-малосульфидно-кварцевые проявления в метасоматитах железо-магнезиально-карбонатного (бурошпатового) и березит-лиственитового составов, часто совмещённых в пространстве, в полях метаморфизованных терригенно-карбонатных, карбонатно-терригенных и терригенных толщ флишеидного строения. Среди них Сининда-Нерундинское золоторудное поле со стратоидным золоторудным *Нерундинским* месторождением, охарактеризованное в работах А. А. Андреева с соавторами [1] и И. В. Четвертакова с соавторами [9].

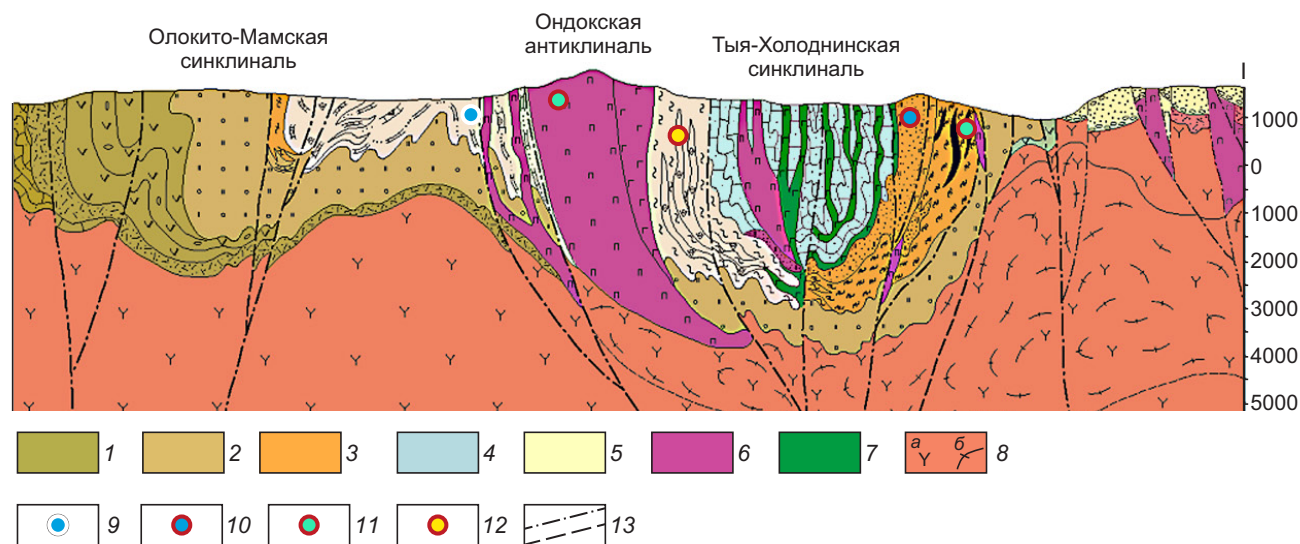
Рудовмещающая толща этого месторождения в моноклиальном крутом (75–80°) залегании, согласно общему структурному плану строения Олокитского прогиба, прослеживается от Холоднинского месторождения в черносланцевых толщах с повышенной сингенетичной рассеянной сульфидной вкрапленностью. Степень насыщен-





**Рис. 3. Позиция стратиформных свинцово-цинковых, колчеданно-полиметаллических месторождений и стратоидных золото-сульфидно-кварцевых руд на схеме тектонического строения Олокито-Мамской структурно-формационной зоны. По [1]:**

1 – четвертичные впадины; 2–3 – позднепалеозойские: 2 – гранитоиды и 3 – щелочные гранитоиды; 4 – выступ нижнепротерзойского фундамента; 5 – базальты; 6 – толщи мамского слюдоносного блока; 7 – впадины венд-кембрия; 8–12 – структуры Олокито-Мамского синклиория (прогиб): 8 – Олокито-Мамская синклираль (палеопргоиб), 9 – Ондокская антиклиналь (палеоподнятия), 10 – Тья-Холоднинская синклираль, 11 – Довыренский слоенный плутон базит-гипербазитов, 12 – Нюрундуканский прогиб; 13 – Унгдарский и Маректинский выступы комплекса основания; 14 – комплексы Байкало-Муйского блока; 15 – тектонические швы; 16 – Холоднинский комплексный рудный узел; 17 – Мамский золоторудный узел; 18–21 – рудноформационные типы месторождений: 18–19 – стратиформный: 18 – колчеданно-полиметаллический в черносланцевой толще, 19 – свинцово-цинковый в карбонатной (хемогенно-органогенной) толще, 20 – платиносодержащий медно-никелевый в базит-гипербазитах, 21 – стратоидный золото-сульфидно-кварцевый в черносланцевой толще



**Рис. 4. Региональный схематический разрез через рудные поля с медно-никелевыми, стратиформными колчеданно-полиметаллическими и свинцово-цинковыми месторождениями Олоkitского узла:**

1–4 – свиты: 1 – Абчадская, Тыйская, Иловирская (терригенно-карбонатно-вулканогенные, нерасчленённые), 2 – Тыйская-Иловирская, 3 – Авкитская-Ондокская (терригенно-карбонатная черносланцевая, нерасчленённая), 4 – Асектамурская (терригенная алевро-сланцевая); 5 – венд-кембрийские толщи малоссоидные; 6 – базит-гипербазитовые комплексы; 7 – габбро и габбро-диабазы; 8 – комплекс основания: а – гнейсо-граниты, б – гнейсо-амфиболиты; 9–12 – рудно-формационный тип месторождений: 9 – стратиформный свинцово-цинковый в карбонатной (хемогенно-органогенной) толще, 10 – стратиформный колчеданно-полиметаллический в черносланцевой толще, 11 – платиносодержащий медно-никелевый в базит-гипербазитах, 12 – стратоидный золото-сульфидно-кварцевый в черносланцевой толще; 13 – разрывные нарушения

ности черносланцевых фаций рудного поля рассеянной сульфидной вкрапленностью сульфидов значительно ниже (до 1%), чем рудовмещающих фаций Холоднинского рудного поля (до 5%).

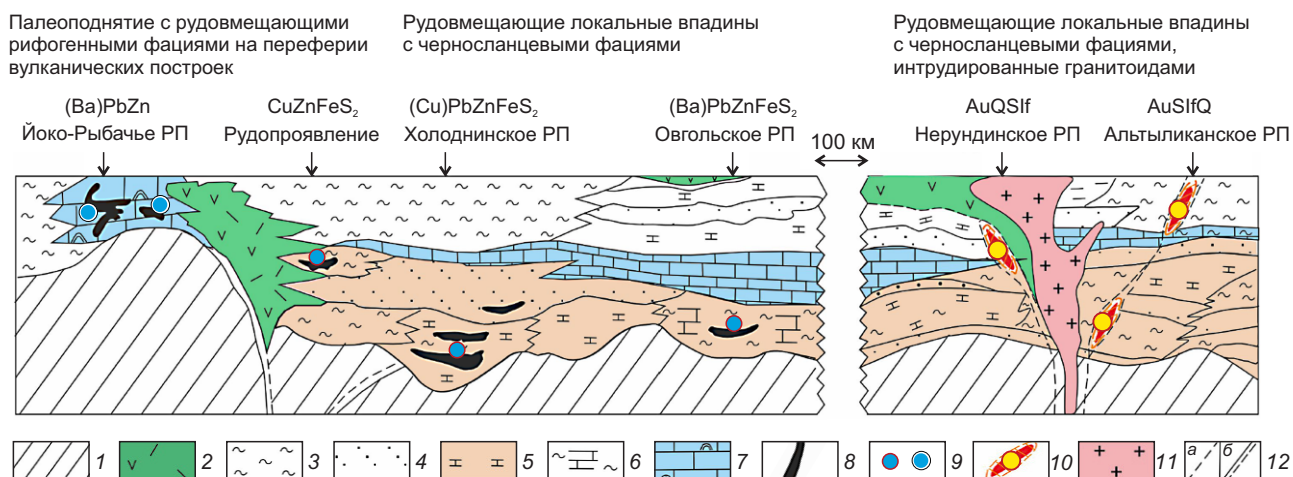
Рудовмещающие толщи на этом фрагменте ондокского стратоуровня интродуцированы дайковыми телами габбро-норитов и плагиогранитов вендского возраста, которые в свою очередь интродуцированы малыми телами потенциально золотоносных гранитоидов (граносиенитами, сиенитами и диоритами) палеозойского Конкудеро-Мамканского комплекса. Последние отсутствуют на площади Холоднинского рудного поля.

Рудные тела Нерундинского месторождения относятся к золото-кварцевой и золото-кварц-мало-сульфидной формациям в минерализованных зонах с метасоматитами березит-лиственитовой и железо-магнезиально-карбонатной формаций по терригенно-карбонатным и карбонатно-терригенным комплексам пород флишоидного строения с рассеянной вкрапленностью сульфидов в фациях черносланцевой формации.

Это подтверждает эмпирически установленную закономерность о формировании золоторудных залежей с промышленными содержаниями золота в черносланцевых толщах флишоидного строения с рассеянной сульфидной вкрапленностью при её переотложении в результате активности гидротермально-метасоматических процессов, связанных с внедрением потенциально золотоносных интрузий палеозоя, способствующих переотложению золота из рассеянной сингенетичной золото-содержащей сульфидной вкрапленности и привнесом дополнительных порций золотоносных растворов [2, 6, 7].

Вариант латерального ряда сонахождения стратиформных различных минералого-геохимических типов колчеданно-полиметаллических, свинцово-цинковых и стратоидных золоторудных месторождений на стратоуровне ондокской свиты отражён на схематическом продольном разрезе (рис. 5).

Из представленной схемы следует, что рудовмещающие черносланцевые формации ондокс-



**Рис. 5. Обобщённый рудноформационный ряд стратиформных колчеданно-полиметаллических, свинцово-цинковых месторождений и стратоидных месторождений золота на продольном схематическом разрезе рудовмещающих толщ Олокито-Мамского прогиба:**

1 – комплекс пород основания; 2 – бимодальные вулканиты риолит-базальтовой формации; 3–5 – комплекс пород рудовмещающих формаций: 3 – углеродистые метапелиты, 4 – углеродистые и аркозовые метапесчаники, 5 – карбонатсодержащие метапелиты и метапесчаники; 6 – углеродистые карбонатные метапелиты; 7 – органогенные рифогенно-карбонатные толщи с горизонтами и органогенными постройками; 8 – рудные залежи; 9 – залежи стратиформных руд: а – колчеданно-полиметаллических в черносланцевых толщах, б – свинцово-цинковых в карбонатных толщах; 10 – стратоидные тела золото-сульфидно-кварцевых руд и зоны метасоматитов березит-лиственнитового состава и железо-марганцево-карбонатных («бурошпатовых») составов с жильно-прожилковой золото-сульфидно-кварцевой и кварц-карбонатной минерализацией; 11 – тела малых интрузий гранитоидов; 12 – разломы (а) и конседиментационные разрывные нарушения (б)

кого стратоуровня формировались в локальных впадинах единого прогиба, выполненного хемогенно-органогенными и вулканогенными фациями. Последние формировались на палеоподнятиях (вулканических), разделяющих локальные прогибы.

Вулканическая активность обеспечивала поступление рудоносных гидротермальных растворов в локальные прогибы осадконакопления с формированием концентрированной и рассеянной вкрапленности сульфидов в разнообразных фациях терригенных и терригенно-карбонатных толщ с черносланцевыми фациями в локальных впадинах. Миграцию растворов обеспечивали подводные течения, которые разносили их на различные расстояния от первоисточника с формированием сульфидных залежей в локальных впадинах. При этом в зависимости от удалённости локальных впадин от вулканогенного источника в них формировались различные минералогеохимические типы колчеданных залежей: вблизи источника в рудных залежах фиксируются

повышенные концентрации Cu, на удалении – Ва.

На палеоподнятиях, в хемогенно-органогенных фациях, формировались стратиформные свинцово-цинковые месторождения с баритом (Ва), а в черносланцевых фациях – колчеданно-полиметаллические.

Завершая краткий обзор пространственно-временной связи размещения и формирования стратиформного колчеданно-полиметаллического и золотого оруденения в черносланцевых толщах Олокитского рудного узла, отметим, что:

- наиболее благоприятными для формирования указанных типов месторождений в черносланцевых толщах служат локальные прогибы, выполненные терригенными толщами с черносланцевыми фациями с рассеянной в них тонкой вкрапленностью сульфидов (преимущественно пирита ± пирротина), что отмечено в работах В. А. Буряка, А. И. Иванова и других исследователей. Такие прогибы формировались на различном удалении от вулканогенно-гидротермального источника



рудоносных растворов, обеспечивающего обогащение сингенетичной рассеянной и концентрированной вкрапленностью сульфидов;

- выявлены две обстановки нахождения месторождений цветных и благородных металлов в пределах единого стратиграфического уровня осадконакопления в локальных прогибах Олоkitского рудного узла – *сближенная* для стратиформных колчеданно-полиметаллических залежей в черносланцевых фациях и *удалённая* со стратиформными свинцово-цинковыми залежами в хемогенно-органогенных карбонатных толщах и стратоидными золоторудными месторождениями в черносланцевых толщах;

- повышенная сингенетичная сульфидоносность (до концентрированной – более 25%) обусловлена синхронным осадконакоплением поступлением вулканогенно-гидротермальных «полиэлементных» растворов, которые обеспечивали накопление сингенетичных колчеданно-полиметаллических залежей; *при этом на последующих этапах диагенеза и складчато-разрывных деформаций* стратиформные колчеданно-полиметаллические залежи участвуют в складкообразовании согласно с вмещающими их фациями, претерпевая раскристаллизацию и частичное переотложение метаморфогенными растворами;

- золоторудные месторождения в черносланцевых фациях с рассеянной вкрапленностью сульфидов (до 5%) формируются на завершающих этапах орогенеза с внедрением золотоносных интрузий гранитоидного ряда и, как правило, сопровождаются формированием околорудных метасоматитов в зонах развития повышенного рассланцевания в области складчато-разрывных деформаций.

В связи с неоднозначностью определения генетической концепции формирования отдельных золоторудных месторождений анализ генетических представлений о формировании стратоидных ме-

сторождений золото-углеродистого семейства в черносланцевых толщах авторы оставили за рамками обсуждения этой проблемы и придерживаются схемы Н. К. Курбанова и Н. А. Фогельман о полигенно-полихронном формировании золоторудных объектов, которая подтверждена и доказывается А. И. Ивановым [4, 6] на примерах золоторудных объектов в черносланцевых комплексах пород Байкало-Патомской провинции. Согласно этой схеме, рассматриваемое семейство золоторудных месторождений составляет *конвергентный ряд полистадийно-полигенно-полихронных* объектов, формирование которых определялось длительно развивавшимися совмещёнными в пространстве процессами седиментации, диагенеза, метаморфизма, орогенеза, интрузивного магматизма и метасоматоза. Для стратиформных колчеданно-полиметаллических месторождений в черносланцевых толщах принята концепция формирования руд в проксимальных и дистальных (удалённых) зонах по отношению к рудовыводящим каналам, связанным с вулканической деятельностью.

При написании статьи авторы использовали как собственные полевые наблюдения в маршрутах совместно с А. Л. Галямовым на площадях Холодинского, Мукадекского, Икибзяк-Додыхтинского и Чаянгринского рудных узлов, так и сведения о геолого-структурных особенностях строения этих и других рудных узлов, представленные геологами ОАО «СибГК» и АО «Иркутскгеофизика» (Ю. А. Агеев, В. Г. Молочный, В. А. Шеметов, А. А. Матвейчук, А. В. Мезенцов), которым авторы выражают свои искренние благодарности за представление исходной первичной информации о металлоносности площадей рудных полей и совместную плодотворную работу при полевых исследованиях, а также критическом обсуждении полученной информации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев А. А., Рыцк Е. Ю., Великославинский С. Д., Толмачева Е. В., Богомолов Е. С., Лебедева Ю. М., Федосеев А. М. Возраст, состав и тектонические обстановки формирования позднебайкальских комплексов Кичерской зоны Байкало-Витимского пояса (Северное Прибайкалье): геологические, геохронологические (ID-TIMS, SIMS) и Nd-изотоп-

ные данные // Петрология. – 2022. – Т. 30, № 4. – С. 345–378.

2. Буряк В. А. Закономерности размещения и генезис золотого оруденения Байкало-Патомского нагорья: специальность 04.00.14: диссертация на соискание учёной степени доктора геол.-минерал. наук / Владимир Афанасьевич Буряк. – Иркутск: АН СССР. Сибирское отделение. Ин-т земной коры, 1973. – 483 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 (третье поколение).

Серия Алдано-Забайкальская. Лист 0-50-Бодайбо. Пояснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2010. – 612 с.

4. *Иванов А. И.* Золото Байкало-Патомы (геология, ору-денение, перспективы). – М. : ЦНИГРИ, 2014. – 215 с.
  5. *Иванов А. И.* Золоторудные месторождения в угле-родистых терригенных и карбонатно-терригенных комплексах и перспективы выявления новых ме-сторожений в Российской Федерации // Руды и ме-таллы. – 2015. – № 1. – С. 45–63.
  6. *Иванов А. И., Агеев Ю. Л., Конкин В. Д., Мига-чѳв И. Ф., Донец А. И.* Особенности золотого ору-денения в юго-восточной части Байкало-Патом-ской металлогенической провинции (Джалагунское рудное поле) // Руды и металлы. – 2022. – № 3. – С. 6–44.
  7. *Немеров В. К., Станевич А. М., Развозжаева Э. А., Будяк А. Е., Корнилова Т. А.* Биогенно-седимен-тационные факторы рудообразования в неопроте-розойских толщах Байкало-Патомского региона // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 5. – С. 729–747.
  8. *Салоп Л. И.* Геология Байкальской горной области. В 2 томах. Т. 2. – М. : Недра, 1967. – 699 с.
  9. *Четвертаков И. В., Ванин В. А., Демин И. А.* Геоло-гическое строение и минералого-геохимические особенности Нерундинского золоторудного поля (Северное Забайкалье) // Геология и геофизика. – 2021. – № 10. – С. 1391–410.
- REFERENCES**
1. *Andreyev A. A., Rytsk Ye. Yu., Velikoslavinskiy S. D., Tolmacheva Ye. V., Bogomolov Ye. S., Lebedeva Yu. M., Fedoseyenko A. M.* Vozrast, sostav i tektonicheskiye obstanovki formirovaniya pozdnebaykal'skikh kompleksov Kicherskoy zony Baykalo-Vitimskogo po-ya-sa (Severnoye Priбайkal'ye): geologicheskkiye, geokhronologicheskkiye (ID-TIMS, SIMS) i Nd-izotopnyye dannyye [Kichersky zone of the Baikal-Vitim belt (Northern Baikal region): geological, geochronological (ID-TIMS, SIMS) and Nd-isotope data]. Petrologiya, 2022, V. 30, No. 4, pp. 345–378. (In Russ.)
  2. *Buryak V. A.* Zakonomernosti razmeshcheniya i genezis zolotogo orudneniya Baykalo-Patomskogo nagor'ya [Patterns of placement and genesis of gold mineralization in the Baikal-Patom highland], Irkutsk, AN SSSR. Sib. otd-niye. In-t zemnoy kory publ., 1973, 483 p. (In Russ.)
  3. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii karta masshtaba 1:1 000 000 (tret'ye pokoleniye). Seriya Aldano-Zabaykal'skaya. List 0-50-Bo-daybo. Poyasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation 1:1,000,000 scale map (third generation). Aldano-Zabaykalskaya series. Sheet 0-50-Bo-daybo. Explanatory note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI publ., 2012, 2010, 612 p. (In Russ.)*
  4. *Ivanov A. I.* Zoloto Baykalo-Patoma (geologiya, orudneniye, perspektivy) [Gold of Baikal-Patom (geology, mineralization, prospects)], Moscow, TSNIGRI publ., 2014, 215 p. (In Russ.)
  5. *Ivanov A. I.* Zolotorudnyye mestorozhdeniya v ugle-rodistykh terrigennykh i karbonatno-terrigenykh kompleksakh i perspektivy vyyavleniya novykh mestorozhdeniy v Rossiyskoy Federatsii [Gold deposits in carbonaceous terrigenous and carbonate-terrigenous complexes and prospects for discovering new deposits in the Russian Federation]. Rudy i metally, 2015, No. 1, pp. 45–63. (In Russ.)
  6. *Ivanov A. I., Ageyev YU. L., Konkin V. D., Migachov I. F., Donets A. I.* Osobennosti zolotogo orudneniya v yugo-vostochnoy chasti Baykalo-Patomskoy metallogenicheskoy provintsii (Dzhalagunskoye rudnoye pole) // Rudy i metally, 2022, No. 3, pp. 6–44. (In Russ.)
  7. *Nemerov V. K., Stanovich A. M., Razvozhayeva E. A., Budyak A. Ye., Kornilova T. A.* Biogenno-sedimentatsionnyye faktory rudoobrazovaniya v neoproterozoy-skikh tolshchakh Baykalo-Patomskogo regiona [Bio-genno-sedimentary factors of ore formation in the Neoproterozoic strata of the Baikal-Patom region], Geologiya i geofizika, 2010, V. 51, No. 5, pp. 729–747. (In Russ.)
  8. *Salop L. I.* Geologiya Baykal'skoy gornoy oblasti. V 2 tomakh. V. 2 [Geology of the Baikal mountain region. In 2 volumes. V. 2], Moscow, Nedra publ., 1967, 699 p. (In Russ.)
  9. *Chetvertakov I. V., Vanin V. A., Demin I. A.* Geologi-cheskoye stroyeniye i mineralogo-geokhimicheskiye oso-bennosti Nerundinskogo zolotorudnogo polya (Severnoye Zabaykal'ye) [Geological structure and mineralo-gical and geochemical features of the Nerunda gold field (Northern Transbaikalia)], Geologiya i geofizika, 2021, No. 10, pp. 1391–410. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 10.08.23; одобрена после рецензирования 01.09.23; принята к публикации 01.09.23. The article was submitted 10.08.23; approved after reviewing 01.09.23; accepted for publication 01.09.23.

## Требования к авторам статей

1. Рукопись представляется с установленными сопровождающими документами: письмом (разрешением на опубликование) руководителя учреждения и экспертным заключением о возможности публикации в открытой печати. В конце статьи ставятся подписи всех авторов. В том случае, если автор не один, надо указать фамилию автора, с которым будет вестись переписка.

2. К материалам, направляемым в редакцию, должна быть приложена справка об авторе (авторах) с указанием: фамилии, имя, отчества, ученой степени, звания, должности, места работы, адреса для переписки (почтового), телефона, e-mail каждого автора.

3. Научные статьи, поступившие в редакцию, подлежат обязательному рецензированию с целью их экспертной оценки. В случае отклонения статьи (отрицательная рецензия) редакция направляет авторам рецензию или мотивированный отказ за подписью главного редактора; редколлегия не вступает в дискуссию с авторами отклоненных статей; статьи, отклоненные редколлекцией, повторно не рассматриваются.

4. В журнале не публикуются статьи, излагающие обобщения и предположения, не вытекающие из публикуемого оригинального фактического материала; серийные и излагающие отдельные этапы исследований.

5. Объем статьи не должен превышать 20 страниц, включая таблицы и список литературы. Следует выставлять поля: сверху (2 см), снизу (2 см), справа (1 см) и слева (3 см). Все страницы рукописи нумеруются. Текст предоставляется в формате MS Word (\*.doc) с использованием шрифта Times New Roman (размер 12, полуторный межстрочный интервал). В отдельные файлы помещаются статья, таблицы. Возможна передача статей по электронной почте: ogeo@tsnigri.ru

6. Для набора математических формул и химических символов рекомендуется использовать Microsoft Equation 2.0.

7. Список литературы дается сквозной нумерацией в алфавитном порядке. Иностранная литература помещается после отечественной. Ссылки в тексте на источник из списка литературы приводятся соответствующим порядковым номером в квадратных скобках. В список не включаются неопубликованные работы.

8. Рисунки и другие графические материалы (не более 7) представляются в цветном или черно-белом варианте. Размер оригиналов рисунков не должен превышать формата страницы журнала (170×237 мм). Каждый рисунок помещается в отдельный файл в одном из следующих форматов: графический редактор Corel Draw, JPEG, TIFF (только для фото), диаграмма Microsoft Excel. Графика должна быть связана с текстом и способствовать его сокращению. Оформление и содержание иллюстративного материала должны обеспечивать его читаемость после возможного уменьшения. Ксерокопии и сканированные ксерокопии не принимаются. Подрисуночные подписи печатаются на отдельной странице (текстовый файл, после списка литературы). Рисунки, не удовлетворяющие требованиям редакции, возвращаются автору.

9. Редакция оставляет за собой право сокращать и редактировать название статьи, текст, рисунки.

10. Статьи, превышающие установленный объем или не отвечающие данным требованиям, возвращаются автору.