

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 2 / 2019

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

Главные редакторы: С.А.Аксенов
А.И.Иванов

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

Е.М.Аксенов, А.И.Варламов, С.С.Вартанян,
А.И.Жамойда, А.А.Кременецкий, М.И.Логвинов,
Г.А.Машковцев, Н.В.Межеловский, И.Ф.Мигачев,
А.Ю.Розанов, Г.В.Седельникова, И.Г.Спиридонов,
В.И.Старостин, Е.Г.Фаррахов

Содержание

МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Заскинд Е.С., Конкина О.М.

Типизация сульфидных медно-никелевых и платинометаллических месторождений для целей прогноза и поисков 3

Голенев В.Б., Куликов Д.А.

Сравнение российской и зарубежных классификаций и систем подсчёта запасов твёрдых полезных ископаемых 16

Гаврилов Р.Ю.

Аномальная структура геохимического поля золоторудного месторождения Чертово Корыто (Патомское нагорье) 31

ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ

Зубова Т.П., Краснов А.Н., Черемисина Е.А.

Использование минералого-геохимических методов при поисках золотоносных кор выветривания в различных геолого-геоморфологических обстановках 39

Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.

Особенности алмазов в древних осадочных толщах на площадях влияния продуктивных кимберлитовых диатрем 48

Степанов В.А., Мельников А.В.

Разновидности высокопродуктивных золотоносных узлов Приамурской провинции 59

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Гриненко В.С., Баранов В.В.

Глобальная палеогеография и палеобиогеография позднего триаса (карний-рэт) по брахиоподам 66

Коковкин А.А.

Эволюционная модель новейшей структуры Шантарского архипелага 73

Редакция: *Т.М.Панеско, А.П.Фунтикова*
Компьютерная верстка *А.В.Кондратьев*

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»

Подписано в печать 11.04.2019

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

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

Типография ФГБУ «ЦНИГРИ»

Типизация сульфидных медно-никелевых и платинометалльных месторождений для целей прогноза и поисков

Е.С.ЗАСКИНД, О.М.КОНКИНА (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 159, корп. 1)

Выделено четыре типа металлогенических зон, продуктивных на никелевое и платинометалльное оруденение: окраин архейских кратонов (медно-никелевые и платинометалльные месторождения); мезозойской трапповой активизации перикратонного чехла древней платформы (платиноидно-медно-никелевые); орогенных структур подвижных поясов и поздне-архейских гранит-зеленокаменных областей (медно-никелевые месторождения). Приведена сравнительная характеристика рудных районов и месторождений стабильных и орогенных областей. Выделены основные прогнозно-поисковые критерии на медно-никелевое и платинометалльное оруденение.

Ключевые слова: медно-никелевые и платинометалльные месторождения, типы металлогенических зон и рудных районов, архейский кратон, ороген, поисковые признаки, оценка перспектив и масштабов оруденения.

Заскинд Евсей Сохорович



zaskind@mail.ru

Конкина Ольга Михайловна
кандидат геолого-минералогических наук

okonkina@tsnigri.ru

Sulfide Cu-Ni and PGM deposit typification for forecasting and prospecting

E.S.ZASKIND, O.M.KONKINA (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals)

Four types of metallogenic zones productive for nickel and PGM mineralization were identified. They are Archean craton margins (Cu-Ni and PGM deposits); Mesozoic trappean activation of the old platform pericratonic cover (PGM-Cu-Ni); orogenic structures of mobile belts and Late Archean granite-greenstone areas (Cu-Ni deposits). A comparative characterization was performed for ore districts and deposits of stable and orogenic areas. Major forecasting-prospecting criteria for Cu-Ni and PGM mineralization were identified.

Key words: Cu-Ni and PGM deposits, types of metallogenic zones and ore districts, Archean craton, orogen, prospecting indicators, evaluation of prospects and mineralization scales.

Представленная в статье типизация месторождений проведена на основе анализа и последующего синтеза данных материалов информационных ресурсов ФГБУ «ЦНИГРИ» и ряда публикаций [1–38].

Сульфидные медно-никелевые и платинометалльные месторождения пространственно и генетически связаны с группой формаций мафит-ультрамафитового ряда, проявленных в металлогенических зонах (МЗ), которые по обстановкам проявления никеленосного магматизма объединяются в четыре группы: окраин архейских кратонов (медно-никелевые и платинометалльные месторождения); мезозойской трапповой активизации перикратонного чехла древней платформы (платиноидно-медно-никелевые); орогенных структур подвижных поясов и позднеархейских гранит-зелено-

каменных областей (медно-никелевые месторождения) (см. рисунки 1–2 и табл. 1).

Продуктивные на никель магматиты представлены рядом формаций, картируемые породы которых характеризуются широким спектром петрографических разностей – от габброидов до дунитов. Ареалы развития продуктивных образований в определённой геологоструктурной обстановке выделяются в качестве рудных районов (РР), примеры которых приведены в табл. 1 (третья графа), в скобках указаны наиболее представительные месторождения и рудопроявления данного рудного района. РР всех выделенных групп имеют в плане как изометричные, так линейные формы (рис. 3). Они сопоставимы по размеру площадей, но сильно разнятся по масштабам общих запасов (рис. 4), количеству

1. Типизация медно-никелевых и платинометалльных месторождений

Металлогенические зоны	Рудоносные магматические формации и их группы	Примеры рудных районов (месторождений, рудопроявлений)
1. Месторождения металлогенических зон окраин архейских кратонов		
Рифейские и раннепротерозойские базальтоидные вулканогенные прогибы, вулканотектонические депрессии, сопряжённые структуры обрамления и фундамента	Гарцбургит-дунитовая	Томпсон (Томпсон, Пайп)
	Габбро-верлит-дунитовая	Кейп-Смит (Катиник)
	Габбро-клинопироксенит-верлитовая	Печенгский (Ждановское, Спутник и др.)
	Гарцбургитовая	Печенгский (Аллареченское, Восток)
	Габбронорит-вебстерит-лерцолитовая	Печенгский (рудопроявление Карик), Кьюиноу Бей (Игл)
	Габбро-норит-гарцбургитовая	Мончегорский (Пласт 330, НКТ, Сопчуайвенч)
	Троктолит-габбровая <i>Группа формаций расслоенных плутонов габбро-норит-перидотитового состава</i>	Дулутский (Кавишиви, Партридж Ривер) <i>Федорово-Панский (Федорова Тундра, Северный Каменник, Киевей), Мончегорский (Вуручуайвенч), Портимо-Койлисма (Контиярви, Ахмаваара, Каукуа, Хаукиахо)</i>
Раннепротерозойские протоплатформенные вулканогенно-осадочные прогибы	Диорит-норит-габброноритовая	Садбери (Страткона, Крейтон, Фруд Стоби)
	<i>Группа формаций расслоенных плутонов габбро-норит-перидотитового состава</i>	<i>Бушвельдский (MR, UG-2, PR)</i>
Позднеархейской и раннепротерозойской (раннекарельской) активизации фундамента	<i>Группа формаций расслоенных плутонов габбро-норит-перидотитового состава</i>	<i>Стиллуотерский (JM), Великая Дайка (Хартли, Мимоза, Нгези, Унки)</i>
Раннепротерозойской (позднекарельской) и рифейской активизации краевого шва кратона	Лерцолит-дунитовая	Джинчуань
	Габбро-троктолитовая	Войсес-Бэй
	Вебстерит-лерцолитовая	Джанинский (Кун-Манье)
	Габбро-перидотит-дунитовая	Кингашский (Кингашское, Верхнекингашское)
2. Месторождения металлогенических зон мезозойской трапповой активизации перикратонного чехла древней платформы		
Вулканотектонические депрессии, валы (линейные платформенные структуры)	Пикрит-габбро-долеритовая	Норильский (Октябрьское, Талнахское, Норильск-1, Масловское, Черногорское и др.)
3. Месторождения металлогенических зон орогенных геоструктур подвижных поясов		
Эпигеосинклинальные вулканоплутонические и плутонические пояса складчатых областей (ранний протерозой, поздний рифей-венд, поздний палеозой)	Диорит-норитовая	Фуюнский (Калатонк), Еланский (Еланское, Ёлкинское), Линн-Лейк
	Шрисгеймит-габбро-долеритовая	Худозазовский (рудопроявления Карасазовское, Бускунские, Туркменевское)
	Диорит-габбровая	Бугровский (рудопроявления Ближнее, Дальнее)
	Кортландит-норитовая	Северо-Камчатский (Шануч); Южно-Камчатский (рудопроявления Дукусского комплекса)
	Диорит-габброноритовая	Санта-Олалья (Агуабланка)
Гранулитовых поясов (ранний протерозой)	Норитовая	Лоттинский (Ловно)
4. Месторождения металлогенических зон позднеархейских гранит-зеленокаменных областей		
Зеленокаменные пояса западноавстралийского типа (аналоги постархейских окраиннократонных геоструктур)	Перидотитовых коматиитов	Камбалда
	Верлит-оливинит-дунитовая	Маунт-Кейт, Персеверанс
Зеленокаменные пояса канадского типа (аналоги постархейских подвижных поясов предорогенной (островодужной) стадии развития)	Перидотитовых коматиитов	Алексо, Марбридж, Шангани, Каменноозерский (рудопроявления Золотопорожское, Лещевское)
	Габбро-верлит-оливинит-дунитовая	Дьюмонт, Вождюозерский (рудопроявления Вождюминское, Лебяжинское, Светлоозерское)

Примечание. Курсивом выделены формации, продуктивные на МПГ.

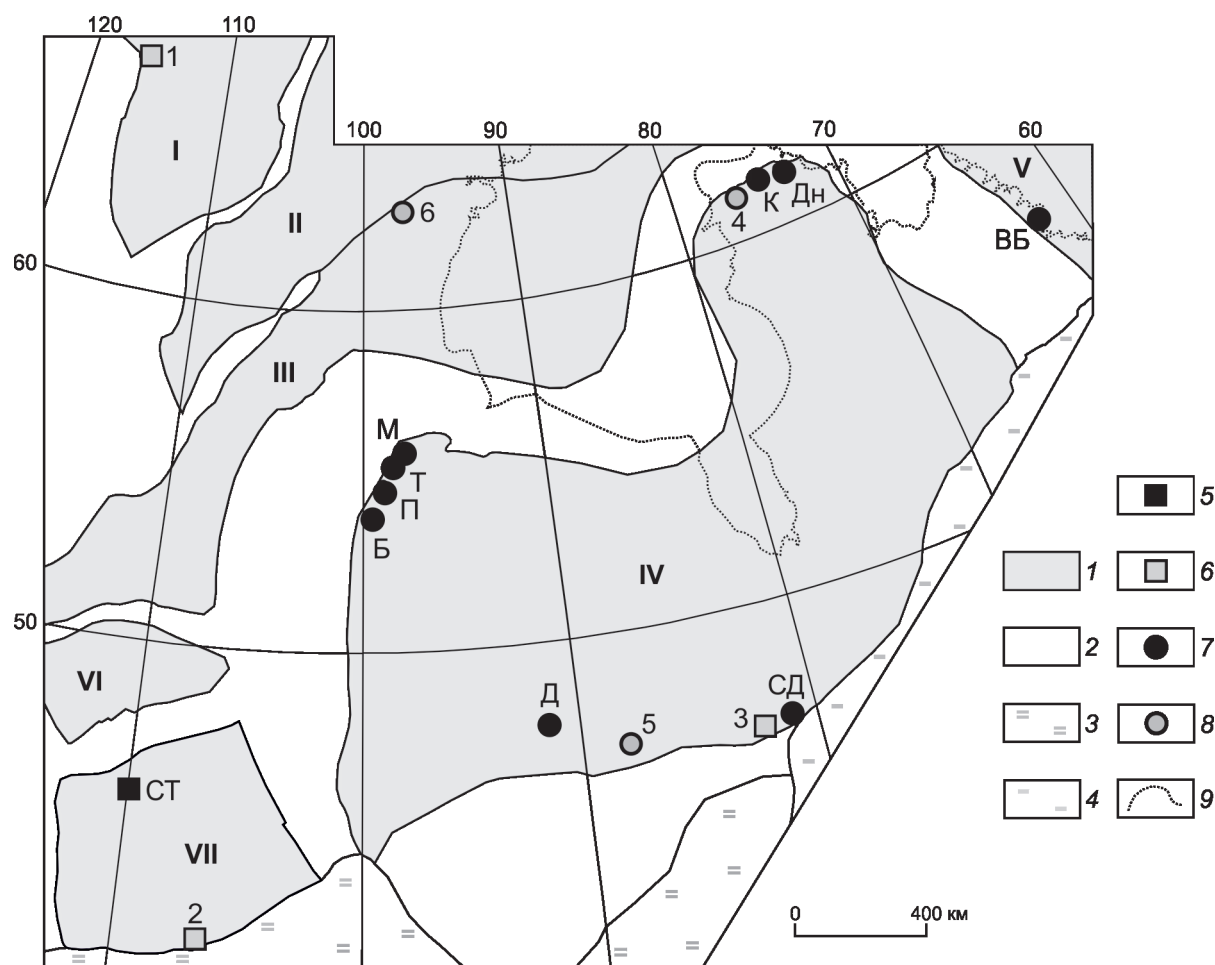


Рис. 1. Схема размещения сульфидных медно-никелевых и платинометалльных месторождений в краевых частях архейских кратонов Северо-Американской платформы. Тектоническое районирование по [16]:

1 – архейские кратоны: I – Слейв, II – Рэй, III – Хэн, IV – Сьюпириор, V – Нейн, VI – Медисин-Нэт, VII – Вайоминг; 2–4 – орогенные пояса (возраст, млрд. лет): 2 – 20–1,8, 3 – 1,8–1,6 и 4 – 1,3–1,0; 5–6 – платинометалльные: 5 – месторождения: Ст – Стиллуотер и 6 – рудопроявления: 1 – Маскот, 2 – Рамблер, 3 – Ист Булл Лейк; 7–8 – медно-никелевые: 7 – месторождения: К – Катиник, Дн – Дональдсон, ВБ – Войсейс-Бэй, М – Мистери, Т – Томпсон, П – Пайп, Б – Бако, Боден, Сд – Садбери, Д – Дулут и 8 – рудопроявления: 4 – Кросс Лейк, 5 – Игл Лейк, 6 – Фергюсон Лейк; 9 – береговая линия

и крупности входящих в них месторождений. Сами же месторождения различаются морфологией, размерами и условиями залегания рудных тел. В орогенной обстановке общие запасы РР обычно не превышают первые сотни тысяч тонн, часто сосредоточены в единичных месторождениях и сопровождаются рядом непромышленных рудопроявлений. Морфология рудных тел, как правило, не подчиняется эндоструктуре материнского массива – характерны секущие трубообразные и жильные рудные тела неправильной формы.

Продуктивность рудных районов стабильных (эпикратонных) областей (см. табл. 1, группы 1 и 2) определяется суммарными запасами никеля от одного миллиона до десятков миллионов тонн. РР обычно объединяют

несколько месторождений, среди которых присутствуют крупные, весьма крупные и уникальные по запасам. Для месторождений характерно преимущественно согласное с вмещающими породами залегание протяжённых рудных тел пласто- и линзообразной форм; секущие тела (трубообразные и жильные) встречаются редко. Рудные тела расположены как в самих рудоносных массивах, так и во вмещающих породах лежащего бока.

В позднеархейских гранит-зеленокаменных областях никеленосный ультраосновной эффузивный (перидотитовые коматииты) и интрузивный магматизм пространственно и генетически тесно связан с базальтоидным. По составу базальтоидов, особенностям геологического строения структур и их продуктивности

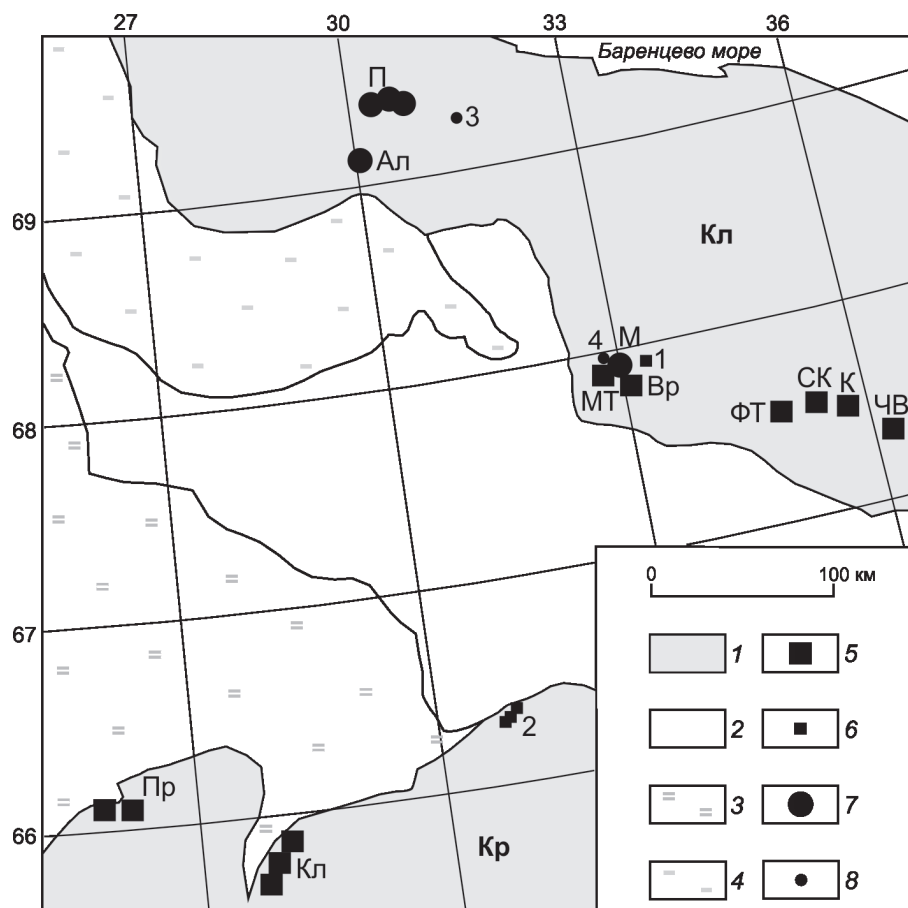


Рис. 2. Схема размещения сульфидных медно-никелевых и платинометалльных месторождений в краевых частях архейских кратонов Балтийского щита:

1 – архейские кратоны: Кл – Кольский, Кр – Карельский; 2–4 – постархейские подвижные пояса: 2 – Беломорский (архей-ранний протерозой), 3 – Центрально-Лапландский (ранний протерозой), 4 – Лапландский гранулитовый пояс (ранний протерозой); 5–6 – платинометалльные: 5 – месторождения: МТ – Мончетундровское, Вр – Вуручайвеч, ФТ – Федорова Тундра, СК – Северный Каменник, К – Киевей, ЧВ – Чуарвы Восточное, Пр – месторождения района Портимо (Финляндия), Кл – месторождения района Койлисмаа (Финляндия) и 6 – рудопроявления: 1 – Поаз, 2 – Луккулайсваарского рудного поля (Восточное, Надежда, № 2, № 15); 7–8 – медно-никелевые: 7 – месторождения: П – Печенгского рудного поля (Ждановское, Тундровое, Быстринское, Заполярное, Спутник и др.), Ал – Аллареченское, М – Мончегорского рудного поля (Пласт-330, Сопчуйвенч, Ньюдайвенч) и 8 – рудопроявления: 3 – Карикъявр, 4 – НКТ

выделяется два типа МЗ и РР – западноавстралийский и канадский [4, 7, 25]. В зеленокаменных поясах западноавстралийского типа продуктивный ультраосновной магматизм связан с базальтами океанического типа и продуцирует крупные (миллионы тонн никеля) месторождения (структуры блока Йилгран). Повсеместно устанавливается присутствие более древнего ранне-среднеархейского фундамента. Очевидно, что зеленокаменные пояса западноавстралийского типа могут рассматриваться как аналоги постархейских окраиннократонных геоструктур. Структуры зеленокаменных поясов канадского типа характеризуются смешанным разрезом, в низах которого находятся океанические базальты, а верхи сложены островодужными

базальтами толеитовой, известково-щелочной и шошунитовой серий. Для металлогении этих поясов, характерны колчеданные медно-цинковые месторождения, часто крупные. Продуктивность на никель невысокая. Известно множество рудопроявлений и мелких месторождений, запасы которых обычно не превышают нескольких десятков тысяч тонн никеля. На территории России к этому типу относятся рудопроявления и мелкие непромышленные медно-никелевые и колчеданные медно-цинковые месторождения Восточно-Карельской МЗ (см. табл. 1).

Платинометалльные месторождения расположены в МЗ окраин архейских кратонов, часто совместно с медно-никелевыми месторождениями (см. рисунки 1, 2

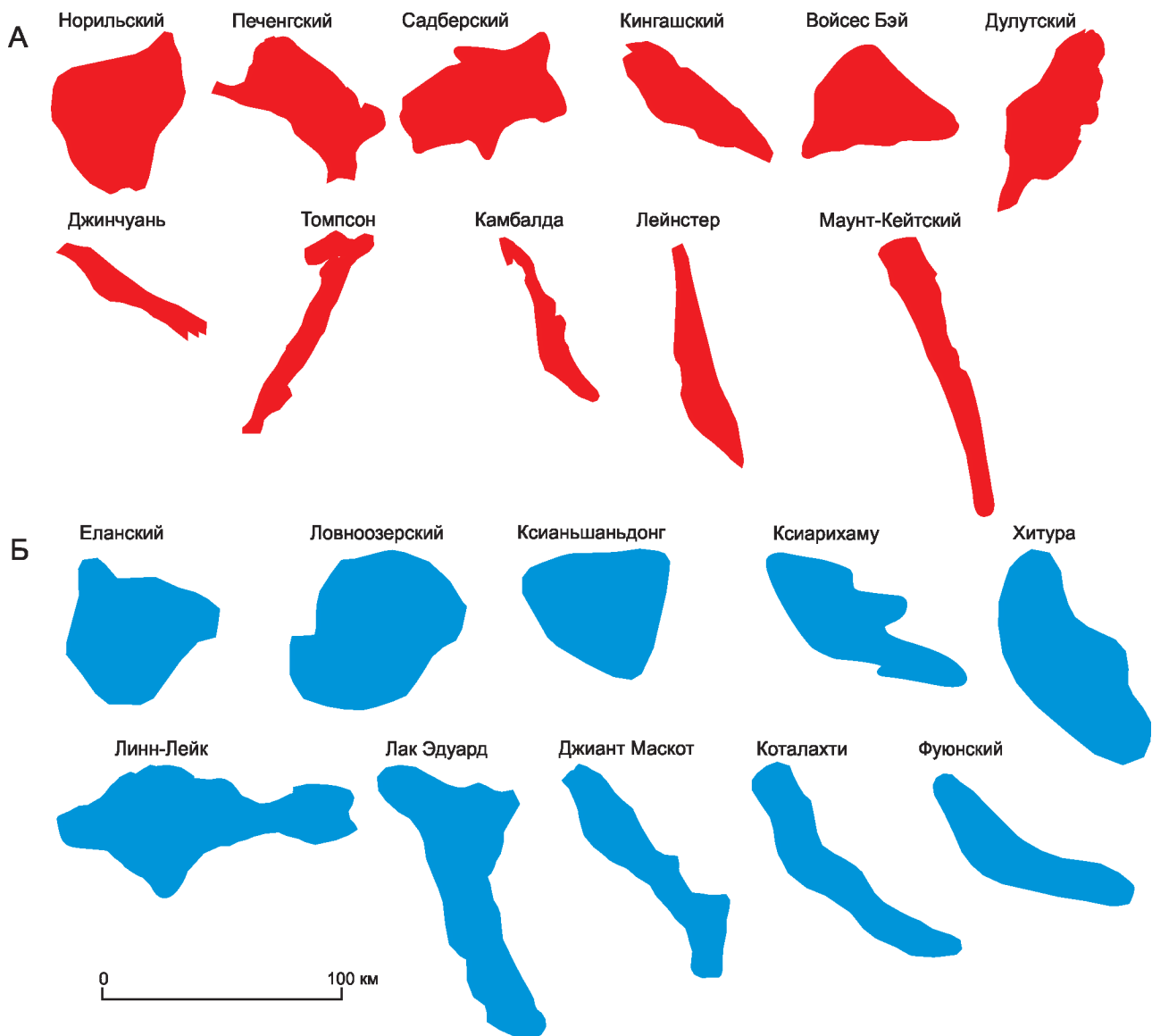


Рис. 3. Площади никеленосных рудных районов стабильных (А) и подвижных (Б) областей

и табл. 1), но по времени образования предшествуют им. Например, в Имандра-Варзугской металлогенической зоне расположены медно-никелевые месторождения Печенгского и платинометалльные месторождения Федорово-Панского рудных районов, а в Мончегорском РР этой же зоны совмещены и медно-никелевые месторождения (НКТ, Пласт-330, Сопчайвенч, Ньюдайвенч), и платинометалльные месторождения (Вуручайвенч, Мончетундровское); в Гуронской МЗ Канадского щита – медно-никелевые месторождения РР Садбери и платиноносный комплекс Ист Булл Лейк.

Собственные платинометалльные месторождения пространственно и генетически связаны с особой группой никеленосных мафит-ультрамафитовых массивов –

расслоенными плутонами, строение главных дифференциатов которых осложнено перемежаемостью и повторяемостью, часто ритмической, различных по составу и структуре пород. Это отличает их от никеленосных дифференцированных массивов, спектр дифференциатов которых, по существу, эквивалентен одному ритму расслоенных интрузивов. Классические примеры расслоенных массивов – Бушвельдский комплекс (ЮАР), Великая Дайка (Зимбабве) и Стиллутер (США). В России к этому типу относятся Федорово-Панский, Мончегорский и Мончетундровский массивы.

Продуктивные на металлы платиновой группы (МПГ) расслоенные массивы представлены достаточно широким спектром петрографического состава пород

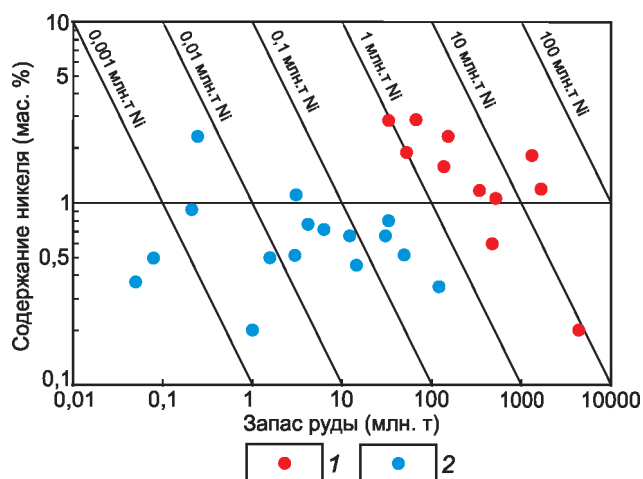


Рис. 4. Запасы и содержания никеля рудных районов стабильных и подвижных областей:

рудные районы: 1 – стабильных и 2 – подвижных областей

и характеризуются чётко проявленной норитовой тенденцией – более ранней кристаллизацией ромбического пироксена по сравнению с моноклинным, а также широким распространением пегматоидов и плагиоклазосодержащих разностей ультрамафитов [8]. Обязательным условием продуктивности на МПГ является наличие сульфидной медно-никелевой минерализации, при этом платинометалльное оруденение ассоциирует с сульфидной вкрапленностью специфического состава, характеризующейся более высоким отношением суммы содержаний меди и никеля относительно серы (рис. 5) [9]. В минеральном составе руд это выражается преобладанием суммы пентландита и халькопирита над пирротинном или вообще беспирротинным пентландит-халькопиритовым составом руд. В базальной или нижней зонах расслоенных массивов часто присутствуют комплементарные к платинометалльным существенно пирротинные руды (или минерализация) с низкими содержаниями никеля, меди и МПГ (например, месторождение Моуэт в базальной зоне Стиллутера, трубки Влакфонтейна нижней зоны Бушвельда, рудопроявление Ластьявр в Федорово-Панском интрузиве).

Платинометалльные месторождения подразделяются на два типа: рифовые и контактовые (рис. 6). В рифовом типе продуктивные части разреза – рудные поля (РП) – представлены нижней норит-габброноритовой частью габброидной серии (пачки переслаивания норитов, габброноритов, анортозитов, троктолитов, плагиоклазовых ультрамафитов) или верхней пироксенитовой (с участием двух пироксенов) частью разреза ультрамафитовой серии. Рудные тела – пласт относительно выдержанной мощности или прерывистые пластообразные тела с локальными раздувами. По особенностям

морфологии рудных тел, их локализации (положению в разрезе массива), петрографическому контролю, составу и уровням содержаний МПГ среди рифового типа месторождений выделяются подтипы – бушвельдский, стиллуотерский и хартли (см. рис. 6).

Месторождения *бушвельдского подтипа* локализируются в переходной от ультрамафитов к габброидам части разреза массива, представленной чередованием габброидов (нориты, габбронориты) и пачек переслаивания хромититов, ультрамафитов (плагиоклазовые ортопироксениты и гарцбургиты), габброидов (нориты, лейконориты) и анортозитов. Переходы между слоями разного петрографического состава как постепенные, так и резкие. Месторождения и рудопроявления МПГ приурочены к пачкам переслаивания, в которых размещение рудных тел контролируется пластами (рифами) сульфидсодержащих плагиоклазовых ультрамафитов (месторождения рифа Меренского) или сульфидсодержащих хромититов (месторождения слоя УГ-2 и рудопроявления в хромититах групп УГ и МГ). Руды характеризуются равномерным распределением концентраций МПГ при преобладании платины над палладием. Запасы МПГ месторождений этого типа уникальны по величине и качеству, а рудные тела – по протяжённости и выдержанности содержаний платиноидов.

Месторождения и рудопроявления *стиллутерского подтипа* расположены в зоне переслаивания ультрамафитов, габброидов и анортозитов нижней части габброидного дифференциата массивов. Отсутствие хромититовых слоёв – главное отличие от продуктивной части разреза бушвельдского типа. Размещение рудных тел контролируется пачкой расслоенных пород, получивших название «рифовой пачки» (в отличие от месторождений бушвельдского типа, где «риф» – конкретная рудовмещающая порода). Рифовые пачки представлены невыдержанными по простиранию и мощности слоями плагиоперидотитов, норитов, габброноритов, троктолитов и анортозитов, сменяющих друг друга по латерали. Породы пачек неоднородны по структуре, характерны обособления крупнозернистых и пегматоидных разностей. Платиноносная сульфидная минерализация прослеживается внутри таких пачек в виде пластов мощностью до 10 м. Внутри пластов петрографический контроль размещения платиноносной сульфидной вкрапленности отсутствует. Характерно неравномерное распределение содержаний МПГ с обособлением участков высоких концентраций (до 70 г/т). Руды существенно палладиевые (Pd/Pt обычно >3,5, в некоторых рудопроявлениях до 10). Ресурсы и разведанные запасы существенно уступают бушвельдскому типу.

Месторождения *подтипа хартли* (Великая Дайка) приурочены к зоне сульфидсодержащих плагиоклазовых пироксенитов (ортопироксениты, вебстериты), венчающей разрез ритмично расслоенной ультрамафитовой серии массива. Мощность сульфидоносных пород изменяется от 1 до 15 м (Главная сульфидная

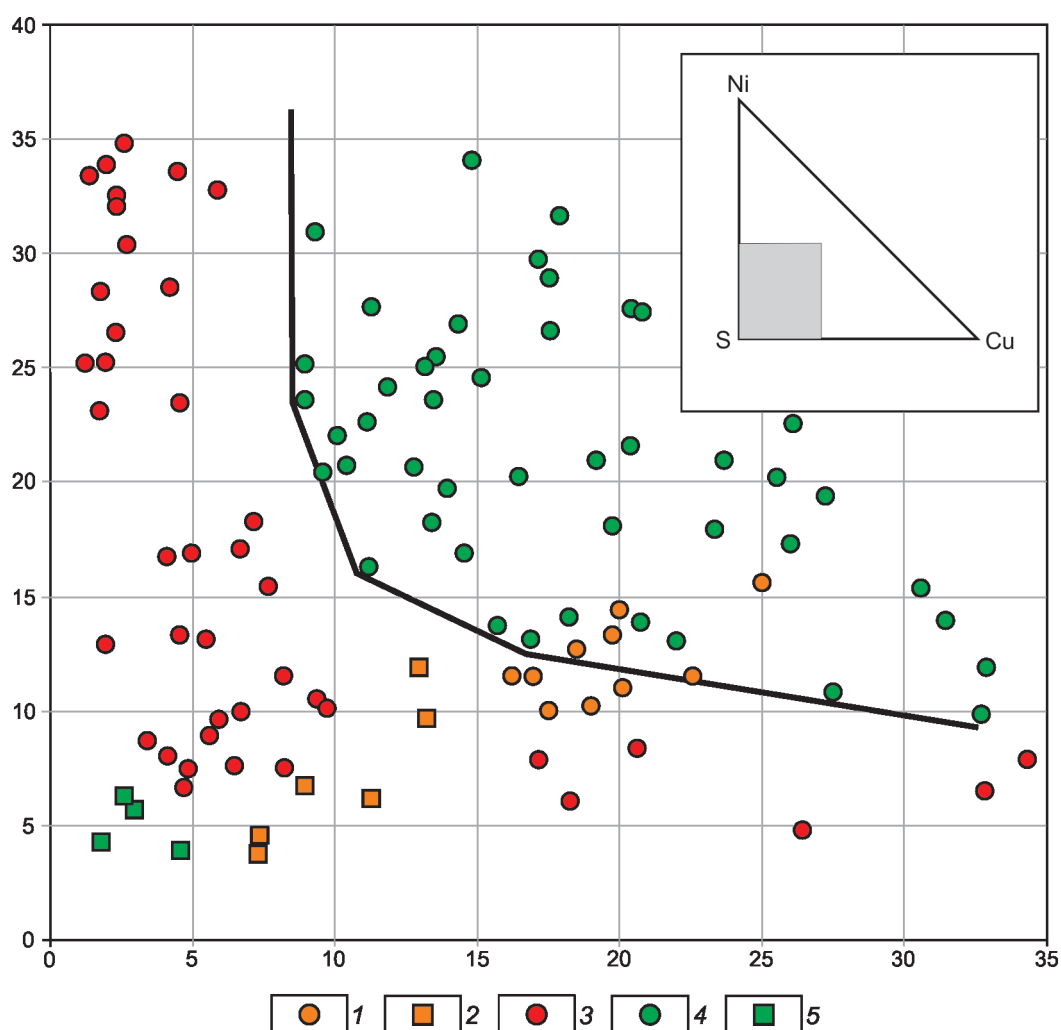


Рис. 5. Состав сульфидного оруденения медно-никелевых и платинометалльных месторождений:

Норильский район: 1 – месторождения, 2 – сульфидная минерализация Нижнеталнахского интрузива; 3 – медно-никелевые месторождения Мира; 4 – платинометалльные месторождения; 5 – руды месторождения Моуэт базальной зоны Стилуотерского интрузива

зона). Рудное тело представляет собой пласт внутри сульфидоносной зоны, не имеет геологических границ и оконтуривается только по содержанию МПГ. Средняя мощность рудного пласта около 2 м, содержания МПГ изменяются от 2 до 6 г/т. По соотношениям платины и палладия руды близки бушвельдскому типу, а по величине содержаний МПГ беднее месторождений первых двух подтипов.

В контактовом типе РП представлены зоной такситовых (гетеролитных) пород (плагноклазовые ультрамафиты, габброиды, ксенолиты вмещающих пород) нижней части разреза. Для месторождений этого типа характерны крупнообъемные залежи с неравномерным распределением концентраций МПГ, невысокие сред-

ние содержания МПГ, но повышенные концентрации никеля и меди по сравнению с рифовым типом. Выделяется два подтипа месторождений: *платриф* и *лак-дез-иль*.

Месторождения *подтипа платриф* по своим характеристикам приближаются к медно-никелевым. Они локализируются в сульфидоносных породах краевой или базальной частей массивов, в которых содержания цветных металлов на отдельных участках достигают значений, кондиционных для вкрапленных руд медно-никелевых месторождений. Концентрации МПГ в пределах зоны сульфидоносных пород распределены неравномерно. Выделяемые по бортовому содержанию платиноносные рудные тела представлены в виде линз

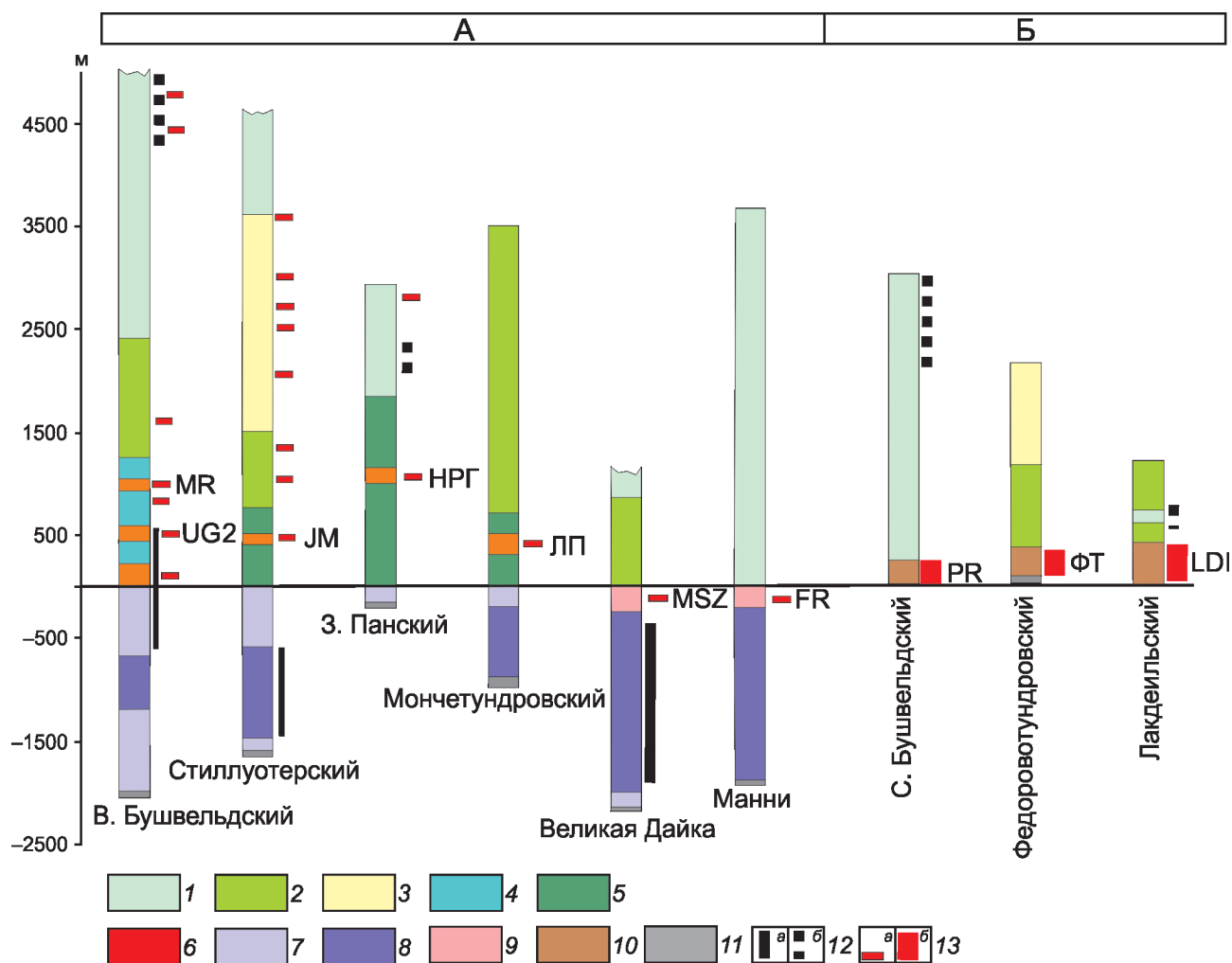


Рис. 6. Разрезы платиноносных расслоенных интрузивов с месторождениями «рифового» (А) и контактового (Б) типов:

1–6 – габброидная серия: 1 – пикронитовые и магнетитовые габбронориты и габбро, 2 – габбронориты, 3 – анортозиты, габбро, 4 – нориты, 5 – габбронориты, нориты, 6 – пачки переслаивания норитов, габброноритов, анортозитов, троктолитов, плагиоклазовых ультрамафитов; 7 – ортопироксениты; 8 – переслаивание дунитов, перидотитов, пироксенитов, хромититов; 9 – вебстериты, ортопироксениты; 10 – зона такситовых (гетеролитных) пород; 11 – породы эндоконтактной зоны; 12 – зоны: а – хромититов, б – магнетитов; 13 – рифы (а), зоны (б) сульфидной медно-никелевой минерализации

и прерывистых пластообразных залежей различной протяжённости и переменной (5 до 200 м) мощности. Иногда руды выходят за пределы массива в породы экзоконтакта. По концентрациям МПГ в сульфидной массе руды подтипа платриф аналогичны комплексным платинометалльно-медно-никелевым рудам норильского типа.

Месторождения подтипа лак-дез-иль связаны с зонами хаотического (атакситового) распределения различных литологических и текстурно-структурных типов пород в габброидной части расслоенных массивов. Атакситовые зоны согласны с внутренней структурой массива. Состав пород варьирует от анортозитов до

пироксенитов и перидотитов. Широко распространены магматические брекчии. Структура пород от тонко-равномернозернистой (микронориты, микрогаббронориты, микропироксениты) до пегматоидной. Характерной особенностью является высокая степень вторичных изменений – оталькование, амфиболизация, хлоритизация. Литологический контроль размещения рудных тел отсутствует. Распределение МПГ крайне неравномерное. Руды с высокими концентрациями (до десятков г/т) образуют линзы, столбы, гнезда, шлиры различной протяжённости и мощности в более обширной зоне низких содержаний (от десятых долей до 1–1,5 г/т). Руды существенно палладиевые.

2. Признаковые модели месторождений МПГ в расслоенных массивах

Элементы модели	«Рифовый» тип			Контактный тип	
	бушвельдский	стиллуотерский	хартли	лак-дез-иль	платриф
Рудоносная часть разреза	Сульфидоносная часть зоны чередования слоёв анортозитов, габброидов, ультрамафитов и хромититов	Сульфидоносная часть зоны чередования линзовидных слоёв и линз анортозитов, габброидов, плагиоклазовых ультрамафитов	Сульфидоносные пироксениты в верхах ультрамафитовой серии	Сульфидоносные породы такситовой зоны	Сульфидоносные ультрамафиты и габброиды в краевой и базальной частях интрузива
Рудовмещающие породы	Плагиоклазовые ортопироксениты, плагиоклазовые гарцбургиты, хромититы	Анортозиты, нориты, габбронориты, лейкогабброиды, плагиоклазовые гарцбургиты и пироксениты	Плагиоклазовые ортопироксениты и вебстериты	Такситовые лейкогабброиды, анортозиты, меланократовые габбронориты, клинопироксениты, перидотиты, микрозернистые породы, пегматоиды	Такситовые нориты, габбронориты и плагиоклазовые пироксениты
Морфология рудных тел	Пласт выдержанной мощности	Прерывистые пластообразные тела с локальными раздувами, уплощённые линзы	Пласт с незначительными вариациями мощности	Линзовидные и столбовообразные тела, шпиль, гнёзда	Линзовидные и линзовидно-пластовые тела
Состав сульфидной минерализации	Халькопирит+пентландит>пирротин; халькопирит+пентландит				
Отражение в геофизических полях	Электроразведочные (ВП) аномалии; электромагнитные радиоволновые аномалии (РВЗ, РВП)				
Геохимические	Локальные аномалии Cu, Ni; повышенные (>0,1 г/т) содержания МПГ в пределах локальных аномалий Cu, Ni; струйные ореолы рассеяния; локальные аномалии по придонной морене				

В табл. 2 представлены признаковые модели месторождений МПГ в расслоенных массивах, обобщающие их основные характерные черты.

На территории России перспективами в поисковом отношении обладают стиллуотерский и платриф типы месторождений.

Руды медно-никелевых месторождений Норильского района, в том числе и забалансовых, имеют близкие составы с платинометалльными, и ни по содержаниям, ни по запасам не уступают некоторым собственно платинометалльным месторождениям (см. рисунки 5, 7). По заключению ПАО «ГМК «Норильский никель» МПГ в месторождении Норильск 1 составляют около 70% общей стоимости. Учитывая отмеченные особенности, месторождения Иконско-Хараелахской МЗ могут быть выделены в особый норильский тип платиноидно-медно-никелевых месторождений, в отличие от прочих медно-никелевых месторождений с попутными МПГ, содержания в которых составляют первые десятые доли г/т. Как и для платиноносных расслоенных массивов, для рудно-магматической системы Норильского района характерно присутствие существенно пирротиновой медно-никелевой минерализации, обед-

нённой цветными металлами и МПГ, в интрузиях нижненорильского типа (см. рис. 5).

При прогнозировании месторождений никеля и МПГ важными критериями продуктивности территории являются: тектоническая позиция, состав магматизма, его возраст, состав сопутствующего оруденения.

Возраст рудоносного магматизма и тектоническая позиция имеют особое значение для оценки перспектив платиноносности, так как нигде в мире не известны месторождения моложе раннего протерозоя и расположенные в обстановках подвижных поясов, в том числе и раннепротерозойских. Благоприятными факторами перспектив МЗ являются присутствие сопутствующего медно-никелевого оруденения и рудопроявлений существенно пирротинового состава.

При поисках месторождений никеля следует учитывать форму рудных тел месторождений стабильных и подвижных областей, а для платинометалльных — отмеченный выше специфический состав платиноносной медно-никелевой минерализации.

На территории России находятся 29 медно-никелевых месторождений (рис. 8). Из них 17 расположены в зонах окраин архейских кратонов и локализованы в

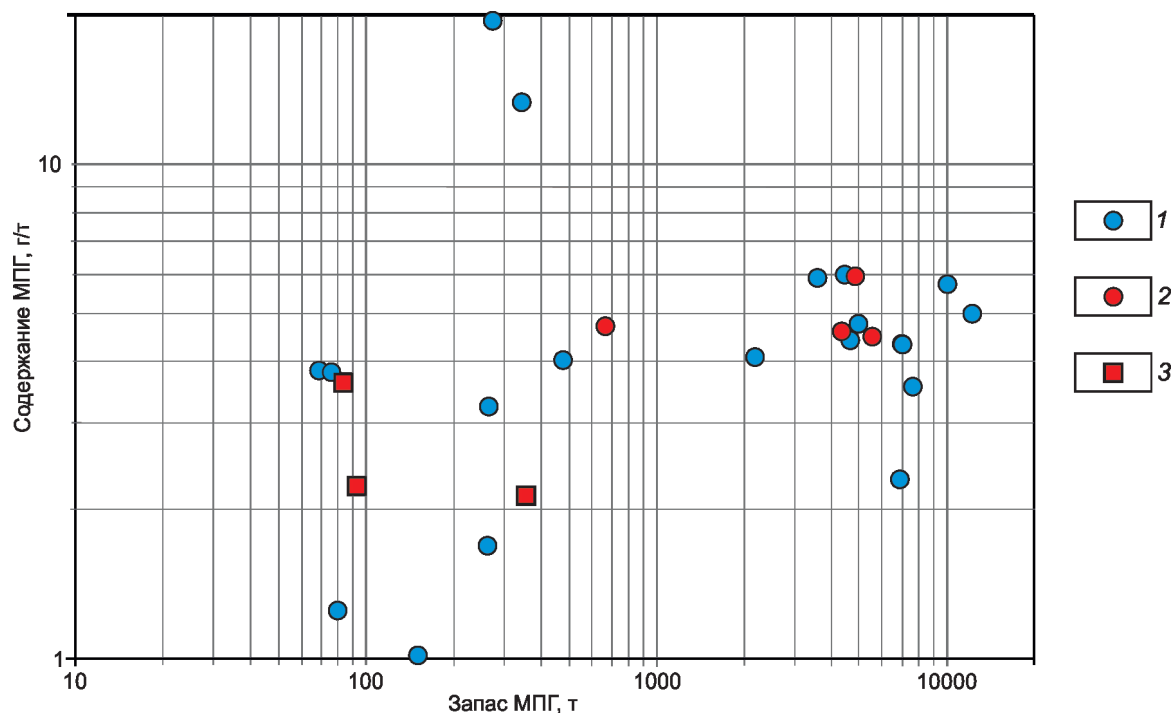


Рис. 7. Запасы и содержания МПГ в платинометалльных и медно-никелевых месторождениях:

1 – месторождения МПГ; 2–3 – медно-никелевые месторождения Норильского района: 2 – балансовые, 3 – забалансовые

3 рудных районах: 14 – в Печенгском, 2 – в Кингашском и 1 – в Джанинском; 8 месторождений норильского типа расположены в Иконско-Хараелахской зоне мезозойской трапповой активизации перикратонного чехла Сибирской платформы. Большинство месторождений характеризуются как крупные, весьма крупные и уникальные и составляют основу минерально-сырьевой базы никеля России.

Перспективы выявления новых месторождений этой группы связаны с объектами с апробированными прогнозными ресурсами (ПР) категорий P_1 и P_2 , подготовленными для лицензирования и частично лицензированными. В Имандра-Варзугской металлогенической зоне это Карикъяврское рудное поле Печенгского рудного района, РП НКТ и Нюд-Морошковое Мончегорского рудного района; в Бирюсинской металлогенической зоне – Токты-Ойско-Желосское рудное поле Барбитай-Ийского рудного района. Перспективы выявления новых рудных районов связаны с апробированными прогнозными ресурсами категории P_3 площадей Канской и Бирюсинской металлогенических зон юга Красноярского края и Иркутской области. При благоприятном результате поисковых работ с учётом двух разведанных месторождений (Кингашского и Верхнекингашского с запасами Ni около 2 млн. т) здесь может быть создана новая минерально-сырьевая база никеля.

В зонах орогенных структур подвижных поясов пока выявлено четыре месторождения: Еланское и Ёлкинское в Еланском рудном районе Эртильской металлогенической зоны Воронежской области (Ni около 700 тыс. т); Ловнозерское Лапландской МЗ (Ni 85 тыс. т) и Шануч (Ni 57 тыс. т) на севере Срединно-Камчатской МЗ, на юге которой прогнозируются месторождения в связи с магматитами Дукусского комплекса (прогнозируемые рудные поля с прогнозными ресурсами категории P_2 Ni 645 тыс. т). Кроме того, перспективы выявления новых месторождений этой группы связаны с Бобровско-Мамоновской металлогенической зоной Воронежской области (прогнозные ресурсы категории P_2 206 тыс. т) и Бугровской площадью Северо-Тиманской МЗ (категории P_3 600 тыс. т).

Перспективы выявления медно-никелевых месторождений на территории Бугровской площади (прогнозируемый ПР) связаны с неопротерозойским габброидным магматизмом внешней зоны коллизионного Тимано-Полярноуральского орогена. Выявлен комплекс поисковых признаков, характерных для никеленосных районов: развитие на площади интрузий габброидов позднерифейского комплекса, их контроль глубинными и оперяющими разломами; наличие совмещенных магнитных и гравиметрических аномалий, интерпретируемых как потенциально никеленосные массивы основного–ультраосновного состава.

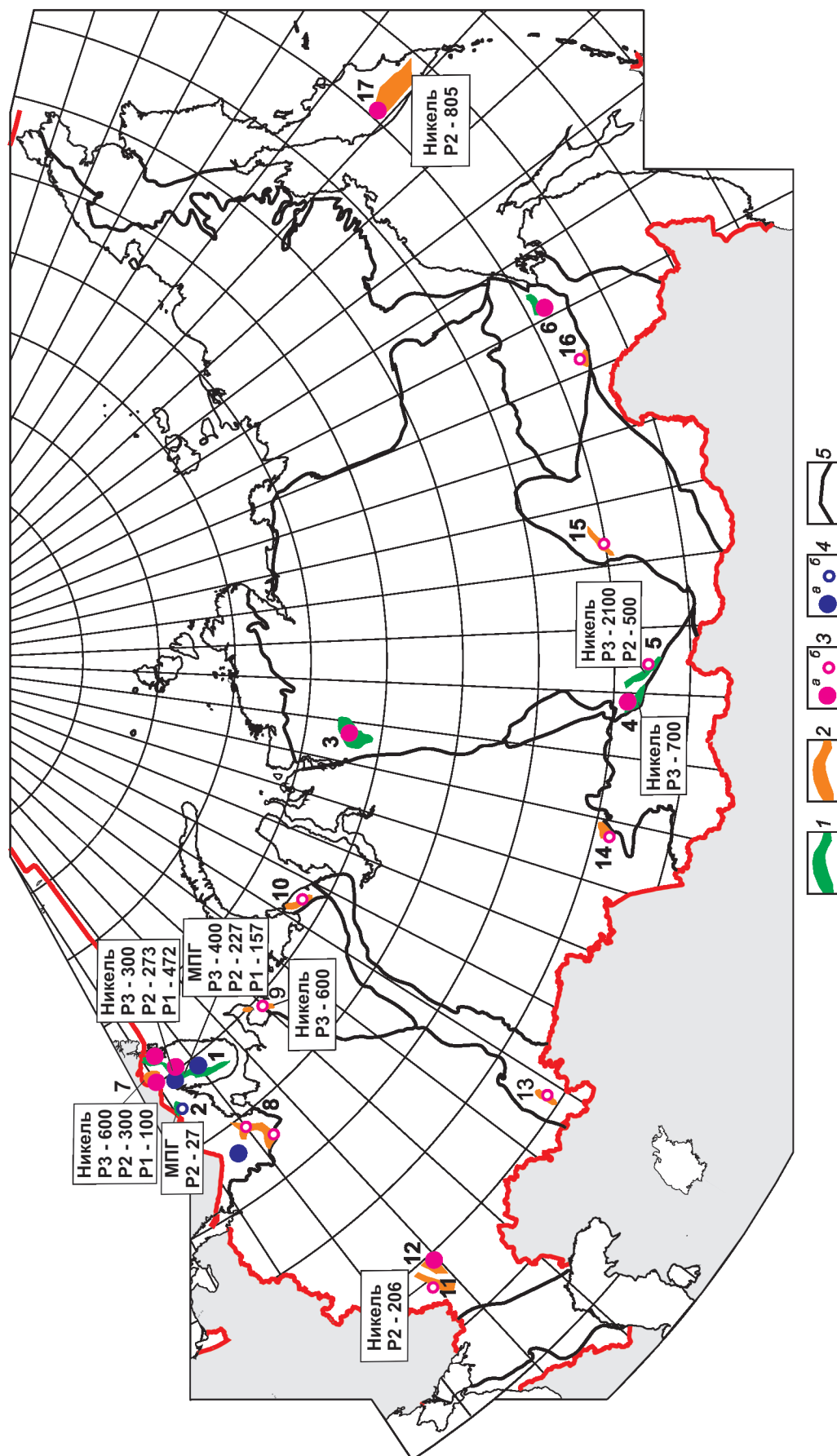


Рис. 8. Карта-схема размещения металлогенических зон, медно-никелевых и платинометалльных месторождений и рудопроявлений на территории Российской Федерации:

1–2 – металлогенические зоны: 1 – эпикратонных и 2 – орогенных обстановок; 3 – медно-никелевые месторождения (a) и рудопроявления (b); 4 – месторождения (a) и рудопроявления (b) МПГ; 5 – границы металлогенических провинций; 6 – Имандра-Варзугская, 2 – Северо-Карельская, 3 – Иконско-Харлаевская, 4 – Канская, 5 – Бирюсинская, 6 – Джанинская, 7 – Лапландская, 8 – Сумозерско-Кенозерская, 9 – Северо-Тиманская, 10 – Пай-Хойская, 11 – Бобровско-Мамоновская, 12 – Эртельская, 13 – Худозовская, 14 – Новосибирская, 15 – Северо-Прибайкальская, 16 – Дамбукинская, 17 – Срединно-Камчатская

Прямым признаком никеленосности служат рудоносные дайковые и штокообразные тела с характерными для медно-никелевых месторождений морфологическими типами руд: вкрапленными, гнездово-вкрапленными и шлировыми с содержаниями Ni от 0,19 до 7,7%, Cu 0,07–0,7%, МПГ 0,15–0,9 г/т до 6 г/т в массивных рудах (рудопроявления Дальнее и Ближнее). На основе полученных геологических и геофизических данных авторами статьи предложена геолого-геофизическая модель (по аналогии с месторождением Войсес-Бэй [11, 24]), позволяющая рассматривать рудоносные дайки габброидов в качестве магматических проводников, предполагать наличие нескрытых эрозией промежуточных магматических камер с локализацией в их приподожвенной части более значительных скоплений сульфидных медно-никелевых руд высокого качества. Предполагается, что подобная модель может быть применена и для магматической системы Срединно-Камчатской МЗ, продуцирующей месторождения Шануч и известные рудопроявления Южно-Камчатского рудного района. Кроме того, в последнее десятилетие в составе разветвлённой рудно-магматической системы Войсес-Бэй установлены минерализованные «пологие дайки», аналогами которых могут рассматриваться рудоносные интрузивные тела месторождения Кун-Манье.

Учитывая весьма благоприятное состояние минерально-сырьевой базы никеля России, прогнозируемые на Бугровской площади месторождения сложнопостроенной рудно-магматической системы, требующие значительного объёма финансирования при проведении ГРП, особенно в неблагоприятных климатических условиях и при отсутствии инфраструктуры, скорее всего, могут рассматриваться как резерв будущих поколений.

На современном уровне изученности территории Российской Федерации единственным регионом, обладающим необходимыми условиями образования собственных месторождений МПГ, является Карело-Кольский. При этом с учётом достаточной степени изученности его магматизма, все перспективы связаны с уже известными рудными районами (Федорово-Панским и Мончегорским) Имандра-Варзугской МЗ и прогнозируемым Олангским рудным районом Северо-Карельской МЗ (см. рис. 8). Кроме того, Государственным балансом учитывается около 530 т МПГ в трёх забалансовых месторождениях норильского типа с содержаниями от 2,2 до 3,5 г/т. Доразведка и переоценка этих месторождений как платинометалльных или комплексных платиноидно-медно-никелевых объектов (с учётом современной рыночной конъюнктуры платины и палладия) могут дать приросты запасов промышленных категорий по примеру Черногорского месторождения, также учитываемого ранее как забалансовое.

Для расширения минерально-сырьевой базы МПГ необходимо вовлечение новых территорий, обладающих необходимым комплексом геотектонических, фор-

мационных, петрологических и рудно-геохимических признаков их перспективности. Одной из них может оказаться Джанинский блок восточной части Алданского щита, расположенный на сопредельной территории Амурской области и Хабаровского края. Здесь подтверждена возрастная принадлежность крупного габброидного массива к одной из продуктивных эпох платинометалльного оруденения (2,45 млрд. лет) и выявлены признаки, характерные для платиноносных металлогенических зон – благоприятная геотектоническая обстановка, сопутствующие типы оруденения: магматические сульфидные месторождения Утанакского ореола малых интрузивов кунманьенского комплекса протерозойского возраста и сульфидные рудопроявления близкого возраста существенно пирротинного состава. Для реализации прогнозных построений необходимо проведение специализированных на МПГ прогнозно-металлогенических и научно-исследовательских работ, одной из обязательных составляющих которых должны являться петрологические и рудно-геохимические исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Годлевский М.Н.* Магматические месторождения // Генезис эндогенных месторождений. – М.: Недра, 1968. С. 7–83.
2. *Годлевский М.Н.* О характере связи сульфидного медно-никелевого оруденения с формациями базитов и гипербазитов // Магматизм и полезные ископаемые. – М.: Наука, 1975. С. 43–57.
3. *Геология и перспективы сульфидного Pt-Cu-Ni оруденения восточной части Алтае-Саянской складчатой области* // С.С.Сердюк, В.А.Кириленко, Г.Р.Ломаева и др. – Красноярск: Изд-во «Город», 2010.
4. *Заскинд Е.С., Иванюта З.Ф.* Некоторые особенности петрохимии базальтов никеленосных районов // Тр. ЦНИГРИ. 1981. Вып. 162. С. 8–13.
5. *Заскинд Е.С., Конкина О.М., Кочнев-Первухов В.И.* Критерии поисковой оценки расслоенных массивов гипербазит-габбро-норитового состава на МПГ-оруденение. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1994. С. 94–95.
6. *Заскинд Е.С., Кочнев-Первухов В.И.* Геотектонические закономерности размещения никеленосных регионов и оценка их продуктивности // Никеленосность базит-гипербазитовых комплексов Норильского региона. – Апатиты, 1988. С. 4–8.
7. *Заскинд Е.С., Кочнев-Первухов В.И., Юдина В.В.* Некоторые особенности докембрийских никеленосных структур // Тр. ЦНИГРИ. 1979. Вып. 144. С. 18–28.
8. *Кочнев-Первухов В.И., Заскинд Е.С., Конкина О.М.* Оценка расслоенных мафит-ультрамафитовых массивов на металлы платиновой группы и критерии поисков платиноносных горизонтов // Платина России. Т. II. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1995. С. 131–135.
9. *Кочнев-Первухов В.И., Заскинд Е.С., Конкина О.М.* Рудно-формационные основы прогноза платиноносности и составления металлогенических карт масштаба 1:5 000 000

- и 1:2 500 000 // Платина России. Т. III. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. С. 39–43.
10. Лихачев А.П. Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. – М.: Эслан, 2006.
 11. Налдретт А.Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометаллических руд. – СПб., 2003.
 12. *A Geological Model for the Thompson Ni-Co Sulfide Ore Deposits, Manitoba, Canada* // P.Lightfoot, R.Stewart, G.Gribbin, S.Kirby. <http://www.lightfootgeoscience.ca/assets/presentations/MMC.pdf>
 13. Benkó Z., Mogessie A., Molnár F. Partial Melting Processes and Cu-Ni-PGE Mineralization in the Footwall of the South Kawishiwi Intrusion at the Spruce Road Deposit, Duluth Complex, Minnesota // *Economic Geology*. 2015. Vol. 110. P. 1269–1293.
 14. *Geology, lithochemistry and metallogeny of the Lynn Lake greenstone belt, northwestern Manitoba*. https://www.manitoba.ca/iem/geo/mgstracker/images/region1/lynnlake_1.pdf
 15. *Geological map of the Fennoscandian shield*. Scale 1:2 000 000. GTK, NGU, МИП РФ, SGU, 2001.
 16. Hoffman P.F. Precambrian geology and tectonic history of North America / *The Geology of North America—An Overview* // Geological Society of America Bulletin. 1989. Vol. A. P. 447–512
 17. *Magma emplacement in transpression: The Santa Olalla Igneous Complex (Ossa-Morena Zone, SW Iberia)* / I.Romeo, R.Capote, R.Tejero et al. // *Journal of Structural Geology*. 2006. Vol. 28. P. 1821–1834.
 18. *Mineral Deposits of Finland* // Edited by Wolfgang D.Maier, Raimo Lahtinen Hugh O'Brien. 2015. Elsevier.
 19. Miller J. *Geology and Mineral Deposits of the Duluth Complex, Minnesota*. <https://slideplayer.com/slide/5695283/>
 20. Norman K. *Geology and Cu-Ni-PGE Deposits of the Duluth Complex, NE Minnesota*. <https://slideplayer.com/slide/5695283/>
 21. *Ni-Cu-PGE Deposits in the Pacific Nickel Complex, Southwestern B.C.* / P.Metcalf, M.McClaren, J.Gabites, J.Houle // *A Profile for Magmatic Ni-Cu-PGE Mineralization in a Transpressional Magmatic Arc*. Technical Report. November 2017. P. 65–80. <https://www.researchgate.net/publication/321015869>
 22. *Origin and emplacement of the Aguablanca magmatic Ni-Cu-(PGE) sulfide deposit, SW Iberia: A multidisciplinary approach* // R.Piña, I.Romeo, L.Ortega et al. // *GSA Bulletin* 2010. Vol. 122. № 5/6. P. 915–925.
 23. *Origin of Permian gabbroic intrusions in the southern margin of the Altai Orogenic belt: A possible link to the Permian Tarim mantle plume?* / C.L.Zhang, H.B.Zou, C.Y.Yao, Y.G.Dong // *Lithos*. 2014. Vol. 204. Pp. 112–124.
 24. *Origin of the Nickel Sulfide Deposits at Voisey's Bay, Labrador, Canada* / P.C.Lightfoot, R.R.Keays, D.Evans-Lamswood, R.Wheeler // *Advances in Ore Systems and Exploration Success: Conference Paper*, 21–24 February, 2011.
 25. *Peridotitic komatiites and origin of ores (Southeastern part of the Baltic shield)* // V.I.Kochnev-Pervukhov, E.S.Zaskind et al. // *Geology and Metallogeny of Copper Deposits*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 1986. P. 171–178.
 26. Porter T.M. Regional tectonics, geology, magma chamber processes and mineralization of the Jinchuan nickel-copper-PGE deposit, Gansu Province, China: A review T.M. (Mike). *Geoscience Frontiers*. 2015. https://www.researchgate.net/publication/283984095_Regional_tectonics_geology_magma_chamber_processes_and_mineralisation_of_the_Jinchuan_nickel-copper-PGE_deposit_Gansu_Province_China_A_review.
 27. *Precambrian Geology of Finland* // Edited by Martti Lehtinen, Pekka A. Nurmi, Tapani Ramo. – Elsevier, 2005.
 28. Ripley E. M., Li C. Metallic ore deposits associated with mafic to ultramafic igneous rocks // *Processes and Ore Deposits of Ultramafic-Mafic Magmas through Space and Time*. – Elsevier. 2017. P. 79–109.
 29. Ryan B. Preliminary geological map of the Nain plutonic suite and surrounding rocks (Nain-Nutak, NTS 14 S.W.). Newfoundland Department of Mines and Energy. Geol/Surv. Branch. Map 90–41, scale 1:500 000. 1990.
 30. Sappin A., Constantin M., Clark T. Origin of magmatic sulfides in a Proterozoic island arc – an example from the Portneuf-Mauricie Domain, Grenville Province, Canada // *Miner Deposita*. 2011. Vol. 46. P. 211–237.
 31. Sappin A., Constantin M., Clark T. Petrology of mafic and ultramafic intrusions from the Portneuf-Mauricie Domain, Grenville Province, Canada: Implications for plutonic complexes in a Proterozoic island arc // *Lithos*. 2012. Vol. 154. P. 277–295.
 32. *Structural evolution of the Agnew-Wiluna greenstone belt, Eastern Yilgarn Craton and implications for komatiite-hosted Ni sulfide exploration* / P.Duuring, W.Bleeker, S.W.Beresford et al. // *Australian Journal of Earth Sciences*. 2012. Vol. 59. P. 765–791.
 33. *Sulfide Saturation and Magma Emplacement in the Formation of the Permian Huangshandong Ni-Cu Sulfide Deposit, Xinjiang, Northwestern China* / J.F.Gao, M.F.Zhou, P.C.Lightfoot et al. // *Economic Geology*. 2013. Vol. 108. P. 1833–1848.
 34. *The Kalatongke magmatic Ni-Cu deposits in the Central Asian Orogenic Belt, NW China: product of slab window magmatism?* / C.Li, M.Zhang, P.Fu et al. // *Mineralium Deposita*. 2012. Vol. 47. P. 51–67.
 35. *The Giant Mascot Ni-Cu-PGE Deposit, British Columbia: Mineralized Conduits in a Convergent Margin Tectonic Setting* / M.J.Manor, J.S.Scoates, G.T.Nixon, D.E.Ames // *Economic Geology*. 2016. Vol. 111. Pp. 57–87.
 36. *The Giant Xiarihamu Ni-Co Sulfide Deposit in the East Kunlun Orogenic Belt, Northern Tibet Plateau, China* / X.Y.Song, J.N.Yi, L.M. Chen et al. // *Economic Geology*. 2016. Vol. 111. Pp. 29–55.
 37. *The Geology and Ore Deposits of the Sudbury Structure (OGS special volume; 1)* / Edited by E.G.Pye, A.J.Naldrett, P.E.Giblin, Ministry of Natural Resources. – Ontario, 1984. P. 604.
 38. *WA Geological Maps, Widgiemooltha SH51-14, Scale: 1:250 000, 1988*. <http://scanned-maps.geoscience.gov.au/250dpi/sh5114.jpg>

Сравнение российской и зарубежных классификаций и систем подсчёта запасов твёрдых полезных ископаемых

В.Б.ГОЛЕНЕВ, Д.А.КУЛИКОВ (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

В российской и зарубежных классификациях и системах подсчёта запасов используются общие принципы квалификации и оценки, которые предполагают сбор и анализ геологической информации, определение местоположения и формы тела, количества и качества полезного ископаемого, проверку достоверности получаемых данных. Различия между классификациями и системами оценки являются результатом их разработки независимо друг от друга, в разных внешних условиях и для разных пользователей. Понимание содержания и причин различия способствует росту доверия со стороны международных финансовых кругов к российской системе оценки запасов в условиях растущего международного взаимодействия в области недропользования и глобализации рынков сырья и капитала.

Ключевые слова: классификация, запасы, минеральные ресурсы, твёрдые полезные ископаемые.

Голенев Владимир Борисович
доктор геолого-минералогических наук



golenev_vb@mail.ru

Куликов Данила Алексеевич
кандидат геолого-минералогических наук

kulikov@tsnigri.ru

Comparison of the Russian and foreign nonfuel mineral reserve estimate classifications and systems

V.B.GOLENEV, D.A.KULIKOV (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals)

The Russian and foreign reserve estimate classifications and systems use common classification and estimation principles implying geological information collection and analysis, orebody location and form, mineral quantity and quality determination, data reliability verification. Differences in estimate classifications and systems are results of their independent development in various environments and for various users. Insight into contents and reasons for differences enhances confidence of international financial community in the Russian reserve estimation system in the context of growing international interaction in subsurface use and globalizing mineral and capital markets.

Key words: classification, reserves, mineral resources, nonfuel minerals.

В мировой практике используются четыре основных системы классификации и подсчёта твёрдых полезных ископаемых:

- 1) российская;
- 2) ООН для инвентаризации международных минеральных ресурсов;
- 3) индийская;
- 4) CRIRSCO (Денверского союза 1997 г.), куда входят австралийская система JORC (Австралийско-Азиатский стандарт, разработанный Объединённым комитетом по запасам руды Австралийско-Азиатского института горного дела и металлургии, Австралий-

ского института геолого-геофизических исследований и Австралийского совета по минеральному сырью), общеевропейская Reporting Code, канадская CIM, разработанная Канадским институтом горного дела, металлургии и нефти, отражённая в канадском стандарте National Instrument 43-101, американская (США) SME Guide, 2007, южноафриканская SAMREC, чилийская IMEC и другие.

Зарубежные классификации минеральных ресурсов и запасов (на примере CRIRSCO). Как и российская, классификации CRIRSCO отражают постепенное возрастание достоверности геологоразведочных

данных для квалификации минеральных ресурсов по геологической изученности, а также данных о технологических, горнотехнических, экономических и прочих факторах, необходимых для перевода минеральных ресурсов в соответствующие категории запасов. При квалификации запасов и минеральных ресурсов в любой системе преследуется одинаковая цель – определить возможность, целесообразность и очерёдность продолжения работ по подготовке промышленного освоения месторождения, а также уровень достоверности оценки минерально-сырьевой базы. При этом используются общие принципы квалификации и оценки, предполагающие сбор и анализ геологической информации, определение местоположения и формы тела полезного ископаемого, подсчёт количества и качества минеральных ресурсов и пригодных к добыче запасов, проверку достоверности получаемых данных.

Классификация стандартов CRIRSCO, наиболее распространённым за рубежом, по результатам геолого-разведочных работ выделяются минеральные ресурсы и(или) минеральные запасы полезного ископаемого.

За рамки классификаций CRIRSCO выходит геологическая информация, получаемая на самых ранних этапах изучения недр, до тех пор, пока полнота изученности не позволит с уверенностью, соответствующей требованиям к минеральным ресурсам, оценить количество и качество полезного ископаемого. Эта информация представляется в геологической отчётности о результатах геологоразведочных работ (но не в Декларации о минеральных ресурсах и запасах) под различными терминами, например, **Exploration Target** (или **Exploration Potential**) и **Exploration Results**.

Под минеральными ресурсами понимаются скопления, концентрации или проявления в недрах или на поверхности минерального вещества в такой форме и при таком количестве и качестве, которые представляют самостоятельный экономический интерес, а изученность даёт основания предполагать или позволяет сделать обоснованный вывод о возможности его рентабельного извлечения из недр в обозримой перспективе. Местоположение, количество, качество, сплошность тел полезного ископаемого и прочие геологические характеристики изучены, оценены или интерпретированы на основании конкретных геологических данных и признаков, включая различные необходимые виды опробования. Участки недр, не имеющие реальных перспектив для рентабельной эксплуатации в обозримой перспективе, в состав ресурсов не включаются. Минеральные ресурсы полезных ископаемых в порядке возрастания геологической изученности, достоверности и обоснованности геологических данных делятся на **предполагаемые (Inferred Resources)**, **выявленные (Indicated Resources)** и **измеренные (Measured Resources)**. С детальной характеристикой категорий минеральных ресурсов можно ознакомиться в специальных публикациях [2, 6, 7].

Единообразной методологии квалификации минеральных ресурсов по категориям геологической изученности за рубежом не существует. Процедура квалификации, по сути, является обоснованной экспертной оценкой, определяющейся исключительно опытом её исполнителя – компетентного лица.

В международной практике отсутствуют чёткие стандарты зависимости категории минеральных ресурсов от плотности сети. Обычно компетентное лицо использует при квалификации комбинацию нескольких факторов: плотность и геометрия сети, наличие и диапазон корреляционных связей (определяется вариографией), достоверность геологической информации (качество топосновы, привязки скважин и горных выработок, бурения, пробоотбора, аналитических исследований, определения объёмной массы руд и др.) и математически обоснованных показателей интерполяции, определённых в результате геостатистических исследований (радиус эллипсоида поиска, максимальное и минимальное количество проб, необходимых для оценки элементарного блока, минимальное количество пересечений в интерполяции и максимальное количество проб из одного пересечения), визуальный анализ выдержанности рудного тела или зоны минерализации в трёхмерном пространстве, оценка логичности положения рудного тела относительно геолого-структурных элементов строения месторождения, математический (геостатистический) анализ, опыт работы на месторождениях-аналогах при квалификации минеральных ресурсов по категориям, а также другие в основном специфические (индивидуальные) параметры месторождения (см. таблицы 1, 2).

Комплекс критериев, выбираемых для квалификации, и величина граничных параметров зависят от геолого-промышленного типа месторождения, формы, размеров и условий залегания рудных тел, характера распределения минерализации, сложности геологического строения, степени изученности объекта и других особенностей, влияющих на достоверность оценки количества, качества и контуров тел полезного ископаемого. Чем сложнее месторождение, тем больше параметров применяется при квалификации.

Основная величина, используемая при квалификации минеральных ресурсов, – соотношение расстояния между пересечениями и размера зоны влияния (по вариограмме) по трём основным направлениям изменчивости распределения полезного компонента, который (размер) характеризует расстояние распространения корреляционной связи между содержаниями полезного компонента. В общем случае минеральные ресурсы подразделяются на категории в зависимости от расстояния между пересечениями (пробами) следующим образом [5]: **Measured** не более 0,67 зоны влияния; **Indicated** от 0,67 до 1 зоны влияния; **Inferred** от 1 до 2 зон влияния.

Кроме плотности геологоразведочной сети, для целей квалификации минеральных ресурсов используются следующие показатели:

количество проб, попадающих в элементарную ячейку блочной модели (для категорий **Measured** и **Indicated** должно быть не менее 3 проб);

количество выработок, данные которых применяются для оценки средних значений параметра (для категорий **Measured** и **Indicated** должно быть не менее 2 выработок);

количество прогонов, достоверно оценивающих элементарную ячейку блочной модели (для категорий **Measured** и **Indicated** должно быть не более 1 прогона).

Величина остальных классификационных параметров зависит от индивидуальных геологических особенностей месторождения и особенностей методики его изучения.

Под запасами полезного ископаемого в классификациях CRIRSCO понимается часть только **измеренных** и(или) **выявленных** минеральных ресурсов, готовая к отработке, и разработка которой является экономически целесообразной. Запасы подсчитываются с учётом разубоживания и возможных потерь в процессе разработки. Для запасов должны быть выполнены соответствующие оценки и исследования с учётом реалистичных допущений относительно способа и систем разработки, обогащения, металлургической переработки, экономических, сбытовых, правовых, экологических, социальных факторов и отношений с органами власти различных уровней. Такие оценки на момент подготовки подсчёта должны свидетельствовать о возможности экономически эффективной отработки запасов. На основании запасов рассчитывается банковское технико-экономическое обоснование (ТЭО), график производства и проводится реальный экономический анализ проекта. По степени изученности запасы полезных ископаемых делятся на **вероятные (Probable Reserves)** и **доказанные (Proved Reserves)**. С детальной характеристикой категорий запасов можно ознакомиться в специальных публикациях [2, 6, 7].

Российская классификация запасов и прогнозных ресурсов.

В российской классификации [1] минерально-сырьевая база твёрдых полезных ископаемых представлена запасами и прогнозными ресурсами.

Запасы подразделяются:

по экономическому значению на две группы: балансовые (экономические), забалансовые (потенциально экономические);

по степени изученности горнотехнических, технологических, экономических, социальных и других условий на две группы: запасы разведанных месторождений (изученность достаточна для разработки ТЭО постоянных разведочных кондиций), запасы оценённых месторождений (изученность достаточна для разработки ТЭО временных разведочных кондиций);

по степени геологической изученности на 4 категории в порядке уменьшения изученности: **A, B, C₁, C₂**.

Классификацией предусмотрено разделение разведываемых и разрабатываемых месторождений на 4 группы по сложности геологического строения. Эти группы определяют допустимые категории запасов на месторождениях. Запасы категории **A** выделяются на участках детализации месторождений 1 группы сложности геологического строения; категории **B** – на участках детализации месторождений 1 и 2 групп сложности; категории **C₁** составляют основную часть запасов месторождений 1, 2 и 3 групп сложности, а также могут выделяться на участках детализации месторождений 4 группы сложности; категории **C₂** – на месторождениях всех групп сложности, а для 4 группы составляют основную часть запасов, вовлекаемых в разработку.

Категория запасов устанавливается в зависимости от степени изученности, установления, выделения и оконтуривания:

1) размеров, формы и условий залегания тел полезного ископаемого, характера и закономерностей изменчивости их морфологии и строения;

2) безрудных и некондиционных участков внутри тел полезного ископаемого, при наличии разрывных нарушений – их положения и амплитуды смещения;

3) природных разновидностей, промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого, их состава и свойств; качества выделенных промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого;

4) распределения и формы нахождения ценных и вредных компонентов в минералах и продуктах переработки и переделов полезного ископаемого.

Основные критерии, используемые при квалификации запасов в российской системе оценки, – группа сложности геологического строения, геолого-промышленный тип месторождения, плотность сети (для каждого месторождения устанавливается индивидуально и для одной категории запасов разная в зависимости от группы сложности и геолого-промышленного типа месторождения), качество геологоразведочных работ, геологическая изученность, включая изученность характера распределения содержаний полезных и вредных (при наличии) компонентов и мощности рудных тел, уверенность в однозначности геометризации рудных тел и надёжности выявления геолого-структурных факторов, контролирующих распределение полезного ископаемого.

При подсчёте запасов с применением геостатистических методов дополнительно используются показатели, позволяющие учесть при квалификации запасов: надёжность интерполяции и наличие несмещённой оценки среднего содержания полезного компонента, соотношение расстояния между пересечениями и размером зоны влияния (по вариограмме) по трём основным направлениям изменчивости оруденения [5]

(соответствие параметров вариограмм разведочной сети и опробованию; сопоставимость блочных моделей, отстроенных разными методами; количество проб в интерполяции; дисперсия кригинга; наклон линии регрессии между истинным (неизвестным) и оцениваемым значением параметра в блоке; вес, отнесённый к среднему (для простого кригинга), процент весов с отрицательным значением; количество проб в элементарной ячейке блочной модели; количество выработок, данные которых применяются для оценки средних значений параметра; количество прогонов, достоверно оценивающих элементарную ячейку блочной модели).

При разделении запасов по категориям в качестве дополнительного показателя разрешается использовать количественные и вероятностные оценки точности и достоверности определения основных подсчётных параметров [1]. Установлены, но не являются обязательными предельно допустимые отклонения разведанных запасов от «истинных» в подсчётном блоке, объём которого соизмерим с годовой производственной мощностью горного предприятия [6] (в %): <15, <25, <40 и <60, соответственно, для категории **A**, **B**, **C₁** и **C₂**, что должно гарантировать точность интегральной оценки запасов на разведанных месторождениях с 15-летним сроком отработки на уровне <10, а на оценённых <15%.

Контур запасов полезного ископаемого всех категорий определяется [1] согласно с требованиями соответствующих кондиций по скважинам и горным выработкам (по результатам их опробования). Для запасов категории **C₁** учитываются также данные геофизических и геохимических исследований, а **C₂** – ещё и результаты геологических построений. Экстраполяция допускается только для запасов категории **C₁** и **C₂**.

Конкретные требования к запасам по категориям геологической изученности и в зависимости от стадии геологоразведочных работ (горнотехнических, технологических, экономических, социальных и других условий) изложены в нормативно-методических документах ГКЗ отдельно для каждого вида твёрдого полезного ископаемого в зависимости от группы сложности геологического строения и геолого-промышленного типа месторождений [3].

Прогнозные ресурсы участков недр подразделяются [1] на категории в порядке уменьшения степени их геологической обоснованности: **P₁**, **P₂** и **P₃**. Категория прогнозных ресурсов зависит от металлогенического ранга прогнозируемого объекта, то есть определяется его размером (площадью) и масштабом изучения прямых и косвенных предпосылок и признаков полезного ископаемого. Классификация отражает последовательное повышение достоверности оценки прогнозных ресурсов с уменьшением площади прогноза и прогнозно-поисковых работ и увеличением их масштаба. Изученность рудопоявления в результате поисковых работ (изученность глубоких горизонтов и флангов месторождения в результате оценки и разведки) должна быть достаточна

для локализации прогнозных ресурсов категории **P₁**, рудного поля – категории **P₂**, перспективной площади в составе рудного района (узла) и иного таксона, превышающего размеры рудного поля, – категории **P₃**.

Требования к прогнозным ресурсам по категориям геологической обоснованности и в зависимости от масштаба и стадии геологоразведочных работ регламентируются нормативно-методическими документами Роснедра и изложены отдельно для каждого вида твёрдого полезного ископаемого в зависимости от рудно-формационного и геолого-промышленного типа прогнозируемых месторождений.

Соотношение российской классификации и системы подсчёта запасов с шаблоном CRIRSCO. Российская классификация [1] во многих отношениях схожа с шаблоном CRIRSCO и характеризует уровень достоверности оценки качественных и количественных характеристик, используемых для подсчёта прогнозных ресурсов и запасов. Один из важнейших принципов российской и зарубежных классификаций – необходимость подтверждения экономической целесообразности разработки запасов. Соответственно, в обоих случаях используется сходный набор геологических, технологических, горнотехнических, экономических и других факторов, на основе которых и строится классификация в зависимости от степени изученности и достоверности данных о полезном ископаемом.

Различия между классификациями являются результатом их разработки независимо друг от друга, в разных внешних условиях и для разных пользователей. Российская классификация разработана в условиях государственной собственности на недра, где принятие решений проводится и в интересах государства по общей утверждённой нормативными документами методологии, и коллективно. Зарубежные шаблоны, наоборот, предназначены для оценки недр, находящихся в частной собственности, предоставляют инвестору возможность оценивать месторождение и стратегию его разработки по предложениям, высказываемым лицом, которое собирается управлять проектом. Зарубежные кодексы также разработаны для защиты инвестора от неверной интерпретации разработчиком проекта потенциала месторождения.

Отличие заключается в том, что в российской классификации полезное ископаемое, оценённое по геологическим признакам, и полезное ископаемое, оценённое по изученности комплекса геологических, технологических, горнотехнических, экономических параметров объекта (без учёта потерь и разубоживания), обозначаются одним термином – запасы. В зарубежных классификациях отдельно существуют минеральные ресурсы, изученность которых определяется с учётом в основном только геологических показателей, и запасы, изученность которых определяется с учётом дополнительно к геологическим ещё и технологических, горнотехнических, экономических, экологических и других

1. Примеры месторождений, квалификация минеральных ресурсов на которых была проведена по параметрам разведочной сети. По материалам Metallica Minerals Ltd, Info Mine, Scandium International Mining Corp, Resource Development (Phils) Inc, Geology for Investors и др.

Показатели	Месторождения				
	Nyngan Scandium (Австралия), Agata Nickel (Филиппины)	Katona Corper (Конго)	Karowe Diamond (Канада)	Samarleu Nickel-Copper (Кон-д'Нгуар)	Kirushi Polymetallic (Конго)
Геолого-промышленный тип	Латеритные кобальт-никелевые коры выветривания	Стратиформный медный в песчаниках и сланцах	Кимберлитовые трубки	Никелево-медный платиновый в интрузивах мафит-ультрамафитового состава	Медно-цинковый в карбонатных породах
Морфология рудных тел	Плащеобразное субгоризонтальное тело, площадью 500–780×1000 м, мощностью 12–65 м	Пластовое тело площадью 20×15 км, мощностью 3–30 м	Удлиненное тело, состоящее из трёх сближенных конусообразных труб (диаметр наибольшей около 250 м, наименьшей около 70 м); площадь на поверхности 3,3 га, на глубине 120 м от поверхности – 7 га; установленная глубина 480 м	Samarleu – линзообразное круто падающее (40°–70°) тело, длина по простиранию 400 м, ширина 350 м, мощность 2–60 м; Samarleu Extension 1 – пластообразное крутопадающее тело, длина по простиранию 2 км, ширина 50–200 м; зона окисления мощностью 45 м	Крутопадающие (70°) плито- и трубообразные тела: плитообразные (Fault Zone, Série Récurrente и Southern Zinc zone) – 200–420 м по простиранию, 250–300 м по падению, мощностью 1–70 м (преимущественно 5–20 м); трубообразные (Big Zinc Zone) – 200×100 м, по падению на 600 м
Параметры разведочной сети, м	25×25, 50×50, 100×100	100×100, 200×200, 400×400	Сеть квадратная, расстояние между скважинами до глубины 400 м – 40–60 м, ниже 400 м сеть неравномерная, расстояние между скважинами 30–80 м (есть неразбуренные участки)	25×25, 50×50	Mineral Resources – по простиранию 15 м (Fault Zone и Big Zinc Zone) и 12,5 м (Série Récurrente zone), по падению – 10–50 м; на глубоких горизонтах (за пределами Mineral Resources) – по простиранию 15 м, по падению – 100 м
Размер блоков (субблоков) блочной модели, м	Nyngan – 25×25×5 (5×5×1); Agata – 20×20×1 (10×10×1)	100×100×переменная	25×25×12	5×5×2, дискретизация блока 2×2×2	5×5×5 (1×1×1)
Метод оценки количества и качества полезного ископаемого*	OK	IDS, проверка NN	OK	OK	OK
Комплекс критериев для квалификации	Параметры разведочной сети, геологическая непрерывность	Параметры разведочной сети, геологическая непрерывность	Густота разведочной сети (качественно), геологическая непрерывность	Параметры разведочной сети, геологическая непрерывность	Фиксированное расстояние (логически связанное с параметрами разведочной сети), геологическая непрерывность

Окончание табл. 1

Величины классификационных параметров	Measured: Nynган – разведочная сеть от 25×25 до 50×50 м, Agata – 25×25 м; Indicated: Nynган – разведочная сеть 100×100 м, Agata – от 50×50 до 100×100 м; Infetted: Agata – расстояние между скважинами >100 м, Nynган – не выделялись (непрерывность минерализации в диапазоне >80 м)	Measured – расстояние между скважинами 100 м, геологическая непрерывность; Indicated – расстояние между скважинами 400 м, непрерывность геологических структур и содержания; Infetted – расстояние между скважинами 800 м, экстраполяция 600 м, непрерывность геол. структур и содержания Cu – 1%; параметры интерполяции: 1 прогон – сфера, радиус 500 м, количество проб 4–18; 2 прогон – сфера, радиус 1250 м, количество проб 4–18; 3 прогон – сфера, радиус 5000 м, количество проб 1–12	Measured – до глубины 400 м (сеть более густая), Indicated – ниже 400 м (сеть более редкая), параметры вариограмм South Primary – диапазон 115×115×83 м, эффект самородков – 0,12, силл – 0,175; Centre&North Primary – диапазон 90×90×77 м, эффект самородков – 0,172, силл – 0,133; параметры интерполяции: South Primary – 1 прогон: радиус эллипсоида поиска – 100×100×48 м, количество проб 3–10, 2 прогон: радиус эллипсоида поиска – 150×150×96 м, количество проб 3–10; Centre&North Primary – 1 прогон: радиус эллипсоида поиска – 100×100×60 м, количество проб 3–10, 2 прогон: радиус эллипсоида поиска – 150×150×108 м, количество проб 3–10	Samapleu: Indicated – на глубине от 75 м до 200 м от поверхности, расстояние между скважинами по простиранию 25 м, по падению 50 м; Infetted – на глубине до 400 м, сеть 50×50 м; Samapleu Extension 1: Indicated – от поверхности до глубины 150 м, сеть 25×25 м; Infetted – от поверхности до глубины 150 м, сеть 50×50 м; параметры вариограмм: Samapleu по всем направлениям диапазон 1–50 м, диапазон 2–130 м, эффект самородков 0,14% Ni; Samapleu Extension 1: 0°–50° диапазон 1–50 м, диапазон 2–100 м, 0°–140° диапазон 1–63 м, диапазон 2–100 м, 90°–0° диапазон 1–30,5 м, диапазон 2–75,5 м, эффект самородков 0,07% Ni; параметры интерполяции: радиус эллипсоида поиска 30×75×10 м, количество проб 2–12 (из 1 скв. макс. 4 пробы)	Measured – <20 м от скважины, Indicated – <50 м от скважины; разнонаправленные вариограммы: медь (Fault Zone) – диапазон по простиранию 60 м, по падению – 70 м, по мощности – 10 м; цинк (Big Zinc Zone) – диапазон по простиранию 60 м, по падению – 80 м, по мощности – 30 м; медь (Série Récurrente zone) – диапазон по простиранию 20 м, в плоскости минерализации – 150 м; параметры интерполяции: 1 прогон – радиусы эллипсоида поиска соответствуют параметрам вариограмм, количество проб 6–12, из одной скважины не более 4 проб, 2 прогон – радиусы эллипсоида поиска увеличиваются в 1,5 раза, количество проб 6–12, из одной скважины не более 4 проб; 3 прогон – радиусы эллипсоида поиска такие же, как во 2 прогоне, количество проб 5–10, из одной скважины не более 4 проб
---------------------------------------	---	---	--	---	--

Примечание. *Кригинг: ОК – обыкновенный (ordinary kriging), IDS – обратных расстояний в квадрате (inverse distance squared), NN – ближайшего соседа (nearest-neighbour).

22

[illegible]

Окончание табл. 2

Burticá Au-Ag (Колумбия), Krumovgrad Au-Ag (Болгария), El Comras Au-Ag (Мексика), Longstreet Au-Ag (США), Waihi Au-Ag (Новая Зеландия), Don Nicolás, Pitquitas Ag (Аргентина), Chelonech Cu-Au (Болгария), Guadalupe Au-Ag (Мексика), Saza-Makongolosi Au (Танзания), Seabee Au (Канада), Paul Isnard Au (Гвинея), Buffalo Reef Au (Малазия), SGX Ag-Pb-Zn (Китай), Burnakura Au (Австралия)	Крутопадающие минерализованные жильные зоны, а также жилы относительно простого строения	Эллипсоид поиска, сеть	<10–25	<25–50	±	±	± ⁴	(±)	(±) ³	± ⁴	±	2	B 10–50 C ₁ 20–100
												3	C ₁ 20–60
Ashanti Au (Гана), Reefton Au (Новая Зеландия), Sierra Mojada Polymet (Мексика), Вертикальное Ag (Россия)	Крутопадающие минерализованные прожилково-вкрапленные и жильные зоны сложного строения, системы круто- и пологопадающих залежей	Эллипсоид поиска, редко диапазон вариограммы	<20–40	<75	± ¹	+	± ⁴	(±)	(±) ³	± ⁴		3	C ₁ 20–60
												4	C ₁ 10
Didipio (Филиппины), Sangdong (Ю.Корея), Blackwater Au (Канада), Maticunga Au (Чили), Cerro del Gallo Au-Ag-Cu (Мексика), Southern Oyu Au (Монголия), El Morro Au-Cu, Caspiche Au-Cu и Peñasquito Au-Polymet (Чили); Boa Esperança Cu-Co (Бразилия)	Штокверки и штокверкоподобные крутопадающие (до субвертикальных) тела	Диапазон ва- риограммы, эллипсоид поиска, сеть	20–50	50–100	±	±	(±)	(±)	(±) ³	± ⁴		1	A 75 B 100 C ₁ 100
			<50–70	<110–130								2	B 20–50 C ₁ 40–100
												3	C 20–60

Примечание. «<» – встречается на всех месторождениях группы, «±» – встречается не на всех месторождениях группы, но относительно часто, «(±)» – встречается редко; * – расстояния между скважинами на месторождении Cove (США) соответствуют принятым для мелких линзовидных тел; ¹в том числе учтены месторождения, на которых число скважин выражено через число проб, необходимых для классификации, и максимальное число проб в одной скважине; ²в том числе учтены месторождения, на которых число проб выражено через число скважин, необходимых для классификации, и максимальное число проб в одной скважине; ³в том числе учтены месторождения, на которых в качестве классификационных параметров использовались следующие параметры оценки достоверности кригинга: наклон линии условной погрешности кригинга, отклонение от нижнего 90% доверительного предела (дисперсия кригинга), эффективность кригинга, регрессия, нижний доверительный предел (блока); ⁴параметры, встретившиеся на одном из месторождений рассматриваемой группы.

показателей. В российской классификации участок недр может быть учтён только в одной категории запасов или прогнозных ресурсов, в зарубежных – один и тот же объём одновременно может быть отнесён как к одной из двух категорий минеральных ресурсов, так и запасов.

В отличие от зарубежных, российская система оценки предусматривает необходимость подтверждения экономической возможности разработки не только запасов, но и прогнозных ресурсов, особенно категории P_1 на новых объектах и площадях, оценённых прямыми способами за счёт средств федерального бюджета. Однако при наличии на месторождении запасов любой категории прогнозных ресурсы не учитываются при оценке экономических параметров разработки объекта, так же как и их эквивалент в зарубежных системах.

С точки зрения международной практики российские требования к детальности изучения объектов недропользования обеспечивают получение аналогичных, не меньших объёмов и достоверности геологических и других (горнотехнических, технологических, экономических и др.) данных, которые обычно предусматриваются в международных проектах [6].

Требования к составу, полноте и качеству информации, используемой для квалификации запасов в России, не уступают требованиям зарубежных стандартов (табл. 3). Данные, представляемые в ГКЗ, содержат всю необходимую информацию для проведения тщательной проверки, которая производится группой специалистов и включает рассмотрение сложности геологического строения месторождения, особенностей распределения полезных компонентов, степени изученности месторождения (сеть скважин, наличие подземных горных выработок, геофизические, геохимические, опробовательские, аналитические и другие виды работ), качества результатов геологоразведочных работ, способа и порядка подсчёта запасов, который выполняется в соответствии с регламентированными стандартными процедурами (методиками), показателей кондиций, а также целого ряда экономических, технологических, металлургических, горно-геологических, экологических и других необходимых характеристик. Со стороны Роснедр осуществляется контроль за квалификацией и оценкой запасов и прогнозных ресурсов, в том числе и за соблюдением интересов государства как собственника недр, за раскрытием информации о минерально-сырьевой базе полезных ископаемых.

Ответственность за подсчёт и квалификацию запасов по международным стандартам возлагается только на одно компетентное лицо, которое должно быть уверенным, что используемый им подход соответствует общепринятой практике, и которое единолично определяет, к какой категории запасов и минеральных ресурсов относятся выполненные расчёты. Методика и процедура подсчёта (производится по международным стандартам с применением геостатистики), соответ-

ствие геостатистического моделирования особенно-стям геологического строения месторождения детально не рассматриваются, не регламентируются, проверить и воспроизвести их зачастую件 невозможно. Подсчёт на основе геостатистических методов в зарубежных системах не контролируется, в отличие от российской системы, где контролю подлежит любой подсчёт, будь то традиционные методы геологических блоков или разрезов или с применением геостатистических методов.

Зарубежные кодексы регулируют отчётность, но не способ и методику, которыми оценивают минеральные ресурсы и запасы твёрдых полезных ископаемых. В этой связи зарубежные шаблоны регламентируют в основном структуру и содержание подсчётов, но не требования к методике и достоверности количественной и качественной оценки минеральных ресурсов и запасов и их квалификации.

При отсутствии геологических границ полезного ископаемого подсчёт в зарубежных системах проводится в других контурах рудных тел (свободных оболочках) по сравнению с российской системой, где границы устанавливаются «жёстко», только по кондициям для запасов или оценочным параметрам для прогнозных ресурсов. Поэтому количество, качество и контуры тел полезного ископаемого, определённые в российской и зарубежных системах подсчёта при отсутствии геологических границ, как правило, всегда различаются.

Показатели кондиций в российской системе утверждаются государством и регулируют его взаимоотношения как владельца недр с недропользователем. Кондиции не только влияют на границы, качественные и количественные характеристики запасов, передаваемых государством недропользователю, но и определяют отчётность по разработке месторождения: движение запасов, их подтверждаемость при разработке, фактические потери и разубоживание и др.

В зарубежных системах подсчёт минеральных ресурсов и запасов при отсутствии геологических границ ведётся в пределах области предполагаемого развития промышленных руд. Границы этой области при отсутствии геологических критериев (что характерно для многих видов твёрдых полезных ископаемых) выделяются по так называемому «природному борту» или условному экономическому содержанию в пробе, которые соответствуют примерно половине или даже ниже («природный борт») предполагаемого экономически обоснованного минимального содержания компонента в ячейке блочной модели и охватывают всю область проявления минерализации, включая и непромышленные концентрации. Это соотношение не имеет серьёзного обоснования, и вопрос выбора минимального содержания в пробе для построения границ области проявления полезной минерализации остаётся открытым. Определяется оно только решением компетентного лица. Далее в области минерализации выделение рудной и безрудной части происходит по минимальному

содержанию в элементарных ячейках блочной модели, а не по бортовому содержанию в пробах, максимальной мощности внутри рудного прослоя пустых пород и минимальной мощности рудного интервала, применяемых в России для выделения руды и относящихся к рядовым пробам.

Линейные рядовые пробы и трёхмерные элементарные ячейки блочной модели характеризуются разными размерами и геометрией, что предопределяет различие статистических распределений содержаний полезного компонента по ним. Разделение недр на рудную и безрудную части по одинаковой величине содержания в пробах и в элементарных ячейках приводит к появлению систематического различия в оценке средних содержаний в руде, запасов руды и полезного компонента при сравнении результатов подсчёта по рудным телам, выделенным, с одной стороны, по кондициям или, с другой стороны, по параметрам элементарной ячейки блочной модели, при одном и том же способе подсчёта (геостатистическими методами). Различия перечисленных оценок возрастают по мере повышения бортового содержания [5].

Величина различия также зависит от природных особенностей объекта, параметров геостатистической модели, размеров элементарной ячейки блочной модели, соотношения уровня содержаний бортового и для выделения минерализованной зоны или подсчётного объёма в блочной модели, плотности разведочной сети и от других факторов. В целом использование одинаковых значений для рядовых проб и элементарных ячеек блочной модели в условиях свободных оболочек всегда приводит к систематическим расхождениям в оценке содержаний. Для устранения расхождений даже существует специальный математический аппарат, реализованный в ряде информационных технологий специально для подгонки результатов к условиям Российской системы оценки запасов. Применение этого аппарата корректирует содержания в элементарной ячейке блочной модели, что обеспечивает некоторую сходимость результатов подсчёта в контурах, построенных: 1) с использованием кондиций и 2) по природному или условному экономическому борту с последующим выделением рудной части по содержанию в элементарной ячейке блочной модели.

Традиционно применяемые в России показатели кондиций не могут быть напрямую введены или не могут соблюдаться в практике работы с блочными моделями, как это принято в зарубежных системах подсчёта. А используемые в зарубежных системах показатели для оконтуривания рудных тел под геостатистические методы не применимы в российской системе оценки, так как не могут быть напрямую сопоставлены с показателями кондиций и относятся к другим объёмам руды.

Таким образом, отличия российской классификации и системы оценки запасов заключаются в том, что системы CRIRSCO:

1. Имеют стандарты отчётности о минеральных ресурсах и запасах, но не регламентируют способы и методики их квалификации по категориям и оценке (представлены в схематичной обобщённой форме), а российская – при наличии стандартов отчётности предусматривает проведение квалификации и оценки по категориям известными апробированными способами по утверждённым методикам, которые детализированы по каждому виду полезного ископаемого в серии инструкций и методических рекомендаций.

2. Базируются на доверии к компетентному лицу, производящему оценку, а российская – на возможности проведения проверки на любом этапе оценки и любых материалов, положенных как в основу квалификации, так промежуточных расчётов и итоговых результатов, и последующей коллегиальной приёмке оценок запасов и прогнозных ресурсов.

3. Используют способы оценки, основанные исключительно на геостатистических методах, реализуемых с помощью специальных горно-геологических компьютерных технологий и систем, а российская – более гибкая, допускает применение наряду с традиционным подсчётом геологическими блоками и разрезами также геостатистических методов и использование подсчёта как в «ручном» режиме, так и с помощью различных общераспространённых расчётных и графических пакетов компьютерных программ, а также и специальных горно-геологических компьютерных технологий и систем, в том числе с использованием трёхмерных моделей месторождений и рудных тел.

4. Определяют геологическую изученность объекта и квалификацию запасов и минеральных ресурсов в основном только в зависимости от плотности сети, а российская – в первую очередь от сложности геологического строения месторождения и его геолого-промышленного типа, которые в комплексе влияют на набор категорий запасов, выбор необходимого комплекса геологоразведочных работ и плотности сети.

5. Оценивают извлекаемые запасы с учётом потерь и разубоживания (только стандарт ООН предусматривает забалансовые запасы), а российская – в недрах, без учёта потерь и разубоживания, с разделением запасов по балансовой принадлежности (экономическому значению), извлекаемые (эксплуатационные) запасы российской классификацией не предусмотрены, а вводятся методическими рекомендациями ГКЗ [4].

6. Предусматривают в основном только два кондиционных показателя (минимальное содержание полезного компонента в элементарной ячейке и размеры элементарной ячейки блочной модели), величины которых выбираются произвольно и пересматриваются в зависимости от изменения экономической ситуации без регулирования со стороны государства, а российская – комплекс показателей кондиций, который обосновывается в процессе специальных исследований, проходит коллегиальную экспертную проверку,

3. Сопоставление основных критериев, используемых при квалификации запасов в России и минеральных ресурсов за рубежом по категориям геологической изученности

Параметры	Стандарты CRIRSCO	Российский стандарт
Точность и достоверность исходных данных	Оценивается качество геологоразведочных работ: топографической основы; привязки горных выработок и скважин; буровых работ (диаметр и интервалы бурения, выход керна и др.); горных работ; опробования; пробоподготовки; аналитических исследований (соблюдение методики аналитических исследований, оценка соответствия современным требованиям точности); определения объёмной массы; других факторов, влияющих на достоверность оценки запасов (ни один из факторов не контролирует квалификацию минеральных ресурсов и запасов, каждый фактор влияет на конечный результат)	
Проверяемость исходных данных	Учитывается (обычно сохраняются журналы документации предшествующих разведочных работ, вторые половинки керна или истёртых образцов и др., поэтому отсутствие данных какого-либо периода снижает категорию)	Могут не учитываться (кern и дубликаты проб часто утрачиваются или уничтожаются) при наличии результатов опробования, описания методики опробования и результатов внешнего и внутреннего геологического контроля анализов, в подсчёте и при квалификации запасов на равных используются современные и ретроспективные данные без учёта возможности их проверки
Непрерывность минерализации	Учитывается (геологическими наблюдениями и геостатистическими исследованиями (с учётом расстояния между пробами))	Учитывается (геологическими наблюдениями и статистическими исследованиями (без учёта расстояния между пробами); геостатистическими исследованиями (с учётом расстояния между пробами) на всех месторождениях при подсчёте блочным моделированием и на единичных месторождениях при подсчёте традиционными методами)
Однородность геологического строения, выдержанность условий залегания и др.	Учитывается (выделением доменов по вариографии (участки рудных тел, приуроченные к обособленным тектоническим блокам, но не отличающиеся по вариографии и статистическим параметрам оруденения в отдельные домены не выделяются), лито- и петрографическому составу вмещающих пород, статистическим параметрам (изменчивости мощности и содержания), основным показателям качества и технологическим свойствам)	Учитывается (выделением подсчётных блоков однородных по геологическому строению (степени изменчивости мощности и содержания, внутреннему строению и вещественному составу рудных тел), приуроченности к единому структурному элементу, в том числе тектоническому блоку, ограниченному нарушениями, основным показателям качества (средней мощности и среднему содержанию), технологическим свойствам и горнотехническим условиям разработки)
Плотность разведочной сети	Учитывается (математически в 3D формате с жёстко регламентированным предельно допустимым отклонением)	Учитывается (графически в 2D формате с нерегламентируемым предельно допустимым отклонением от номинала)
Степень изученности параметров, определяющих количество и качество руд	Учитывается (плотностью разведочной сети, 3D геометрией проб, расстоянием от центра до ближайшего композита, диапазоном вариограммы, ограничением минимального и максимального количества проб, необходимого для квалификации)	Учитывается (плотностью разведочной сети, ограничением минимального количества проб, необходимого для подсчёта запасов в блоке)

Окончание табл. 3

Соответствие плотности разведочной сети сложности геологического строения месторождения	Учитывается (визуальным сопоставлением непрерывности геологических структур, содержаний, мощности с результатами многовариантного вариограммного анализа, данными отладки и проверки качества конфигурации кригинга (дисперсия и эффективность кригинга, наклон линии условной погрешности и др.), а также сопоставлением с сетями более детально изученных ближайших (по строению, обстановке нахождения и, по возможности, географически) месторождений-аналогов)	Учитывается (анализ геологических данных, формы и условий залегания рудных тел, содержаний, мощности на участках детализации сети и эксплуатационных материалов по данному или аналогичным месторождениям)
Разумная перспектива экономической добычи	Учитывается (вводятся браковочные кондиции (мощности и содержания (cut-off и cut-off grade), учитывающие предполагаемый способ отработки; строится оптимизированный контур карьера с учётом существующих на момент оценки и прогнозируемых в долгосрочной перспективе цен на минеральное сырьё; минеральные ресурсы по степени изученности подразделяются на 3 категории, экономически значимая часть ресурсов двух наиболее изученных категорий относится к запасам, минеральные ресурсы наименее изученной категории (Inferred) в запасы не переводятся независимо от экономического значения)	Учитывается (вводятся браковочные кондиции (минимальная мощность рудного тела, максимальная мощность внутри рудного пустого прослоя, бортовое содержание полезного компонента и др.), учитывающие предполагаемый способ отработки; строится оптимизированный контур карьера с учётом сложившихся (на протяжении последних 3–5 лет, предшествующих оценке) цен на минеральное сырьё; запасы подразделяются на: 4 независимые категории по степени геологической изученности; 2 группы по экономическому значению (балансовые/забалансовые), категория изученности экономически не перспективных на момент оценки запасов не понижается; 2 группы в зависимости от изученности технологических, горно-геологических, экологических и других факторов (оценённые и разведанные))
Экстраполяция	Учитывается (возможность и параметры экстраполяции жёстко регламентированы в зависимости от категории минеральных ресурсов и запасов)	
Метод квалификации запасов	Блочное моделирование (геостатистический анализ)	Графический в 2D формате и(или) блочное моделирование (геостатистический анализ)
Основные классификационные параметры	Группа месторождения по сложности геологического строения; геолого-промышленный тип месторождения	
	Качество геологоразведочных работ; степень уверенности в геологоразведочных данных, геологической интерпретации, геометризации рудных тел; равномерность и густота распределения данных (плотность, равномерность и выдержанность разведочной сети); изменчивость, выдержанность содержания полезного компонента и мощности рудных тел; соотношение параметров вариограммы, разведочной сети и опробования; результаты проверки качества конфигурации кригинга (наклон регрессии, эффективность кригинга и др.); сопоставимость моделей, построенных разными методами; количество проб, попадающих в элементарную ячейку блочной модели; количество выработок, данные которых применяются для оценки средних значений параметра; количество прогонов, достоверно оценивающих элементарную ячейку блочной модели	

утверждается уполномоченным государственным органом, изменяется также с ведома этого органа и регулирует отношения государства (собственника недр) и недропользователя.

7. Определяют границу рудного тела (подсчёта запасов и минеральных ресурсов) при отсутствии геологических критериев без серьёзного обоснования по заключению компетентного лица, как правило, по содержанию в пробе, равному примерно половине предполагаемого в зависимости от экономической конъюнктуры, содержания компонента в элементарной ячейке блочной модели, а российская – по обоснованному вариантами геолого-экономическими расчётами комплексу показателей кондиций, учитывающих законодательство и комплекс геологических, экономических, горно-технических, экологических и других условий, проверенных и утверждённых уполномоченным государственным органом.

8. Производят квалификацию и подсчёт минеральных ресурсов и запасов в области предполагаемого развития промышленного оруденения без требований к жёсткой геометризации промышленных контуров, а российская осуществляет это на основе выделения жёстких границ рудных тел по показателям кондиций с использованием ошибки геометризации (определения границ рудных тел) запасов в качестве одного из ведущих показателей их изученности.

9. Не регламентируют размеры подсчётных блоков, а российская – ограничивает их максимальные размеры для запасов категории **A, B** и **C₁**.

10. Во главу угла при оценке запасов и минеральных ресурсов ставят только инвестиционную прозрачность и экономическое обоснование эксплуатации месторождения, а российская дополнительно учитывает необходимость полного использования недр и проведения в государственных интересах инвентаризации запасов и их учёта, в том числе и на основании геологических факторов (сложности геологического строения).

Сопоставлять с категориями зарубежных минеральных ресурсов и запасов желательно только запасы, утверждённые ГКЗ, и прогнозные ресурсы, апробированные профильным НИИ, уполномоченным для этих целей Роснедра. Факт прохождения запасами государственной экспертизы подтверждается экспертными заключениями, протоколами, утверждёнными в установленном порядке, и включением запасов в Государственный Баланс. Факт апробации прогнозных ресурсов подтверждается экспертными заключениями, протоколами, утверждёнными в установленном порядке, и постановкой прогнозных ресурсов на государственный учёт. Так называемые «авторские» оценки запасов и прогнозных ресурсов, как правило, нежелательно сопоставлять из-за их частого несоответствия нормативно-методическим документам, регламентирующим подсчёт и квалификацию запасов и прогнозных ресурсов в России, и оптимистичной, завышенной

оценки качества и количества полезного ископаемого, инвестиционной привлекательности объекта.

Примерное соотношение категорий запасов и прогнозных ресурсов российской классификации и системы оценки с категориями запасов и минеральных ресурсов шаблона CRIRSCO приведено в табл. 4. Данное соотношение несколько отличается от рекомендуемого ГКЗ [6] в части большего учёта стадийности геологоразведочных работ и сложности геологического строения месторождений.

Балансовые и забалансовые (при условии, что последние имеют реальные перспективы рентабельного освоения в обозримый период) запасы категории **A, B, C₁** и **C₂** и прогнозные ресурсы категории **P₁** (при реальной перспективе рентабельного освоения в обозримый период) могут рассматриваться в качестве близкого эквивалента минеральных ресурсов в зарубежных стандартах по причине идентичного набора требований к выделению категорий. Как правило, балансовые и забалансовые (при условии, что последние имеют реальные перспективы рентабельного освоения в обозримый период) запасы категории **A, B** на месторождениях 1–2 групп сложности геологического строения и **C₁** по месторождениям 3 и 4 групп сложности геологического строения на стадии опережающая и сопровождающая эксплуатационная разведка, а также на участках детализации, созданных на стадии разведка, могут быть сопоставлены по геологической изученности с **измеренными (Measured)** минеральными ресурсами.

Балансовые и забалансовые (при условии, что последние имеют реальные перспективы рентабельного освоения в обозримый период) запасы категории **C₁** при отсутствии на месторождениях 1–2 групп сложности запасов категории **A** и (или) **B** (стадия оценка), 3–4 групп сложности участков детализации (стадия оценка, разведка) и частично **C₂** на месторождениях 1–4 групп сложности при наличии по рудному телу запасов категории **C₁** (стадия оценка и разведка) сопоставляются с **выявленными (Indicated)** минеральными ресурсами.

Балансовые и забалансовые (при условии, что последние имеют реальные перспективы рентабельного освоения в обозримый период) запасы категории **C₂** частично на месторождениях 1–4 групп сложности при отсутствии категории **C₁** (стадия оценка), а также в полном объёме прогнозные ресурсы категории **P₁** (при реальной перспективе рентабельного освоения в обозримый период) сопоставляются по изученности с **предполагаемыми (Inferred)** минеральными ресурсами.

Запасы категории **C₂** могут учитываться при планировании разработки месторождения. В зарубежных системах соответствующие им **предполагаемые** минеральные ресурсы не отражаются в составе запасов полезного ископаемого в официальных документах.

Прогнозные ресурсы категории **P₂** и **P₃** соответствуют понятию **результаты геологических исследований (Exploration Results, Exploration Target,**

4. Возможное соотношение запасов и прогнозных ресурсов российской классификации и системы оценки твёрдых полезных ископаемых с минеральными ресурсами и запасами шаблона CRIRSCO

Категории российской классификации и системы оценки	Категории шаблона CRIRSCO
Прогнозные ресурсы категории P_3 и P_2	Результаты геологических исследований (Exploration Results, Exploration Target, Exploration Potential)
Прогнозные ресурсы категории P_1^*	Предполагаемые (Inferred) минеральные ресурсы
Балансовые и забалансовые** запасы категории C_2 на месторождениях 1–4 групп сложности при отсутствии категории C_1 (стадия оценка)	
Балансовые и забалансовые** запасы категории C_2 на месторождениях 1–4 групп сложности при наличии по рудному телу запасов категории C_1 (стадии оценка и разведка)	Выявленные (Indicated) минеральные ресурсы
Балансовые и забалансовые** запасы категории C_1 при отсутствии на месторождениях: 1–2 групп сложности запасов категории А и (или) В (стадия оценка); 3–4 групп сложности участков детализации (стадии оценка, разведка)	
Балансовые и забалансовые** запасы категорий: А и В на месторождениях 1–2 групп сложности; C_1 на месторождениях 3–4 групп на стадиях опережающая и сопровождающая эксплуатационная разведка, на участках детализации на стадии разведка, на месторождениях 1–2 групп сложности при наличии по рудному телу запасов категории А и(или) В	Измеренные (Measured) минеральные ресурсы
Балансовые эксплуатационные*** запасы категории C_2 на месторождениях 1–4 групп сложности при наличии по рудному телу запасов категории C_1 (стадии оценка и разведка)	Вероятные (Probable) запасы
Балансовые эксплуатационные*** запасы категории C_1 при отсутствии на месторождениях: 1–2 групп сложности запасов категории А и (или) В (стадия оценка); 3–4 групп сложности участков детализации (стадии оценка, разведка)	
Балансовые эксплуатационные*** запасы категорий: А и В на месторождениях 1–2 групп сложности; C_1 на месторождениях 3–4 групп на стадиях опережающая и сопровождающая эксплуатационная разведка, на участках детализации на стадии разведка, на месторождениях 1–2 групп сложности при наличии по рудному телу запасов категории А и(или) В	Доказанные (Proved) запасы

Примечание. *При реальной перспективе рентабельного освоения в обозримый период; **при условии, что забалансовые запасы имеют реальные перспективы рентабельного освоения в обозримый период; ***эксплуатационные запасы российской классификации не предусмотрены, а вводятся Методическими рекомендациями по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчёта запасов месторождений твёрдых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев), 2007.

Exploration Potential), которые находятся за рамками классификаций, но включены в стандарты геологической отчётности CRIRSCO. Это понятие в зарубежной практике обычно рассматривается не столько с точки зрения количественных характеристик, сколько в качестве показателя потенциальной рудоносности перспективной площади или района. На основе результатов геологических исследований после проведения более детальных геологоразведочных работ могут быть получены минеральные ресурсы или запасы.

Полный эквивалент **вероятным** и **доказанным** запасам в трактовке зарубежных стандартов в россий-

ской классификации отсутствует. Наиболее близки к ним балансовые запасы категории **А, В, C_1 и C_2** , но в отличие от **вероятных** и **доказанных** запасов, последние определяются без учёта охранных целиков, потерь и разубоживания. Однако эксплуатационные балансовые запасы категории **А, В, C_1 и C_2** (последние частично в зависимости от обоснованности и уверенности выделения и только аналог категории **выявленные (Indicated)** ресурсы), которые подсчитываются уже с учётом потерь и разубоживания при определении технико-экономических показателей проекта разведочных кондиций в российской системе оценки, являются

наиболее близким аналогом **вероятных** и **доказанных** запасов в зарубежных стандартах. Набор критериев для квалификации **вероятных** и **доказанных** запасов аналогичен набору критериев, используемых для квалификации балансовых эксплуатационных запасов. Однако российской классификацией понятие эксплуатационных запасов не предусмотрено. Оно вводится Методическими рекомендациями ГКЗ [4]. При этом следует отметить некоторые различия, обусловленные тем, что эксплуатационные запасы в российской системе должны определяться и с учётом критерия максимального использования недр, в первую очередь в интересах государства.

Аналогом **вероятных (Probable Reserves)** запасов можно рассматривать эксплуатационные балансовые запасы разведанных и оценённых месторождений 1–4 групп сложности категории C_2 (при наличии по рудному телу запасов категории C_1), а также C_1 при отсутствии на месторождениях: 1–2 групп сложности запасов категории **A** и (или) **B** (стадия оценка); 3–4 групп сложности участков детализации (стадии оценка, разведка). Аналогом **доказанных (Proved Reserves)** запасов полезного ископаемого в зарубежных стандартах можно рассматривать эксплуатационные балансовые запасы разведанных месторождений категории **A**, **B** (1–2 группа сложности) и C_1 (месторождения 3 и 4 группы сложности геологического строения на стадии опережающая и сопровождающая эксплуатационная разведка, а также на участках детализации, созданных на стадии разведка).

Понятие забалансовые запасы, которые в перспективе могут быть переведены в балансовые, классификациями CRIRSCO не предусматривается. Эквивалент потенциально экономических запасов в зарубежных системах входит в состав минеральных ресурсов с сохранением категории по геологической изученности при условии, что они имеют достаточно реальные перспективы рентабельного освоения в обозримой перспективе, но не могут быть переведены в запасы на момент проведения оценки по причинам, не связанным с геологической изученностью.

Приведённое приравнивание категорий российской и CRIRSCO систем несколько отличается от мнения ГКЗ [6], однако, как и точка зрения ГКЗ, не является механическим и должно производиться на основе профессиональных и аргументированных решений применительно к конкретным геологическим, горнотехническим, географо-экономическим и другим особенностям каждого месторождения (что обусловлено многообразием видов твёрдых полезных ископаемых, геолого-промышленных типов и геолого-структурных условий локализации месторождений) и специфике геологоразведочных работ по его изучению.

Количество, качество и контуры тел полезного ископаемого в сопоставимых по изученности категориях

русской и зарубежных классификаций могут быть одинаковыми только при наличии геологических границ рудных тел.

В сопоставимых по изученности категориях русской и CRIRSCO классификаций при отсутствии геологических границ фактически сравниваются разные объёмы полезного ископаемого. Причины – различный подход к выбору параметров для оконтуривания и разная методика оконтуривания тел полезного ископаемого в русской и зарубежных системах оценки, даже если подсчёт ведётся одним и тем же (геостатистическим) методом. В результате количество, качество и контуры тел полезного ископаемого в сопоставимых по изученности категориях русской и CRIRSCO классификаций практически всегда разные при отсутствии геологических границ.

Понимание содержания и причин различия русской и зарубежных систем классификации и оценки запасов способствует:

1. Росту доверия со стороны международных финансовых кругов к русской системе оценки запасов в условиях растущего международного взаимодействия в области недропользования и глобализации рынков сырья и капитала.

2. Выработке согласованного единого подхода специалистов при переводе оценок запасов из русской в зарубежные системы и наоборот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Классификация запасов и прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых*. Утверждена приказом МПР РФ от 11.12.2006 г. № 278.
2. *Кодекс JORC*. AusIMM. Перевод А.А.Немытова (группа IMC Montan). 2012.
3. *Методические рекомендации по применению Классификации запасов и прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых*. – М.: ГКЗ РФ, 2007.
4. *Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчёта запасов месторождений твёрдых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев)*. – М.: ГКЗ РФ, 2007.
5. *Рекомендации к составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по технико-экономическому обоснованию кондиций и подсчёта запасов твёрдых полезных ископаемых с использованием блочного моделирования на месторождениях различного морфологического типа*. – М.: ГКЗ РФ, 2015.
6. *Руководство по гармонизации стандартов отчётности России и CRIRSCO*. – М.: ГКЗ РФ, 2010.
7. *Требования фондовых бирж Лондона и Торонто к техническим отчётам по месторождениям твёрдых полезных ископаемых* / Отв. ред. К.А.Пшеничный. Перевод. – СПб.–М.: НАЭН, 2012. <http://www.gold.lprime.ru/bulletin/analytics/show.asp?id=7934>

Аномальная структура геохимического поля золоторудного месторождения Чертово Кoryто (Патомское нагорье)

Р.Ю.ГАВРИЛОВ (Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ФГАОУ ВО НИ ТПУ); 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30)

Приведены результаты обработки геохимических данных по первичным ореолам золоторудного месторождения Чертово Кoryто методами математической статистики. Основу исследования составили данные анализов сколовых проб керна вертикальных разведочных скважин. Установлено концентрически-зональное строение аномальной структуры геохимического поля месторождения. Построена обобщённая модель геохимической зональности. *Ключевые слова:* золото, Ленский рудный район, аномальная структура геохимического поля, геохимическая зональность, математическая статистика.

Гаврилов Роман Юрьевич
кандидат геолого-минералогических наук



GavrilovRY@tpu.ru

Anomalous structure of the geochemical field of the Chertovo Koryto gold deposit (Patom upland)

R.Yu.GAVRILOV (Tomsk Polytechnic University, TPU)

The results of processing geochemical data on the primary dispersion halos of the Chertovo Koryto gold deposit using the methods of mathematical statistics are presented. The study was based on the data from analyses of chip core samples from vertical exploration wells. The concentric zonal structure of the anomalous geochemical field at the deposit has been established. A generalized model of geochemical zonality has been constructed. *Key words:* gold, Lena ore district, anomalous geochemical field structure, geochemical zonality, mathematical statistics.

В последнее десятилетие поисковая геохимия переживает бурные времена из-за внедрения новых методов и методик обработки геохимической информации [2, 4, 5, 7, 9, 19–21]. В первую очередь это связано с проведением работ в более сложных горно-геологических условиях, что требует применения нестандартных решений, зачастую более трудозатратных и, как следствие, дорогостоящих, но позволяющих выйти на конкретный объект с оценкой прогнозных ресурсов и подсчётом запасов соответствующих категорий [6]. Стандартные наборы методов обработки фактического материала не всегда позволяют получать адекватную информацию об объекте исследования [8]. Уникальные месторождения золота (Олимпиадинское, Наталка, Сухой Лог и др.) уже открыты и эксплуатируются, а для регулярного наращивания запасов металла недостаточно проводить их переоценку, необходимо открытие десятков крупных–мелких месторождений или перевод ресурсов в промышленные категории уже известных объектов. Всё это применительно к российской геолого-

разведочной отрасли делает жизненно необходимым использование в прогнозно-поисковой практике нетрадиционных подходов.

Одной из основ успешного прогнозирования месторождений полезных ископаемых является разработка геохимических, минералогических, геофизических, структурно-динамических и других моделей месторождений. Процесс создания корректной модели месторождения зависит от качества фактического материала, методов его обработки, интерпретации и квалификации исполнителя. В настоящее время существующими методами обработки геохимических данных возможно успешно переинтерпретировать имеющийся банк аналитической информации второй половины прошлого столетия.

В 2006–2007 гг. на золоторудном месторождении Чертово Кoryто силами сотрудников Томского политехнического университета под руководством профессора И.В.Кучеренко на основе хозяйственно-договорных отношений с ООО «Тонода» (дочерней компанией

ОАО «Ленская золоторудная компания», г. Бодайбо) проводились полевые исследования с отбором каменного материала [1, 10, 11, 15–17].

Ранее геохимические исследования месторождения выполнялись в двух направлениях: 1) в плане реконструкции геологической истории металлов в рудовмещающей черносланцевой толще [11] и 2) в плане выявления объёмной структуры геохимического ореола, пространственно-временных и причинно-следственных соотношений с ним рудных тел [10].

Было показано, что комплексный рудовмещающий золото-серебро-мышьяковый геохимический ореол месторождения представляет собой плоскую объёмную фигуру, ориентированную вдоль рудоконтролирующего и раствороподводящего разлома, погружающуюся под углом 10° – 20° в западном направлении, сложенную метасоматически изменёнными осадочными породами, вмещающую рудную залежь в области наиболее высоких концентраций металлов [11].

Цель настоящей работы – создание модели аномальной структуры геохимического поля (АСГП) месторождения Чертово Кoryто для выявления дополнительных поисковых критериев золоторудных объектов в терригенно-карбонатных толщах. Выявление аномальной структуры геохимического поля в пространстве осуществлялось с применением двух принципиальных подходов: первый основан на выделении ассоциаций элементов и анализе их распределения в пространстве, второй – на выделении областей пространства по тождественности геохимических характеристик.

При разработке модели АСГП использовались статистические расчёты ранговой корреляции, энергии рудообразования, дисперсии и вариации геохимического спектра элементов, выполнялся кластерный и факторный анализы.

В работах [11, 17] приведены сведения о геологической позиции и строении месторождения. Ниже приводится краткая характеристика объекта исследования.

Месторождение Чертово Кoryто располагается на севере Иркутской области в северной части Патомского нагорья (рис. 1) и является типичным представителем мезотермального золотого оруденения в терригенно-карбонатных породах [11].

Вмещающая оруденение раннепротерозойская толща углеродистых терригенных сланцев михайловской свиты образует брахисинклинальную складку с пологим (10° – 20°) падением слоёв. Южное направление падения слоев на севере сменяется на западное и далее на север-северо-западное на юге месторождения. Брахискладка рассекается тектоническим швом северо-северо-западного простирания, оперяющим Амандракский глубинный разлом. Свита сложена метаморфизованными до эпидот-амфиболитовой фации песчаниками, алевролитами, аргиллитами, подвергшимися воздействию гидротермального метасоматизма пропилит-березитового типа. Рудовмещающие метасоматиты

содержат многочисленные сульфидно-кварцевые прожилки и сульфидную вкрапленность пирита, пирротина, арсенопирита и других минералов, встречающихся гораздо реже. Рудная залежь оконтурена по данным непрерывного опробования и прослежена вдоль разлома на расстояние 1800 м, имеет максимальную мощность около разлома до 140 м. Залежь полого погружается на запад, постепенно выклиниваясь. Её протяжённость по падению достигает 500 м.

При детальном изучении 4 литологических разрезов (БЛ 7, 8а, 19, 30) не установлено взаимосвязи в распределении золота и литологических разностей пород, то есть литологический контроль оруденения отсутствует [10].

На месторождении Чертово Кoryто проведено разведочное бурение вертикальных колонковых скважин по сети 50×50 м и подсчитаны запасы категорий C_1 и C_2 . В основу работы положены результаты опробования керна скважин. Секционное керновое опробование проводилось для определения содержания золота, а секционное сколковое – для определения содержания золота и его элементов-спутников, а также характера их поведения в пределах рудной зоны. Длина керновых проб составляла в среднем 1 м, а секций сколкового опробования при вариациях длины от 1 до 9 м, в среднем – 3 м.

Пробы на золото анализировались пробирным методом в лабораториях дочерних предприятий Ленской золоторудной компании – ООО «Тонода» и ОАО «Первенец»; чувствительность метода 0,1 г/т. Содержание золота определялось также атомно-абсорбционным методом, и им же проводился контроль результатов, полученных пробирным анализом; чувствительность метода 0,01 г/т. Геохимические пробы анализировались на содержание 28 элементов эмиссионным спектральным приближенно количественным анализом в лаборатории Бодайбинской геологоразведочной экспедиции. Наибольший интерес представляют результаты определения Ba, Be, Zr, Mn, Ti, V, Cr, Ni, Co, Cu, Pb, Zn, Sn, Mo, Li, Sr, Ag, As, Y, P, B. Элементы La, Nb, Sb, W, Bi, Yb, Tl в связи с низкой чувствительностью анализа не обнаружены, либо вариации их содержаний характеризуются одним-двумя значениями, что не позволяет использовать их при статистической обработке геохимических данных. Золото в секционных сколковых пробах анализировалось химико-спектральным анализом; чувствительность метода 0,01 г/т.

Для расчёта статистических показателей по элементам-спутникам золотого оруденения были использованы анализы 4124 сколковых проб по керну скважин. Расчёт фоновых содержаний элементов проводился по стандартной методике с использованием результатов анализов 170 проб, отобранных из керна двух скважин, расположенных на периферии месторождения.

Содержания рудных элементов (Au, As, Ag, Pb, Zn, Cu, Co, Ni) в первичных ореолах рассеяния характеризуются неоднородным распределением.

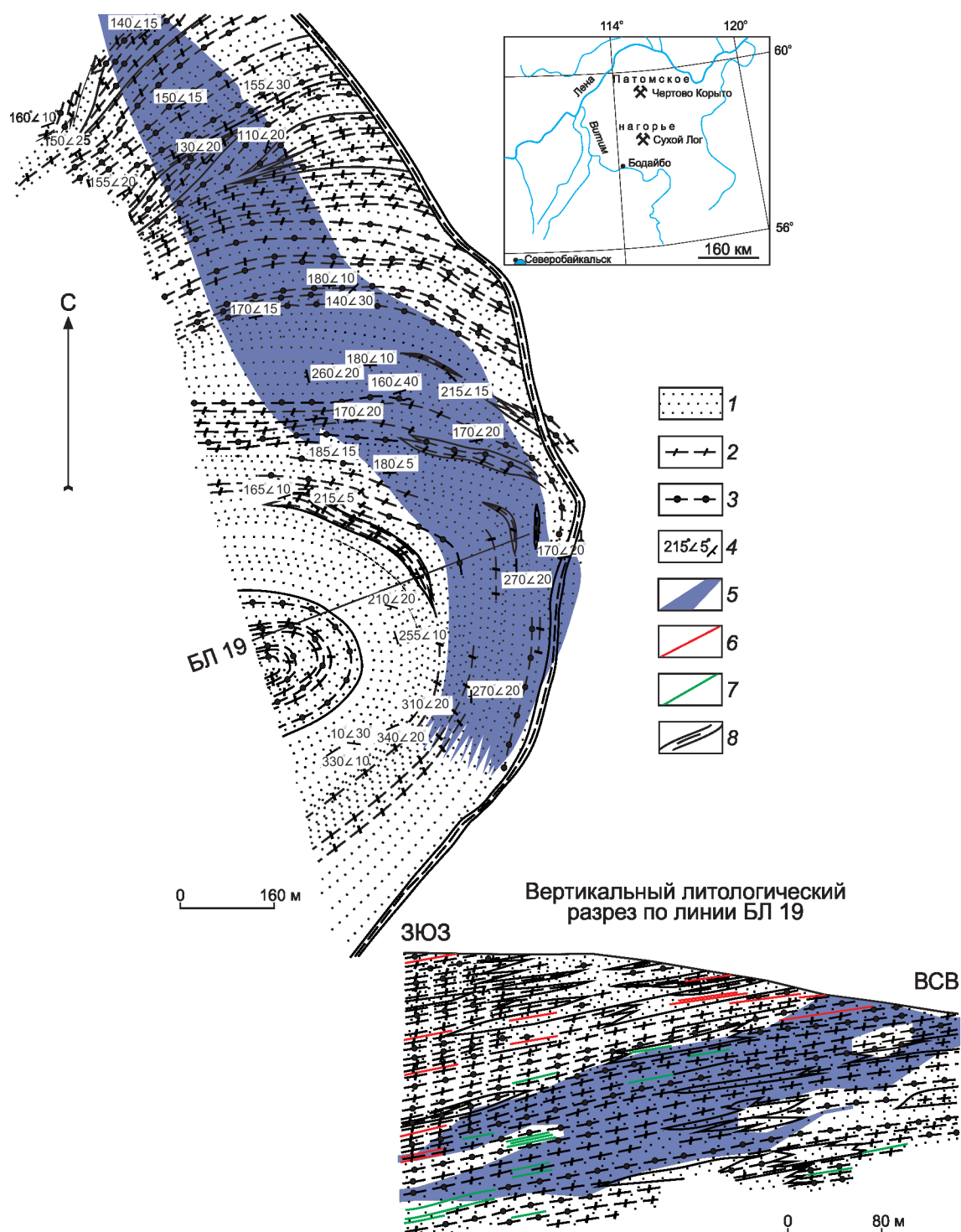


Рис. 1. Схема геологического строения месторождения Чертovo Кoryто:

плохо отсортированные: 1 – серые до тёмно-серых, от тонко- до среднезернистых, неяснослойчатые грубослоистые полевошпат-кварцевые песчаники, алевро-песчаники, углеродистые и безуглеродистые и 2 – тёмно-серые разномзернистые, от мелко- до крупнозернистых тонкослойчатые до грубослоистых полевошпат-кварцевые алевролиты, песчаные алевролиты, углеродистые и безуглеродистые; 3 – аргиллиты серицитовые с незначительным (до 25 об.%) содержанием или отсутствием обломочной фракции песчаной и(или) алевритовой размерности, углеродистые и безуглеродистые; 4 – азимут и угол падения слоёв; 5 – область сульфидной минерализации; 6 – зоны тонкого расщепления и дробления пород; 7 – тыловые зоны (хлоритовая, альбитовая, березитовая) рудовмещающего метасоматического ореола; 8 – рудоконтролирующий разлом

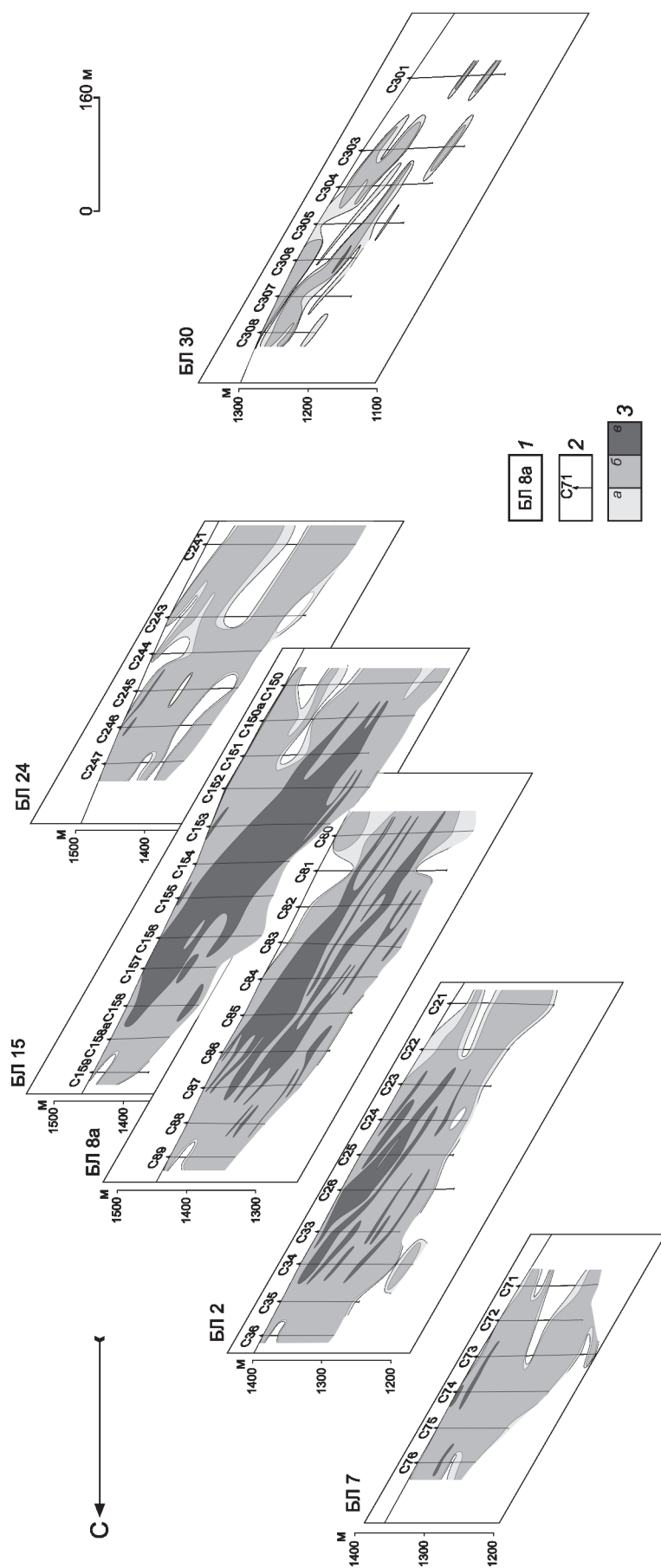


Рис. 2. Блок-диаграмма распределения золота в рудовмещающем метасоматическом ореоле месторождения [10]:

1 – буровые линии и их номера; 2 – разведочные скважины и их номера; 3 – содержание золота (в г/т): а – >0,1, б – 0,1–1, в – <1

Блок-диаграмма распределения золота, построенная на основе результатов кернового опробования, даёт наглядное представление о характере поведения металла в месторождении (рис. 2). Содержание золота в рудном теле колеблется от $n \times 0,01$ до $n \times 100$ г/т. В центральной части наблюдается максимальная мощность рудного тела с наиболее высокими содержаниями золота. По периферии залежь представлена отдельными маломощными выклинивающимися рудными линзами с более низкими содержаниями металла. Пробность золота закономерно возрастает в ряду верхний→средний→нижний уровень оруденения, изменяясь в пределах от 744 до 971‰, при среднем значении 852‰.

Среди элементов-спутников золотого оруденения наиболее контрастные аномалии в крупнообъёмном метасоматическом ореоле создают As, Ag и Pb. Высококонтрастные ореолы As, на несколько порядков превышающие фоновые значения, в центральной части рудной зоны пространственно совпадают с контурами рудной залежи. В южной и северной частях ореол As простирается согласно рудной зоне, существенно выходя за её пределы. Аномальные концентрации Ag частично совпадают с высококонтрастными ореолами золота. В целом контрастные ореолы Ag с содержаниями, превышающими фоновые значения в сотни раз, хорошо коррелируют с рудной минерализацией. Ореол Pb ведёт себя в объёме рудной залежи неоднозначно, находясь как в контуре рудного тела, так и на его периферии. Его максимальные значения содержания более чем в 300 раз превышают фоновые.

В результате изучения взаимосвязи между рудными элементами методом *ранговой корреляции* установлено, что все рудные элементы (Au, As, Ag, Pb, Zn, Cu, Co, Ni) имеют друг с другом значимую положительную связь. Наибольшими значениями взаимосвязи отличаются Ag, Pb, Zn ($r > 0,32$), при $r_{\text{крит.}} = 0,03$ для пятипроцентного уровня значимости. Образующие в пределах месторождения контрастные аномалии Ag и As также обладают высоким значением корреляционной связи между собой ($r = 0,27$). Содержание золота, определённое по сколовым геохимическим пробам химико-спектральным анализом, несмотря на наличие лишь 30% проб, превышающих порог обнаружения анализа, проявляет устойчивую взаимосвязь с распределением содержания мышьяка ($r = 0,25$). Тем не менее в силу целого ряда причин (уровень концентрации, предел обнаружения и др.) результаты определения золота по сколкам и керну скважин, за исключением кластер-анализа переменных, при дальнейших расчётах статистических показателей не использовались. Таким образом, методом ранговой корреляции установлен высокий уровень взаимосвязи между рудными элементами.

Рассчитаны показатели, характеризующие интенсивность процессов гидротермально-метасоматического рудообразования: *энергия рудообразования* и *дисперсия*, а также *вариация геохимического спектра*.

Расчёт энергии рудообразования осуществлялся путём суммирования произведений коэффициентов концентрации каждого элемента на их логарифмические значения [14]. Фоновые значения показателя варьируют в пределах от –1 до 2 ед. и в объёме рудной залежи фиксируются крайне редко. В рудном теле величина показателя достигает 10^4 ед. и более. В целом значения показателя энергии рудообразования напрямую зависят от содержания доминирующего элемента – As.

Метод, обеспечивающий оценку степени дифференциации вещества по геохимическому спектру единичной пробы, был предложен И.И.Выборовым и С.Г.Быстровым [3]. В основе расчёта показателей дисперсии (ДГС) и вариации (ВГС) геохимического спектра лежат стандартные формулы дисперсии и вариации нормированных содержаний элементов. В окружающем крупнообъёмный метасоматический ореол пространстве фоновые значения ДГС не превышают значений $0,1$ ед. В пределах рудной залежи его значения существенно возрастают, достигая в отдельных пробах 10^5 ед. и более. Основной вклад в аномальные значения ДГС вносит As, что и обусловило взаимосвязь в распределении их ореолов.

В пределах рудного тела значения показателя ВГС изменяются от $0,1$ до 450% и выше, при фоновых значениях, не превышающих 40%. Несмотря на то, что вариация является производной функцией от дисперсии, оба показателя несут различную генетическую информацию [13]. Аномальные значения ВГС не всегда совпадают с аномалиями ДГС. Этот факт подтверждается и на примере месторождения Чертово Корыто. Высококонтрастные ореолы показателя ВГС маркируют границу минерализованной зоны, что, очевидно, обусловлено резкой разницей в концентрации элементов в пределах рудного тела и его обрамления. В целом можно констатировать, что минерализованная зона месторождения характеризуется крайне неравномерным распределением содержаний элементов, и прежде всего, рудных, с $\text{ВГС} > 140\%$.

Исключение из расчёта показателей энергии рудообразования ДГС и ВГС мышьяка приводит как к уменьшению значений показателей на несколько порядков, так и к резкому сокращению объёма, занимаемого их высококонтрастными ореолами в пределах месторождения.

Таким образом, аномальные значения показателей интенсивности процессов рудообразования соответствуют объёму, занимаемому минерализованной зоной. Однако они не позволяют без дополнительных операций (разбивки элементов на ассоциации по определённому принципу) расшифровать АСПП месторождения.

С использованием *кластер-анализа* построена иерархическая структура корреляционных взаимосвязей элементов (рис. 3). Элементы объединились в следующие группы: 1) Au, As, B, Sr, P, Mo; 2) Ag, Zn, Pb; 3) Li, Co, Sn, Cu, Ni, Cr, V, Mn; 4) Ti, Y, Zr, Be, Ba.

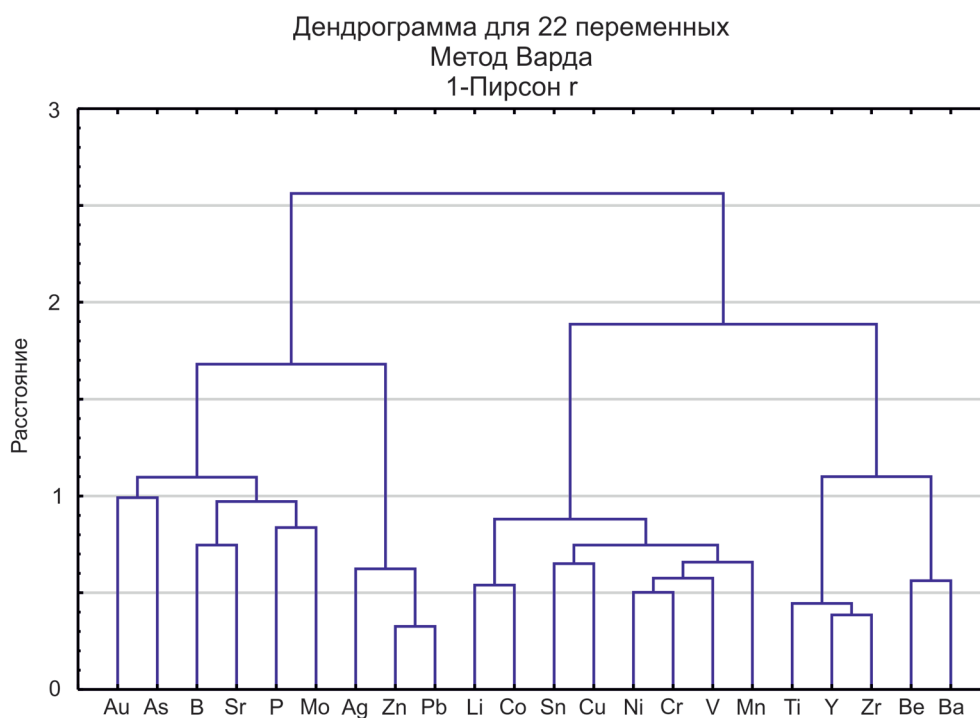


Рис. 3. Результаты кластер-анализа по первичным ореолам рассеяния

Методом К-средних проведено разделение 4124 наблюдений (проб) на 7 кластеров. При статистических расчётах использовались коэффициенты концентрации (КК) элементов. Во всех классах проб, за исключением 4-го, наибольшими концентрациями отличается мышьяк. В первом и втором классах преобладают As (до 800 КК), Pb (до 4,9 КК) и Ag (до 3,3 КК), что обусловило их пространственное совмещение с высококонтрастными ореолами золота. Третий класс проб, также отличающийся высокими содержаниями мышьяка, в целом тяготеет к периферии рудного тела. Для геохимического спектра четвёртого кластера характерна высокая концентрация (в порядке убывания) Ag, Pb, Zn и As. Пробы кластера распространены в пределах рудного тела и отражают пространственное расположение галенит-халькопирит-сфалеритовой минерализации. Пятый и шестой кластеры характеризуются близкими значениями концентрации элементов, отличаясь лишь содержанием мышьяка. Тем не менее пробы пятого кластера располагаются за пределами контура рудного тела или внутри контуров «пустых» прослоев, а пробы, характеризующие геохимический спектр шестого кластера, практически полностью отсутствуют внутри контура рудного тела и характеризуют слабоизменённые вмещающие породы. Концентрации элементов в седьмом кластере отличаются самыми низкими значе-

ниями, а пробы данного кластера эпизодически появляются как в контуре рудного тела, так и вне его.

Выявленные в кластерах ассоциации элементов позволили провести разделение проб на «породные» (5–7 кластеры) и «рудные» (1–4 кластеры). По результатам кластер-анализа установлено зональное строение геохимического ореола месторождения, выразившееся в изменении геохимического спектра пород и руд от крайне неоднородного в ядерной зоне (As до 800 КК, Pb до 4,9 КК, Ag до 3,3 КК) вплоть до фоновых значений концентрации элементов во фронтальной.

Для уточнения ассоциаций элементов и расшифровки АСПП проведён *факторный анализ*. Было выделено три ассоциации элементов, суммарный вклад которых в общую дисперсию составляет 43%. Геометризация значений факторов проиллюстрирована на примере разведочной линии БЛ 15 (рис. 4).

Ассоциация элементов Ba, Be, Zr, Ti, Y характерна для фронтальной зоны гидротермально-метасоматического ореола и отражает процесс выноса элементов из его центральной зоны на периферию в процессе березитизации.

Распределение значений первого фактора обусловлено привнесом в метасоматический ореол Cr, Ni, Co, Cu, Mn, V, Sn, P на этапе завершения березитизации и их вытеснением из центральной зоны в последующие

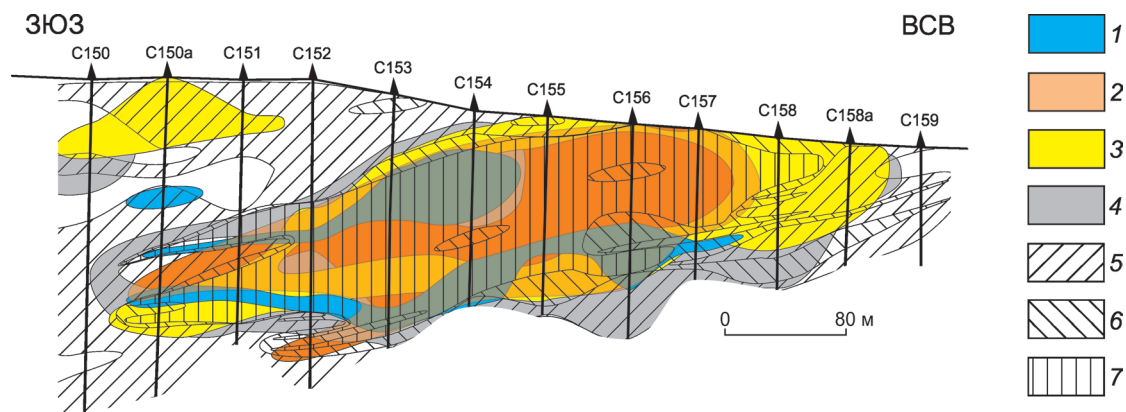


Рис. 4. Схема распределения геохимических ассоциаций элементов на основе факторного анализа:

1–4 – геохимические ассоциации: 1 – Au-Ag-Pb-Zn, 2 – Au-As, 3 – Cr-Ni-Co-Cu-Mn-V-Sn-P, 4 – Ba-Be-Zr-Ti-Y; 5–7 – содержание золота (в г/т): 5 – >0,1, 6 – 0,1–1, 7 – <1

стадии рудоотложения. По данным минералого-геохимического картирования, As концентрируется в ядерной зоне в форме арсенопирита. Ассоциация Pb, Zn, Ag связана с образованием наиболее позднего продуктивного полиметаллического минерального комплекса.

На основе статистической обработки геохимических данных, с использованием показаний минералого-геохимического картирования составлена обобщенная модель геохимической зональности месторождения (рис. 5).

Установленные геохимические ассоциации согласуются со схемой стадийности минералообразования [1].

Ранняя Ba-Be-Zr-Ti-Y ассоциация элементов, выщелоченных и переотложенных в процессе кислотного метасоматоза (кварц-рутил-пирит-пирротиновый комплекс), окаймляет периферию минерализованной зоны. В промежуточной зоне метасоматического ореола распространена Cr-Ni-Co-Mn-V-Sn-P-(As) геохимическая ассоциация, обусловленная образованием кварц-пирит-арсенопирит-пирротинового комплекса, завершающего безрезитизацию. Отложение Au-As ассоциации происходило в более позднее время с образованием арсенопирита в составе кварц-пирит-арсенопиритового с золотом минерального комплекса. Пространственное совмещение ореола мышьяка и золоторудной минерализации нарушается в краевых частях месторождения, в связи с чем использование мышьяка в качестве элемента-индикатора в отдельных случаях представляется затруднительным. Наиболее поздняя ассоциация Au-Ag-Pb-Zn-Cu полиметаллической с золотом стадии рудообразования (золото, галенит, сфалерит, халькопирит) приурочена к центральной части метасоматически измененных пород. Схожая картина геохимической зональности наблюдается и в других месторождениях [2, 12, 18].

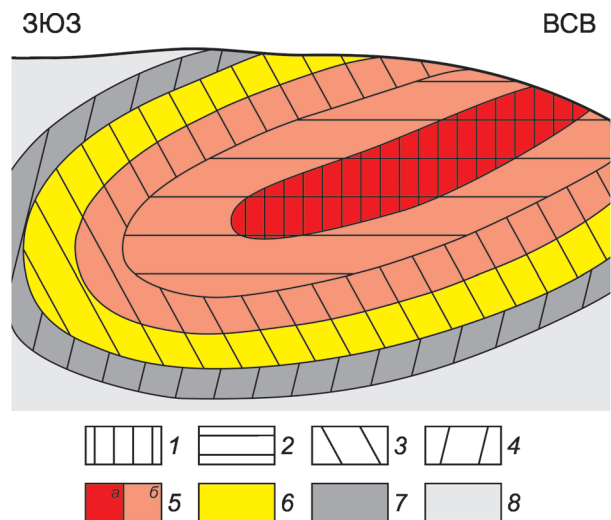


Рис. 5. Обобщенная модель геохимической зональности месторождения Чертово Кoryто:

обобщенная модель геохимической зональности месторождения Чертово Кoryто: 1–4 – минеральные комплексы/геохимические ассоциации от поздних к ранним: 1 – кварц-полиметаллический с золотом/Au-Ag-Pb-Zn-Cu, 2 – кварц-пирит-арсенопиритовый с золотом/Au-As, 3 – кварц-пирит-арсенопирит-пирротиновый/Cr-Ni-Co-Mn-V-Sn-P-(As), 4 – кварц-рутил-пирит-пирротиновый/Ba-Be-Zr-Ti-Y; 5–7 – зоны метасоматического ореола: 5 – центральная: подзоны: а – полиметаллическая и б – мышьяковая, б – промежуточная, 7 – фронтальная; 8 – вмещающие породы

Характер распределения геохимических ассоциаций элементов позволил сделать вывод о концентрически-зональном строении геохимического поля месторождения, что выражено в закономерной смене последовательно формирующихся геохимических ассоциаций элементов и зон гидротермально-метасоматического ореола (от периферии к центру): Ва-Be-Zr-Ti-Y/фронтальная, Cr-Ni-Co-Mn-V-Sn-P-(As)/промежуточная, Au-As и Au-Ag-Pb-Zn-Cu/центральная.

Применённый комплекс методов обработки геохимической информации совместно с использованием данных минералого-геохимического картирования [1] обеспечил расшифровку аномальной структуры геохимического поля золоторудного месторождения Чертово Кoryто.

Установленную геохимическую зональность возможно использовать на ранних стадиях геологоразведочного процесса как по первичным геохимическим ореолам, в том числе единичным горным выработкам и скважинам, так и по вторичным ореолам с поправкой на подвижность элементов в процессе гипергенеза.

Автор благодарит Валерия Гавриловича Ворошилова за ценные замечания и предложения, существенно улучшившие содержание статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагина (Синкина) Е.А. Минеральные комплексы руд и генезис золоторудного месторождения Чертово Кoryто (Патомское нагорье) // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. № 1. С. 63–69.
2. Ворошилов В.Г. Аномальные структуры геохимических полей гидротермальных месторождений золота: механизм формирования, методика геометризации, типовые модели, прогноз масштабности оруденения // Геология рудных месторождений. 2009. Т. 51. С. 3–19.
3. Выборов С.Г., Быстров И.И. Опыт использования комплексного показателя нарушенности геохимического поля для прогнозирования оруденения // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 1990. № 4. С. 102–110.
4. Григоров С.А. Генезис и динамика формирования Наталкинского золоторудного месторождения по данным системного анализа геохимического поля // Руды и металлы. 2006. № 3. С. 44–48.
5. Григоров С.А. Основы структурной интерпретации геохимических полей рудных объектов для целей их локализации и оценки // Отечественная геология. 2007. № 4. С. 45–52.
6. Иванов А.И. Опыт прогнозирования, поисков и оценки новых золоторудных месторождений в Бодайбинском рудном районе // Отечественная геология. 2008. № 6. С. 11–16.
7. Иванов А.И. Особенности применения традиционных методов поисков месторождений рудного золота в сложных горно-таежных ландшафтах // Отечественная геология. 2013. № 6. С. 12–20.
8. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1983.
9. Ионно-сорбционный метод литохимических поисков скрытых полиметаллических месторождений: общие принципы, опыт применения / С.А.Миляев, С.Г.Кряжев, Ю.В.Виленикина // Руды и металлы. 2017. № 2. С. 60–68.
10. Объёмная геолого-геохимическая модель мезотермального золоторудного месторождения Чертово Кoryто (Патомское нагорье) / Р.Ю.Гаврилов, И.В.Кучеренко, В.Г.Мартыненко, А.В.Верхозин // Известия Томского политехнического университета. 2009. Т. 315. № 1. С. 30–43.
11. Петролого-геохимические черты рудовмещающего метасоматического ореола золоторудного месторождения Чертово Кoryто (Патомское нагорье) / И.В.Кучеренко, Р.Ю.Гаврилов, В.Г.Мартыненко, А.В.Верхозин // Известия Томского политехнического университета. 2008. Т. 312. № 1. С. 11–20.
12. Плющев Е.В., Шатов В.В. Геохимия и рудоносность гидротермально-метасоматических образований. – Л.: Недра, 1985.
13. Поцелуев А.А., Быстров И.И., Гаврилов Р.Ю. Показатели дисперсии и вариации геохимического спектра как критерии неоднородности геохимического поля / Прикладная геохимия. Вып. 3. // Прогноз и поиски. – М.: ИМГРЭ, 2002. С. 419–428.
14. Сафронов Н.И., Мецераков С.С., Иванов Н.П. Энергия рудообразования и поиски полезных ископаемых / Под ред. Н.И.Марочкина. – Л.: Недра, 1978.
15. Синкина Е.А., Гаврилов Р.Ю. Объёмная модель пирротиновой минерализации золоторудного месторождения Чертово Кoryто, Патомское нагорье // Руды и металлы. 2018. № 1. С. 54–63.
16. Синкина Е.А., Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю. Типоморфизм пирротинов золоторудного месторождения Чертово Кoryто (Патомское нагорье) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2017. № 1. С. 58–65.
17. Структурно-динамическая модель золоторудных месторождений, образованных в несланцевом и черносланцевом субстрате. Ч. 2. Месторождение Чертово Кoryто (Патомское нагорье) / И.В.Кучеренко, Р.Ю.Гаврилов, В.Г.Мартыненко, А.В.Верхозин // Известия Томского политехнического университета. 2009. Т. 314. № 1. С. 23–38.
18. Чеквадзе В.Б., Миляев С.А. Эндогенные ореолы сидерофильных элементов золоторудных месторождений // Руды и металлы. 2009. № 6. С. 15–20.
19. Chemical diagenesis in near-surface zone above oil fields in geochemical exploration / I.S.Sobolev, N.P.Bredikhin, T.Brater et al. // Applied Geochemistry. 2018. Vol. 95. P. 33–44.
20. Kristiansson K., Malmqvist L. Trace elements in the geogas and their relation to bedrock composition // Geoexploration. Vol. 24. 1987. P. 517–534.
21. TEM study of geogas-transported nanoparticles from the Fankou lead-zinc deposit, Guangdong Province, South China / X.Wei, J.Cao, R.F.Holub et al. // Journal of Geochemical Exploration. 2013. Vol. 128. P. 124–135.

Использование минералого-геохимических методов при поисках золотоносных кор выветривания в различных геолого-геоморфологических обстановках

Т.П.ЗУБОВА, А.Н.КРАСНОВ, Е.А.ЧЕРЕМИСИНА (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

Рассматривается комплекс методических подходов геологических исследований при поисках золотоносных кор выветривания; приводятся примеры проведения поисков по вторичным ореолам рассеяния в комплексе с шлихо-геохимическим опробованием. Показаны особенности применения методов в зависимости от различных геолого-геоморфологических обстановок формирования золотоносной коры выветривания.

Ключевые слова: кора выветривания, золото, литохимическая съёмка по вторичным ореолам рассеяния, шлихо-геохимическое опробование.

Зубова Татьяна Петровна

zubova@tsnigri.ru

Краснов Антон Николаевич



krasnov@tsnigri.ru

Черемисина Екатерина Алексеевна

cheremisina@tsnigri.ru

Features of prospecting for gold-bearing crusts of weathering in various geological and geomorphological environments

T.P.ZUBOVA, A.N.KRASNOV, E.A.CHEREMISINA (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals)

A set of methodological approaches to geological studies in the search for gold-bearing crusts of weathering is considered; examples of the search for secondary scattering halos in combination with the concentrate-geochemical sampling are given. Features of method application depending on various geological and geomorphological formation conditions of gold-bearing crust of weathering are shown.

Key words: crust of weathering, gold, lithochemical survey by secondary scattering halos, concentrate-geochemical sampling.

Месторождения золота в корях выветривания в современных условиях вполне обоснованно рассматриваются как наиболее доступные и более дешёвые для освоения по сравнению с коренными рудами. Занимая своё промежуточное положение в ряду коренной источник–кора выветривания–россыпь, они телескопируют в себе черты рудной минерализации, при этом претерпевая гипергенные изменения, являются, в свою очередь, промежуточным коллектором для россыпей золота. В связи с этим на стадии поисков золотоносных кор выветривания (ЗКВ), особенно остаточных, применяются литохимические поиски по вторичным ореолам. Однако при этом необходимо учитывать особенности геолого-геоморфологического строения района работ, которые определяют степень их образования и сохранности в современных условиях.

Наиболее благоприятная обстановка для формирования и сохранности кор выветривания (КВ) создавалась в пределах площадных региональных морфоструктур длительной стабилизации, к которым относятся пенеплены.

В морфоструктурах, испытавших на неотектоническом этапе умеренные, реже интенсивные поднятия, поверхности выравнивания сохранились фрагментарно и подняты на различную высоту. На пенепленизированных водоразделах коры выветривания сохраняются в седловинах и понижениях, связанных с зонами повышенной трещиноватости и карстом.

В горных районах наибольший интерес для поисков ЗКВ представляют борта межгорных впадин, где мощности аккумулятивных толщ, заполняющих впадины, небольшие – до 10–15,0 м.

Комплексный геолого-геоморфологический анализ поисковых площадей позволяет в пределах крупных рельефоформирующих площадных морфоструктур выделить локальные эрозионно-структурные и денудационно-структурные депрессии, благоприятные для формирования и сохранности кор выветривания различных морфогенетических типов. Как правило, депрессии наследуют древние отрицательные пликативные разрывные структуры (грабен-синклинали, грабены). Особый интерес представляют депрессии, контуры которых совпадают с рудоконтролирующими разломами или участками развития погребённого карста.

Поиски и изучение ЗКВ авторы проводили в разных геолого-геоморфологических обстановках, что накладывало свои особенности на геологоразведочные работы. На их начальной стадии всегда, особенно на закрытых территориях, исследовалась россыпная золотоносность, предполагая пространственную и генетическую связь россыпей золота с корами выветривания. По архивным материалам анализировались данные о строении россыпей: литологический и минералогический составы торфов и песков, степень их глинистости, строение плотика, его состав, наличие в нём зон минерализации, типоморфизм золота и др. Результатом этого анализа является составление макета карты-прогноза исследуемой территории с целью выделения участков, перспективных на ЗКВ. В качестве примера приведены результаты анализа россыпей Ивдельской площади, расположенной в Ауэрбах-Краснотурьинской металлургической зоне (Северный Урал).

Для **Ивдельской площади** характерно наличие нескольких уровней *пенепленизации* с сохранившимися корами выветривания (остаточными и перетолженными) триас-юрского возраста. Мощность перекрывающих коры выветривания палеоген-четвертичных рыхлых отложений разного генезиса (делювиально-пролювиальных, элювиальных, аллювиальных) составляет в среднем 3 м, а в отдельных впадинах 10 м.

В районе ещё с начала XIX в. отрабатываются мелкозалегающие россыпи золота: делювиально-пролювиальные, аллювиальные. Иногда при эксплуатации россыпей в отработку вовлекались и золотоносные коры выветривания, в отдельных штучных пробах из которых были установлены содержания золота от 0,7–4,2 г/т.

Кварцевые жилы ранее рассматривались как единственный источник золота для россыпей Ивдельского района, являвшихся в свою очередь объектом старательской добычи в 1930-х годах на мелких месторождениях: Травянское, Троицкое, Екатерининское, Грань, Шешинское и др. На водораздельных пенепленизированных поверхностях с широко развитыми корами выветривания отработка проводилась горными выработками: шурфами, неглубокими шахтами с рассечками, из которых извлекали руду, состоящую из дезинтегрированных обохренных глыб, обломков кварца, которые

тут же дробили и промывали. Район считался бесперспективным на поиски рудного золота иного типа, кроме золото-кварцевого. Тем не менее в той же металлургической зоне находится расположенное южнее Воронцовское месторождение с развитой мощной ЗКВ по прожилково-вкрапленной золото-сульфидной формации [6] с золото-пирит-арсенопиритовой минерализацией.

Коренные породы в пределах Ивдельской площади представлены вулканогенно-терригенными комплексами, аналогичными рудовмещающим на Воронцовском месторождении: андезито-базальтовыми, вулканогенно-карбонатно-терригенными ранне-среднедевонского возраста, которые секутся дайками основного состава. Как и на месторождении, развита система протяжённых субмеридиональных разломов с оперяющими разрывными нарушениями и зонами надвигов, создавая обстановку, благоприятную для локализации золотого оруденения в зонах тектонических контактов карбонатных и силикатных пород и развития по ним коры выветривания, которая проникает до глубины 100–150 м.

Анализ материалов поисково-разведочного бурения россыпей Троицкая, Преображенская, Шапша, Шайтанка позволил установить следующее:

1. Плотиком россыпей являются известняки и кора выветривания по вулканогенно-осадочным породам и дайкам диабазов, с которыми связаны известные кварцевые жилы Екатерининская, Петровская, Шешинская, Грань.

2. Весь комплекс палеозойских пород подвергся выветриванию. Поверхность известняков закарстованная, неровная с выступами и углублениями, заполненными мезо-кайнозойскими глинистыми отложениями, формирующими отдельные изолированные полосы и линзы. Глины жёлтого, красно-бурого цветов, каолинового, гидрослюдисто-каолинового состава, часто присутствуют стяжения гидроксидов железа и марганца. Содержания золота в карстовых отложениях колеблются от 92 до 1544 мг/м³, в редких случаях до 5689 мг/м³, характер распределения золота весьма неравномерный. Мощность золотоносных интервалов достигала 9 и более метров.

3. По вулканогенно-осадочным породам палеозоя, вмещающим кварцевые жилы, развита остаточная структурная глинистая и щебнисто-глинистая пестроцветная кора выветривания гидрослюдисто-каолинового состава, мощность которой более 27 м (разведочные скважины на россыпи не вошли в коренные породы).

4. Наиболее продуктивная часть россыпей приурочена к контакту вулканогенно-осадочных и карбонатных пород среднего девона, осложнённого тектоническими нарушениями меридионального простиранья. На этих участках образовалась контактово-карстовая кора выветривания мощностью более 50 м. Протяжённость зон

с КВ составляет несколько километров. Так, в долине р. Шапша она протягивается на 4200 м при ширине 100–300, иногда 700 м.

5. По данным промывки проб при поисково-разведочных работах на россыпи, содержания золота в остаточной и контактово-карстовой коре выветривания составляли по отдельным интервалам 133, 225, 303, 670, 1005 и 3061 мг/м³.

6. Технологические исследования золотых песков, проведённые в ЦНИГРИ в 1968 г., установили, что в россыпях по Ивдельской площади встречается золото трёх видов:

- 1) извлекаемое гравитационным способом (76,5%);
- 2) свободное тонкое, получаемое в результате амальгамации хвостов гравитационной обработки (0,1%);
- 3) связанное; по результатам пробирного анализа его количество составляет 23,4% от общего объёма золота в пробе, по отдельным пробам варьирует от 5,4 до 97,1%. То есть характер распределения золота по классам крупности в песках весьма неравномерный, в отдельных интервалах присутствует много тонкого золота. Высокие содержания «связанного» золота отмечаются в пробах с низким содержанием шлихового золота и в основном приурочены к фракциям –2,5+0,1 мм – 58,5% и –0,1 мм – 34,2%.

Полученное при промывке песков гравитационное золото преимущественно комковидной формы. Его окатанность низкая, встречаются также неокатанные зёрна в сростании с сахаровидным кварцем, окисленным пиритом. На поверхности зёрен в ямчатых углублениях часто отмечаются плёнки гидроксидов железа. В классе –0,25 мм золото представлено пластинчатыми, таблитчатыми, чешуйчатыми, брусковидными, палочковидными, ветвистыми золоти́нами. До 5% зёрен покрыто плёнками гидроксидов железа. Пробность золота из россыпей колеблется от 890 до 920%.

Морфология золота из коры выветривания аналогична золоту из россыпей, отличием является то, что до 50% золоти́н покрыты плёнками гидроксидов железа. Пробность золота из КВ несколько ниже, чем в россыпи – 887–898%, в продуктах её переотложения – 891–898%.

7. В шлиховых пробах из четвертичных россыпей, кроме основных минералов – ильменита, магнетита, циркона, гидроксидов железа – в отдельных пробах отмечаются примеси пирита разной морфологии и степени окисления, знаки киновари, обломки пород со следами метасоматических изменений в виде серицитизации, окварцевания.

С учётом выявленного комплекса поисковых признаков ЗКВ был составлен макет прогнозной карты Ивдельской площади, на которую с буровых разрезов по россыпям рек Троицкая, Преображенка, Шапша, Шайтанка были вынесены все подсечения коры выветривания. На основании состава пород плотика выделены типы КВ (остаточная и карстовая), локализована

область их распространения, а также по результатам промывки выделены участки россыпей с повышенными содержаниями золота. Большое внимание было уделено морфологии золота, его гранулометрии, окатанности, анализировались закономерности распространения мелкого–тонкого золота, его количество, наличие сульфидов, гидроксидов железа, киновари, обломков пород с признаками метасоматических изменений, результаты опробования коренных пород, если таковые были.

На составленном макете прогнозной карты были намечены участки проведения литохимической съёмки по вторичным ореолам рассеяния, места заложения горно-буровых выработок. По результатам проведённых работ выявлены ЗКВ (остаточные, контактово-карстовые, карстовые), развитые не только по золото-кварцевой минерализации, но и по прожилково-вкрапленной золото-кварц-сульфидной пирит-арсенопиритовой (рис. 1) с содержаниями золота от 0,5 до 3,0 г/т [4]. В монофракциях окисленного пирита (анализ методом ICP-MS) содержания золота составляли 29,2, 56,7 и 67,4 г/т (см. таблицу).

Из керновых проб параллельно пробирному анализу отбирались пробы на минералогический анализ; интервалы с содержанием золота, определённые разными методами, не совпадали. В пробах с самородным золотом размером 0,5–3,0 мм результаты пробирного анализа имели значение <0,2 г/т или 0,02–0,08 г/т по химико-золото-спектральному анализу. В интервалах с большим количеством гидроксидов железа и окисленного пирита самородное золото отсутствовало или присутствовало в виде мелких единичных знаков (0,05–0,25 мм), при этом данные пробирного анализа превышали 0,5 г/т. Полученные результаты свидетельствуют о нескольких типах рудной минерализации и необходимости комплексного опробования КВ.

При проведении поисковых работ в пределах Ивдельской площади попутно были опробованы строительные и отработанные на бокситы карьеры, в стенках которых среди выходов трещиноватых мраморизованных известняков встречались многочисленные линейные крутопадающие зоны остаточной коры выветривания, развитые по прослоям туфов и дайкам габбро, долеритов. Практически во всех шлихоминералогических пробах присутствовало самородное золото размером 0,05–0,3 мм от 1 до 15 знаков. Кроме золота, в составе проб отмечались пирит разной степени окисления, халькопирит, киноварь, обломки окварцованных, серицитизированных вулканогенных пород, барит, альбит. По данным ICP-MS, в обломках окварцованных тёмно-зелёных вулканогенных пород содержания золота составили 15,2 и 11,0 г/т, отмечались повышенные значения мышьяка, свинца.

В строительном карьере на участке Талый в линейных крутопадающих зонах, состоящих из глинистого ожелезненного материала, были выявлены содержания

золота от 2,4 до 12,5 г/т, в среднем 6 г/т на вертикальный интервал 11 м. В шлиховых пробах присутствовало самородное золото (>200 знаков) размером 0,05–0,2 мм в виде кристаллов, гемиморфных выделений, неокатанное, иногда в сростании с пиритом. Вместе с золотом в шлиховых пробах встречался пирит разной морфологии и степени окисления с содержанием золота до 629 г/т (по ICP-MS), киноварь.

Проведённые севернее участка детальных работ литохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния масштаба 1:50 000, сопровождаемые отбором шлиховых проб, подтвердили продолжение выявленных ранее минерализованных зон с золотоносной корой выветривания. На участках геохимические аномалии Au, As пространственно совпадали с минералогическими ореолами самородного золота рудного облика, окисленного пирита разной морфологии, гидроксидов железа (>20%), обломками кварц-полевошпатового состава, киновари. Присутствие гидроксидов железа в больших количествах свидетельствовало о сильных окислительных процессах в зоне гипергенеза.

Таким образом, установленный комплекс минералогических и геохимических признаков золоторудной минерализации и связанной с ней ЗКВ позволил оценить в пределах Ивдельской площади прогнозные ресурсы золота в коре выветривания категории P_2 , площадь залицензирована.

В условиях *межгорных впадин* с широким развитием аккумулятивных толщ мощностью более 10 м использование литохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния возможно только на отдельных участках, которые выбираются на основе анализа карты условий проведения поисковых работ.

Характерным примером является **Еравненская площадь** (республика Бурятия), расположенная в Еравненской межгорной впадине, где мощность аккумулятивных толщ местами достигала 20 м. В пределах Еравненской площади известны лишь мелкие россыпи и россыпепроявления, в связи с чем анализ россыпной золотоносности не проводился. Коры выветривания были установлены предшественниками по результатам картировочного бурения при геолого-съёмочных, поисковых работах на редкоземельное сырьё и полиметаллы. Наибольший интерес на ЗКВ представляют денудационные останцы в прибортовых частях Еравненской впадины (рис. 2), в пределах которых мощности рыхлых неоген-четвертичных толщ минимальны (до 10 м), что позволяет на доступных глубинах ожидать выявление ЗКВ [2].

Один из поисковых участков – **Сосновский** – расположен в пределах такого денудационного останца, представляющего собой пологосклонную возвышенность с абсолютной высотой 1047 м; превышение над окружающей аккумулятивной поверхностью Еравнинской депрессии составляет 90 м. Денудационный останец сложен вулканогенно-осадочными породами (андезитовые

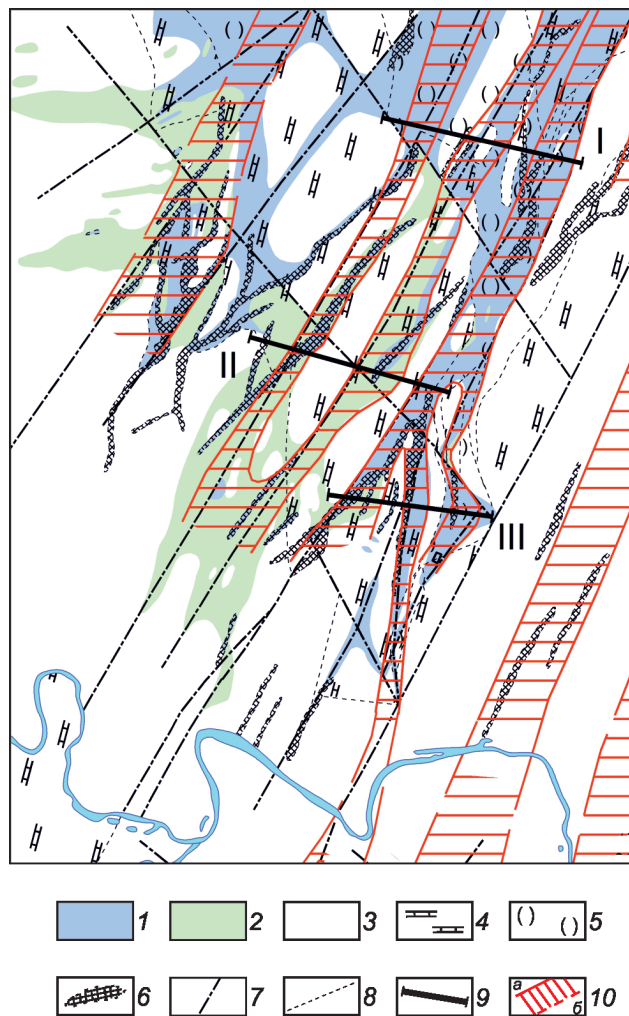


Рис. 1. Схематическая геологическая карта золотоносных кор выветривания одного из участков Ивдельской площади:

1 – остаточная кора выветривания по вулканогенно-осадочным и другим силикатным породам: гидроксидно-гидрослюдистая, гидрослюдисто-каолинистая (галлуазитовая), гидрослюдисто-охристая, гидрослюдисто-охристо-каолинистая (галлуазитовая); 2 – перекристаллизованные коры выветривания контактово-карстового и карстового типов, охристо-каолинистая (галлуазит)-гидрослюдистая, гидрослюдисто-каолинистая; 3 – известняки от светло-серых рифогенных до тёмно-серых, частично битуминозные, мергелистые, иногда кремнистые; 4 – известняки с прослоями известковистых туфов, частично хлоритизированные и эпидотизированные, вблизи зон тектонических нарушений смятые в складки; 5 – туфы, туффиты глинистые, известковистые, известковисто-глинистые; 6 – дайки долеритов; 7 – тектонические нарушения; 8 – границы геологические; 9 – профили горно-буровых работ; 10 – золотоносные минерализованные зоны: а – установленные, б – предполагаемые

Содержание золота (г/т) в концентратах, выделенных из шлиховых проб. По результатам анализа ICP-MS

Минералы	Площади			
	Ивдельская (Северный Урал)	Еравненская (Бурятия)		Ольгинская (Кузнецкий Алатау)
		Участки		
		Сосновский	Белюты	
Окисленный пирит	<u>70,4 (12)</u> 1,6–629,3	Не анализ.	<u>52,7 (2)</u> 47,3–58,0	<u>0,3 (4)</u> 0,15–1,4
Гидроксиды железа	1,0 (1)	<u>80,0 (5)</u> 0,5–360,0	<u>1,3 (8)</u> 0,1–3,0	0,12 (1)
Магнетит	Не анализ.	<u>0,4 (4)</u> 0,1–0,8	Не анализ.	Не анализ.
Кварц-полевошпатовые агрегаты с вкрапленностью окисленного пирита	2,0 (1)	Не анализ.	Не анализ.	0,5 (1)
Окварцованные обломки известняка с вкрапленностью пирита	<u>10 (3)</u> 0,2–29,2	7,0 (1)	Не анализ.	Не анализ.
Окварцованные обломки вулканогенных пород	<u>13,1 (2)</u> 11,0–15,2	Не анализ.	Не анализ.	Не анализ.
Алевро-пелитовая фракция	<u>4,6 (6)</u> 0,4–12,5	4,9(1)	0,8(1)	Не анализ.

Примечание. Числитель – среднее содержание, знаменатель – разброс содержаний в пробах, в скобках – число проанализированных проб.

порфириды, с прослоями песчаников, алевролитов, органиогенных известняков) олдындинской свиты (венд-кембрий), прорванными интрузивными массивами гранодиоритового состава бичуркинского комплекса. В пределах возвышенности сохранилась кора выветривания: площадная щебнисто-глинистая (мощность от 5 до 15 м) и линейная, развитая вдоль тектонических зон и контактов карбонатных и силикатных пород (мощность до 25 м и более).

По результатам литохимических поисков по ВОР масштаба 1:50 000 и 1:10 000 были выявлены контрастные комплексные геохимические аномалии Au, As, Pb, Zn, Cu.

В комплексе с геохимическими были проведены геофизические работы масштаба 1:10 000. По результатам электрического зондирования (ВП) в профильном варианте выделены мультислойные структуры, благоприятные для формирования потенциально рудоносных линейных кор выветривания, мощностью 20–35 м. Методом ВЭЗ-ВП под чехлом рыхлых отложений мощностью 5–10 м откартированы крутопадающие структуры предположительно с сульфидной минерализацией шириной до 50 м.

Геофизические и комплексные геохимические аномалии Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Ba пространственно коррелируют, однако выделяется обособленная группа аномалий золота без элементов-спутников, в пределах которых отмечаются шлиховые пробы с самородным

золотом от одного до 40 знаков размером 0,05–0,2 мм. Вместе с золотом в этих шлиховых пробах присутствовали мартитизированный магнетит, гидроксиды железа с реликтовыми пятнами неокисленных сульфидов, ожелезненные агрегаты серицит-полевошпат-кварцевого, кварц-эпидот-полевошпатового составов, мелкие знаки киновари, обломки кристаллов неокисленного пирита. Магнетит и окисленный пирит, по результатам масспектрометрического анализа (метод ICP-MS), слабо золотосодержащи (0,16–0,2 г/т и менее), в то же время для окисленного пирита характерны высокие содержания Cu, Zn, As, иногда Pb, W, Nb, что указывает на присутствие в зоне окисления полиметаллической минерализации. Исходя из полученной информации, на ранней стадии работ было сделано предположение о присутствии в пределах участка двух типов золоторудной минерализации, по которой формируется кора выветривания: золотосодержащей полиметаллической и золото-кварцевой. Это было подтверждено проведенными в дальнейшем горно-буровыми работами.

По результатам бурения в крест простирания комплексной геофизической и геохимической аномалии Au, Cu, Zn, As, Ba, Pb поисковыми скважинами было вскрыто сечение с золотосодержащей линейно-трещинной КВ. Содержания золота в ней составляли от 0,2 до 22,9 г/т (среднее 4,95 г/т на вертикальный интервал 7,5 м). Было установлено, что ЗКВ сформировалась по гидротермально-метасоматически измененным карбонатным

породам в экзоконтактной части интрузивного диоритового массива, осложнённого тектоническим нарушением. Мощность КВ в линейной зоне достигала 30 м. Золотоносные интервалы представлены интенсивно ожеженным до чёрно-коричневого цвета глинистым материалом, в составе пелитовой фракции преобладает гетит, тяжёлая фракция шлихо-минералогической пробы состоит преимущественно из магнетита, гидроксидов железа и обломков окварцованных пород. Как было установлено, основными носителями тонкодисперсного золота являются: 1) псевдоморфозы гидроксидов железа по сульфидам с содержаниями золота 0,51–35,0–360 г/т, которые коррелируют с аномально высокими значениями Cu, Zn, Pb, As, Ba, часто элементами редкоземельной группы; 2) глинистая фракция (4,85 г/т), на долю которой (по гранулометрическому анализу) приходится 40–80% от массы пробы; 3) окварцованные породы, агрегаты хлорит-кварцевого, хлорит-эпидот-кварцевого состава, в которых отмечается до 7 г/т золота, совместно с повышенными содержаниями Mo и Ba.

Кроме тонкодисперсного золота, присутствует свободное самородное золото (в отдельных пробах более 100 знаков) мелкое, рудного облика, размером 0,05–0,2 мм (90%). Более крупные зёрна класса $-1+0,25$ мм составляют 10%. Золото преимущественно интерстициальное с некорродированной поверхностью ярко-жёлтого цвета, редко в сростании с кварцем, много пластинчатых форм с гладкой блестящей поверхностью.

Анализ керновых проб разными методами при преобладании тонкого и тонкодисперсного золота показал, что наиболее полные содержания золота получены пробирным методом с атомно-абсорбционным окончанием, а минералогический анализ занижил результаты. По результатам испытаний малой лабораторной технологической пробы на концентрате ПКЦ-300 «Бегущая волна» было установлено, что 90% золота уходит в хвосты гравитации. Извлечённое из концентрата самородное золото (100 знаков) не имело веса.

Полученные при поисковом бурении результаты подтвердили присутствие ЗКВ (зоны окисления), развитой по минерализованным зонам с золотосодержащей полиметаллической минерализацией.

Более сложная ситуация для проведения поисковых работ сложилась на расположенном южнее участке **Белюты**, находящемся в менее благоприятных геоморфологических условиях, который на стадии подготовительных работ не рассматривался в качестве приоритетного в связи с отсутствием архивных материалов с признаками золотоносности в его пределах. При проведении литохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния масштаба 1:50 000 были выявлены слабоконтрастные аномалии мышьяка, меди, свинца, серебра, единичные локальные аномалии золота.

Участок Белюты расположен в пределах выровненной аккумулятивно-денудационной равнины (см. рис. 2).

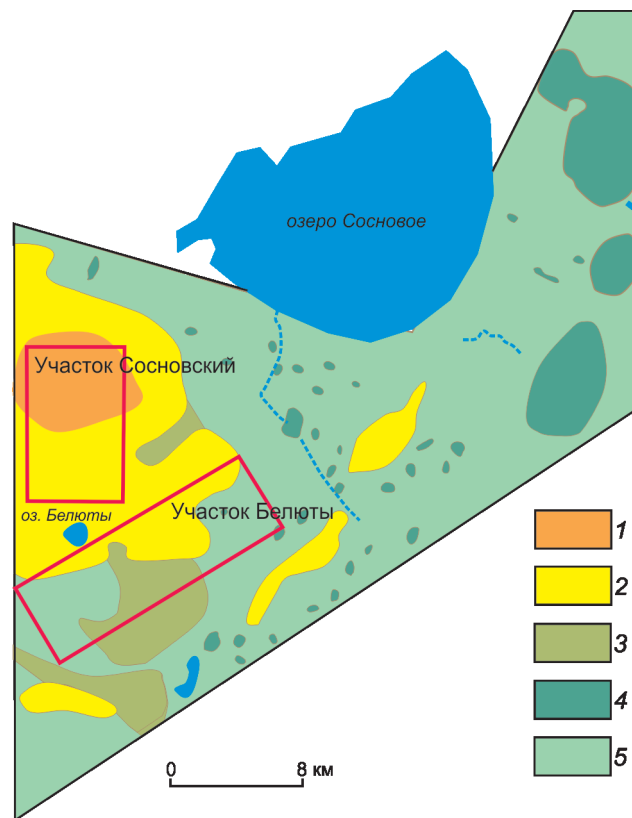


Рис. 2. Фрагмент геоморфологического строения Еравненской площади, Республика Бурятия. По О.А.Агибалову:

1 – денудационные останцы с пологими склонами, плавно переходящие в прилегающие аккумулятивные равнины; 2 – денудационно-аккумулятивный рельеф, выположенные периферийные участки и подножия низкорослых массивов и денудационных останцов, участки с полого холмистым и грядистым рельефом; 3–5 – аккумулятивный и эрозионно-аккумулятивный рельеф: 3 – плоскостные, слабонаклонные, заболоченные падьи и сопряжённые с ними конусы выноса, 4 – блюдцеобразные озёрные котловины, 5 – озёрные, аллювиальные и озёрно-аллювиальные равнины

Современное эрозионное расчленение в его пределах практически отсутствует. Участок представляет собой залесённую и задернованную равнину с пятнистым рисунком озеровидных, часто заболоченных понижений, невысоких (1,0–1,5 м) гряд и сухих русел; фрагментарно на поверхности отмечаются отдельные глыбы и скопления лимонитизированных окварцованных пород, экспонированных на дневную поверхность за счёт вымораживания. Мощность перекрывающих рыхлых отложений более 5,0 м, в отдельных местах достигает 10–20 м.

Учитывая то, что для Еравненской площади одним из поисковых признаков ЗКВ является присутствие

гидроксидов железа (как результат окисления золото-содержащей полиметаллической минерализации), в местах выхода обломков бурого железняка были пробурены поисковые скважины. Результаты опробования одной из первых скважин химико-золото-спектральным анализом выявили в интенсивно ожелезнённом щебнисто-глинистом материале содержания золота от 0,2 до >2 г/т, пробирным методом получены значения до 3,6 г/т (среднее 0,8 г/т на вертикальный интервал 20 м).

Опробование сопровождалось отбором материала на минералогический анализ из второй половинки керна. Результаты промывки минералогических проб на свободное золото не дали положительных результатов. В наименее выветрелых (слабоглинизированных) обломках пород были видны признаки гидротермально-метасоматических изменений в виде участков серицитизации карбонатных пород с вкрапленностью охр лимонита, в том числе и псевдоморфозы по пириту, сростки пирита с тонкими прожилками кварца (рис. 3, Б). Ещё до получения результатов спектрального анализа при просмотре шлихов было сделано предположение о присутствии в разрезе золоторудной минерализации. Шлихо-минералогические пробы на 90–95% состояли из гидроксидов железа тёмно-коричневого цвета, 5% неокисленного пирита, следов галенита, арсенопирита.

Наиболее высокие содержания золота оказались приурочены к интервалам с интенсивным ожелезнением и серицитизацией (см. рис. 3, А). Золоторудная минерализация сопровождалась ореолами мышьяка $100\text{--}600 \times 10^{-3}\%$. В участках, по которым процессы

серицитизации прошли менее глубоко – в виде отдельных пятен и прожилков, – содержания золота составляли 0,02–0,083 г/т, мышьяка – $40\text{--}400 \times 10^{-3}\%$. Основными концентраторами золота в коре выветривания, по результатам ICP-MS, оказались остаточные сульфиды, гидроксиды железа и алевро-пелитовая фракция, состоящая преимущественно из серицита и гетита. Таким образом, было установлено, что на участке Белюты источником ЗКВ были зоны метасоматически изменённых карбонатных пород с золото-пирит-арсенопиритовой минерализацией.

В отдельных скважинах при проведении сокращённого минералогического анализа встречалось свободное самородное золото иногда до 78 знаков, рудного облика, часто в сростании с кварцем, при этом спектральным анализом присутствие золота практически не фиксировалось. Всё это свидетельствует о том, что даже в пределах одного участка формы нахождения золота в КВ очень разнообразны, что необходимо учитывать при выборе оптимального вида аналитических методов с целью достоверного определения содержаний золота в пробах.

На приводимых выше примерах поисков ЗКВ литохимические поиски по ВОР сопровождалась отбором шлихо-минералогических проб. В условиях залесённости и плохой оснащённости территории полученные геохимические аномалии часто бывают слабоконтрастными. Для их усиления и получения оперативной информации о возможных минеральных типах золоторудной минерализации при проведении поисковых работ

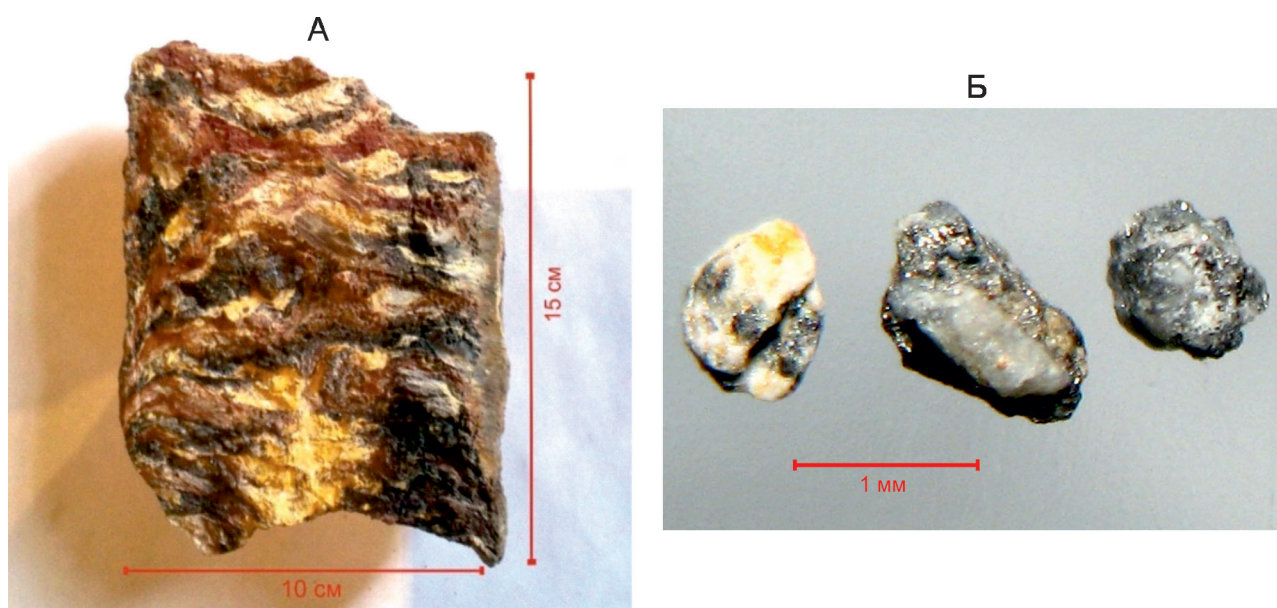


Рис. 3. Пестроцветные бесструктурные глины (А) и пирит в сростках с кварцем из шлиховой пробы (Б) из коры выветривания участка Белюты (Еравненская площадь, Республика Бурятия)

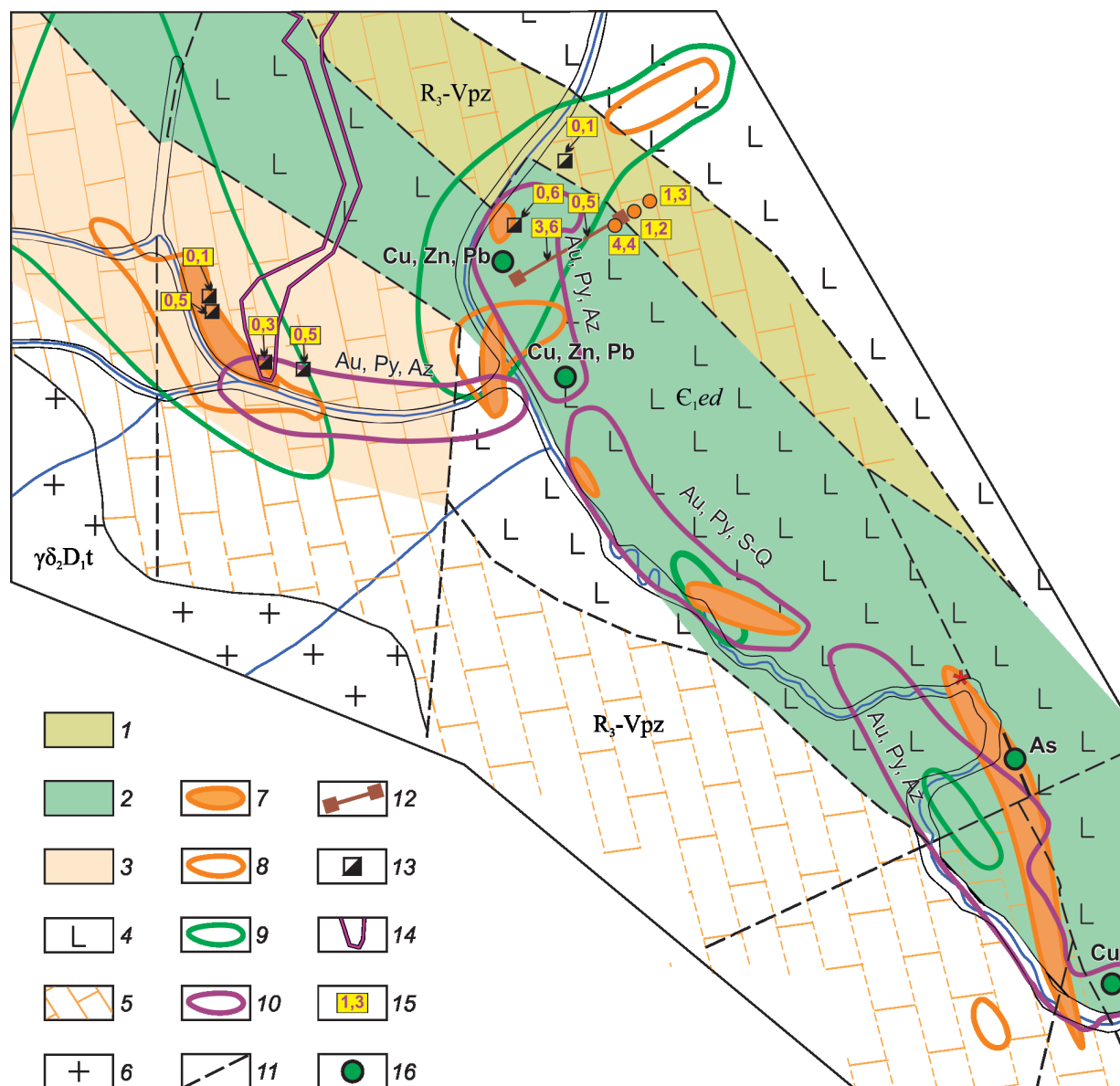


Рис. 4. Результаты минералого-геохимических работ на одном из участков Ольгинской площади Кузнецкого Алатау:

1–3 – золотоносные коры выветривания: 1 – контакто-карстовые, карстовые, образованные по золото-скарновой и золото-кварцевой минерализации, 2 – остаточные линейно-трещинные, образованные по золото-кварц-сульфидной прожилково-вкрапленной минерализации, 3 – карстовые; 4 – кембрийская система, нижний отдел, единисская свита (базальты, андезитобазальты, андезиты, их лавобрекчии, кластолавы, туфы, туффиты, туфопесчаники, редко дациты, прослои известняков), ϵ_{1ed} ; 5 – поздний рифей-венд, пезасская серия (известняки мраморизованные, редко доломиты и мергели мраморизованные, углеродисто-кремнистые сланцы), R_3-Vpz ; 6 – тельбесский (?) монцодиорит-гранодиорит-меланогранитовый комплекс девонского возраста, $\gamma\delta_2D_1t$; 7–8 – геохимические аномалии золота, по данным площадных шлихо-геохимических работ ФГБУ «ЦНИГРИ» (в г/т): 7 – >1 , 8 – 0,1–0,9; 9 – комплексные геохимические аномалии (As, Ag, Pb, Zn) по шлиховым концентратам; 10 – комплексные минералогические ореолы по результатам площадных шлихо-геохимических работ: золото (Au), пирит (Py), серицит-кварцевые агрегаты (S-Q), азурит (Az); 11 – предполагаемые тектонические нарушения; 12 – поисковые линии скважин колонкового бурения; 13 – шурфы ручной проходки; 14 – контур погребённой россыпи; 15 – содержания золота по результатам пробирного анализа (в г/т); 16 – рудопроявления Cu, Zn, Pb, As

на золотоносные коры выветривания в Кузнецком Алатау было проведено площадное шлихо-геохимическое опробование с использованием метода В.Ф.Гуреева

[1, 3], суть которого заключается в том, что из копушей глубиной 0,4–0,6 м, сечением 0,24 м² отбираются вручную шлиховые пробы (0,02 м³). По всем полученным

пробам делается сокращённый минералогический анализ с попутным извлечением самородного золота. В отличие от методики В.Ф.Гуреева, согласно которой спектральным анализом изучались магнитная и электромагнитная фракции, авторы данной статьи отправляли на истирание всю шлиховую пробу с последующим анализом её на золото и элементы-спутники.

Работы проводились на *Ольгинской* площади, в пределах которой развиты пенепленизированные поверхности со склонами разной крутизны и эрозионно-структурная депрессия, заполненная аккумулятивной толщей мощностью до 20 м. Вдоль депрессии заложена долина р. Ольгинка. С учётом геолого-геоморфологического строения территории шлихо-геохимическое опробование было проведено на экспонированных участках по отдельным профилям. При проведении сокращённого минералогического анализа особо отмечались пробы, в которых присутствовали окисленные сульфиды, обломки пород с признаками гидротермально-метасоматических изменений. После визуального изучения шлиховых концентратов они были истёрты и проанализированы на золото и элементы-спутники золото-спектральным и спектральным полуколичественным анализом на 17 элементов (As, Ag, Cu, Pb, Zn, Sb, Bi, Ti, Mn, Cr, Ni, Co, V, Mo, W, Ba, P). Результаты минералогического и спектрального анализов отображены на фрагменте карты Ольгинской площади (рис. 4). Минералогические и контрастные геохимические аномалии Au, As, Ag, Pb, Zn пространственно совпадают. Наиболее отчётливо они проявились в приподнятых блоках с небольшой мощностью рыхлых отложений (1–6 м). На участках, где мощность рыхлых отложений превышала 10 м, аномалии не выявлены. Проведённые горно-буровые работы АО «Запсибгеолсъемка» вскрыли на основе полученных результатов ЗКВ. По одной из траншей выявлены остаточные структурные коры выветривания, развитые по субвулканическим породам среднего состава (андезит-порфирам, их туфам). В шлихоминералогических пробах, отобранных из них, встречаются обломки серицитизированных пород с прожилками и вкрапленностью окисленного пирита размером 0,05–0,2 мм. Содержания золота в этих участках составляли 0,3–0,5 г/т, сопровождалась контрастными ореолами мышьяка. Золото гравитационных классов крупности выявлено не было. Содержания золота в окисленном пирите оказались низкими – 0,15–1,44 г/т, но отношения в нём $Co/Ni > 2$, а $Ce/La < 2$ показывают его соответствие пириту из гидротермальных, золоторудных месторождений [5, 7]. Проведённое в дальнейшем бурение подтвердило правильность этих выводов. Была вскрыта остаточная линейно-трещинная в сочетании с контактово-карстовой КВ с содержаниями золота от 0,5 до 4,5 г/т, образованная по золото-пирит-арсенопиритовой прожилково-вкрапленной минерализации.

Таким образом, геохимическое опробование, сопровождаемое отбором минералогических проб как при

проведении площадных, так и горно-буровых работ, позволяет уже на первых этапах уточнить тип рудной минерализации, сопровождающие её гидротермально-метасоматические изменения, предположить возможные формы нахождения золота, что в свою очередь определяет выбор видов аналитических методов для определения содержаний золота.

В заключение следует отметить, что окислительные процессы, проходящие в зоне гипергенеза, существенно нивелируют визуальные признаки рудной минерализации. Как правило, в ЗКВ источниками золота являются несколько минеральных типов. Золото может концентрироваться в гидроксидах железа, алевро-пелитовой фракции, остаточных сульфидах, обломках пород, а также присутствовать в свободной самородной форме разных классов крупности, в сростках с кварцем, карбонатом. Для получения достоверных содержаний золота из бороздовых и керновых проб необходимо параллельно проводить минералогический и пробирный с атомно-абсорбционным окончанием анализы или более современный пробирный анализ с мокрым отсевом крупного золота. При использовании минералогического анализа, как показано выше, можно оперативно оценить присутствие золота в коре выветривания, а по остаточным минералам, обломкам пород – тип рудной минерализации и сопровождающие её гидротермально-метасоматические изменения, анализируя монофракции – минералы-концентраты золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуреев В.Ф., Гребенчиков А.М. Методические указания по применению минерало-геохимического шлихового метода при поисках золоторудных месторождений. – М.: ЦНИГРИ, 1979.
2. Перспективы золотоносности коры выветривания Еравнинской депрессии (Республика Бурятия) / О.А.Агибалов, Т.П.Зубова, Н.М.Иванов и др. // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных, цветных металлов и алмазов – состояние и перспективы: сб. докладов научно-практической конференции. – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2016. С. 114.
3. Поиски золоторудных месторождений шлиховым минерало-геохимическим методом // Методические рекомендации. – М.: ЦНИГРИ, 1986.
4. Строение и вещественный состав золотоносных кор химического выветривания Кедровско-Ивдельского рудно-россыпного узла, восточный склон Северного Урала / Т.П.Зубова, О.А.Агибалов, Н.М.Иванов и др. // Руды и металлы. 2013. № 4. С. 37–47.
5. Типоморфизм минералов. Справочник / Под ред. Л.В.Чернышевой. – М.: Недра, 1989.
6. Черемисин А.А., Злотник-Хоткевич А.Г. Воронцовское золоторудное месторождение // Руды и металлы. № 1. 1997. С. 59–70.
7. Юргенсон Г.А. Типоморфизм и рудные формации. – Новосибирск: Наука, 2003.

Особенности алмазов в древних осадочных толщах на площадях влияния продуктивных кимберлитовых диатрем

Н.Н.ЗИНЧУК, В.И.КОПТИЛЬ (Западно-Якутский научный центр Академии наук Республики Саха, Якутия (ЗЯНЦ); 678170, г. Мирный, Чернышевское шоссе, д. 16)

На основании обобщения огромного фактического материала по комплексному изучению алмаза дана его характеристика в верхнепалеозойских и мезозойских осадочных толщах Центрально-Сибирской алмазоносной субпровинции, где убедительно показано, что область развития отдельных макроассоциаций алмаза ограничивается конкретным алмазоносным районом, в пределах которого развиты комплексы разновозрастных терригенных и прибрежно-морских верхнепалеозойских и мезозойских отложений.

Ключевые слова: верхнепалеозойские и мезозойские отложения, Сибирская платформа, алмаз и алмазоносные россыпи.

Зинчук Николай Николаевич
доктор геолого-минералогических наук



nnzinchuk@rambler.ru

Коптиль Василий Иванович
кандидат геолого-минералогических наук

nnzinchuk@rambler.ru

Specific features of diamonds from ancient sedimentary thick layers in areas of productive diatreme influence

N.N.ZINCHUK, V.I.KOPTIL (West-Yakutian Scientific Centre of RS (Y) AS)

Based on generalization of large actual material on complex investigation of diamonds, their characterization in Upper Paleozoic and Mesozoic sedimentary thick layers of the Siberian platform is provided. Special attention is paid to the Central-Siberian subprovince; it is validated that the development area of individual diamond macroassociations is limited by a specific diamondiferous region, where complexes of noncoeval terrigenous and coastal Upper Paleozoic and Mesozoic sediments are developed.

Key words: Upper Paleozoic and Mesozoic sediments, Siberian platform, diamond and diamondiferous placers.

В алмазной геологии основным объектом исследований является сам алмаз – очень устойчивый в экзогенных условиях минерал, характеризующийся широким комплексом кристалломорфологических особенностей, отражающих своеобразие термодинамических и геохимических условий его образования и рассматривающихся в качестве типоморфных признаков. Учёт последних при поисках алмазов позволяет проводить районирование исследуемых территорий и на этой основе исключать из опосредования те площади, на которых нахождение алмазоносных кимберлитов маловероятно. Всесторонние исследования алмазов Сибирской платформы (СП) с использованием различных минералогических классификаций [1–8, 12–15, 16, 18] позволили выработать систему анализа их типоморфных особенностей и на этой основе [9, 10, 11, 17] провести минерагеническое районирование платформы в целом

с выделением типов первоисточников алмазов, отвечая при этом на главные вопросы: можно ли ожидать открытия высокоалмазоносных кимберлитов на севере и северо-востоке платформы (включая Анабарский и Кютюнгинский алмазоносные районы), а также на юге и юго-западе (в Иркутской области и Красноярском крае), и где сосредоточить их поиски. Алмазопоскоковые работы на Сибирской платформе ведутся уже более 60 лет. В результате здесь открыто свыше 1000 кимберлитовых тел (трубки, дайки, силлы и жилы) и установлено широкое развитие россыпной алмазоносности в разновозрастных коллекторах различных генетических типов. Кимберлитовые тела сгруппированы в 25 кимберлитовых полях и распределены по площади платформы неравномерно [9, 10, 13–15, 16, 18]. При изучении типоморфных особенностей алмазов авторами [1–3, 6, 9–11, 17] применялась их минералогическая

классификация по комплексу взаимосвязанных признаков и свойств, предложенная Ю.Л.Орловым [13] и в значительной степени основанная на физических свойствах алмазов [6–8, 9, 16]. Согласно этой классификации, выделяется 11 генетических разновидностей алмазов с дополнительным разделением по габитусу и морфологическим типам, отражающим специфику условий их образования (формы роста, растворение и коррозия). Кроме того, исследовались кристалломорфологические особенности алмазов (характер скульптур и двойники-сростки), прозрачность, окраска, пигментация, ожелезнение, фотолюминесцентные особенности, изотопный состав углерода, минералогия и химический состав твёрдых включений, сохранность, трещиноватость и механический износ кристаллов. Такой подход со статистической обработкой огромной базы данных по комплексному изучению алмазов позволил авторам [9–11, 17] выделить четыре типа первоисточников алмазов (алмазных ассоциаций): I – алмазы кимберлитового генезиса, характерные для богатых кимберлитовых тел фанерозойского возраста, II – алмазы кимберлитового генезиса, характерные для кимберлитовых тел с убогой алмазоносностью и кимберлитовых жил, III – алмазы невыясненного (предположительно эоклогитового) генезиса и IV – алмазы «импактного» генезиса.

Центрально-Сибирская алмазоносная субпровинция (ЦСАСП) занимает центральную часть Сибирской платформы, южнее Маакской излучины р. Оленёк. Здесь проявлены продуктивная россыпная алмазоносность и высокоалмазоносный кимберлитовый магматизм среднепалеозойского возраста. В россыпях древнего возраста резко преобладают алмазы I типа первоисточника, что свойственно Малоботубинскому (МБАР), Далдыно-Алакитскому (ДААР), Ыгыаттинскому (ЫАР), Моркокинскому (МАР) и Средне-Мархинскому (СМАР) алмазоносным районам. Характерно наличие россыпей ближнего, среднего и дальнего сноса, для которых в некоторых алмазоносных районах существуют местные коренные источники. Наиболее широкие масштабы россыпной алмазоносности установлены в Малоботубинском и Средне-Мархинском алмазоносных районах (см. рисунки 1–4). В первом из них на протяжении более 50 лет разрабатываются богатые россыпи алмазов юрского возраста, а в начале 1980-х годов выявлены промышленные концентрации алмазов в отложениях позднепалеозойского возраста. В Далдыно-Алакитском алмазоносном районе обнаружены россыпи алмазов ближнего сноса, непосредственно примыкающие к кимберлитовым трубкам. Округлые алмазы встречаются здесь только на его западном (бассейн р. Алакит) и восточном (бассейн р. Силегир) флангах. В СМАР найдены россыпи алмазов в позднепермских–нижнеюрских отложениях, часть из которых связана с известными трубками Накынского кимберлитового поля (НКП). В Верхне-Мунском алмазоносном районе

россыпь Уулаах-Муна приурочена к ореолам эрозионного выноса кимберлитового материала и алмазов из известных на этой территории кимберлитовых трубок. Алмазы присутствуют здесь в юрских железистых галечниках. Особенность алмазов отдельных территорий субпровинции – различное соотношение кристаллов октаэдрического и ромбододекаэдрического габитусов при низком (не более 10%) содержании округлых алмазов уральского типа и кубоидов. На комплексной основе проведено [9–11, 17] среднемасштабное районирование Центрально-Сибирской алмазоносной субпровинции отдельно по её четырём алмазоносным районам: Малоботубинскому, Моркокинскому, Далдыно-Алакитскому и Средне-Мархинскому. Комплексный анализ этих материалов позволяет использовать их для выяснения как условий генезиса алмазов в кимберлитовых телах, так и их экзогенной истории в россыпях различного возраста и происхождения.

Малоботубинский алмазоносный район охватывает бассейн р. Малая Ботубия (правый приток среднего течения р. Вилюй). В структурном отношении он находится в пределах Ботубинского поднятия (северо-восточное окончание Непско-Ботубинской антеклизы). Среднепалеозойские кимберлитовые трубки здесь тяготеют к Вилюйско-Мархинской зоне разломов (зоне тектонической активизации). В районе широко развиты терригенные отложения верхнего палеозоя и нижней юры, к которым приурочены промышленные россыпи алмазов и их проявления [11, 12, 17]. Предварительное районирование разновозрастных россыпей МБАР с учётом их возраста и местоположения свидетельствует (см. рисунки 1, 2 и 5) об их полигенности и существовании смешанных ореолов (на основе комплексного исследования типоморфных особенностей алмазов). Авторы не обнаружили существенных отличий между алмазами из верхнепалеозойских и мезозойских отложений в пределах одного и того же участка (россыпи *Солур* и *Восточная*). В частности, несмотря на преобладание в россыпях алмазов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов I разновидности (группы кимберлитовых тел I и II по классификации Ю.Л.Орлова), в ряде россыпей содержание алмазов с сине-голубой фотолюминесценцией достигает 30–40%, что не характерно для трубок Мир и Интернациональная, но присуще другой группе трубок (Дачная и др.). В целом морфологический спектр алмазов из россыпей Малоботубинского алмазоносного района идентичен между собой, но несколько отличается от этих минералов из известных кимберлитовых трубок. В частности, суммарное содержание кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов в большинстве россыпей на 10% ниже, чем в кимберлитовых трубках I–II группы (Мир, Интернациональная, Дачная, имени XIII съезда КПСС, Спутник), и одновременно несколько выше количество ламинарных

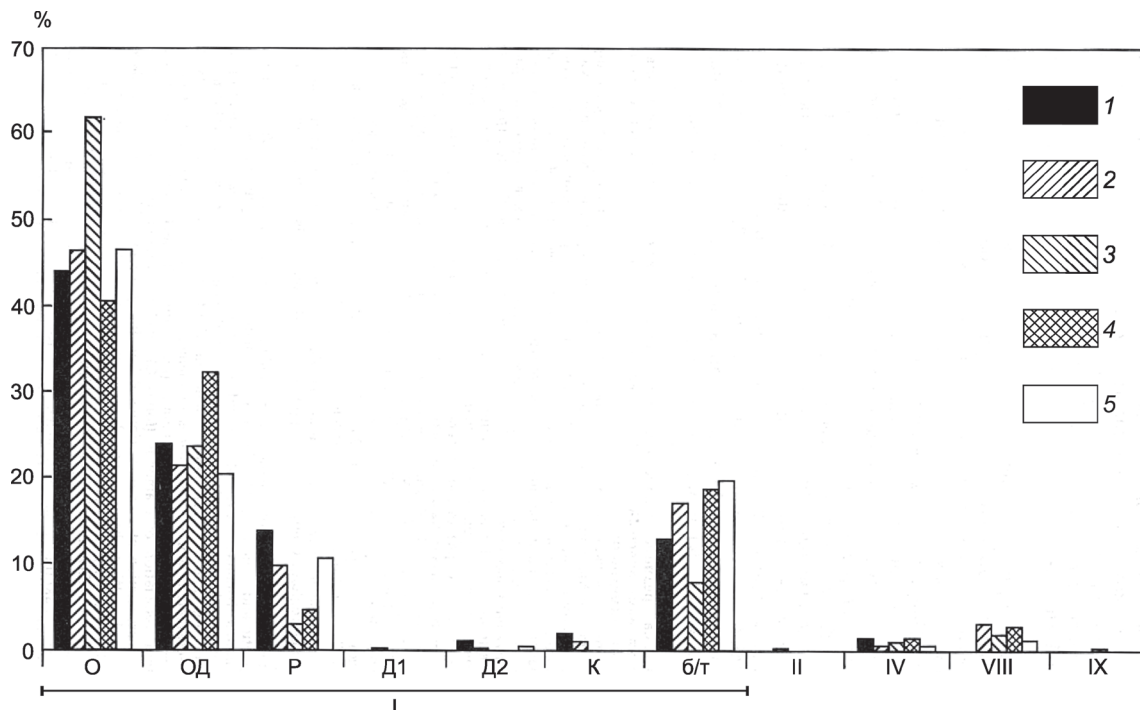


Рис. 1. Типоморфные особенности алмазов из россыпей Малоботубинского алмазоносного района:

1–5 – участки: 1 – Улахан-Еленгский, 2 – Глубокий, 3 – Солур, 4 – Куранахский, 5 – Таборный; I, II, IV, VIII, IX – разновидности алмазов по Ю.Л.Орлову (О – октаэдры, OD – переходные формы, P – ламинарные ромбододекаэдры, D1 – додекаэдры скрытослоистые, D2 – додекаэдры с шагренью, K – кубы, б/т – осколки)

ромбододекаэдров. Следует отметить, что в россыпях чуть больше плоскогранных октаэдров, чем в трубке Интернациональная, и меньше, чем в диатреме Мир. Иные морфогенетические разновидности алмазов в россыпях по сравнению с известными коренными источниками не встречены. Исключение составляет заметное количество округлых алмазов уральского (бразильского) типа, характерных для россыпных проявлений севера Иркутской области (бассейн р. Нижняя Тунгуска). Последние нехарактерны для древних вторичных коллекторов мезозойского и позднепалеозойского возрастов МБАР. Следует отметить, что в ряде россыпей (участки Заря, Искра, Тымтайдахский, Дачный-1, Глубокий и Восточный) установлено (см. рисунки 1 и 2) присутствие (0,5–1,0%) так называемых алмазов Пв разновидности удачининского типа [13], представленных равномерно окрашенными в жёлтый цвет октаэдрами с занозистой штриховкой и блоковой скульптурой без площадок {100}, ярко-жёлтой фотолуминесценцией и с азотным центром N+V, для которых установлен [7] лёгкий ($\delta^{13}\text{C} = -14,7\text{‰}$) изотопный состав углерода, а рентгеноспектральным анализом диагностирован эклогитовый состав включений. Такого рода алмазы не установлены в трубках Мир, Интернациональная и других телах МБАР. Содержание алма-

зов с оболочкой IV разновидности колеблется в пределах 0,4–1,7%, поликристаллических агрегатов VIII разновидности – 0,7–3,1%, а бесцветных кубооктаэдров, куборомбододекаэдров и тетрагексаэдров I разновидности – 1,3–2,0% от общего количества кристаллов. Необходимо отметить, что в алмазах некоторых россыпей, в частности, участка Восточный присутствует (в отличие от коренных месторождений) так называемая леденцовая скульптура и отсутствует мелкий класс, являющийся необходимым атрибутом россыпей ближнего сноса. По этому участку также установлено повышенное содержание включений сульфидных минералов (пирит в форме кубооктаэдров по трещинам), возможно, эпигенетического происхождения. Во многих россыпях (участки Тымтайдахский, Дачный, Искра и др.) по результатам исследований отмечается высокое содержание низкоазотных и безазотных кристаллов, практически отсутствующих в трубках Мир и Интернациональная (см. рисунки 1 и 2). Следует отметить, что количество алмазов с пониженным содержанием азота в общей сложности составляет до 30% всех кристаллов. Отличие этих алмазов заключается в том, что, во-первых, количество таких индивидов в россыпях значительно больше, чем в трубках Таежная и Амакинская (не более 10%), во-вторых, среднее

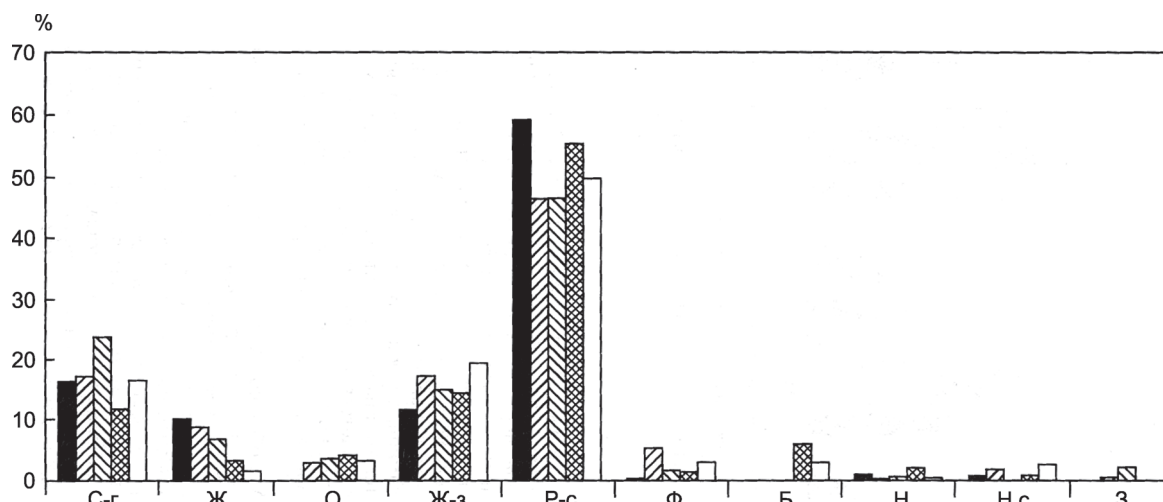


Рис. 2. Фотолюминесцентные особенности алмазов из россыпей Малобутубинского алмазоносного района:

цвет люминесценции: С-г – сине-голубой, Ж – жёлтый, О – оранжевый, Ж-з – жёлто-зелёный, зелёный, Р-с – розово-сиреневый, Ф – фиолетовый, Б – белёсый, Н – неопределённый, Н.с – несветящиеся алмазы, З – с зональным свечением; см. услов. обозн. к рис. 1

содержание азота в них ниже ($1-2 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$), чем в кристаллах трубки Таежная ($4-5 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$), и в-третьих, эти алмазы в россыпях представлены в основном октаэдрами, в то время как в трубке Таежная основная их масса – ромбододекаэдры. Общая особенность кристаллов с пониженным содержанием азота – зелёная, реже жёлто-зелёная фотолюминесценция (см. рис. 2). На этапе среднемасштабного районирования [10, 11, 17] все проявления и россыпи алмазов сгруппированы в три россыпных поля – Ирелях-Маччобинское с разделением на Центральный и Юго-Западный ореолы, Чуоналыр-Курунг-Юряхское с разделением на Северо-Западный и Лапчанский ореолы и Бахчинское. Эти поля неравнозначны как по масштабам россыпной алмазности, так и по количеству извлечённых и изученных кристаллов, часто статистически непредставительному для достоверной характеристики ореолов, а также по детальности применяемого комплекса минералогических и физических методов исследований. Следует отметить, что первое поле охватывает россыпные проявления и россыпи алмазов нижнеюрских отложений, а остальные – верхнепалеозойских, включая только одну мезозойскую россыпь участка Солурский. Подавляющее большинство алмазов из данных россыпей относится к Ирелях-Маччобинскому россыпному полю. По типоморфным особенностям алмазов они достаточно гетерогенны, несмотря на преобладание кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов. Например, содержание кристаллов октаэдрического габитуса колеблется в

значительных пределах – от 22,2% (участок *Нижне-Юлегирский*) до 64,3% (участки *Лосиха* и *Безрудность ВГ*). Содержание ламинарных кристаллов ромбододекаэдрического габитуса для большинства участков (10,5–22,2%) почти в два раза выше, чем в трубках Мир и Интернациональная. Также наблюдаются заметные (7,1–35,7%) колебания в содержании двойников и сростков, фотолюминесцентных особенностях, причём по большинству участков количество кристаллов с сине-голубой фотолюминесценцией (13,6–42,8%) заметно выше по сравнению с трубками Мир и Интернациональная. Также наблюдаются резкие (18,8–63,1%) колебания в содержании целых камней, что может свидетельствовать о своеобразии литолого-фациальных условий формирования этих россыпей. Различия по окраске, прозрачности, характеру скульптур травления и твёрдым включениям в алмазах отдельных участков менее значительны. Всё это позволяет выделить в пределах Ирелях-Маччобинского россыпного поля центральную ассоциацию алмазов. Наиболее контрастным ореолом в пределах *Центрального россыпного поля* отличается участок *Тымтайдахский* с пониженным (43,5%) содержанием кристаллов октаэдрического и повышенным – переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому (35,4%) и ромбододекаэдрического (11,2%) габитусов. Здесь отмечены присутствие (3,2%) жёлтых ромбододекаэдров II разновидности, высокое (27,4%) количество двойников и сростков с преобладанием незакономерных сростков, повышенные (25,8%) концентрации окрашенных камней и

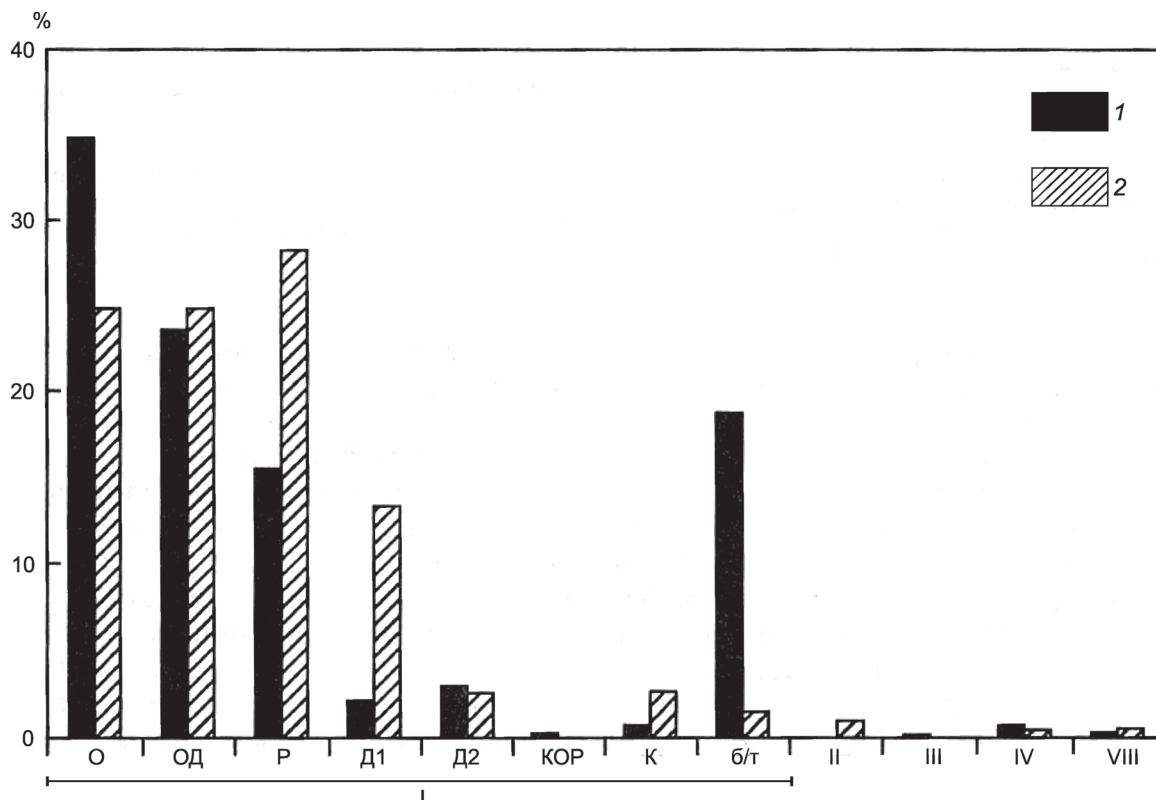


Рис. 3. Типоморфные особенности алмазов из россыпей Моркокинского и Среднемархинского алмазоносных районов:

1 – участок Дьюкунах, С₁; 2 – среднее течение р. Марха, Q; I–IV, VIII – разновидности алмазов по Ю.Л. Орлову (О – октаэдрические, ОД – переходные формы, Р – ламинарные ромбододекаэдрические, Д1 – додекаэдрические скрытослоистые, Д2 – додекаэдрические с шагренью, КОР – куборомбододекаэдрические, К – кубы, б/т – осколки)

кристаллов с зелёной, жёлтой и оранжевой (в сумме 45,2%) фотолюминесценцией, преобладающих над индивидами с розово-сиреневым свечением. Характерна также невысокая степень сохранности (целостности) кристаллов при очень низкой (6,5%) роли камней с механическим износом «выкрашивания» и пониженным содержанием примесного азота в форме А-центра. Аномальный характер комплекса минералогических и физических особенностей алмазов россыпи участка Тымтайдахский, подтверждённый результатами их обработки статистическими методами, по мнению авторов, свидетельствует о том, что не менее 30% алмазов этой россыпи составляют кристаллы, отличающиеся от кристаллов трубки Мир, что может указывать [9, 15–18] на наличие в пределах участка высокоалмазных кимберлитовых тел (по морфологическому критерию алмазности). В целом для алмазов Юго-Западного ореола Ирелях-Маччобинского россыпного поля характерна значительная дифференциация типоморфных особенностей алмазов отдельных участков. При этом участок Куранахский отличается от

трубки Интернациональная низким (40%) содержанием кристаллов октаэдрического и высоким (32,1%) – индивидов переходного от октаэдрического габитусов I разновидности при повышенном (1,4%) содержании алмазов с оболочкой IV разновидности. Ещё более контрастными по типоморфным особенностям алмазов являются два ореола рассеяния алмазов в пределах верховья р. Улахан-Еленг и в бассейне р. Чуоналыр-Южный. Для первого характерно преобладание кристаллов октаэдрического (54,7%) и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов, причём для них, в отличие от трубок Мир и Интернациональная, характерно резкое преобладание индивидов со сноподобной (48,5%) штриховкой над кристаллами с полицентрически растущими гранями (25,8%) при фактическом отсутствии (1,9%) алмазов с занозистой штриховкой. Другими их типоморфными особенностями являются сравнительно высокое (17,5%) содержание двойников и сростков и очень низкое (4,1%) количество окрашенных камней, а также индивидов с твёрдыми включениями (10,3%). Среди алмазов более

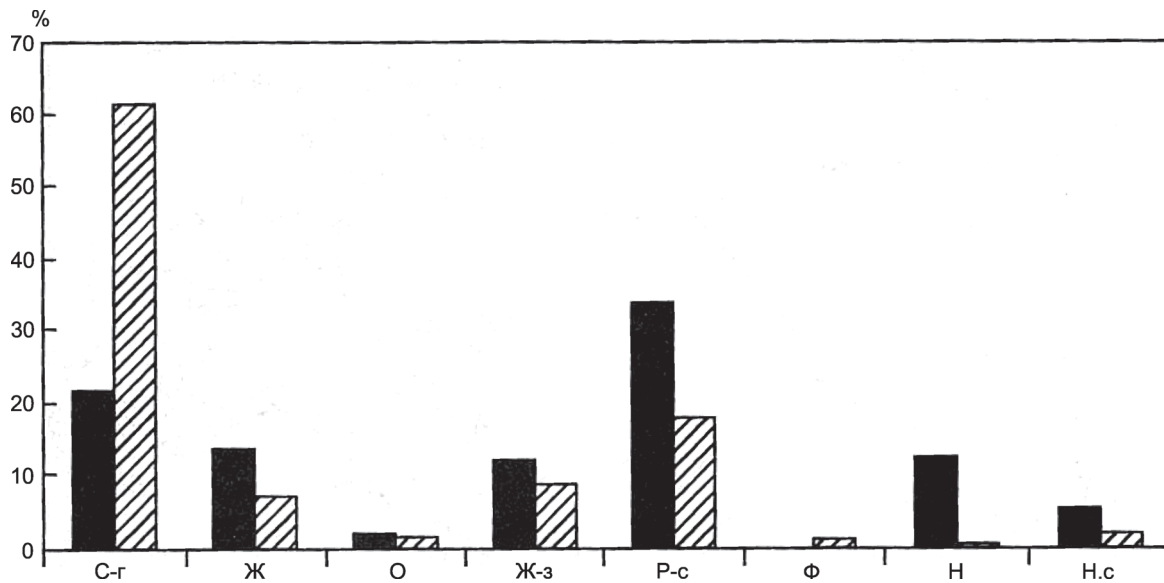


Рис. 4. Фотолуминесцентные особенности алмазов из россыпей Моркокинского и Среднемархинского алмазоносных районов:

см. услов. обозн. к рис. 1

половины составляют кристаллы с пониженным содержанием примесного азота в форме А-центра, а также индивиды с однородным распределением центров розово-сиреневой фотолуминесценции, нехарактерных для трубок Мир и Интернациональная. Всё это позволяет утверждать, что алмазы участка *Улахан-Еленгский* характеризуются типоморфными особенностями, близкими для кристаллов богатого типа первоисточника наиболее продуктивной фазы кимберлитового магматизма МБАР. В то же время по ряду типоморфных особенностей (отсутствие алмазов с занозистой штриховкой, высокое содержание двойников и сростков, небольшое количество окрашенных камней, а также кристаллов с включениями) эти алмазы заметно отличаются от таковых из основных коренных месторождений района, что свидетельствует о нахождении здесь высокоалмазоносного коренного источника. Это также подтверждается особенностями распределения кристаллов по гранулометрии, характерной для россыпей ближнего сноса. По предварительным данным, аномальный для МБАР комплекс типоморфных особенностей характерен также для разновозрастных отложений бассейна р. Чуоналыр (Южный), для которых установлено высокое (5%) содержание алмазов с оболочкой IV разновидности и поликристаллических агрегатов (5,0%) VIII разновидности. Такого рода индивиды повышенной хрупкости могут сохраняться только в россыпях ближнего сноса. С алмазами участка *Улахан-Еленгский* изученные кристаллы сближают однород-

ное распределение центров розово-сиреневого свечения и высокое содержание кристаллов с пониженной концентрацией примесного азота в форме А-центра. Коренным источником алмазов, поступающих в россыпи ручьёв *Улахан-Еленг* и *Чуоналыр* (Южный), могут быть неизвестные кимберлитовые тела, предполагаемые на водоразделе этих водотоков. Для алмазов отдельных участков *Чуоналыр-Курунг-Юряхского россыпного поля* также отмечается значительная дифференциация типоморфных особенностей алмазов, несмотря на то, что для них в целом характерно преобладание кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов. По сравнению с *Ирелях-Маччобинским* россыпным полем оно характеризуется пониженным (не более 14,3%) содержанием ламинарных ромбододекаэдров при полном отсутствии типичных округлых алмазов, небольшом (8,1–14,3%) количестве кристаллов с сине-голубой фотолуминесценцией, повышенной (21,6–28,6%) роли индивидов с жёлто-зелёным свечением и сравнительно высоком (35,1–43,2%) числе целых камней. Исходя из типоморфных особенностей, алмазы *Чуоналыр-Курунг-Юряхского россыпного поля* можно объединить в северо-западную ассоциацию. Следует также отметить повышенное до 10% содержание алмазов с экзогенной ассоциацией твёрдых включений по участку *Солурский*, практически отсутствующих в трубках *Мир* и *Интернациональная* [9]. Алмазы этого участка характеризуются аномально высоким

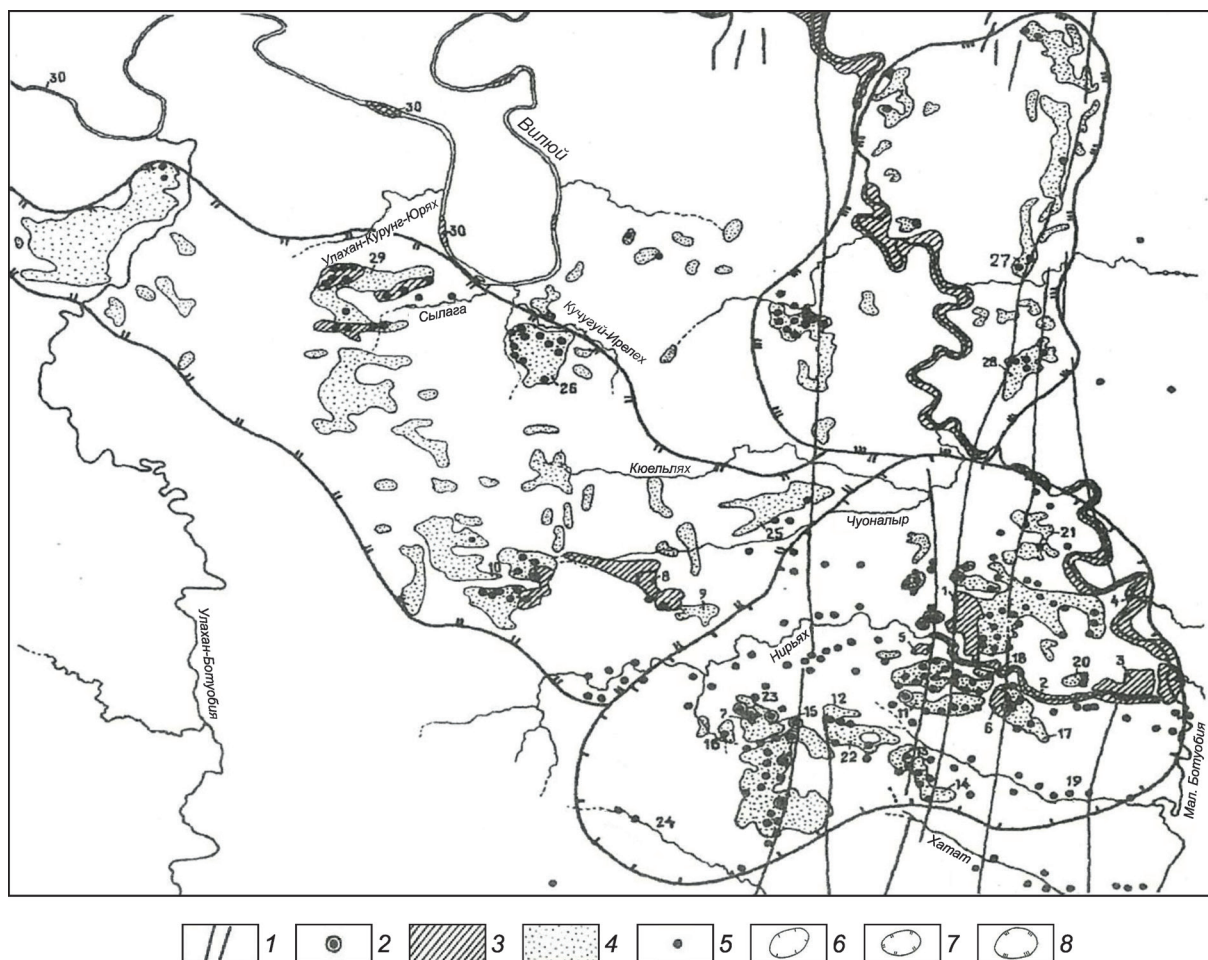


Рис. 5. Схема размещения ореолов рассеяния алмазов и их минералов-спутников в МБАР:

1 – непромысловые россыпи алмазов р. Вилюй; 2 – разведанные россыпи алмазов (участки Новинка, Восточный, Дачный, Горный, Водораздельные галечники, Глубокий, Озерный, Горный, Заря, Звезда, Победа, Искра и др.); 3 – недостаточно оцененные россыпные проявления алмазов; 4 – высококонтрастные ореолы индикаторных минералов кимберлитов оцененные и недостаточно оцененные (основные участки: 1 – Левобережный, 2 – Водораздельный, 3 – Улахан-Курун-Юряхский, 4 – Верхне-Сылагинский, 5 – Кучугуй-Иреляхский, 6 – Приразломный, 7 – Бестяхский, 8 – Чайдахский, 9 – Западный, 10 – Восточный, 11 – Кюельяхский, 12 – Находка, 13 – Медвежий, 14 – Делбирге); 5 – Минералогические поля рассеяния кимберлитовых минералов: I – Ирелях-Маччобинское, II – Чуоналыр-Курун-Юряхское, III – Бахчинское, IV – Сюльдюкарское, V – Джункунское; 6 – кимберлитовые тела; 7 – зоны глубинных разломов; 8 – рудоконтролирующие и потенциально рудоконтролирующие разломы Вилюйско-Мархинской зоны

количеством кристаллов с эпигенетическими сульфидными включениями, возникающими при гидротермальной минерализации древнего вторичного коллектора, находящегося на площадях, прилегающих к зоне Буордахского разлома. Типоморфные особенности алмазов из верхнекаменноугольных и мезозойских отложений участка Солурский очень близки, что свидетельствует об их сложной экзогенной истории. На это также указывает высокий средний вес кристаллов (17,7–19,3 мг) при отсутствии мелких камней класса

–1+0,5 мм, причём последние в основном представлены осколками. Вместе с тем для алмазов характерно высокое (40%) содержание камней с механическим износом «выкрашивания», что может свидетельствовать о нахождении их коренных источников на значительном удалении при существовании сноса с запада. Для алмазов *Бахчинского поля* характерно резкое преобладание кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбодекаэдрическому габитусов при низком (не более 7,7%) содержании ламинарных

ромбододекаэдров, двойников и сростков, окрашенных камней и сравнительно небольшом (не более 23,1%) количестве кристаллов с сине-голубой фотолюминесценцией, а также превалирование слаботрешиноватых камней. По этим признакам алмазы Бахчинского россыпного поля можно объединить в северо-восточную ассоциацию [3, 9]. В целом комплекс особенностей алмазов по морфологии, окраске, твёрдым включениям, внутреннему строению, фотолюминесцентным особенностям, а также примесному составу [7, 9] свидетельствует о ряде первоисточников алмазов из россыпей и наличии в пределах района новых, ещё не открытых кимберлитовых тел, что согласуется с мнением других исследователей [12–15]. Среди них могут быть месторождения с высоким содержанием алмазов, поскольку среди кристаллов из россыпей исключительно редко встречаются округлые алмазы уральского (бразильского), а также жильного типов, являющихся по морфологическому критерию отрицательным фактором алмазоносности. В целом следует отметить, что среднемасштабное районирование МБАР позволяет оконтурить (см. рис. 5) ореол с юга по водоразделам рек Малая Ботуобия и Мурбай, с востока – рек Малая Ботуобия и Вилуючан, с запада – по р. Большая Ботуобия, с северо-запада и севера – по р. Вилуй. Площади за пределами указанного контура района характеризуются высоким содержанием или преобладанием округлых алмазов уральского (бразильского) типа, характерных для Южно-Тунгусской области [9].

Маркокинский алмазоносный район (МАР) охватывает левобережье среднего течения р. Вилуй и бассейна р. Моркока. В структурном плане он находится в пределах Сюгджерской седловины. Здесь развиты продуктивные на алмазы терригенные отложения верхнего палеозоя, мезозоя и современные четвертичные образования. Россыпи и кимберлитовые тела промышленного значения пока здесь не установлены (исключение составляет слабоалмазоносная трубка Моркока). Для этой территории охарактеризованы типоморфные особенности алмазов пяти пространственно-разобщённых ореолов междуречья Моркока и Вилуй (Дьюкунахский, Хатырыкский, Ыгыаттинский, Чагдалинский и Нижне-Маркокинский ореолы). Каждый из ореолов характеризуется (см. рис. 3) комплексом типоморфных особенностей алмазов, характерных для богатых кимберлитовых тел фанерозойского возраста (по морфологическому критерию алмазоносности). Однако часть из них (Дьюкунахский ореол) имеет сложную историю формирования, поэтому характеризуется резким преобладанием однозернистых (0,8 мм) мелких обломков алмазов октаэдрического габитуса (средний вес 1–2 мг) ассоциации мирнинского типа без трещин и включений. В отличие от трубки среди них практически отсутствуют октаэдры с полицентрически растущими гранями и выше доля кристаллов с жёлтой фотолюминесценцией при низком (1,1%) содержании типичных

округлых алмазов. В целом превалируют кристаллы со сноповидной штриховкой, реже округлоступенчатые и с блоковой скульптурой I разновидности. Алмазы IV и VIII разновидностей полностью отсутствуют. По своим кристалломорфологическим особенностям алмазы россыпей *Дьюкунах* и *Лиственничная* не имеют никаких признаков сходства с кристаллами из кимберлитовых тел территориально близко расположенного ДААР. Содержание двойников и сростков здесь низкое и не превышает первых процентов от общего количества кристаллов. Преобладают бесцветные алмазы высокой степени прозрачности при очень низком содержании окрашенных в лилово-коричневый цвет кристаллов и отсутствии окрашенных в другие цвета индивидов. Характерная особенность алмазов – очень низкое содержание дефектных трещиноватых камней, а также кристаллов с включениями. Из твёрдых включений в алмазах встречены эклогитовые ассоциации (оранжевый гранат). Среди кристаллов с другими типоморфными особенностями широко распространены алмазы с леденцовой скульптурой, которая могла образоваться при региональном метаморфизме вследствие воздействия на алмазы во вторичном коллекторе верхнепалеозойского возраста высокотемпературного траппового магматизма. О региональном метаморфизме верхнепалеозойских отложений свидетельствует находка алмаза с бурыми пятнами пигментации радиационного происхождения при температуре не менее 500°–550° С [14]. Алмазы с механическим износом «истирания» отсутствуют. По свечению в ультрафиолетовых лучах преобладают кристаллы с розово-сиреневым свечением при повышенном содержании камней с жёлтой фотолюминесценцией (см. рис. 4). Следует отметить низкую степень сохранности кристаллов рассматриваемой россыпи – более половины камней составляют осколки и обломки. Распределение алмазов по содержанию в них примесного азота в форме А-центра свидетельствует о преобладании среди них высокоазотных кристаллов и характеризуется двумодальной кривой с максимумами 0–3 и 12–15×10¹⁹ см⁻³, то есть второй максимум совпадает с основным максимумом, характерным для высокоалмазоносных кимберлитовых тел МБАР [9, 13, 16]. Однако спектр алмазов россыпи Дьюкунах вряд ли можно связывать с их привносом из МБАР, даже учитывая возможную трансформацию типоморфных особенностей алмазов в россыпях. Это предполагает их собственные высокопродуктивные коренные источники с преобладанием октаэдрических кристаллов на водоразделе рек Моркока и Вилуй. Причём кристалломорфологические и физические особенности алмазов этих ореолов отличны от аналогичных параметров кристаллов трубки Мир и не имеют ничего общего с таковыми из трубки Моркока. Следует отметить близость типоморфных особенностей алмазов Дьюкунахского ореола каменноугольного возраста (северо-восточный борт Тунгусской синеклизы) с алмазами одновозрастного

Тарыдакского ореола (юго-западный борт Тунгуской синеклизы), являющимися перетолженными из более древних вторичных коллекторов прибрежно-морского генезиса. Коренные источники алмазов Дьюкунахского ореола могут быть древнее верхнего девона. Следует отметить, что в современном аллювии р. Аламджа увеличивается крупность и трещиноватость камней с преобладанием кристаллов октаэдрического габитуса. Для *Хатырыкского ореола* алмазов пролювиально-аллювиальных отложений верхнего палеозоя можно предположить [3] коренные источники ассоциации далдыно-алакитского типа ближнего сноса с преобладанием ламинарных ромбододекаэдров с занозистой штриховкой мелкого размера. Это связано с литолого-фациальными условиями их формирования. Для *Ыгыаттинского ореола* бассейновых образований верхнего палеозоя характерно смещение алмазов ассоциаций мирнинского и далдыно-алакитского типов, что свидетельствует о множественности их коренных источников (кимберлитовых полей или тел) и образовании ыгыаттинской специфической ассоциации алмазов, среди которых также присутствуют кристаллы с кавернами ассоциации далдынского типа. Результаты сравнительного изучения алмазов междуречья Моркока и Виллой, по мнению авторов, свидетельствуют о высокой перспективности этой территории на поиски высокоалмазных кимберлитовых тел фанерозойского возраста, приуроченных к Виллойско-Мархинской зоне глубинных разломов. Однако прямой поиск коренных источников здесь затруднён из-за сложного геологического строения территории, ограничивающего применение как шлихоминералогического, так и геофизических методов поиска.

Далдыно-Алакитский алмазоносный район (ДААР) находится в бассейне верхнего течения рек Марха и Алакит, а в структурном плане – на юго-западном склоне Анабарской антеклизы, на который наложилось северо-восточное крыло Тунгусской верхнепалеозойской синеклизы (ТВС). Здесь широко развиты карбонатные породы нижнего палеозоя, терригенные отложения верхнего палеозоя, сложно интродуцированные телами траппов (Алакит-Мархинское кимберлитовое поле), а также установлено около 120 кимберлитовых тел. Алмазоносными являются пермо-карбоновые отложения конекской свиты. Этот район характеризуется незначительными масштабами россыпной алмазности, несмотря на наличие высокоалмазных трубок. Отмечаются низкие концентрации алмазов в пермо-карбонатных отложениях конекской свиты в бассейне р. Сохсолоох-Мархинский, а также по р. Ойур-Юрэгэ. В целом для большинства ореолов этой территории характерна ассоциация далдыно-алакитского типа при низком (не более 20%) содержании типичных округлых алмазов, являющихся неблагоприятным критерием алмазности кимберлитов. Разбраковка ореолов в значительной мере затруднена из-за непредста-

вительного количества (первые десятки штук) алмазов. Следует обратить внимание на факт смещения ореолов в бассейне р. Киенг-Юрэх, отличающихся по типоморфным особенностям от алмазов наиболее богатой в этом бассейне трубки Дальняя [9]. По результатам исследования типоморфных особенностей алмазов чётко оконтуривается восточная граница Далдынского поля, где по р. Эйекит-Мархинский отмечается высокое содержание жёлто-оранжевых кубов II разновидности с механическим износом [17]. В известных россыпных проявлениях района типичные округлые алмазы являются редкостью, что косвенным образом может свидетельствовать о наличии в районе ещё не открытых кимберлитовых тел с повышенной алмазностью.

Средне-Мархинский алмазоносный район охватывает правобережье среднего течения р. Марха, бассейн рек Ханья, Накын и верховье р. Тюкян, а в структурном плане находится на южном склоне Анабарской антеклизы, на который наложился северо-западный борт Виллойской синеклизы. Здесь широко развиты прибрежно-морские осадки юры, которые перекрывают высокоалмазные образования карстового типа предположительно поздне триасового–раннеюрского возраста, а также обнаружены богатые по содержанию алмазов трубки Накынского кимберлитового поля (НКП). Эта территория характеризуется более широким проявлением россыпной алмазности по сравнению с ДААР. Установлены также псевдоромбододекаэдры мархинского типа, встречающиеся в трубках Ботубинская и Нюрбинская. Среди последних присутствуют (см. рис. 3) морфогенетические разновидности алмазов, незафиксированные в вышеуказанных кимберлитовых телах НКП. Этот факт можно объяснить с позиции истории геологического развития региона и возможности перемыва и перетолжения алмазных карстовых отложений поздне триасового–раннеюрского возраста в нижнеюрские осадки с генеральным направлением сноса в сторону Виллойской синеклизы. По типоморфным особенностям алмазов из россыпей в данном районе прогнозируется Южно-Накынное кимберлитовое поле. На участке Хатырык-Отуу отмечено повышенное содержание типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа и камней с коррозией, характерных для близлежащего Муно-Тюнгского района россыпной алмазности и полосы развития продуктивных верхнеюрских отложений, окаймляющих юго-восточную и восточную части Анабарской антеклизы. Сравнение типоморфных особенностей алмазов из россыпей дяхтарской и орухтажской свит к юго-западу от трубки Нюрбинская и россыпей аналогичного возраста в пределах карьера одноимённого месторождения показывает, что среди изученных алмазов несколько меньше ламинарных ромбододекаэдров и больше в 2–3 раза типичных округлых алмазов, содержание которых повышено в породах дайковой фации. Это может указывать на нахождение в пределах

юго-западной части территории от трубки Нюрбинская даечных тел с широким распространением скульптур травления алмазов с пониженным содержанием (см. рис. 4) кристаллов сине-голубого и повышенным – жёлто-зелёного свечения, а также повышенным не менее чем на 10% по сравнению с трубкой качеством алмазного сырья. Алмазы из россыпей ближнего сноса к юго-западу от трубки Нюрбинская в целом близки к ней, особенно к её юго-западному флангу и к россыпям из отложений дяхтарской и орухтахской свит в пределах карьера разрабатываемого месторождения. Алмазы из отложений этих свит практически не отличаются, что свидетельствует о происхождении последних за счёт перемыва отложений дяхтарской свиты, являющейся в настоящее время наиболее древним вторичным коллектором алмазов в СМАР. Проведённый анализ типоморфных особенностей алмазов этого района свидетельствует о полигенности их россыпных ореолов, коренными источниками которых, несомненно, являются высокоалмазные (по морфологическому критерию алмазности) кимберлитовые тела среднепалеозойского возраста. Можно предположить, что в СМАР по аналогии с МБАР существует не менее двух групп трубок, резко различающихся по типоморфным особенностям алмазов. Среди них также высока вероятность повышенной частоты встречаемости высокоалмазных кимберлитовых тел (не менее 50% от общего количества трубок). Причём практическое значение будут представлять даже трубки относительно небольшого размера.

Таким образом, результаты комплексного исследования типоморфных особенностей алмазов из россыпей ЦАСП позволяют выделять алмазные субпровинции, области, районы и поля, для которых можно прогнозировать тип первоисточников, уровень их потенциальной алмазности, а также качество алмазного сырья. Результаты комплексного минералогического исследования алмазов из разновозрастных россыпей ЦАСП и их сравнение с кристаллами из кимберлитовых тел этого региона свидетельствуют о том, что каждый из четырёх рассмотренных алмазных районов характеризуется определённым комплексом типоморфных особенностей и набором минералогических ассоциаций. Область развития отдельных макроассоциаций (семейств) в её пределах обычно ограничивается алмазным районом, в пределах которого развиты комплексы разновозрастных прибрежно-морских и терригенных древних вторичных коллекторов верхнепалеозойского и мезозойского возрастов. В пределах МБАР в отдельных россыпях установлена близость типоморфных особенностей алмазов из отложений верхнепалеозойского и мезозойского возрастов, что свидетельствует о формировании последних за счёт размыва более древнего коллектора или коренного источника среднепалеозойского возраста. Миграционная способность

алмазов из россыпей, сформированных за счёт размыва кимберлитовых тел среднепалеозойского возраста и древних вторичных коллекторов, обычно находится в пределах алмазного района. Среди алмазов из этих россыпей значительную (до 10%) долю составляют округлые алмазы уральского (бразильского) типа, практически отсутствующие в высокопродуктивных кимберлитовых телах МБАР и СМАР в ассоциации с жёлто-оранжевыми кубоидами II разновидности и балласами VI разновидности (тунгусского и уральского типов), часть из которых с признаками травления, нехарактерными для кристаллов из трубок среднепалеозойского возраста, а также механического износа. Они могут являться региональным фоном, на который наложены мирнинская и накынская минералогические ассоциации алмазов. Следует отметить полигенность минералогических ассоциаций алмазов из разновозрастных россыпей в пределах отдельных алмазных районов (МБАР и СМАР) с широким проявлением россыпной алмазности, достигающей промышленных концентраций. Локальный прогноз их коренных источников возможен при более крупномасштабных исследованиях с использованием электронной базы данных покристалльного минералогического изучения алмазов с детальной геологической привязкой и с привлечением и анализом всех имеющихся геологических материалов по этим территориям, что определяет стратегию ведения алмазопроисловых работ. Алмаз и его типоморфные особенности должны являться одним из основных критериев прогнозирования и поисков их коренных источников. Важное практическое значение имеют полученные в рамках среднемасштабных прогнозно-поисковых исследований типоморфных особенностей алмазов материалы о гетерогенности Вилуйско-Мархинской зоны глубинных разломов в отношении продуктивного кимберлитового магматизма. Это связано с его приуроченностью к областям жёсткого консолидированного фундамента архейского возраста (Ботубинский и Тунгский кратоны). Результаты исследования типоморфных особенностей алмазов из наиболее хорошо изученных кимберлитовых тел свидетельствуют о неоднородностях в строении верхней мантии даже в пределах ЦАСП, особенно в отношении распределения достаточно редких окрашенных разновидностей кристаллов (II, III и IV), предположительно, элогитового генезиса, связанных с глубинными алмазными ксенолитами различного состава. Эти разновидности алмазов являются редкими и аксессуарными в кимберлитовых телах, однако их находки в россыпях даже в единичном количестве могут служить основанием для локализации территории поиска коренных источников. Проведённый анализ типоморфных особенностей алмазов свидетельствует о высокой перспективности россыпных проявлений ЦАСП на обнаружение новых высокопродуктивных кимберлитовых трубок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Атлас морфологии алмазов России* / В.П.Афанасьев, Э.С.Ефимова, Н.Н.Зинчук, В.И.Коптиль. – Новосибирск: СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 2000.
2. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н.* Минералогия древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // *Геология и геофизика*. 1987. № 1. С. 90–96.
3. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П.* Поисковая минералогия алмаза. – Новосибирск: Гео, 2010.
4. *Бартошинский З.В.* Сравнительная характеристика алмазов из различных алмазоносных районов Западной Якутии // *Геология и геофизика*. 1961. № 6. С. 40–50.
5. *Бартошинский З.В.* Минералогическая классификация природных алмазов // *Минералогический журнал*. 1983. Т. 5. № 5. С. 84–93.
6. *Бартошинский З.В., Захарова В.Р., Иванов И.Н.* Протравленные алмазы в мезозойских отложениях // *Геология и геофизика*. 1978. № 10. С. 154–162.
7. *Галимов Э.М.* Вариации изотопного состава алмазов и связь их с условиями алмазообразования // *Геохимия*. 1984. № 8. С. 1091–1117.
8. *Гневушев М.А., Бартошинский З.В.* К морфологии якутских алмазов // *Тр. ЯФ СО АН СССР. Серия геологическая*. 1959. Вып. 4. С. 74–92.
9. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.* Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. – М.: Недра, 2003.
10. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Борис Е.И.* Основные аспекты разномасштабного районирования территорий по типоморфным особенностям алмазов (на примере Сибирской платформы) // *Геология рудных месторождений*. 1999. Т. 41. Вып. 16. № 6. С. 516–526.
11. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Борис Е.И.* Среднемасштабное районирование территории Центрально-Сибирской алмазоносной субпровинции по типоморфным особенностям алмазов // *Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения*. – Воронеж: ВГУ, 2001. С. 337–357.
12. *Методическое руководство по комплексному исследованию типоморфных свойств алмазов при локальном прогнозировании и поисках коренных месторождений алмазов* / Ф.В.Каминский, З.В.Бартошинский, Г.К.Блинова и др. – М.: ЦНИГРИ, 1988.
13. *Орлов Ю.Л.* Минералогия алмаза. 2-е изд. – М.: Наука, 1984.
14. *Прокопчук Б.И.* Зональность размещения алмазных россыпей на древних платформах // *Минеральные месторождения*. – М.: Наука, 1976. С. 186–196.
15. *Рожков И.С., Михалев Г.П., Зарецкий Л.М.* Алмазоносные россыпи Мало-Ботубинского района Западной Якутии. – М., 1963.
16. *Стратегия ведения и результаты алмазописковых работ* / Н.Н.Зинчук, В.М.Зуев, В.И.Коптиль, С.Д.Черный // *Горный вестник*. 1997. № 3. С. 53–57.
17. *Типоморфизм алмазов из россыпей Сибирской платформы как основа поисков алмазных месторождений* / Н.Н.Зинчук, В.И.Коптиль, Е.И.Борис, А.Н.Липашова // *Руды и металлы*. 1999. № 3. С. 18–30.
18. *Харькив А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И.* Геолого-генетические основы шлихо-минералогического метода поисков алмазных месторождений. – М.: Недра, 1998.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РИСУНКОВ

Рисунки и другие графические материалы представляются в цветном или черно-белом варианте в электронном виде. 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 и TIFF (только для фото), диаграмма Microsoft Excel. Графика должна быть прямо 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. Рисунки, не удовлетворяющие требованиям редакции, возвращаются автору.

Разновидности высокопродуктивных золотоносных узлов Приамурской провинции

В.А.СТЕПАНОВ (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук (НИГТЦ ДВО РАН); 683002, г. Петропавловск-Камчатский, Северо-Восточное шоссе, д. 30), А.В.МЕЛЬНИКОВ (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИГИП ДВО РАН); 675000 Амурская обл., г. Благовещенск, пер. Релочный, д. 1)

По объёму золотодобычи Приамурская провинция является одной из самых богатых в России. В ней начиная с 1868 г. добыто около 1300 т главным образом россыпного золота. Доля рудного золота около 180 т. В провинции известно 80 рудно-россыпных узлов (РРУ). Основное количество золота (834 т) добыто из 9 высокопродуктивных РРУ. Среди них выделены узлы с преимущественной добычей россыпного золота (при сравнении количеств рудного и россыпного золота) и с преимущественной добычей рудного золота. Сделан вывод о перспективах высокопродуктивных РРУ для дальнейших геологоразведочных работ.

Ключевые слова: провинция, рудно-россыпные узлы, месторождение, россыпь, золото.

Степанов Виталий Алексеевич
доктор геолого-минералогических наук

vitstepanov@yandex.ru



Мельников Антон Владимирович
кандидат геолого-минералогических наук

anton_amur@mail.ru

Varieties of highly productive gold-bearing clusters of the Amur province

V.A.STEPANOV (Scientific research geotechnological center Far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences),
A.V.MELNIKOV (Institute of geology and environmental management Far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences)

In terms of gold mining, the Amur province is one of the richest in Russia. Since 1868, about 1300 t of mostly alluvial gold were mined there. The proportion of ore gold is about 180 t. 80 ore-placer sites (OPS) are known in the province. The bulk of gold (834 tons) is extracted from 9 highly productive OPS. Among them, there are clusters with primary extraction of alluvial gold, comparable quantities of ore and placer gold, and with primary extraction of ore gold. A conclusion is drawn on the prospects of highly productive OPS for further geological exploration.

Key words: province, ore-placer sites, deposit, placer, gold.

Приамурская золотоносная провинция приурочена к Монголо-Охотской ветви Тихоокеанского рудного пояса и представляет собой зону позднемезозойской коллизии Северо-Азиатского кратона и Амурского композитного массива. Это одна из наиболее богатых провинций в России. В ней начиная с 1868 г. добыто около 1300 т преимущественно россыпного золота. Доля извлечённого рудного золота невелика и составляет около 180 т (В.А.Степанов, А.В.Мельников, 2018).

В составе провинции выделено 9 металлогенических зон. Четыре из них примыкают к крупноамплитудным разломам, разделяющим крупные геоблоки (Северо-Буреинская, Янканская, Джелтулакская и

Джагды-Селемджинская). Эти зоны составляют центральную, приядерную часть провинции. Остальные зоны расположены на северной (Северо-Становая и Южно-Якутская) и юго-восточной (Чагойан-Быссинская, Туранская и Восточно-Буреинская) перифериях провинции. Внутри металлогенических зон выделено 80 рудно-россыпных узлов, представляющих собой геологические структуры изометричной и округлой форм с широко развитым золотым оруденением и россыпями. Их количество в пределах металлогенических зон колеблется от 3–5 до нескольких десятков (рис. 1).

Сумма извлечённого рудного и россыпного золота в РРУ неодинакова и колеблется в значительных

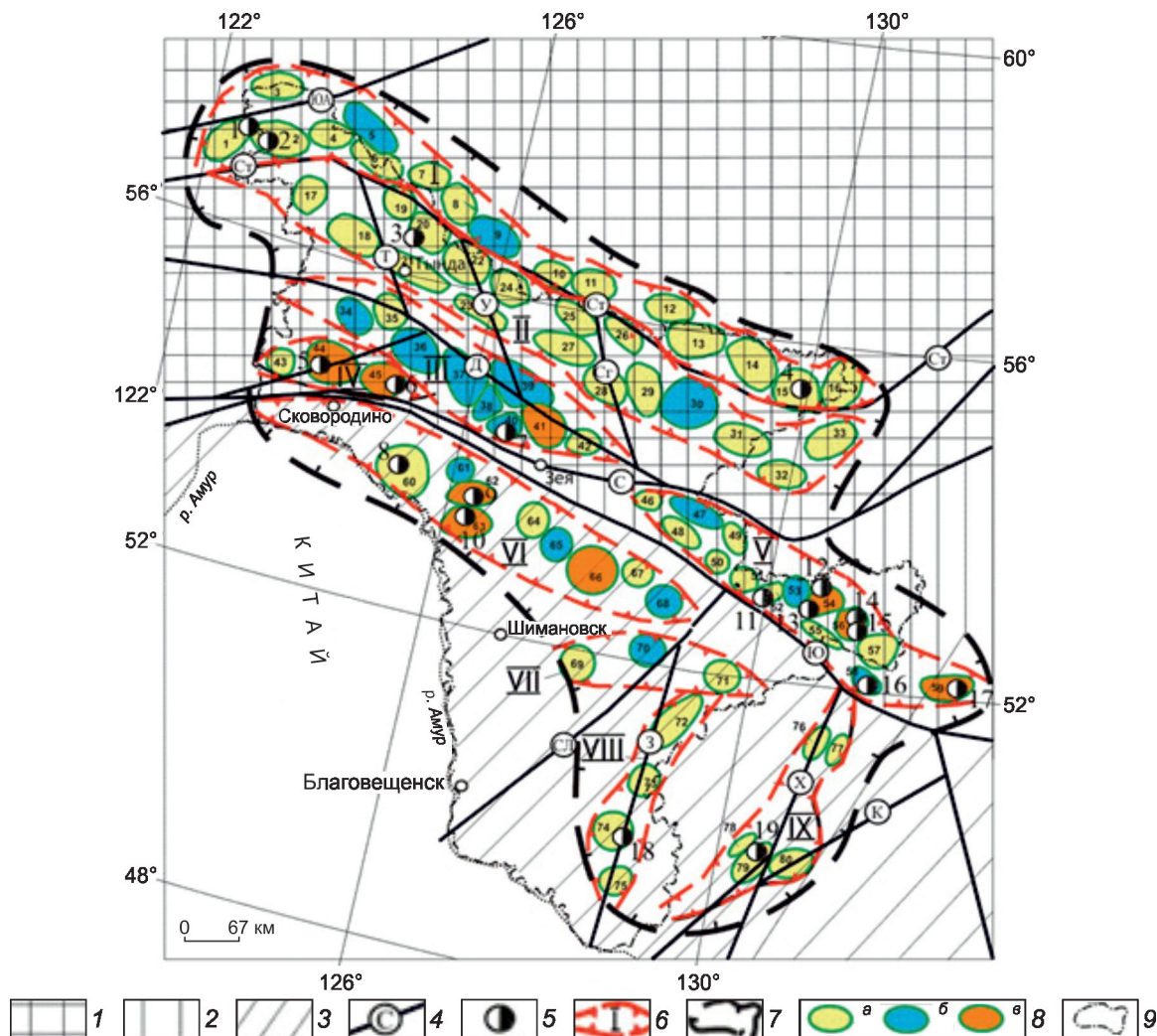


Рис. 1. Продуктивность рудно-россыпных узлов Приамурской золотоносной провинции:

1–3 – геоблоки: 1 – Алдано-Становой, 2 – Монголо-Охотский, 3 – Амурский; 4 – региональные разломы: ЮА – Южно-Алданский, Ст – Становой, Т – Тунгурсчанский, С – Северо-Тукурингрский, Ю – Южно-Тукурингрский, Д – Джелтулакский, У – Унахинский, СГ – Сугдзарский, СЛ – Селемджинский, З – Западно-Туранский, Х – Хинганский, К – Курский; 5 – золоторудные месторождения и их номера: 1 – Ледяное, 2 – Скалистое, 3 – Бамское, 4 – Колчеданный Утёс, 5 – Березитовое, 6 – Кировское, 7 – Золотая Гора, 8 – Буриндинское, 9 – Пионерское, 10 – Покровское, 11 – Маломыр, 12 – Токурское, 13 – Сагурское, 14 – Харгинское, 15 – Албын, 16 – Буровое, 17 – Кербинское, 18 – Прогнозное, 19 – Нони; 6 – металлогенические зоны и их номера: I – Южно-Якутская, II – Северо-Становая, III – Джелтулакская, IV – Янканская, V – Джагды-Селемджинская, VI – Северо-Буреинская, VII – Чагойан-Быссинская, VIII – Туранская, IX – Восточно-Буреинская; 7 – контур Приамурской провинции; 8 – границы рудно-россыпных узлов и их номера: а – низкопродуктивные: 1 – Китемятинский, 2 – Каларский, 3 – Ханьинский, 4 – Юктайинский, 6 – Чильчинский, 7 – Верхнеалданский, 8 – Беркаитский, 10 – Верхнесутамский, 11 – Среднесутамский, 12 – Алгаминский, 13 – Чапский, 14 – Окононский, 15 – Сологу-Чайдахский, 16 – Кун-Маньёнский, 17 – Балыктахский, 18 – Лопчинский, 19 – Тогунаский, 20 – Бамский, 21 – Ларбинский, 22 – Лапринский, 23 – Штыкжакский, 24 – Малогилюйский, 25 – Верхнебурятинский, 26 – Утугайский, 27 – Среднебурятинский, 28 – Мультугинский, 29 – Бомнакский, 31 – Купуринский, 32 – Удыхинский, 33 – Чогарский, 35 – Хорогочинский, 42 – Журбанский, 43 – Уркинский, 46 – Долбырьский, 48 – Туксинский, 49 – Дугдинский, 50 – Норский, 51 – Эгорский, 52 – Маломырский, 55 – Огоджинский, 57 – Восточноселемджинский, 60 – Буриндинский, 64 – Умлеканский, 67 – Адамихинский, 69 – Чагойанский, 71 – Быссинский, 72 – Алеунский, 73 – Исинский, 74 – Симичинский, 75 – Архаринский, 76 – Иорикский, 77 – Ургальский, 78 – Верхнеушмунский, 79 – Нонинский, 80 – Верхнегуджалский, б – среднепродуктивные: 5 – Кабактанский, 9 – Верхнетимптонский, 30 – Сугдзарский, 34 – Уркиминский, 36 – Джелтулакский, 37 – Талгинский, 38 – Успенский, 39 – Иликан-Унахинский, 40 – Золотогорский, 47 – Унья-Бомский, 53 – Верхнестойбинский, 58 – Софийский, 61 – Игакский, 65 – Ясенский, 68 – Сохатинский, 70 – Нижнеселемджинский, в – высокопродуктивные: 41 – Моготский, 44 – Березитовый, 45 – Соловьёвский, 54 – Токурский, 56 – Харгинский, 59 – Кербинский, 62 – Улунгинский, 63 – Тыгдинский, 66 – Октябрьский; 9 – граница Амурской области

пределах. В наиболее богатых узлах производство золота достигало первых сотен тонн. В некоторых узлах добыча не производилась. Авторами данной статьи произведено ранжирование узлов по степени продуктивности, то есть по сумме добытого рудного и россыпного золота. При этом выделены высоко- (добыто более 50 т), средне- (10–50 т) и низкопродуктивные (менее 10 т) РРУ. Всего выделено 9 узлов с высокой, 16 со средней и 55 с низкой продуктивностью. В расположении узлов с разной продуктивностью видны определённые закономерности. Высокопродуктивные узлы приурочены к металлогеническим зонам, слагающим ядро провинции. В этих же зонах сосредоточена и основная масса РРУ средней продуктивности (12 из 16). В металлогенических зонах периферических частей провинции преобладают РРУ с низкой продуктивностью. Таким образом, провинция представляет собой крупную зональную аномалию золота, свидетельствующую о едином этапе рудообразования (см. рис. 1).

Наибольший интерес как аномально высокие вспышки золотого оруденения и россыпей представляют высокопродуктивные узлы. В пределах этих 9 узлов добыто основное количество золота провинции (834 из 1300 т). В том числе из россыпей добыто 669,5 т золота (51% от общей добычи), из рудных месторождений – 165,1 т (19,8% от общей добычи). Соотношение добычи россыпного золота к рудному составляет 4:1.

В свою очередь по соотношению добычи рудного и россыпного золота высокопродуктивные РРУ можно разделить на преимущественно россыпные, рудно-россыпные и преимущественно рудные (табл. 1). В среднем на узел добыча золота в пределах преимущественно россыпных узлов (115 т) заметно выше, чем в рудно-россыпных (84 т), а меньше всего в преимущественно рудных (61 т). В этом же направлении доля добычи россыпного золота снижается, а рудного возрастает.

1. Типы высокопродуктивных рудно-россыпных узлов Приамурской провинции

Название узла	Добыча золота, т		
	Из россыпей	Из рудных месторождений	Общая сумма
РРУ с преимущественной добычей из россыпей			
1. Соловьевский	200,0	Кировское – 9,4	209,4
2. Моготский	131,1	Уганское – 0,1	131,2
3. Октябрьский	73,5		73,5
4. Кербинский	46,6		46,6
РРУ с сопоставимыми объёмами добычи россыпного и рудного золота			
5. Харгинский	83,1	Харгинское – 6,8	93,5
		Албын – 2,8	
		Ясное – 0,4	
		Ингагли – 0,2	
		Унгличikan – 0,1	
		Афанасьевское – 0,1	
6. Токурский	60,7	Токур – 34,0	97,8
		Сагур – 3,0	
		Тарнах – 0,1	
7. Березитовый	47,5	Березитовое – 13,1	60,7
		Шахта Мосина – 0,1	
РРУ с преимущественной добычей рудного золота			
8. Улунгинский	18,8	Пионер – 38,1	56,9
9. Тыгдинский	8,2	Покровское – 56,8	65,0
Сумма	669,5	165,1	834,6

Типы высокопродуктивных рудно-россыпных узлов Приамурской провинции. РРУ с преимущественной добычей россыпного золота. К этому типу отнесены Соловьевский, Моготский, Октябрьский и Кербинский рудно-россыпные узлы. Существенно россыпные РРУ представлены положительными структурами – интрузивно-купольными и горст-антиклинальными поднятиями или поднятыми блоками, сложенными метаморфическими и осадочными образованиями, прорванными интрузиями и дайками преимущественно ранне- и позднемелового возраста. В них расположены многочисленные россыпи. Золотое оруденение представлено средним по запасам Кировским месторождением золото-сульфидно-кварцевой формации, мелкими Кербинским и Токоланским месторождениями золото-кварцевой формации, а также

рудопроявлениями главным образом золото-кварцевой формации (табл. 2).

Россыпное золото от мелкого до крупного, часто отмечаются самородки максимальным весом до 1600 г. Его проба высокая в основном 900–950‰, несколько ниже только в Октябрьском узле – 850–900‰ (рис. 2).

Узлы с сопоставимой добычей россыпного и рудного золота. К этому типу отнесены Березитовый, Токурский и Харгинский рудно-россыпные узлы (рис. 3). В геолого-структурном плане узлам отвечают синклинали и грабен-синклинальная структуры, выполненные черносланцевыми толщами, а также интрузивно-купольное поднятие, сложенное метаморфическими породами. Для узлов этого типа характерны мелкие и средние по запасам месторождения

2. Характеристика преимущественно россыпных узлов

Название узла	Геологическая структура	Типы золотого оруденения	Россыпи золота	Характеристика россыпного золота
1. Соловьевский	Интрузивно-купольное поднятие, сложенное метаморфическими и осадочными образованиями, прорванными интрузиями раннего мела	Кировское золото-сульфидно-кварцевое месторождение; рудопроявления золото-кварцевой, золото-сульфидной, золото-сурьмяной и золото-ртутной формаций	Наиболее богатые россыпи берут начало из Кировского рудного поля	Мелкое и средней крупности, пластинчатой, комковидной и дендритовидной форм; самородки до 400 г; проба 900–950‰
2. Моготский	Поднятый блок фундамента трапециевидной формы, сложенный метаморфическими породами раннего архея, прорванными интрузиями докембрийского, палеозойского и мезозойского возраста	Рудопроявления золото-кварцевой, реже золото-сульфидно-кварцевой формаций	Россыпи равномерно развиты на площади узла	От мелкого до крупного; форма комковидная, пластинчатая, лепёшковидная, чешуйчатая, реже дендритовидная; самородки до 200 г; проба в интервале 800–996, чаще 900–950‰
3. Октябрьский	Интрузивно-купольное поднятие, сложенное интрузиями палеозойского, пермо-триасового, реже раннемелового возраста; в центре узла крупные провесы кровли сложены рифейскими толщами	Рудопроявления золото-кварцевой, золото-скарновой и золото-ртутной (карлинский тип) формаций	Россыпи приурочены к центральной части узла	Мелкое и средней крупности; форма таблитчатая, комковидная, губчатая, дендритовидная; самородки до 1600 г; проба 804–907‰
4. Кербинский	Горст-антиклинальное поднятие, ядро сложено терригенными толщами пермо-триасового и позднепермского возраста, крылья – среднеюрского; гранитные интрузии позднего мела	Мелкие месторождения и рудопроявления золото-кварцевой формации	Россыпи приурочены к центральной части узла	Мелкое и средней крупности; пластинчатой, комковидной, проволоковидной форм; самородки до 300 г; проба 900–940‰

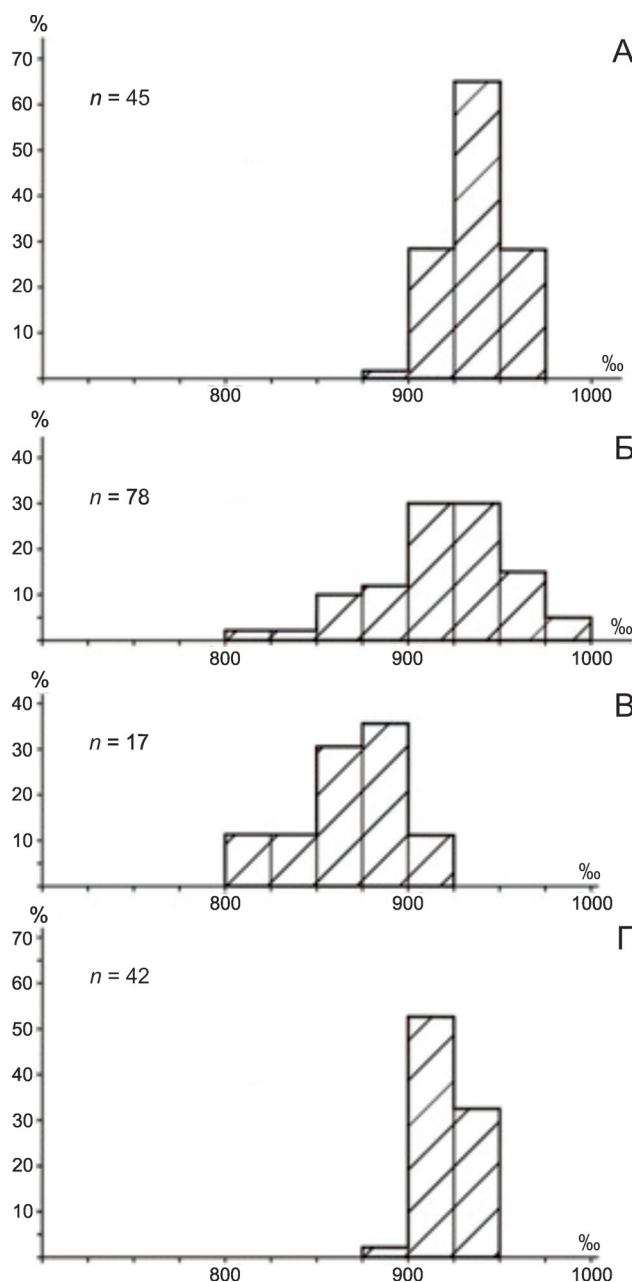


Рис. 2. Гистограммы пробы россыпей рудно-россыпных узлов с преимущественной добычей россыпного золота:

А – Соловьевский, Б – Моготский, В – Октябрьский, Г – Кербинский

золото-кварцевой (Токур, Албын, Харга и др.), в меньшей степени золото-полиметаллической (Березитовое) формаций, а также многочисленные средние и мелкие по запасам россыпи (табл. 3). Из этих узлов добыто от 60,7 (Березитовый узел) до 93,5 т (Харгинский) и 97,9 т золота (Токурский). Всего из этих узлов добыто 252,1 т

золота, что составляет 19,2% от общего количества извлеченного золота провинции. Отношение количества добытого россыпного золота к рудному меняется от 8:1 в Харгинском узле до 1,6:1 в Березитовом. Количество рудного золота составляет 60,7 т или 33,7% от добычи рудного золота в провинции. Россыпное золото мелкое и средней крупности, отмечаются самородки весом до 1 кг. Проба золота варьирует от 775 до 950‰.

Преимущественно рудные РРУ. К этому типу отнесены Улунгинский и Тыгдинский рудно-россыпные узлы (рис. 4). Из них добыто 27 т россыпного и 94,9 т рудного золота (табл. 1), всего 121,9 т золота, что составляет 9,2% от общей добычи в провинции. Отношение суммы добытого рудного золота к россыпному

А

Б

В

Г

А

Б

В

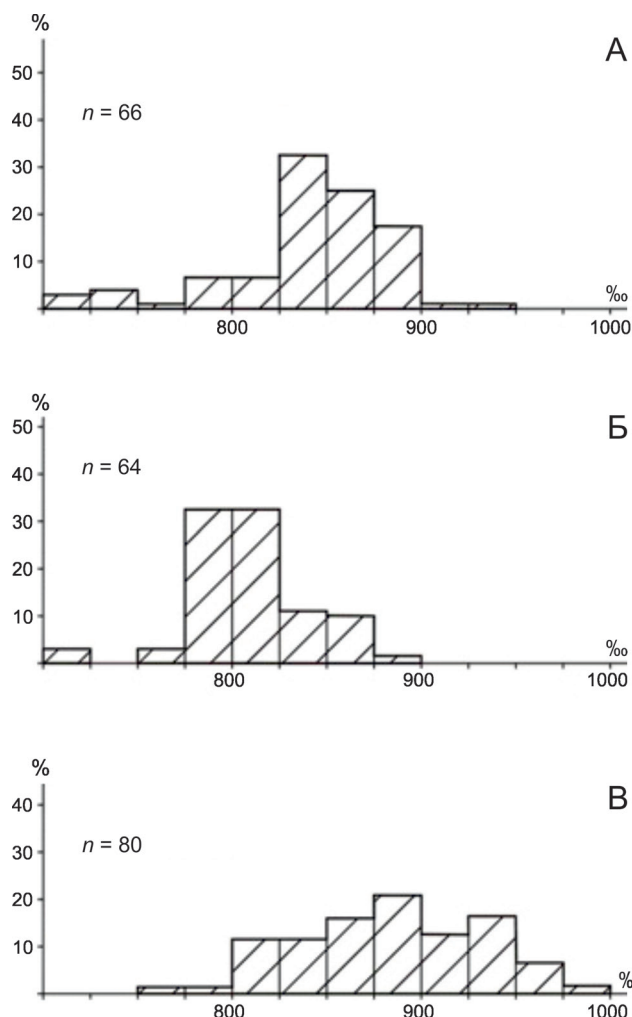


Рис. 3. Гистограммы пробы россыпного золота рудно-россыпных узлов с сопоставимой добычей рудного и россыпного золота:

А – Харгинский, Б – Токурский, В – Березитовый

3. Характеристика высокопродуктивных узлов с сопоставимой добычей рудного и россыпного золота

Название узла	Структура узла	Типы золотого оруденения	Россыпи золота	Характеристика россыпного золота
1. Харгинский	Грабен-синклинальная структура, сложенная позднепалеозойскими черносланцевыми толщами, с выступами раннепалеозойского фундамента	Месторождения золото-кварцевой и золото-шеелит-кварцевой формации	Россыпи в центральной части узла	Мелкое и средней крупности; самородки до 1 кг; проба 705–910‰
2. Токурский	Синклинальная структура, сложенная черносланцевыми толщами палеозоя, прорванными интрузиями позднего мела	Месторождения и рудопроявления золото-кварцевой формации	Россыпи в центральной части узла	Мелкое и средней крупности, пластинчатой, комковидной и дендритовидной формы; проба 715–870‰
3. Березитовый	Интрузивно-купольное поднятие, сложенное метаморфическими и интрузивными породами докембрия, прорванными палеозойскими и мезозойскими интрузиями	Березитовое золото-полиметаллическое месторождение; рудопроявления золото-кварцевой, золото-сульфидно-кварцевой, золото-полиметаллической и золото-ртутной формации	Россыпи тяготеют к периферии узла	Мелкое и средней крупности, пластинчатой, комковидной и дендритовидной формы; самородки до 600 г; проба 850–900‰

меняется от 2:1 в Улунгинском узле до 7:1 в Тыгдинском, в среднем 3,5:1. Обоим узлам отвечают секторные блоки Гонжинского поднятия, сложенные осадочными толщами палеозоя и мезозоя и прорванные вулканитами и гранитоидными интрузиями раннего мела, а в основании выходят метаморфиты докембрия. В этих РРУ известны крупные, средние и мелкие по запасам месторождения золото-сульфидно-кварцевой (Пионер, Александра), золото-серебряной (Покровское, Желтунак) и золото-медно-молибден-порфировой (Икан) формаций. Золото в россыпях преимущественно мелкое, самородки не характерны. Его проба средняя, в пределах 800–900‰.

Основные различия выделенных типов высокопродуктивных узлов заключаются в следующем:

1. Существенно россыпные узлы представлены интрузивно-купольными и горст-антиклинальными поднятиями, сложенными преимущественно интрузивами кислого состава, рудно-россыпные сформированы синклинальными и грабен-синклинальными структурами в черносланцевых толщах, а рудные представляют собой секторные блоки крупного выступа кристаллического фундамента Амурского композитного массива.

2. В россыпных узлах преимущественно развито оруденение золото-кварцевой формации, в рудно-россыпных – золото-кварцевой и золото-полиметаллической формаций, а в рудных – золото-сульфидно-кварцевой, золото-серебряной и золото-молибден-порфировой формаций.

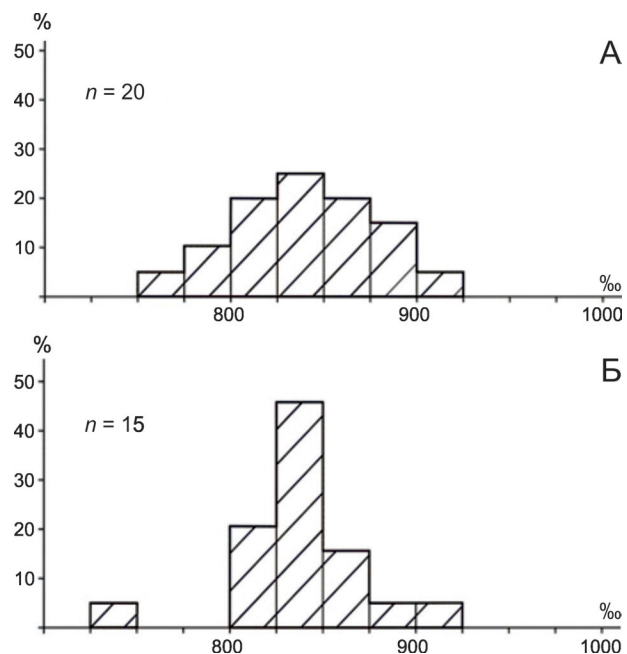


Рис. 4. Гистограмма пробы золота рудно-россыпных узлов с преимущественной добычей рудного золота:

А – Улунгинский, Б – Тыгдинский

4. Характеристика преимущественно рудных высокопродуктивных узлов

Название узла	Структура узла	Типы золотого оруденения	Россыпи золота	Характеристика россыпного золота
1. Улунгинский	Восточный секторный блок Гонжинского поднятия, сложенный осадочными толщами палеозоя и юры, вулканитами раннего мела, прорванными гранитоидными интрузиями поздней юры и раннего мела	Месторождение Пионер золото-сульфидно-кварцевой, Желтунак золото-серебряной, Икан золото-медно-молибден-порфиновой формаций, а также рудопоявления золота	Россыпи приурочены к центральной части узла	Мелкое, редко крупное, комковидной, пластинчатой и дендритовидной формы; самородки до 16 г; проба 769–913‰
2. Тыгдинский	Южный секторный блок Гонжинского поднятия, сложенный гнейсами докембрия, терригенными породами юры и вулканитами раннего мела, прорванными гранитоидными интрузиями раннего мела	Месторождение Покровское золото-серебряной формации, рудопоявления золото-кварцевой и золото-медно-молибден-порфиновой формаций	Россыпи приурочены к периферической части узла	Мелкое, реже средней крупности, комковидное, пластинчатое, дендритовидное; проба 722–910‰

3. Добыча золота в среднем по узлам закономерно уменьшается в ряду россыпные (127 т)–рудно-россыпные (84 т)–рудные (60 т).

4. Размерность и проба россыпного золота уменьшаются в том же направлении.

В заключение отметим, что Приамурская золотоносная провинция представляет собой единую систему с определёнными закономерностями размещения продуктивных рудно-россыпных узлов. Добыча золота за 150 лет составила около 1300 т, а максимальная добыча за последние годы – 25–30 т. Поэтому общий золотоносный потенциал провинции авторы данной статьи оценивают в 3–5 тыс. т. Для реализа-

ции этого потенциала следует учитывать факт истощённости россыпей. Следовательно основное внимание надо уделять поиску, разведке и эксплуатации рудных месторождений. В качестве первоочередных объектов для геологоразведочных работ предлагаются площади высокопродуктивных РРУ, которые в течение длительного времени являлись основными продуцентами золота. Из них наиболее перспективны: 1) преимущественно рудные РРУ (Улунгинский и Тыгдинский), 2) рудно-россыпные (Харгинский, Токурский и Березитовый), 3) преимущественно россыпные (Соловьевский, Моготский, Октябрьский и Кербинский).

Глобальная палеогеография и палеобиогеография позднего триаса (карний–рэт) по брахиоподам

В.С.ГРИНЕНКО, В.В.БАРАНОВ (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук (ИГАБМ СО РАН); 677980, г. Якутск, проспект Ленина, д. 39)

Установлено, что в позднем триасе (карний–рэт) палеогеография Земли была представлена тремя суперконтинентами – Афалией, Пацифидой и Аразией – и двумя континентами – Гипербореей и Антарктидой, которые были разделены мелководными шельфовыми морскими бассейнами шириной около 1500–2000 км, сообщающимися между собой. Бореальный бассейн соединялся с Тетическим западным и восточным проливами. На основании анализа пространственно-временного распространения поздне триасовых брахиопод выделены три палеозоохории высшего ранга: Экваториальная, Бореальная и Нотальная надобласти. Экваториальная надобласть разделяется на Альпийскую (Европейскую), Кавказско-Аравийскую, Памиро-Гималайскую, Индийско-Индонезийскую, Китайско-Японскую, Австралийско-Новозеландско-Новокаледонскую и Западно-Южно-Американскую области. Бореальная надобласть представлена Сибирско-Северо-Американской областью с двумя биогеографическими районами – Гренландским и Невадским.

Ключевые слова: палеогеография, палеобиогеография, Пацифида, Аразия, Афалия, Гиперборея, Антарктида, поздний триас, карний, норий, рэт, брахиоподы.

Гриненко Виталий Семенович
кандидат геолого-минералогических наук

grinenkovs@diamond.ysn.ru



Баранов Валерий Васильевич
доктор геолого-минералогических наук

baranowvalera@yandex.ru

Global paleogeography and paleobiogeography of the Early Triassic (Carnian–Rhaetian) as derived from brachiopods

V.S.GRINENKO, V.V.BARANOV (Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences)

It is shown that paleogeography of the Earth was represented in the Late Triassic (Carnian–Rhaetian) by three supercontinents – Afaia, Pacifida, Arasia and two continents, Hyperborea and Antarctica, which were separated by interconnecting inland shelf sea basins about 1500–2000 kilometers wide communicating with each other. The Boreal basin was connected with the Tethian basin by the West and East passages. Based on the study of spatial-temporal distribution of the Late Triassic brachiopods three first-order paleozoochore were differentiated: Equatorial, Boreal, and Notal superrealms. The Equatorial superrealm is divided into the Alpine (European), Caucasian-Arabian, Pamirian-Himalayan, Indian-Indonesian, Chinese-Japanese, Australian-New Zealand-New Caledonian, and Western South American biogeographical realms. The Boreal superrealm is represented by the Siberian-North American realm divided into two Greenland and Nevadian biogeographic districts.

Key words: paleogeography, paleobiogeography, Pacifida, Arasia, Afaia, Hyperborea, Antarctica, Late Triassic, Carnian, Norian, Rhaetian, brachiopods.

Настоящая работа продолжает серию публикаций [2–5] по глобальной палеогеографии фанерозоя с использованием материалов глубоководного бурения дна Мирового океана (programs «Deep Sea Drilling Project», 1963–1984 и «Ocean Drilling Project», 1985–2003) [6, 7, 15–17]. Она также преследует цель глобальных палеобиогеографических реконструкций и выявления

степени биогеографических связей между палеобиоохориями. При палеобиогеографических реконструкциях авторы использовали данные по систематике брахиопод, изложенные в американском справочном издании «Treatise of invertebrate paleontology» [26] и публикациях российских и зарубежных исследователей [9–13, 20, 21, 23–25].

При оконтуривании границ морских палеобассейнов на современных материках использовались данные по распространению артикулятных брахиопод, существование которых с раннего палеозоя по настоящее время ограничено глубинами преимущественно от 0 до 200 м [13]. Палеогеография территорий, покрытых в настоящее время океаническими бассейнами, реконструирована авторами публикации по керну скважин, пробуренных в Мировом океане и описанных в работах [7, 16, 17].

Материалы по стратиграфии, которые были получены при глубоководном бурении дна океанов, и обобщение данных по палеогеографии, седиментогенезу и палеобиогеографической интерпретации распространения морской фауны позволили авторам представить принципиально новый взгляд на палеогеографию нашей планеты в позднем триасе. Б.А.Блюман [7] в своей монографии показал, что три базальтовых покрова, располагающиеся в основании осадочного чехла, характеризуются субаквальным (мелководным) генезисом и формируют так называемый «второй слой». Эти покровы характеризуют собой *структурированные этажи базальтовых потоков*, разделённые между собой перерывами в осадконакоплении. Между излившимися лавовыми потоками базальтов обнаружены остатки древесины, прослойки лигнитов, выявлены споры и пыльца континентального генезиса, а также соленосные отложения и другие продукты латеритных кор выветривания как свидетельства их наземного (континентального) происхождения. Уровни перерывов трассируются продуктами выветривания на континентальной суше. Подошвенные слои базальтов во всех исследованных частях океанов залегают базальными горизонтами с размывом на гнейсах и кристаллических сланцах архейского или протерозойского возраста [7], то есть в позднем триасе в их акватории располагалась континентальная суша. На палеотектонической схеме северной части Индийского океана [17, с. 249, рис. 15] показано наличие коры континентального типа к западу от Австралии, на продолжении западного обрамления Африки, к западу от полуострова Индостан, а также к юго-востоку от Африки практически до Антарктиды. В монографии Е.М.Рудича [15] рассмотрено геологическое строение, эволюция магматизма, осадочные формации, история геологического развития дна Тихого океана, установлена его стационарность и выявлено преобладание вертикальных движений в процессе тафrogenеза с проявлением незначительных горизонтальных смещений, связанных с ротацией.

Палеогеография Земли в конце триаса представлена тремя суперконтинентами – Аразией, Афалией и Пацифидой – и двумя континентами – Антарктидой и Гиперборей (см. рисунок). Последняя была расположена в акватории Северного Ледовитого океана (в современном понимании), что подтверждается находками архейских гранитов вблизи Северного полюса [1]. Эти континентальные массы суши были разделены мелко-

водными эпиконтинентальными морскими бассейнами с максимальной шириной 1500–2000 км (см. рисунок). Морские бассейны, унаследованные от ранних этапов развития Земли, были заложены на континентальной коре. Предлагаемая авторами данной статьи схема палеогеографии не противоречит данным Е.М.Рудича [15], который считает, что наличие мелководных шельфовых морей позднемезозойско-четвертичного возраста во всех частях Мирового океана является альтернативой первичности океанов, постулируемой неомобилистами. Интересно, что мезозойские морские бассейны, окружающие суперконтинент Пацифиду, совпадают с Тихоокеанским поясом (огненным кольцом), который заложился в докембрии, связав в единое целое такие континенты, как Австралия, Евразия, Северная и Южная Америка, тем самым исключив их перемещение на значительные расстояния [8].

В позднем триасе в приэкваториальном поясе располагался Тетический эпиконтинентальный морской бассейн, сообщавшийся на востоке проливом с Бореальным морским бассейном через территорию юго-востока Китая и Японии, а на западе – через морской бассейн, который был расположен на территориях Франции, Испании, островов Свальбард и Гренландия. Причём так называемый «испанский коридор» проходил через Испанию, с запада огибал Англию и Скандинавию и далее через Гренландию соединялся с Бореальным морским бассейном, расположенным на севере Канады и Аляски. Тетический бассейн на востоке через морские бассейны Индонезии, Новой Каледонии и Новой Зеландии соединялся с Нотальным бассейном. Бореальный бассейн через краевые эпиконтинентальные моря, расположенные на западном обрамлении современных континентов Северной и Южной Америки, сообщался также с Нотальным морским бассейном. Подобная береговая конфигурация массивов суши и абрис акваторий морских бассейнов, а также климатическая поясная зональность обусловили существование в позднем триасе трёх палеозоохорий наивысшего ранга: Экваториальной, Бореальной и Нотальной.

Основные принципы палеобиогеографического районирования изложены в статье В.В.Баранова [2]. Для выявления степени биогеографических связей между двумя палеобиохориями использовался индекс общности:

$$K = \frac{2a}{b+c},$$

где a – общее число родов в обеих палеобиохориях, b – число родов в первой и c – во второй палеобиохориях. Чем выше число K , тем более тесные биогеографические связи между ними. Полная общность палеобиохорий при $K=100\%$ ($=1$).

Первая биогеографическая схема позднего триаса была создана в России А.С.Дагисом [9–13]. На ограниченном материале (три надсемейства и восемь родов)

им было выделено пять палеозоохорий первого ранга (областей): Бореальная (Сибирь, Приморье, Свальбард, Арктическая Канада), Северная Гондвана (Альпы, Карпаты, Анатолия, Кавказ, Каракорум, Вьетнам, Китай), пери-Гондвана Тетическая (Оман, Гималаи, Индонезия), Нотальная (Новая Зеландия, Новая Каледония, Чили) и Восточная Пацифика (Невада, Перу).

Появившиеся в последние десятилетия новые данные по систематическому составу артикулятных брахиопод из различных регионов мира, а также имеющаяся в распоряжении авторов коллекция брахиопод из рэтских отложений северо-востока Сибирской платформы и новые материалы по рэтским брахиоподам Аляски, любезно предоставленные доктором Р.Б.Блуджеттом (США), позволили существенно дополнить схему А.С.Дагиса. Исследователи из Китая [22], используя кластерный анализ, выделили в позднем триасе три биогеографические области (realms): Гондванскую (А), Тетическую (В) и Бореальную (С). Последняя вопреки всякой логике пересекает Экваториальную климатическую надобласть.

Экваториальная надобласть в позднем триасе подразделяется на Альпийскую (Европейскую), Кавказско-Аравийскую, Памиро-Гималайскую, Китайско-Японскую, Австралийско-Новозеландско-Новокаледонскую, Западно-Северо-Американскую и Западно-Южно-Американскую области.

Альпийская палеобиогеографическая область занимала территорию современной Западной Европы, от Карпат на востоке и до Португалии на западе, к ней также относилась территория северной Африки. Область представлена пятью отрядами брахиопод (Rhynchonellida, Athyridida, Spiriferinida, Thecideida, Terebratulidida), пятью подотрядами (Retziidina (вымирает на нижней границе рэта), Koninckinidina, Cyrtinidina, Spiriferinidina, Terebratulidina, восемью надсемействами (Rhynchonelloidea, Retziodea, Koninckinoidea, Suessioidea, Spondylospiroidea, Thecospiroidea, Thecideoidea, Dielasmatoidea), двадцатью одним семейством (Dimerellidae, Austrirhynchiidae, Wellerellidae, Allorhynchidae, Rhynchonellidae, Diplospirellidae, Koninckinidae, Neoretziidae, Koninckinidae, Laballidae, Bittnerulidae, Spondylospiridae (ограничено только верхним триасом), Balatonospiridae, Thecospiirellidae, Thecidellinidae, Bactryniidae, Zugmayeriidae, Plectonchidae, Dielasmatidae, Zugmayeriidae, Juvavellidae), девятнадцатью подсемействами (Cryptorhynchiinae, Rhynchonellininae, Peregrinellinae, Cirpinae, Piarorhynchiinae, Norellinae, Clavigerinae, Misolinae, Ochotothyrinae, Hungarispirinae, Laballinae, Bittnerulinae, Spondylospirinae, Spiriferininae, Mentzeliinae, Thecidellininae, Bactryniinae, Dielasmatinae, Nuculatulinae) и сорока восемью родами брахиопод (*Crurirhynchia*, *Rhynchonellina*, *Sulcirostra*, *?Carapezzia*, *Austrirhynchia*, *Calcirhynchia*, *Euxinella*, *Caucasorhynchia*, *Planirhynchia*, *Rhynchonelloidea*,

Rimirhynchospis, *Norella*, *Fissirhynchia*, *Diplospirella*, *Pexidella*, *?Amphitomella*, *Anisactinella*, *Euractinella*, *Majkopella*, *Oxycolpella*, *?Anomactinella*, *?Pentactinella*, *Dioristella*, *Spirigerellina*, *Neoretzia*, *Schwagerispira*, *Koninckina*, *Amphiclina*, *Koninckella*, *Laballa*, *Zugmayerella*, *Menidzelioides*, *Sinucosta*, *Thecospirella*, *Bittnerella*, *Moorellina*, *Bactrynum*, *Davidsonella*, *Zugmayeria*, *Triadithyris*, *Coenothyris*, *Cruratlula*, *Tunethyris*, *Tibetothyris*, *Propygope*, *Sulcatothyris*, *Juvavella* и *?Trigorhynchella*), из которых 22% родов являются эндемичными. Она отличается от соседней Кавказско-Аравийской области отсутствием семейств Rastelligeridae, Spiriferellinidae, Angustothyrididae, Gillediidae, Angustothyrididae и Antzeilleridae. На шельфе морского бассейна северной Африки обнаружено 5 региональных и космополитных родов брахиопод и только один род *Tunethyris* – эндемик. Ринхонеллиды представлены девятью семействами и подсемействами, атириды – одним семейством Diplospirellidae, спирифериды – отрядами Cyrtinidina, Spiriferinidina и надсемейством Suessioidea. Из представителей подотряда Spiriferinidina в позднем триасе вымирают представители родов *Mentzelioides*, *Mentzelia* и *Sinucosta*. Очень широко в Альпийской области представлен отряд Thecideida, из которого в позднем триасе закончило своё существование надсемейство Thecospiroidea. Подотряд Terebratulidina представлен семейством Dielasmatidae.

Кавказско-Аравийская область располагалась на территориях Крыма, Кавказа, Саудовской Аравии, Ирана и Афганистана (в современном понимании). Она характеризуется 35 родами (*Crurirhynchia*, *Rhynchonellina*, *Sulcirostra*, *?Carapezzia*, *Austrirhynchia*, *Euxinella*, *?Robinsonella*, *Caucasorhynchia*, *Piarorhynchia*, *Rimirhynchospis*, *Norella*, *Fissirhynchia*, *Diplospirella*, *Pexidella*, *Majkopella*, *Oxycolpella*, *?Anomactinella*, *Pentactinella*, *Dioristella*, *Spirigerellina*, *Neoretzia*, *Koninckina*, *Amphiclina*, *Koninckella*, *Spinolepismatina*, *Menidzelioides*, *Tradispira*, *Cubanothyris*, *Rhaetina*, *Adygelloides*, *Triadithyris*, *Adygella*, *Coenothyris*, *Sulcatothyris*, *Caucasothyris*), из них пять родов (*Spinolepismatina*, *Tradispira*, *Cubanothyris*, *Adygelloides*, *Sulcatothyris*), составляющих 14%, – эндемичные, 25 родов (*Crurirhynchia*, *Rhynchonellina*, *Sulcirostra*, *?Carapezzia*, *Austrirhynchia*, *Euxinella*, *Caucasorhynchia*, *Rimirhynchospis*, *Norella*, *Pseudohalorella*, *Fissirhynchia*, *Diplospirella*, *Majkopella*, *Oxycolpella*, *?Anomactinella*, *Pentactinella*, *Dioristella*, *Spirigerellina*, *Pexidella*, *Neoretzia*, *Koninckina*, *Amphiclina*, *Koninckella*, *Triadithyris*, *Coenothyris*, *Sulcatothyris* и *Caucasothyris*) или 71,4% являются общими для Кавказско-Аравийской и Альпийской областей. Индекс общности между Кавказско-Аравийской и Альпийской областями равен 0,3, что свидетельствует о существовании стабильных биогеографических связей между ними.

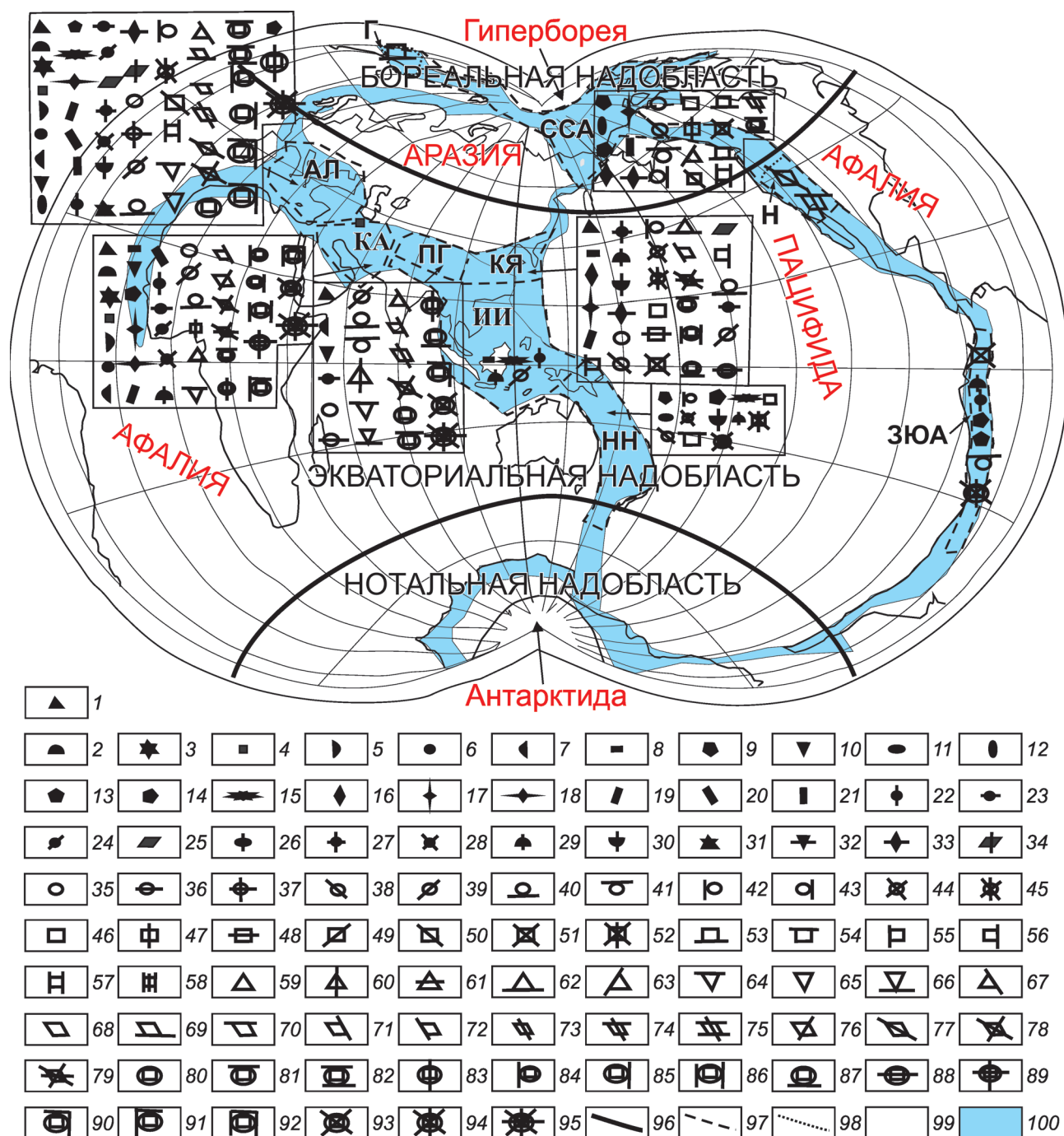
Памяро-Гималайская область, занимавшая территорию горных систем Памяра и Гималаев, представлена четырьмя отрядами (Rhynchonellida, Athyridida, Thecideida, Terebratulida), четырьмя подотрядами (Retziidina, Koninckinidina, Spiriferinidina, Terebratulidina), пятью надсемействами (Rhynchonelloidea, Retzioidea, Koninckinoidea, Thecospiroidea, Dielasmatoidea), десятью семействами (Wellerellidae, Allorhynchidae, Norellidae, Diplospirellidae, Neoretziidae, Koninckinidae, Balatonospiridae, Hungarithecididae, Plectoconchidae, Dielasmatidae), семью подсемействами (Cryptorhynchiinae, Clavigerinae, Ochotathyridinae, Jiangdaspiriferinae, Pamirothecinae (эндемичное), Dielasmatidae, Antezeilleridae) и двадцатью тремя родами (*Crurirhynchia*, *Euxinella*, *Caucasorhynchia*, *Fissirhynchia*, *Diplospirella*, *Pexidella*, *Fissirhynchia*, *Oxycolpella*, *Dioristella*, *Neoretzia*, *Koninckina*, *Amphiclina*, *Paralaballa*, *Jiangdaspirifer*, *Bittnerella*, *Cubanothyris*, *Cystothyris*, *Paradoxothyris*, *Triadithyris*, *Aspidothyris*, *Coenothyris*, *Tibetothyris*, *?Epidothyris*, из них пять родов (21,7%) – *Paralaballa*, *Jiangdaspirifer*, *Cystothyris*, *Aspidothyris*, *?Epidothyris* – эндемики. Памяро-Гималайская область отличается от Кавказско-Аравийской отсутствием представителей подотряда Spiriferinida, надсемейства Spondylospiroidea и наличием эндемичного подсемейства Pamirothecinae. Общими с Кавказско-Аравийской областью являются семнадцать родов: *Caucasorhynchia*, *Pseudohalorella*, *Fissirhynchia*, *Diplospirella*, *Fissirhynchia*, *Oxycolpella*, *Dioristella*, *Neoretzia*, *Koninckina*, *Amphiclina*, *Paralaballa*, *Jiangdaspirifer*, *Bittnerella*, *Cubanothyris*, *Cystothyris*, *Paradoxothyris*, *Triadithyris*. Индекс общности равен 0,3, что свидетельствует о существовании стабильных биогеографических связей между этими областями.

Индийско-Индонезийская область занимала территорию севера Индии, Вьетнама, Лаоса и Индонезии. Она представлена двумя отрядами (Rhynchonellida и Athyridida), двумя подотрядами (Retziidina и Koninckinidina), тремя надсемействами (Rhynchonelloidea, Retzioidea, Koninckinoidea), пятью семействами (Wellerellidae, Rhynchonellidae, Norellidae, Diplospirellidae, Koninckinidae), тремя подсемействами (Cirpinae, Piarorhynchiinae, Diplospirellinae) и пятью родами (*?Robinsonella*, *Sakawairhynchia*, *Fissirhynchia*, *Oxycolpella* и *Koninckina*). Индийско-Индонезийская область отличается от Памяро-Гималайской отсутствием представителей отрядов Thecideida и Terebratulida, подотрядов Spiriferinidina и Terebratulidina, а также обеднённым родовым составом брахиопод. Здесь присутствуют представители пяти межрегиональных и космополитных родов *?Robinsonella*, *Sakawairhynchia*, *Fissirhynchia*, *Oxycolpella* и *Koninckina*. Общими с Памяро-Гималайской областью являются три рода – *Fissirhynchia*, *Oxycolpella* и *Koninckina*. Индекс общности составляет 0,18, что свидетельствует о существо-

вании слабых биогеографических связей между этими областями.

Китайско-Японская область занимала территорию Китая, Японии и Приморья. Здесь были встречены представители трёх отрядов (Rhynchonellida, Spiriferinida и Terebratulidina), трёх подотрядов (Retziidina, Cyrtinidina и Spiriferinidina), шести надсемейств (Rhynchonelloidea, Pennospiriferinoidea, Retzioidea, Koninckinoidea, Suessioidea, Thecospiroidea и Dielasmatoidea), одиннадцати семейств (Wellerellidae, Rhynchonellidae, Neoretziidae, Koninckinidae, Laballidae, Spiriferellinidae, Balatonospiridae, Lepismatinidae, Angustothyrididae, Dielasmatidae и Gillediidae), пятнадцати подсемейств (Cryptorhynchiinae, Cirpinae, Rhynchonellinae, Piarorhynchiinae, Uralorhynchiinae, Davanirhynchiinae, Clavigerinae, Misoliinae, Ochotathyridinae, Hungarispirinae, Spinolepismatininae, Balatonospirinae, Pseudocyrtininae, Dielasmatinae и Hemiptychininae), двадцати шести родов (*Crurirhynchia*, *?Robinsonella*, *Piarorhynchia*, *Sakawairhynchia*, *Bolilaspirifer*, *Rimihynchopsis*, *Anisactinella*, *Clavigera*, *Majkopella*, *Misolia*, *Ochotathyris*, *Neoretzia*, *Spirigerellina*, *Schwagerispira*, *Koninckina*, *Carinokoninckina*, *Lamellokoninckina*, *Septamphiclina*, *Klipsteinelloidea*, *Lancangjiangia*, *Tylospiriferina*, *Adygella*, *Coenothyris*, *Costoconcha*, *Parahemiptychina*, *Rhaetina*), из них шесть родов – *Carinokoninckina*, *Lamellokoninckina*, *Klipsteinelloidea*, *Lancangjiangia*, *Tylospiriferina* – эндемики, что составляет 26% от общего числа видов. Китайско-Японская область с Памяро-Гималайской имеет только три общих рода – *Crurirhynchia*, *Neoretzia* и *Koninckina*. Индекс общности между этими областями составляет 0,17, а между Китайско-Японской и Индийско-Индонезийской – 0,16, что свидетельствует о слабых биогеографических связях между ними. Китайско-Японская область отличается от Альпийской отсутствием представителей двух отрядов (Athyridida и Thecideida) и двух подотрядов (Koninckinidina и Terebratulidina).

Австралийско-Новозеландско-Новокаледонская палеобиогеографическая область была расположена на юго-западном обрамлении суперконтинента Палеотангара, занимая территорию шельфа к северо-западу от Австралии, островов Новой Зеландии и Новой Каледонии. Она представлена тремя отрядами (Rhynchonellida, Athyridida и Spiriferinida), подотрядом Cyrtinidina, двумя надсемействами Rhynchonelloidea и Spondylospiroidea, пятью семействами (Rhynchonellidae, Norellidae, Diplospirellidae и Rastelligeridae), семью подсемействами (Cirpinae, Rhynchonellinae, Piarorhynchiinae и Nucleosorhynchiinae, Norellinae, Clavigerinae, Spondylospirinae, Rastelligerinae), девятью родами (*?Vincentirhynchia*, *?Herangirhynchia* (эндемик), *Sakawairhynchia*, *?Murihikurhynchia*, *Fissirhynchia*, *Oxycolpella*, *Clavigera*, *Rastelligera*, *Psioidiella*), из них четыре рода *?Herangirhynchia*, *?Murihikurhynchia*, *Rastelligera* и *Psioidiella* являются эндемичными, что



составляет 44,4% от общего числа видов. Новозеландско-Новокаледонская и Индийско-Индонезийская области имеют три общих рода – *Sakawairhynchia*, *Fissirhynchia* и *Oxycolpella*. Индекс общности между этими областями составляет 0,3, что свидетельствует о стабильности биогеографических связей между ними. Новозеландско-Новокаледонская область отличается от Индийско-Индонезийской присутствием предста-

вителей отряда Spiriferinida, подотряда Cyrtinidina, надсемейства Spondylospiroidea и отсутствием представителей брахиопод из подотрядов Retziidina и Koninckinidina.

Западно-Южно-Американская область протягивается узкой полосой вдоль всего запада Южной Америки и характеризуется тремя отрядами (Rhynchonellida, Athyridida и Spiriferinida), подотрядом

Палеогеография и палеобиогеография позднего триаса по брахиоподам:

роды: 1 – *Crurirhynchia*, 2 – *Rhynchonellina*, 3 – *Sulcirostra*, 4 – ?*Carapezzia*, 5 – *Austrirhynchia*, 6 – *Calcirhynchia*, 7 – *Euxinella*, 8 – ?*Robinsonella*, 9 – *Vincentirhynchia*, 10 – *Caucasorhynchia*, 11 – ?*Herangirhynchia*, 12 – *Planirhynchia*, 13 – *Rhynchonelloidea*, 14 – *Piarorhynchia*, 15 – *Sakawairhynchia*, 16 – *Sinoplicorhynchia*, 17 – *Omolonella*, 18 – ?*Murihikurhynchia*, 19 – *Rimrhynchospis*, 20 – *Norella*, 21 – *Pseudohalorella*, 22 – *Fissirhynchia*, 23 – *Diplospirella*, 24 – ?*Amphitomella*, 25 – *Anisactinella*, 26 – *Euractinella*, 27 – *Clavigera*, 28 – *Majkopella*, 29 – *Oxycolpella*, 30 – *Misolia*, 31 – ?*Anomactinella*, 32 – ?*Pentactinella*, 33 – *Ochotathyris*, 34 – *Dioristella*, 35 – *Spirigerellina*, 36 – *Neoretzia*, 37 – *Cassinospira*, 38 – *Schwagerispira*, 39 – *Koninckina*, 40 – *Amphiclina*, 41 – *Amphiclinodonta*, 42 – *Carinokoninckina*, 43 – *Koninckella*, 44 – *Lamellokoninckina*, 45 – *Septamphiclina*, 46 – *Laballa*, 47 – *Spinolepismatina*, 48 – *Klipsteinelloidea*, 49 – *Thecocyrtella*, 50 – *Spondylospira*, 51 – *Zugmayerella*, 52 – *Rastelligera*, 53 – *Boreiospira*, 54 – *Psioidiella*, 55 – *Lancangjiangia*, 56 – *Tulospiriferina*, 57 – *Pennospiriferina*, 58 – *Menidzelioides*, 59 – *Tradispira*, 60 – *Paralaballa*, 61 – *Mentzelia*, 62 – *Paramentzelia*, 63 – *Sinucosta*, 64 – *Jiangdaspirifer*, 65 – *Thecospirella*, 66 – *Bittnerella*, 67 – *Pamirotheca*, 68 – *Moorellina*, 69 – *Bactrynum*, 70 – *Davidsonella*, 71 – *Cubanothyris*, 72 – *Cystothyris*, 73 – *Paradoxothyris*, 74 – *Rhaetina*, 75 – *Zugmayeria*, 76 – *Adygelloides*, 77 – *Plectoconcha*, 78 – *Triadithyris*, 79 – *Adygella*, 80 – *Aspidothyris*, 81 – *Coenothyris*, 82 – *Cruratula*, 83 – *Tibetothyris*, 84 – *Tunethyris*, 85 – *Propygope*, 86 – *Sulcatothyris*, 87 – *Costoconcha*, 88 – *Parahemiptynchina*, 89 – *Caucasothyris*, 90 – ?*Epidothyris*, 91 – *Juvavella*, 92 – *Wittenburgella*, 93 – *Trigorhynchella*, 94 – *Boliaspirifer*, 95 – *Pexidella*; 96–98 – границы: 96 – надобластей, 97 – областей, 98 – районов; 99 – суша; 100 – вода; биогеографические области: АЛ – Альпийская, ИИ – Индийско-Индонезийская, ЗЮА – Западно-Южно-Американская, КА – Кавказско-Аравийская, КЯ – Китайско-Японская, НН – Новозеландско-Новокаледонская, ПГ – Памиро-Гималайская, ССА – Сибирско-Северо-Американская; биогеографические районы: Г – Гренландский, Н – Невадский

Cyrtinidina, тремя надсемействами (*Rhynchonelloidea*, *Pennospiriferinoidea* и *Spondylospiroidea*), пятью семействами (*Rhynchonellidae*, *Norellidae*, *Lepismatinidae*, *Diplospirellidae* и *Spondylospiridae*), шестью подсемействами (*Rhynchonellinae*, *Piarorhynchiinae*, *Norellinae*, *Pseudocyrtininae*, *Diplospirellinae* и *Spondylospirinae*) и семью родами (*Rhynchonelloidea*, *Fissirhynchia*, *Sakawairhynchia*, *Clavigera*, *Oxycolpella*, *Zugmayerella* и *Bolilaspispirifer*), из них последний род эндемичный и четыре рода (*Fissirhynchia*, *Sakawairhynchia*, *Oxycolpella* и *Clavigera*) являются общими с Новозеландско-Новокаледонской областью. Западно-Южно-Американская область с Западно-Северо-Американской имеет три общих рода – *Rhynchonelloidea*, *Sakawairhynchia* и *Zugmayerella*. Индекс общности между Западно-Южно-Американской и Новозеландско-Новокаледонской областями составляет 0,33, а между Западно-Южно-Американской и Западно-Северо-Американской – 0,21, что свидетельствует о более тесных биогеографических связях между первыми областями, чем между вторыми.

Сибирско-Северо-Американская область занимает территорию арктических регионов Евразии, северную Америку (штаты Невада и Адахо), острова Гренландия и Шпицберген. Она представлена тремя отрядами (*Rhynchonellida*, *Athyridida* и *Spiriferinida*), двумя подотрядами (*Cyrtinidina* и *Spiriferinidina*), тремя надсемействами (*Rhynchonelloidea*, *Suessioidea* и *Spondylospiroidea*), восемью семействами (*Wellerellidae*, *Rhynchonellidae*, *Norellidae*, *Diplospirellidae*, *Laballidae*, *Spondylospiridae* (ограничено только верхним триасом), *Balatonospiridae*, *Zugmayeriidae*), десятью подсемействами (*Cirpinae*, *Rhynchonellinae*, *Uralorhynchiinae*, *Norellinae*, *Ochotathyridinae*, *Laballinae*, *Clavigerinae*, *Spondylospirinae*, *Balatonospirinae*) и шестнадцатью родами (?*Vincentirhynchia*, ?*Planirhynchia*, *Rhynchonelloidea*, *Piarorhynchia*, *Sakawairhynchia*, *Sinoplicorhynchia*, *Omolonella*, *Pseudohalorella*, *Ochotathyris*, *Laballa*, *Spondylospira*, *Zugmayerella*, *Boreiospira*, *Pennospiriferina*, *Pexidella*, *Rhaetina* и *Plectoconcha*), из них пять родов (30%) – *Pseudohalorella*, *Spondylospira*, *Boreiospira*, *Pennospiriferina* и *Plectoconcha* – эндемики. На юге северной Америки в зоне экотона выделяется Невадский биогеографический район, представленный эндемичным родом *Plectoconcha* и космополитным *Rhaetina*, и на территории островов Гренландия и Шпицберген – Гренландский биогеографический район, представленный родом *Boreiospira*. Сибирско-Северо-Американская область с Китайско-Японской имеет три общих рода (*Piarorhynchia*, *Sakawairhynchia* и *Ochotathyris*), с Альпийской три общих рода (*Planirhynchia*, *Laballa* и *Zugmayerella*). Индекс общности между Сибирско-Северо-Американской и Китайско-Японской областями составляет 0,125, а между Сибирско-Северо-Американской и Альпийской – 0,08, что свидетельствует о слабых биогеографических связях между ними. В акватории Сибирско-Северо-Американской области по сравнению с биогеографическими областями Экваториальной надобласти отсутствуют такие крупные таксономические категории, как отряды *Thecideida* и *Terebratulidida*, подотряды *Retziidina*, *Koninckinidina*, *Terebratulidina*, надсемейства *Retziodea*, *Koninckinoidea*, *Thecospiroidea*, *Thecideioidea* и *Dielasmatoidea*.

Таким образом, анализ существующих на настоящее время материалов по географическому распространению замковых брахиопод и глубоководному бурению дна океанов позволил предложить для позднего триаса принципиально новую версию палеогеографии Земли, которая представлена тремя суперконтинентами – Афалией, Пацифидой и Аразией и двумя континентами –

Антарктидой и Гипербореей, которые были разделены мелководными шельфовыми морскими бассейнами. Установлено, что океан Пацифика до позднего триаса не существовал, на его месте располагался суперконтинент Пацифида, границы которого в настоящее время трассируются «огненным кольцом». Палеобиогеография позднего триаса представлена Экваториальной, Бореальной и Нотальной надобластями, внутри которых выделяются области и районы, причём наивысшая степень родообразования наблюдается в пределах Экваториальной надобласти.

Исследования проведены в соответствии с планом НИР ИГАБМ СО РАН (проекты IX.124.1.6 и 0381-2019-0002).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архейские граниты на Северном полюсе* / О.В.Петров, А.Ф.Морозов, А.А.Лайба и др. // *Строение и развитие литосферы*. – М.: Paulsen, 2010. С. 192–203.
2. *Баранов В.В.* Кризис новой глобальной тектоники литосферных плит и палеобиогеография приподольских брахиопод северных регионов Евразии и Северной Америки // *Вестник Госкомгеологии*. 2016. № 1(15). С. 77–90.
3. *Баранов В.В., Гриненко В.С.* Глобальная палеогеография и палеобиогеография среднего палеозоя и терминального триаса // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: мат-лы VIII всероссийской научно-практической конференции 18–20 апреля 2018 г. Т. II*. – Якутск, 2018. С. 16–20.
4. *Гриненко В.С., Баранов В.В.* Палеогеография и палеобиогеография ранней юры (геттанг–плинсбах) по брахиоподам // *Отечественная геология*. 2018. № 1. С. 82–86.
5. *Гриненко В.С., Баранов В.В.* Глобальная палеогеография и палеобиогеография терминального триаса // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: мат-лы VIII всероссийской научно-практической конференции 18–20 апреля 2018 г. Т. II*. – Якутск, 2018. С. 21–24.
6. *Блюман Б.А.* Выветривание базальтов и несогласия в коре океанов: возможные геодинамические следствия // *Региональная геология и металлогения*. 2008. № 35. С. 72–86.
7. *Блюман Б.А.* Земная кора океанов (по материалам международных программ глубоководного бурения в Мировом океане). – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011.
8. *Васильев Б.В.* Геологическое строение и происхождение Тихого океана. – Владивосток: Дальнаука, 2009.
9. *Дагис А.С.* Новые триасовые брахиоподы Северо-Востока СССР // *Стратиграфия и фауна Бореального триаса*. – М.: Наука, 1977. С. 5–22.
10. *Дагис А.С.* Стратиграфическое распределение бореальных триасовых брахиопод // *Стратиграфия и фауна Бореального триаса*. – М.: Наука, 1977. С. 43–50.
11. *Дагис А.С.* Триасовые брахиоподы. – Новосибирск: Наука, 1974.
12. *Дагис А.С.* Триасовые брахиоподы Сибири. – М.: Наука, 1965.
13. *Дагис А.С., Курушин Н.И.* Триасовые брахиоподы и двустворчатые моллюски Средней Сибири / Описание брахиопод и двустворчатых моллюсков // *Тр. ИГиГ СО РАН*. Вып. 633. – М.: Наука, 1985.
14. *Зезина О.Н.* О распределении брахиопод в современном океане в связи с вопросами зоогеографического районирования // *Палеонтологический журнал*. 1970. № 2. С. 3–16.
15. *Рудич Е.М.* Основные закономерности тектонического развития Приморья, Сахалина и Японии как зоны перехода от континента к океану. – М.: Изд-во АН СССР, 1962.
16. *Рудич Е.М.* Движущиеся материи и эволюция океанического ложа. – М.: Недра, 1983.
17. *Рудич Е.М.* Расширяющиеся океаны: факты и гипотезы. – М.: Недра, 1984.
18. *Рудич Е.М.* Мелководные фации Мирового океана // *Океанизация Земли – альтернатива неомобилизма*. – Калининград, 2004. С. 218–234.
19. *Фролов В.Т., Фролова Т.И.* Происхождение Тихого океана. – М.: МАКС Пресс, 2011.
20. *Dagys A.S.* Geographic differentiation of Triassic brachiopods // *Paleogeographic, Paleoclimatology, Paleocology*. 1993. Vol. 100. P. 79–87.
21. *Damborenea S.E., Manceñido M.O.* Late Triassic bivalves and brachiopods from southern Mendoza, Argentina // *Revue de Paleobiologie*. Geneve. 2012. Vol. spec. 11. P. 317–344.
22. *Global brachiopod palaeobiogeographical evolution from Changhsingian (Late Permian) to Rhaetian (Late Triassic)* / Y.Ke, S.-Z.Shen, G.R Shi et al. // *Paleogeographic, Paleoclimatology, Paleocology*. 2016. Vol. 448. P. 4–25.
23. *Sandy M.R.* Triassic-Jurassic articulate brachiopods from the Pucará Group, Central Peru, and description of the brachial net in the Spiriferid *Spondylospira* // *Paleontology and Stratigraphy of Triassic to Jurassic Rocks in the Peruvian Andes*. Palaeontographica A, 1994. Vol. 233(1–6). P. 99–126.
24. *Sandy M.R., Blodgett R.B.* Mesozoic Brachiopods from Alaska as Paleogeographic, Paleocological and Tectonic Tools in Terrane Analysis, including Additional Western Cordillera Localities // *Pacific Section Meeting, Anchorage, Alaska*, 8–11 May 2011.
25. *Sandy M.R., Stanley G.D.* Late Triassic brachiopods from the Luning Formation, Nevada, and their palaeobiogeographical significance // *Palaeontology*. 1993. Vol. 36(2). P. 439–480.
26. *Treatise of Invertebrate paleontology*. Pt. H. Brachiopoda. Revised. Vol. 4. Rhynchonelloformea (part). Geol. Soc. Amer., Institute and the University Kansas Boulder, Colorado, and Lawrence, Kansas. 2002.

Эволюционная модель новейшей структуры Шантарского архипелага

А.А.КОКОВКИН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт тектоники и геофизики им. Ю.А.Косыгина Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИТиГ ДВО РАН); 680000, Хабаровский край, г. Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65)

Представлена модель развития новейшей геологической структуры Шантарского архипелага. Её разработка выполнена в рамках региональной модели волнового структурирования континентальной коры Востока Азии, с использованием методологии синергетики. Структура архипелага представлена в виде инверсионной системы поднятий-островов и впадин-проливов, развивающейся с олигоцена на юго-западе Охотоморского рифтогена, на сочленении его с континентом. Формирование этой сложноорганизованной системы определило взаимодействие субширотных разломов Монголо-Охотской системы с меридиональными разломами системы Танлу. Показано, что эти разломы развиваются в режиме знакопеременного сдвига. Отмечена повышенная активность голоценовой сейсмогеодинамики Шантар. Исследованы сдвиг-надвиговые и сейсмогенные дислокации – индикаторы геодинамической и сейсмической активности архипелага. Шантарский архипелаг, где в настоящее время сформирован Национальный парк, обозначен в качестве исследовательского полигона для изучения характера развития окраинно-континентальной структуры Востока Азии.

Ключевые слова: эволюция, модель, волновая тектоника, знакопеременный сдвиг, инверсионные структуры, сейсмичность.

Коковкин Александр Александрович
доктор геолого-минералогических наук



kokovkin@itig.as.khb.ru

Evolutionary model of the Shantar archipelago modern structure

А.А.КОКОВКИН (Yu.A.Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences)

The model of modern geological structure of the Shantar Archipelago is presented. The modeling was performed as part of the wave model of the continental crust structurization on the evolutionary interdisciplinary basis using the synergy methodology. The Archipelago structure is represented as a system of inversion uplifts-islands and depressions-straits that has been evolving since the Oligocene in the southwest of the Okhotsk riftogen in an area of its junction with the continent. The formation of this system with a complex structure resulted in the interaction between the sub-latitudinal faults of the Mongolo-Okhotsk fault system and the meridional faults of the Pacific belt. It is shown that these faults evolve under the reverse – sense shear regime. The increased activity of Holocene seismogeodynamics on the Shantar Archipelago is noted. Strike-slip – overthrust fault and seismogenic dislocations are investigated which are indicators of the geodynamic and seismic activity of the Archipelago. The Shantar Archipelago where the National Park is established now is considered as a polygon for the study of the evolution pattern of the marginal-continental structure of East Asia.

Key words: evolution, model, wave tectonics, reverse-sense shear, inversion structures, seismicity.

Шантарский архипелаг (рис. 1), расположенный у северо-западного побережья Охотского моря, включает 17 островов. Самый крупный из них – Большой (Б.) Шантар площадью около 2000 км². Архипелаг представляет собой весьма неординарное геологическое образование, сформированное в ходе взаимодействия окраинно-континентальной структуры Востока Азии с Охотоморским рифтогеном, с широким спектром проявленных в них разновременных процессов – тектонических, магматических, метаморфических и

гидротермальных, эрозионных, седиментационных и сейсмических. Особенности этих процессов раскрываются в цепи опоясывающих Шантарские острова обнажений, исключительно свежих за счёт подновления морской абразией.

Первые работы обзорного характера проведены здесь А.Ф.Миддендорфом и К.И.Богдановичем ещё во второй половине XIX в. Более детальные исследования были выполнены много позднее. В 1940–1948 гг. Л.И.Красный совместно с Г.С.Ганешиным провели

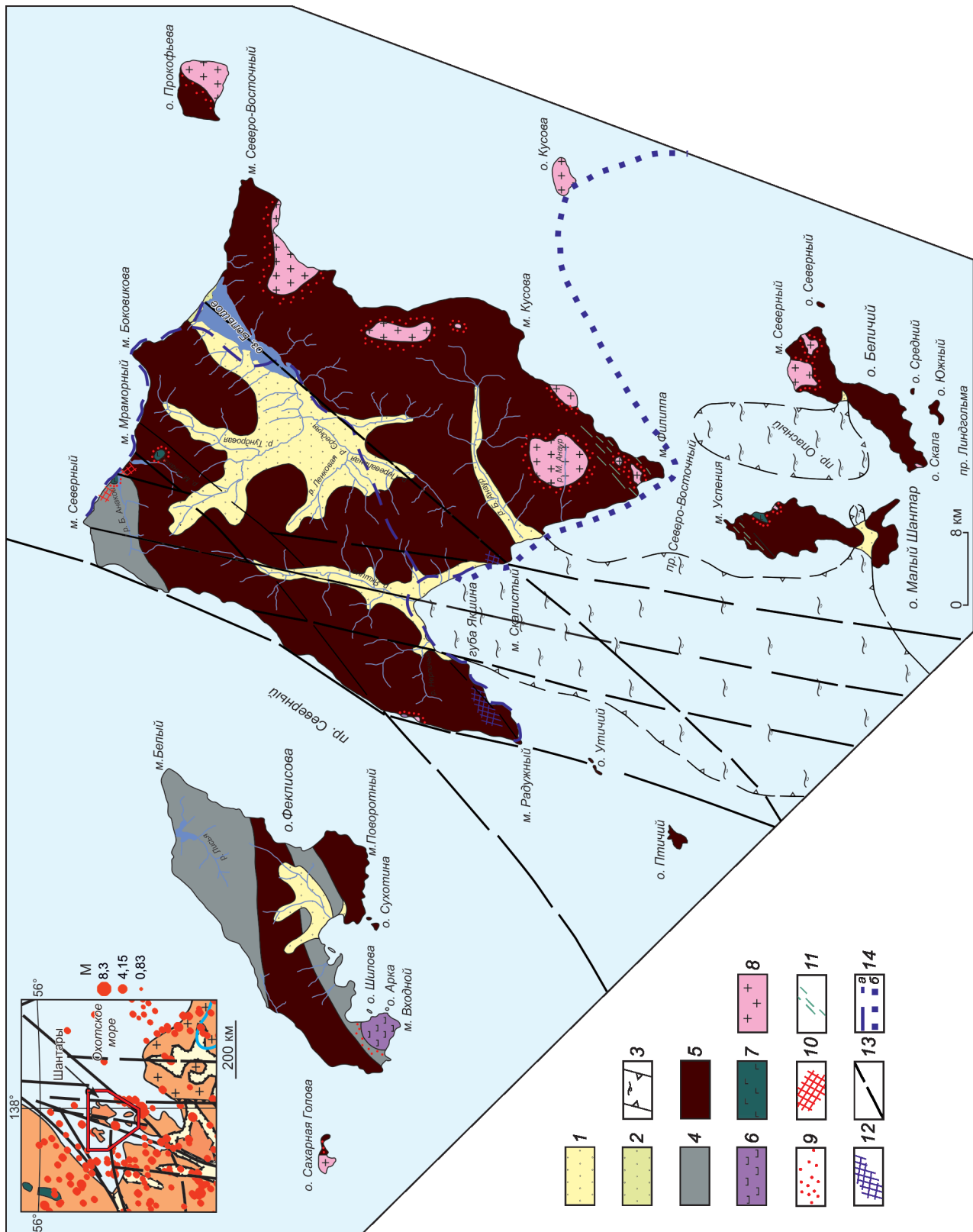


Рис. 1. Схема новейшей структуры Шантарского архипелага:

1 – осадки реликтовых палеодолин; 2 – современные морские (косовые) отложения; 3 – реликты континентальных рифтогенов в Шантарских проливах; 4–5 – дислоцированные образования морской вулканогенно-кремнисто-терригенной формации: 4 – карбона и 5 – среднего–верхнего девона; 6 – раннемеловые (?) интрузии ультраосновного состава; 7–8 – поздне меловые–палеоценовые(?) интрузии: 7 – габброиды, диориты, 8 – граниты и гранодиориты; 9 – ореолы роговиков; 10–12 – зоны: 10 – скарнирования, 11 – зелёных сланцев, 12 – кварц-хлорит-гидрослюдистого метасоматоза; 13 – новейшие разломы; 14 – линии маршрутов: а – 2006 г. и б – 2013 г.; на врезке: фрагмент схемы окраинно-континентальной структуры Востока Азии [2] с позицией Шантарского архипелага и данными сейсмичности Каталога землетрясений России за 2013 г. [<http://www.wdcb.ru/sep/seismology/seismology.ru.html>]

первые геолого-съёмочные работы на островах Феклистова, Прокофьева и Большой Шантар. В 1953 г. акваторию архипелага изучали экспедиции Всесоюзного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО). На территории архипелага в 1958–1960 гг. выполнена аэромагнитная съёмка масштаба 1:200 000 (И.И.Шапочка, С.И.Диденко). Комплексные геологические и гидрогеологические исследования проводились на островах в 1963–1964 гг. С.И.Гороховым и В.Б.Карауловым [3–5]. Эти исследования завершились составлением геологических карт и карт полезных ископаемых масштаба 1:200 000, обеспечивших территорию островной части архипелага базисной информацией для всех последующих работ геологической направленности. В 1990-е годы здесь был начат, но остался незавершённым комплексный проект по геологическому доизучению территории архипелага в масштабе 1:200 000 (ОАО «Дальморгео», ФГУП «Дальгеофизика» и «Хабаровскгеология»).

В 2006 г. при подготовке обоснования для организации Шантарского Национального парка автор обеспечил его геологическую часть. В ходе этой работы была собрана обширная геолого-геофизическая информация по архипелагу с прилегающей акваторией и материковой частью. Проведены маршруты по Б. Шантару (120 км) и наблюдения по небольшому о. Утичий. Полученные сведения были дополнены позднее результатами рекогносцировочного маршрута по линии Амгунь–залив Николая–о. Кусова–о. Большой Шантар (2013). Представленная ниже модель базируется на анализе всех этих материалов.

Архипелаг как структура был сформирован в конце новейшего (эоцен-голоценового) этапа. Следует заметить, что эта часть геологической истории отличается острейшим дефицитом информации не только по Шантарам, но и характерна для всей структуры востока Азии. Сложившаяся ситуация выглядит парадоксальной. Казалось бы, что построение моделей новейших структур обеспечивает возможность снять маскирующий эффект новейших процессов с более ранних геологических образований. Автор ориентирует большинство своих работ именно на ликвидацию обозначенного информационного дефицита.

Цель данной статьи заключается в создании эволюционной модели Шантарского архипелага, являющегося одним из полигонов для изучения новейшего этапа развития окраинно-континентальной структуры Востока Азии.

Методика работ. Моделирование структуры Шантар выполнено в рамках разрабатываемой автором модели *волнового структурирования континентальной коры*, акцентированной на новейший (эоцен-голоценовый) этап [7–17]. Её разработка проводилась на эволюционной междисциплинарной основе, на базе синергетической методологии, в соответствии с которой *любая геологическая система является системой открытой, самоорганизующейся, развивающейся необратимо, в волновом, нелинейном режиме*.

В соответствии с волновой моделью литосфера и земная кора структурируются *иерархией волновых процессов* – от глобальных пульсаций мантии с её плюмовыми системами к возвратно-поступательным движениям крупных жёстких блоков континентальной коры, далее к системам знакопеременного сдвига и волновым деформационным системам землетрясений. Применительно к структуре Шантар речь пойдет в основном о *знакопеременно-сдвиговой* составляющей этой волновой иерархии. Изучение разломов Востока Азии и других регионов показало, что все они развиваются в волновом (маятниковом) режиме *знакопеременного сдвига*.

В геологии до настоящего времени доминирует модель *однонаправленного сдвига*. Однако она не объясняет основного (базисного) свойства разломов. Все глубинные разломы региона – это не единые, не целостные разрывные структуры, а мощные (нередко шириной до многих десятков километров) зоны сложного строения. Разломы внутри этих зон фрагментированы, разбиты на отдельные швы. Выполняющий эти зоны субстрат коры деформирован новейшей тектоникой, местами до полной дезинтеграции. Однонаправленные сдвиги отражают характер смещения *лишь отдельного фрагмента разлома на сравнительно локальном временном интервале*. При этом наиболее выраженное смещение соответствует *завершающей фазе* их развития. Для Востока Азии и структуры Шантар это, прежде всего, *неоплейстоцен-голоценовая фаза*.

Свойство фрагментированности разломов, остающееся за рамками модели однонаправленного сдвига, и было положено автором в основу альтернативной ей знакопеременно-сдвиговой (ЗПС) модели (рис. 2). В соответствии с ней разломы взаимодействующих разнонаправленных систем (здесь для простоты рассматриваются две таких системы) нерегулярно меняют свою активность, фрагментируя друг друга и постепенно превращаясь в мощные, сложнопостроенные зоны. Фрагментированность разломов – следствие остаточной деформации, результат *некомпенсированного смещения разлома по более активной на данный момент разломной системе иной ориентировки*.

В процессе взаимодействия двух крупных разломных систем менее активная в данный момент система подстраивается под более активную, нередко меняя при этом свою ориентировку, иногда с элементами ветвления. В результате внутренняя структура обеих взаимодействующих разломных систем постоянно усложняется, что крайне затрудняет увязку не только отдельных фрагментов разломов, но и разломных зон и систем в целом. Поэтому практически на каждой карте (геологической, тектонической, неотектонической, интерпретации геофизических полей, схемах космо-фотодешифрирования и др.) появляется своя интерпретация разломной сети с субъективной (авторской) увязкой. Следует заметить, что вопросы взаимодействия синхронно развивающихся разломных систем разной ориентировки (как, впрочем, и взаимодействие любых других синхронно развивающихся геологических структур) относятся к наименее изученным вопросам геологии. Автором в этой и других его работах приняты попытки обозначить подходы к их решению.

Индикаторами ЗПС-режима являются **инверсионные структуры** – приразломные инверсионные впадины и внутренние инверсионные поднятия. Под инверсионными структурами здесь понимаются структуры, развивающиеся в режиме, полярном по отношению к режиму вмещающих их структур. Модели знакопеременного сдвига и его структур-индикаторов разработаны автором на примерах реальных объектов Востока Азии [9, 11, 14].

Инверсионные впадины с необходимым для них режимом растяжения развиваются в орогенах, в которых доминирует режим сжатия (рис. 3). Обычно они появляются на участках осложнения (изгиба) бортов разлома или в структурных узлах с высоким уровнем дезинтеграции. В таких обстановках при развитии ЗПС в разломах – на глубине и в их приповерхностной части – формируются открытые полости. Необходимо отметить, что все новейшие разломы – это раскрытые флюидо-водонасыщенные структуры. В выходящих на поверхность полостях и развиваются заполняющиеся осадками инверсионные впадины. Флюидо-водонасыщенный, практически несжимаемый субстрат разломов и этих осадков при невысокой скорости смещений

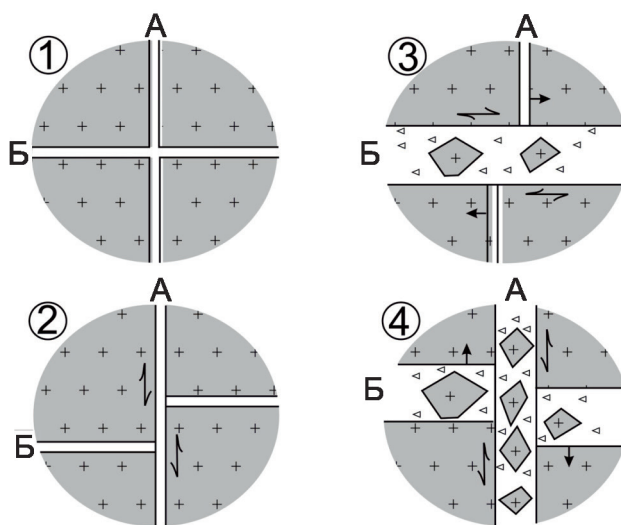


Рис. 2. Модели знакопеременного сдвига. По [16], с дополнением:

1–4 – фазы развития ЗПС (цифры в кружках): 1 – исходная фаза с заложением разломов А и Б, 2 – фаза с некомпенсированным левосторонним смещением разлома Б по разлому А, 3 – фаза с некомпенсированным правосторонним смещением разлома А по разлому Б, 4 – фаза с некомпенсированным левосторонним смещением разлома Б по разлому А

бортов разлома обеспечивает впадинам устойчивость развития. Однако в процессе эволюции орогена при наращивании в нём сжатия многие локальные структуры инверсионных впадин со временем деградируют, выводятся из седиментации и деформируются сдвиговой тектоникой.

Инверсионные поднятия (ИП) развиваются в уже сформированном (заполненном осадками) рифтогене с преобладающим в нём раздвиговым режимом, но в полярном по отношению к нему режиме сжатия (рис. 4). Сжатие обеспечивается знакопеременным сдвигом на участке наиболее интенсивной (нередко до дезинтегрированного состояния) проработки фундамента рифтогена новейшей тектоникой, обычно в узлах пересечения разломов разного направления. Жёсткий блок ИП, сохранивший устойчивость в этом дезинтегрированном, флюидо-водонасыщенном, практически несжимаемом субстрате, под действием сжимающих усилий ЗПС смещается по латерали и «всплывает» из этого субстрата наверх, с элементами вращения в горизонтальной плоскости, превращаясь со временем в *бескорневой*. При «всплытии» он деформирует осадочный чехол рифтогена, формируя в нём штамповые складки, а нередко и полностью прорывает его с выходом на дневную поверхность.

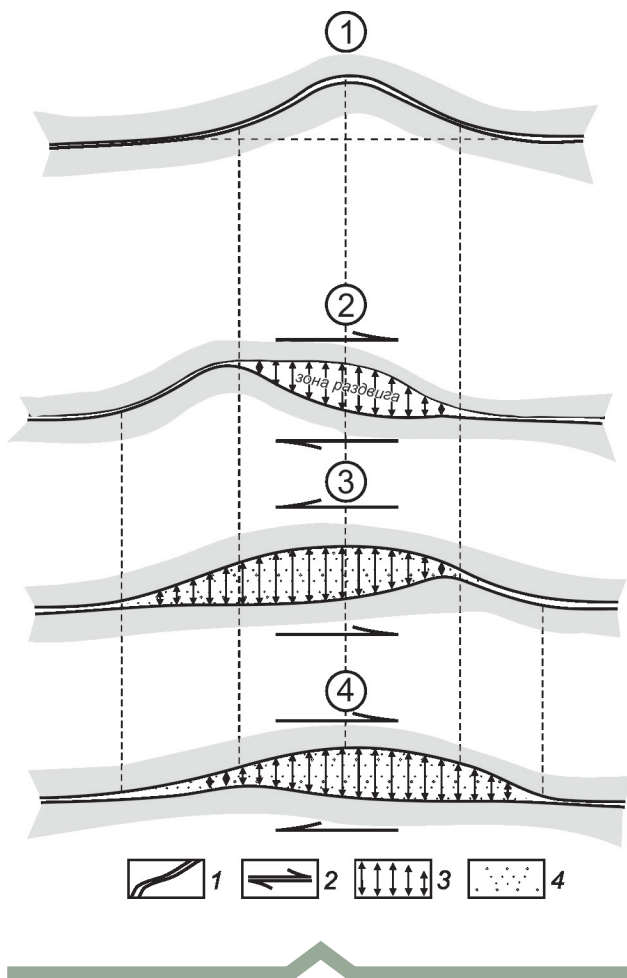


Рис. 3. Модель инверсионной впадины. По [16], с дополнением:

1–4 – фазы развития (цифры в кружках): 1 – исходного состояния, 2 – правостороннего сдвига, 3 – левостороннего сдвига, 4 – правостороннего сдвига; 1 – шов разлома; 2 – направление сдвига; 3 – полость, открывающаяся при сдвиге на участке осложнения плоскости разлома; 4 – осадки, заполняющие открытую полость

Результаты исследований. Шантарский архипелаг представляет собой сложнопостроенную структуру – результат развития инверсионной системы из новейших инверсионных поднятий-островов и разделяющих их, синхронно развивающихся с ними проливов – инверсионных впадин.

Региональная позиция архипелага (см. рис. 1). Структура Шантар, как уже было упомянуто, расположена на границе Охотоморского рифтогена с континентом, в пределах мезозойско-кайнозойской структуры Тихоокеанского подвижного пояса (ТОПП), на который здесь оказывает существенное влияние северная ветвь синхронно развивающегося Альпийско-Гималайского пояса (АГПП). Подробно о выделении этой ветви

АГПП и характере взаимодействия этих поясов сказано в работах [13, 16].

Шантары с системой их островов и проливов расположены в непосредственной близости от материка, в напряжённом структурном узле, на пересечении двух крупных систем глубинных разломов. Обе эти системы активно развиваются до настоящего времени, на протяжении всего новейшего этапа. Разломы *субмеридиональной* ориентировки относятся к системе Танлу, принадлежащей Тихоокеанскому поясу. Южнее архипелага, на континенте, они контролируют синхронно развивающиеся, тесно взаимодействующие окраинно-континентальные структуры Сихотэ-Алинского орогена и Амуро-Ханкайского рифтогена, направленно омолаживающиеся к границе континента [7]. Севернее Шантар эти же разломы контролируют локальные прогибы Охотоморского рифтогена, выполненные морскими отложениями эоцена–квартера [6].

Контролирующие архипелаг *субширотные* разломы относятся к Монголо-Охотской системе северной (широтной) ветви АГПП, наращивающей структуру этого пояса к востоку, где она взаимодействует со структурой Тихоокеанского пояса. На континенте разломы этой широтной ветви контролируют развитие новейших приразломных (инверсионных) впадин Байкало-Удской рифтовой зоны. В Охотоморском рифтогене, к западу от Шантар, взаимодействие разломных систем АГПП и ТОПП определило развитие раздвига Удской губы, особенно активно ведущего себя в неоплейстоцен-голоценовое время. С приближением к Шантарам под влиянием субмеридиональной разломной системы ТОПП разломы АГПП меняют свою широтную ориентировку на северо-восточную. Судя по этому, в ходе их взаимодействия в новейшее время по разломам Танлу здесь доминировали левосдвиговые смещения.

Такая позиция Шантарского структурного узла обеспечила высокую активность его геодинамики на протяжении большей части новейшего этапа, по голоцен включительно. Последнее подтверждается и характером современной сейсмичности этого узла (см. рис. 1).

Основные черты доэоценового развития Шантарской структуры. По данным проведённых ранее работ [3–6], Шантарские острова сложены в основном породами морской вулканогенно-кремнисто-терригенной формации *девон-карбон*ового возраста. Они образованы в байкальско-герцинское время в ходе формирования Центрально-Азиатского подвижного пояса (ЦАПП), до наложения на него мезозойско-кайнозойских структур АГПП и ТОПП. Центрально-Азиатский пояс с его структурной рамой из Сибирского и Китайского кратонов послужил фундаментом, на котором развивались и взаимодействовали структуры этих поясов. На Шантарах девон-карбонные породы дислоцированы, подвержены региональному и контактовому метаморфизму, для них характерно крутое залегание с падением на юго-восток. На уступах Шантарских

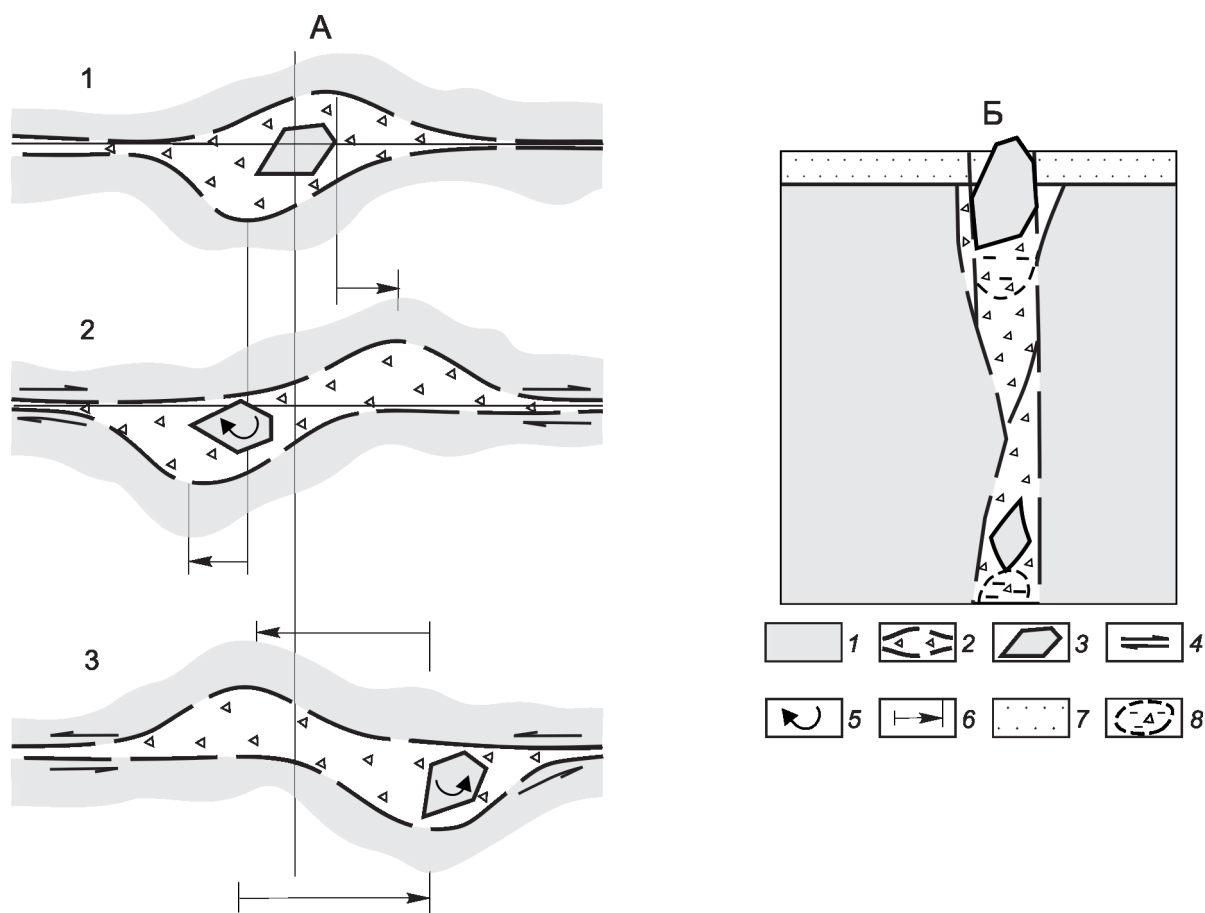


Рис. 4. Модель инверсионного поднятия. По [16], с дополнением:

А – план с фазами ЗПС: 1 – исходного состояния разлома, 2 – правостороннего и 3 – левостороннего сдвигов; Б – разрез через ИП для фазы 3; 1 – породы фундамента; 2 – зона активного разлома с дезинтегрированным обводнённым выполнением; 3 – блоки пород фундамента с ненарушенной сплошностью; направление: 4 – сдвиговых перемещений и 5 – вращения инверсионного блока; 6 – амплитуда горизонтального смещения; 7 – рыхлые обводнённые осадки рифтогена; 8 – области зоны разлома с дефицитом плотности под инверсионными блоками (на разрезе)

островов можно наблюдать линейные сжатые складки, нередко асимметричные и опрокинутые. Такой характер строения палеозойских толщ свидетельствует о наличии здесь в послекарбоновое время режима интенсивного тангенциального сжатия.

Среднедевонская часть формации сложена слоистыми, местами с яркой полосчатой окраской, яшмовидными сланцами, переслаивающимися с алевролитами, песчаниками и туфогенными разностями – красными, зеленовато-серыми и жёлтыми, реже чёрными и (при окварцевании) белыми. Их представительный разрез можно наблюдать на мысе Радужный и на востоке о. Б. Шантар. В районе мыса Горбатый на юго-западе острова, у мыса Боковикова (на севере) и у мыса Скалистый (на юго-востоке) широкое распространение

получили известняки и грубообломочные терригенные разности (гравелиты, конгломераты, туфоконгломераты и туфобрекчии). Известняки в той или иной степени мраморизованы, нередко окварцованы, местами доломитизированы.

На северо-западе о. Большой Шантар и на юго-востоке о. Феклистова развита толща *верхнего девона*. Она представлена светло-серыми известняками, мраморизованными и окварцованными (до кварцитов), а также разноцветными кремнистыми породами, туффитами, кремненными алевролитами и разнотерристыми полимиктовыми песчаниками с линзами диабазовых порфиритов, диабазов, спилитов и их туфов. На о. Утичий преимущественное развитие получили зеленокаменные эффузивы (диабазы, спилиты, вариолиты), которые

чередуются с мощными пачками окремненных туфов, песчаников и алевролитов, содержат редкие линзы мраморизованных известняков. Сходного состава толщи, развитые на северо-западе о. Большой Шантар и на о. Феклистова, отнесены к *карбону* [3–5].

Отложения палеозоя прорваны на островах многочисленными *интрузиями* с сопровождающими их *дайковыми и жильными сериями*, относящимися к гипербазит-базит-гранодиоритовому формационному ряду. Они датированы (довольно условно) последовонским возрастом [3]. Наиболее крупный Феклистовский массив гипербазитов (9 км²) находится на юго-западе одноимённого острова. На о. Большой Шантар в 7 км севернее мыса Радужный в береговом обрыве обнажается Западно-Шантарский массив пироксенитов.

Образования *триас-раннемелового* этапа на Шантарах отсутствуют. В это время вся территория архипелага развивалась, по-видимому, в режиме поднятия, либо эти образования всё же имелись здесь, но были позднее эродированы.

В *позднем мелу-палеоцене* Шантарская структура вместе с вмещающей её структурой ТОПП была подвержена масштабному орогенезу. Её девон-карбонные породы были дислоцированы и насыщены гранитоидными интрузиями с сопровождающими их телами дайково-жильной серии. Основная часть интрузий, относящаяся к габбро-диорит-гранодиоритовой формации, представлена массивами размером от 1 км² и менее до 40 км². Широко распространены на островах крутые и пологие *кварцевые жилы*, развитые преимущественно вблизи интрузий и даек.

Интрузии гранитоидов датированы поздним мелом [2]. Вполне вероятно, однако, что их возраст может быть поднят до палеоцена. Дело в том, что вся структура азиатской окраины на рассматриваемом фрагменте Тихоокеанского пояса системно омолаживается к востоку, где в области взаимодействия континента с Тихоокеанским суперплюмом с мезозоя до наших дней действует фронт структурирования континентальной коры [7]. Ареал орогенеза, развивавшегося здесь в магматогенном режиме, нарастил в это время структуру континента, распространившись далеко к востоку, в современную зону перехода.

Интрузии внедрялись в условиях масштабного сжатия, сопровождавшегося развитием сдвиг-надвиговой тектоники, формированием зон зелёных сланцев, с кливажем и будинажем. Сам процесс их внедрения отмечен развитием во вмещающих породах зон окварцевания, ороговикования и скарнирования. На участках интрузий, даек и жил распространены и более поздние зоны дробления и брекчирования с гидротермально-метасоматическими изменениями переменного кварц-хлорит-гидрослюдистого (с гематитом и кальцитом) состава. Часто эти зоны содержат прожилково-вкрапленную сульфидную минерализацию. Процессы, связанные с завершающими фазами развития габбро-диорит-гра-

нодиоритовой формации, от формирования дайково-жильной серии до гидротермально-метасоматических преобразований могут быть отнесены к раннему кайнозой (к палеоцену), по-видимому, с ещё большей уверенностью, чем сами интрузии данной формации.

Других образований мезозоя и раннего кайнозоя на островах нет. Вместе с отсутствием здесь кор выветривания, имеющих на Востоке Азии кайнозойский возраст [7], и рядом других признаков это может свидетельствовать о развитии островов архипелага на всём новейшем этапе с устойчивой тенденцией к воздыманию, с доминантой эрозионного фактора. О масштабности эрозионных процессов и значительном (2–3 км) постпалеоценовом эрозионном срезе островов свидетельствует препарация меловых (палеоценовых) интрузивных массивов. На современную поверхность здесь выведены породы их гипабиссальных фаций.

Особенности новейшего развития Шантарской структуры. Большую часть новейшего этапа структура архипелага являлась, по-видимому, частью материка. В олигоцене в сформированную здесь ранее сложнопостроенную толщу была вложена *система континентальных (рифтогенных) впадин и сопряжённых с ними речных долин* (см. рис. 1). Развитие Шантар в режиме архипелага началось, вероятно, несколько позже. Точно датировать сложно, поскольку информация по внутреннему строению проливов крайне ограничена. Исключение составляет реликтовая рифтогенная структура губы Якшина и фрагменты палеодолин на Шантарских островах. Можно с большой долей вероятности предположить, что проливы были заложены по разломам Шантарского узла и развивались синхронно с островами. Косвенным свидетельством этого могут быть значительная глубина современных проливов и наличие в них аномально высоких скоростей течений с явлениями турбулентности. Этим особенно отличается пролив Опасный, разделяющий острова Беличий и Малый Шантар [17].

Характер развития архипелага с отчленением его от континента определялся, прежде всего, новейшей раздвиговой тектоникой Охотоморского рифтогена. На активность его раздвиги указывает многокилометровая мощность морских эоцен-плейстоценовых осадков в районе Магадана и в Шантарском прогибе, расположенном у северо-восточной границы архипелага [6], а также масштабность современных раздвиговых структур Удской губы и губы Якшина. Несомненно, что существенное влияние на формирование структуры Шантар оказала также и структура прилегающего с юга континента. Здесь с олигоцена до настоящего времени синхронно развиваются окраинно-континентальные структуры Амуро-Ханкайского рифтогена [9].

На Шантарских островах встречаются многочисленные реликты континентальных осадков, относившихся к структуре этого рифтогена. Нижняя часть их разреза представлена валунно-галечными отложениями, являющимися, по-видимому, возрастными

аналогами обнажающихся на Тугурском полуострове олигоцен-плейстоценовых осадков *биранджинской* свиты [5]. На о. Большой Шантар, на правом берегу р. Ленковая, вблизи её устья, в основании разреза 15-метровой средне-позднечетвертичной террасы канавой вскрыты галечники с заполнителем из серой песчаной глины (галечно-глинистые паттумы) [3]. В них обнаружен богатый спорово-пыльцевой комплекс, близкий к комплексу олигоцен-миоценовых осадков Тугурской впадины, впадины Эльганье и др. Особенно широко распространены новейшие осадки в южной части о. Большой Шантар, в губе Якшина.

Ширина Шантарских речных долин в низовьях достигает нескольких километров. На Большом Шантаре, где речная сеть наиболее развита, установлено четыре уровня надпойменных террас шириной до 3,5 км и высотой до 35 м и более. Сложены они аллювиальными, преимущественно грубообломочными осадками среднего плейстоцена. Отложения верхнего плейстоцена наращивают разрез среднелейстоценовых осадков без заметного перерыва. В низовьях долин мощность верхнелейстоценовых отложений увеличивается до 20 м, в верховьях она сокращается до 5 м и менее. Верхняя часть плейстоценового разреза образует террасы высотой до 12 м, развитые в долинах большинства современных ручьёв и рек. Сложены они галечниками с прослоями и линзами песков, также суглинками и супесями. Спорово-пыльцевые комплексы их осадков близки к комплексам современной лесотундры.

Современные отложения архипелага представлены осадками аллювиальных и морских фаций. Аллювий слагает пойму современных рек, местами и прилегающие к ней надпойменные террасы высотой до 3 м. Его состав довольно пёстрый – от валуников и галечников до супесей, суглинков, илов и торфов. В приустьевой части рек, впадающих в море, осадки заиливаются, что связано с подпором русловых потоков морскими приливами. Мощность современного аллювия достигает в нижнем течении рек 5–6 м. Спорово-пыльцевой комплекс этих осадков соответствует комплексу спор и пыльцы современной материковой флоры.

Морские осадки развиты на шельфе и слагают прибрежную зону островов – пляж, террасы высотой до 6 м, косы, бары, пересыпи и днища мелеющих при отливе лагун. Они представлены валунниками и галечниками с гравийно-песчаным заполнителем. В бухтах и заливах распространены, преимущественно гравийные и песчаные разности. С удалением от островов до 10 км мощность рыхлых осадков наращивается весьма незначительно. На карте Приамурья [2] архипелаг с прилегающей акваторией оконтурен изопахитой 0,1 км. По данным Морской комплексной геолого-геофизической партии (А.А.Рязанцев и др., 2000), изучавшей отложения ближнего шантарского шельфа (не захватывая, однако, при этом структур проливов), разрез осадков характеризуется незначительной (первые десятки ме-

тров) мощностью с перемежаемостью отложений морских и континентальных фаций. Это говорит о высокой изменчивости голоценового седиментогенеза, о его пульсационном характере и, соответственно, о сложно-организованной ритмике современной шантарской геодинамики. Но если такая изменчивость характерна для открытой к морю плоской структуры островного шельфа, то контролируемые разломами локальные структуры проливов должны развиваться ещё более напряжённо.

Контролирующие архипелаг системы разломов южнее, на континенте, имеют все признаки активных новейших структур с весьма сложным внутренним строением. Основные швы этих структур, развивающихся в режиме знакопеременного сдвига, фрагментированы, они насыщены инверсионными впадинами, зонами трещиноватости и дробления, раскрыты и обводнены. Такое состояние, присущее всем новейшим структурам востока Азии, поддерживается в них напряжённой сейсмогеодинамикой.

Представительная информация по *неоплейстоценово-голоценовым дислокациям* получена автором на юге Большого Шантара, на абразионных уступах *губы Якшина*. Здесь обнажены деформированные сдвиговой тектоникой образования докайнозойского фундамента и перекрывающие их олигоцен(?)–плейстоценовые осадки. Основание осадочного разреза, обнажающегося на взброшенных неоплейстоцен-голоценовой тектоникой бортах губы Якшина, сложено грубообломочными паттумами переменного состава. Характер этих осадков указывает на весьма активную динамику седиментогенеза, функционировавшего здесь в конце новейшего этапа континентального рифтогена. Современная структура этой губы избирательно развивалась по его рыхлым, механически неустойчивым осадкам. Судя по значительным площадным параметрам губы, ширина которой превышает 20 км, и значительной мощности рыхлых неоплейстоценовых осадков на её взброшенных с амплитудой до 100 м бортах, мощность осадочного разреза рифтогена, в который вложена её современная морфоструктура, могла достигать одного километра. Как показали проведённые автором исследования континентальных впадин Казахстана, Монголии и Востока Азии, соотношение мощности их осадочного разреза и размера по латерали (по короткой оси впадины) определяется диапазоном величин 5–20 [7]. Скрытая под морем структура рифтогена трассируется от губы Якшина к югу, где ранее, по-видимому, находился крупный континентальный осадочный бассейн северной части Амуро-Ханкайского рифтогена. Учитывая высокую современную активность Шантарского узла, этот бассейн продолжает развиваться и сейчас, но уже в режиме морской седиментации.

На уступах губы Якшина широко развиты системы разрывных (взбросо-сдвиговых) дислокаций, наложенных в том числе и на осадки этого рифтогена.



Рис. 5. Надвиговые структуры Б. Шантара. Фото А.А.Коковкина, 2006:

А – надвиг с олистомеланжем на юго-западе острова, в бухте Топазная; Б – олистомеланж на северном уступе, западнее мыса Мраморный

Деформированность пород уступов возрастает к западу и к востоку от центра губы с образованием мощных зон новейших дислокаций.

Западная зона. На западном борту губы, в районе мыса Радужный можно наблюдать систему надвиговых дислокаций с олистомеланжем и олистобудинажем (рис. 5, А), представляющую собой фрагмент сдвиг-надвиговой системы, выделенной ещё в ранних работах Л.И.Красного. Эти экзотические дислокационные структуры наложены также и на зоны расщелачивания, окварцевания и скарнирования, развивавшиеся в экзоконтакте мел-палеоценовых гранитоидных интрузий. При этом все они насыщены открытыми трещинами. Такой их «раскрытый» характер говорит о том, что или эти надвиги были существенным образом активизированы на новейшем этапе, или, что более вероятно, они были полностью сформированы в рамках этого этапа. Близкая по характеру дислокационная структура вскрыта абразионным уступом на севере о. Большой Шантар, в интервале мыс Мраморный–мыс Северный (см. рис. 5, Б).

Самые молодые (голоценовые) дислокации Западной зоны сконцентрированы к востоку от р. Нерпичья, в интервале до 1 км (рис. 6, А). Новейшие осадки рифтогена взброшены здесь по субмеридиональной системе нарушений более чем на 50 м. На поверхность выведены породы фундамента рифтогена – окварцованные известняки и алевролиты девона. Фундамент нарушен многочисленными, круто ориентированными зонами дробления и брекчирования, системами открытых трещин. Контакты пород фундамента с осадками

отчётливые тектонические (см. рис. 6, Б–В). Здесь же обнажается и небольшая, выполненная торфяником плейстоцен-голоценовая долина, вложенная в паттумы рифтогена и нарушенная молодой (голоценовой) тектоникой (см. рис. 6, Г–Д). Паттумы жёлто-рыжие и бурые, окисленные в приливно-отливной зоне и на взброшенных бортах губы Якшина, восстановлены перекрывающим их торфяником, в результате чего они приобрели голубовато-серую окраску (см. рис. 6, Г).

Восточная зона новейших дислокаций (рис. 7). Её дислокационная система наиболее выражена на 5-километровом интервале к западу от мыса Скалистый. В пляжной зоне (при отливе) здесь можно наблюдать выходы песчано-гравийно-галечно-глинистых паттумов (см. рис. 7, Б) с яркой жёлто-рыжей окраской, приобретённой ими в зоне современной аэрации. Они содержат включения чёрных углефицированных растительных (древесных) остатков, хорошая сохранность которых свидетельствует о том, что в приливно-отливную зону вмещающие их осадки были выведены недавно, вероятно, уже в голоцене. Субмеридиональная взбросо-сдвиговая система Восточной зоны, смещающая рыхлые осадки рифтогена и породы его фундамента, характеризуется здесь наращиванием вертикальной амплитуды взброса от первых метров у её западной границы до 100 м и более на востоке.

На западе зоны в абразионных уступах наблюдаются тектонические контакты неоген-плейстоценовых осадков с кремнистыми алевролитами и окварцованными известняками фундамента рифтогена (см. рис. 7, В). Восточнее этой точки наблюдения известняки,

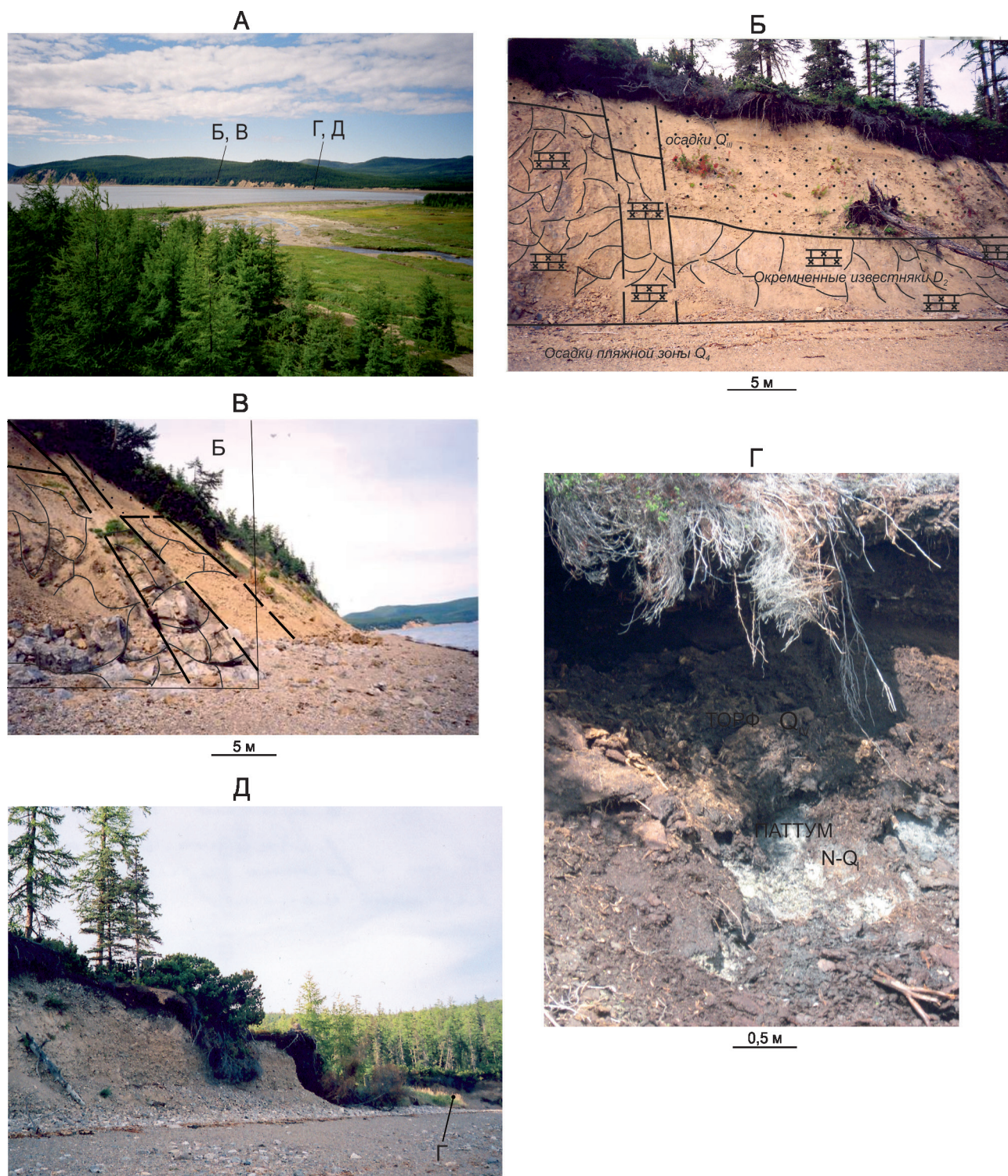


Рис. 6. Голоценовые взбросо-сдвиговые дислокации на западном борту губы Якшина. Фото и документация А.А.Коковкина, 2006 и 2013:

А – общий вид западного борта; Б–В – взброс с дроблением пород фундамента и смещением неоген-плейстоценовых осадков; Г – деформация плейстоценовых осадков с голоценовыми торфяниками (тёмно-коричневые наверху) на западном борту долины р. Нерпичья; Д – фрагмент восстановленных торфяником неоген-плейстоценовых паттумов (светлое серо-голубое пятно внизу)



Рис. 7. Новейшие дислокации на восточном борту губы Якшина. Фото и документация А.А.Коковкина, 2006 и 2013:

А – общий вид борта; Б – выход паттумов (жёлтое пятно на переднем плане) новейшего (континентального) рифтогена в приливно-отливной зоне; В – фрагмент голоценового взбросо-сдвига с тектоническим контактом новейших осадков с кремнистыми алевролитами девона; Г–Е – зона дробления в окремненных известняках девона: Г – общий вид зоны, выделяется белой окраской, Д – дезинтегрированные до дресвянистого состояния окремненные известняки, с лимонитом на поверхности обломков и наложенным на него зеркалом скольжения, Е – абразионный микрорельеф зоны дробления

слагающие здесь основную часть уступа, перекрыты лишь маломощным реликтовым шлейфом рыхлых осадков. В некоторые швы Восточной зоны вложены локальные V-образные врезы современных ручьёв.

Особенно яркие и масштабные дислокации с многоактным дроблением сконцентрированы во взброшенном блоке оквацированных известняков в зоне 200 м (см. рис. 7, Г–Е). Известняки дезинтегрированы здесь молодой тектоникой на обломки размером до 2 мм, которые затем (вероятно, уже в неоплейстоцене) при наложении на них зоны поверхностного окисления были покрыты бурой плёнкой лимонита (см. рис. 7, Д). Позднее вся эта мелкодробленая лимонитизированная масса была подвержена дополнительным деформациям, которые отмечены более поздними трещинами с зеркалами скольжения по плоскостям. По поверхности этих зеркал растёрт и образованный ранее лимонит, что является свидетельством голоценового возраста породившего их дислокационного процесса. Лимонитизированная поверхность слагающих эту зону обломков покрыта сверху тонкой плёнкой белого, растёртого до пылеватого состояния кремнисто-карбонатного материала. Этот материал, выносимый современными дождевыми потоками с верхней части уступа, маскирует первичную серо-бурю окраску зоны дробления.

По этой плейстоцен-голоценовой зоне дезинтеграции современная эрозия проникает в глубину абразионного уступа на расстояние до 100 м с формированием весьма специфических (конусовидных и пирамидальных) форм микрорельефа (см. рис. 7, Е). Такой микрорельеф, в большей мере характерный для подверженных эрозии рыхлых песков, подчёркивает высокую интенсивность и молодость развитых здесь деформаций.

Современная активность контролирующего архипелага структурного узла подчёркивается его довольно высокой *сейсмичностью* (см. рис. 1, А). По данным Г.Е.Рослякова [17], полученным им от местных жителей, в 1981 г. на восточном побережье о. Малый Шантар было отмечено небольшое цунами, распространившееся к западу до пос. Чумикан. Этим же автором зафиксировано близкое по времени к этому событию появление довольно крупного (3×1 км) озера в приустьевой части долины небольшого ручья в районе бухты Кусова на востоке Большого Шантара. Это озеро появилось, вероятнее всего, в результате подпруживания ручья сейсмогенным оползнем.

На западе и на севере о. Большой Шантар (рис. 8, А–Г), а также на западе о. Кусова в береговых уступах наблюдались многочисленные *выдвиговые* сеймодислокации – смещённые в современную пляжную зону на 10–20 м локальные ($n \times 10$ м) блоки палеозойских пород. По плоскостям трещин отрыва в выдвигах развиты хорошо выраженные субвертикальные борозды скольжения. Близкие по характеру структуры наблюдались автором к югу от Шантар на восточном борту залива Николая (см. рис. 8, Д). Подобные сейсмогенные

выдвиги в целом весьма характерны для береговых зон морей и рек востока Азии. Модель их формирования представлена в работе [11].

Особенности завершающей стадии развития архипелага отражены и в *рельефе* его островов (рис. 9). На них преобладают низкотеррасы со сглаженными формами, с абсолютными отметками 300–500 м. Максимальную высоту имеет г. Веселая (701 м), расположенная вблизи восточного побережья Б. Шантара. Простирающиеся хребты и разделяющие их речные долины в основном северо-восточное и субмеридиональное. По особенностям морфологии на Шантарах традиционно выделяется три основных типа островного рельефа: 1) эрозионно-денудационный (горы и предгорья), 2) эрозионно-аккумулятивный (террасы и пойма неоген-четвертичных речных долин) и 3) абразионно-аккумулятивный (прибрежная зона). Для участков неоплейстоцен-голоценовой активизации характерен *неравномерный*, резко расчленённый рельеф. Локальные водоразделы на таких участках отличаются узкими (50–200 м и менее), нередко зубчатыми гребнями, а долины ручьёв имеют V-образную форму со спрямлёнными в плане бортами.

Высота *абразионных уступов*, опоясывающих острова, варьирует от первых метров в приустьевых частях речных долин до 100 м на островных водоразделах. Строение уступов весьма прихотливо, что связано с различной динамикой абразии, зависящей от механической устойчивости пород. Для уступов, сложенных относительно крепкими, однородными породами, в большей мере характерны линейные формы с крутыми стенками. Там же, где они сформированы рыхлыми осадками либо породами более изменчивого состава (более дислоцированными и(или) подверженными эпигенетическим изменениям), береговая зона осложнена бухтами с разделяющими их мысами. Мысы часто заканчиваются прижимами и насыщены многочисленными абразионными останцами (кекурами), нередко весьма экзотических форм (см. рис. 9, В–Г). В бухтах распространены волноприбойные ниши и арки (см. рис. 9, Д). На уступах, сложенных известняками, местами встречаются пещеры.

Вдоль береговой линии трассируется полоса преимущественно *валунно-галечного пляжа*, из-под которого местами (в основном во время отлива) обнажаются плоские абразионные площадки с россыпью «зализанных» морем валунов и глыб. Некоторые из этих площадок прослеживаются на расстояние до 1,5 км от берега. Их полого наклонённая к морю поверхность местами осложнена микроскульптурными формами в виде каменных рифов и локальных останцов. В глубине острова Б. Шантар на крутых (25°–30°) склонах (в привершинной части водоразделов) развиты осыпи, которые нередко оживают на «горельниках». Способствующая закреплению осыпей растительность не восстанавливается здесь после пожаров в течение многих десятилетий. Коры выветривания, как уже упоминалось, на



Рис. 8. Выдвиговые сейсмодислокации. Фото и документация А.А.Коковкина, 2006:

А–Г – выдвиги на абразионных уступах о. Б. Шантар: А–Б – в районе мыса Радужный, В – западнее мыса Северный, Г – восточнее мыса Северный; Д – выдвиг на восточном береговом уступе залива Николая

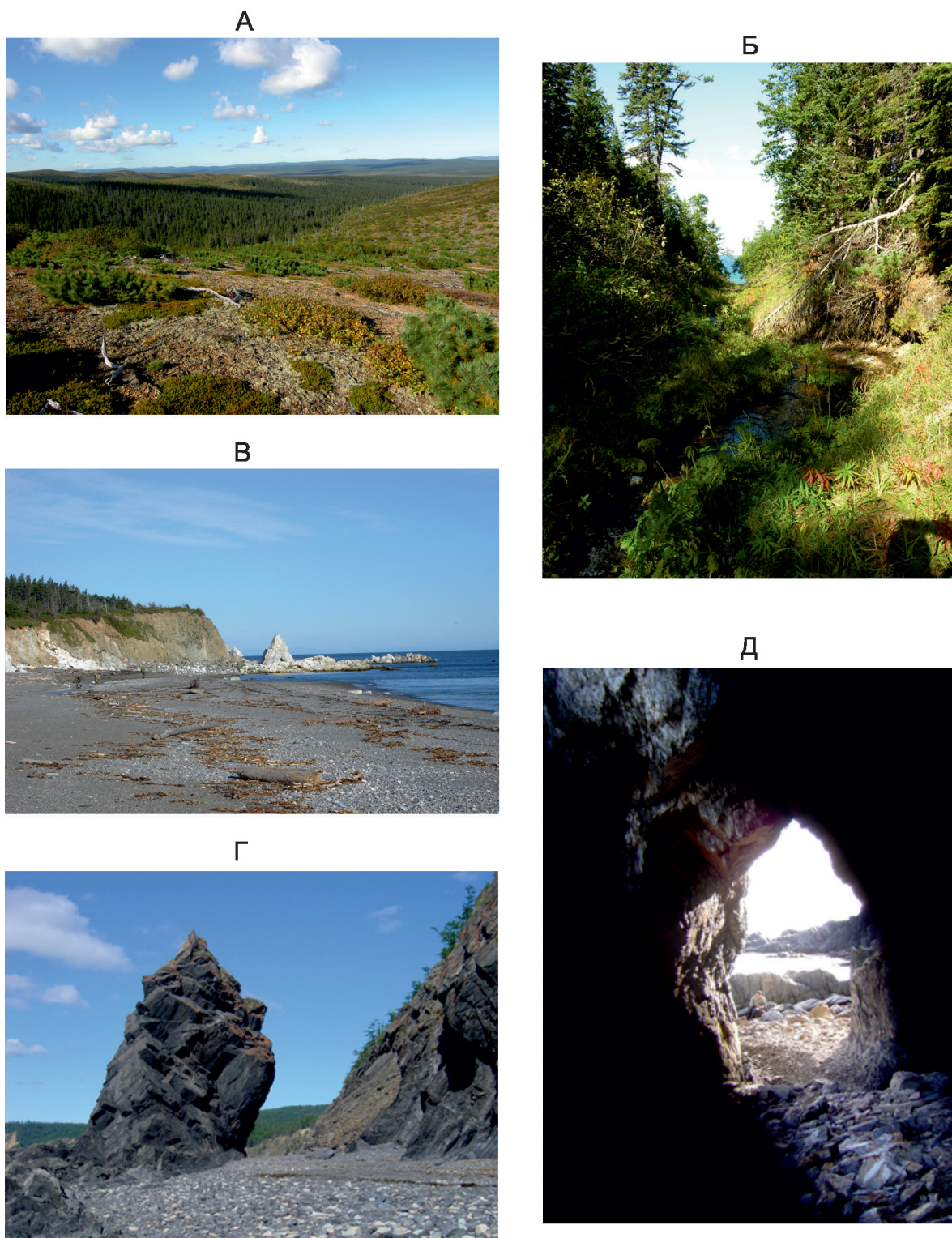


Рис. 9. Особенности рельефа Б. Шантара. Фото и документация А.А.Коковкина, 2006:

А – эрозионный рельеф водоразделов на севере острова; Б – V-образный врез ручья в районе мыса Боковикова; В–Г – абразионные кекуры на мысе Мраморный (В) и на мысе Скалистый (Г); Д – абразионная ниша в районе бухты Топазная

Шантарских островах отсутствуют, здесь отчётливо преобладает эрозионный фактор, что подчёркивает активность и устойчивость воздымания островов в неоплейстоцене–голоцене.

Модель формирования архипелага. В достаточно редких публикациях по Шантарам [1–5, 17] процесс формирования архипелага представлен в виде довольно простой, но при этом весьма неопределённой по механизму картины *отчленения его от материка*. Время события определено голоценом (последледниковой эпохой). Вывод об этом базируется в основном на отсутствии в островном биоценозе признаков *эндемичности*. Однако в условиях непосредственной близости архипелага к материка отсутствие этих признаков говорит не столько о времени отчленения островов, сколько о естественной для этих условий устойчивости связей островного и материкового биоценозов. Ширина пролива Линдгольма, отделяющего острова Беличий и Южный от Тугурского полуострова, составляет всего 4 км, а пролива, отделяющего от континента расположенный к западу от них Медвежий остров, и того меньше.

Авторы упомянутых публикаций напрямую связывают формирование архипелага с *голоценовой трансгрессией*, с определяющим влиянием *абразионного фактора* при подчёркнутой *пассивной* роли тектоники. Такая трактовка, учитывая исключительно высокую геодинамическую активность всей континентальной окраины Азии и зоны перехода на протяжении всего новейшего этапа, а также активность контролирующего Шантары структурного узла, представляется не вполне оправданной. Тем более что и сама голоценовая трансгрессия и связанная с ней абразия являются лишь геодинамическими следствиями *Охотоморского раздвига*.

Структура этого раздвига, заложенная примерно на границе палеоцен–эоцен, развивалась здесь в течение всего новейшего этапа в пульсационном режиме, с нерегулярной сменой трансгрессий и регрессий Охотского моря. Трансгрессивный цикл резко активизировался здесь в голоцене с абразией Шантарских островов и наложением на континент современной структурой Удской губы.

Структура Шантар, по-видимому, была заложена в олигоцене в континентальных условиях. В это время здесь, на окраине материка, развивалась система новейших впадин Амуро-Ханкайского рифтогена, структура которого наращивалась к северу под влиянием контролирующих её субмеридиональных разломов Танлу. Одновременно с севера на неё воздействовал Охотоморский раздвиг с Монголо-Охотской системой разломов. Пограничная структура Шантарского узла под воздействием Охотоморского раздвига с его пульсационной системой, отчленяясь от континента во время трансгрессий, при регрессии вновь присоединялась к нему.

Определяющее влияние на развитие Шантарской структуры, кроме ритмики Охотоморского раздвига с

ЗПС-режимом контролирующих её разломов, оказывала внутренняя неоднородность исходного субстрата. В ходе взаимодействия разломных систем Шантарского узла с их ЗПС-режимом этот узел был расчленён приразломными впадинами на блоки разной степени жёсткости. Наиболее жёсткие из них, особенно насыщенные мел-палеоценовыми интрузиями и дайками, длительное время сохраняли свою сплошность и вели себя в этих условиях как устойчивые инверсионные поднятия. Под воздействием создаваемого знакопеременным сдвигом аномального сжатия они развивались с доминантой воздымания. Однако между ними в приразломных впадинах действовал режим раздвига. На этом фоне и работала пульсационная система Охотской трансгрессии. Трансгрессивные циклы сопровождались абразией островов, седиментацией на шельфе и в проливах-впадинах с наращиванием их разреза морскими осадками. При регрессии в структуре Шантар активизировалась эрозия, захватывающая не только острова, но и обнажающийся шельф со структурами проливов.

Такое сложноорганизованное взаимодействие поллярных по режиму развития систем и обеспечило, с одной стороны, направленное отделение архипелага от континента с развитием впадин-проливов, а с другой, относительную сохранность и устойчивое существование его островов.

В условиях ЗПС-режима инверсионные поднятия острова развивались с общей тенденцией к воздыманию в нерегулярно организованном пульсационном режиме. Показателем системности их воздымания является упомянутое выше отсутствие на них кор выветривания. На пульсационный режим поднятий указывает террасированный характер островных плейстоцен-голоценовых речных долин и ритмичность осадочного разреза шельфа, в котором переслаиваются осадки морских и континентальных фаций.

Каждый остров развивался при этом по сугубо индивидуальному сценарию, определяющемуся особенностями ЗПС-тектоники, характером трансгрессивно-регрессивных пульсаций и во многом особенностями строения самих островов. В результате острова в своём современном виде представлены набором структур разных размеров и морфологии, существенно различающихся по составу пород, степени жёсткости и уровню насыщенности новейшими дислокациями. Жёсткость внутренней структуры Шантарских инверсионных поднятий-островов, в значительной мере обеспечивающая их сохранность, определяется, как уже было сказано, проработкой их пород мел-палеоценовыми интрузиями, дайками и жильными телами. Особенно интенсивно проработан ими Большой Шантар. Вероятно, именно поэтому он является самым крупным из островов архипелага. Самые же мелкие острова (Сахарная голова, Прокофьева) представляют собой препаированные эрозией и абразией апикальные части небольших гранитных интрузий.

Ближний Шантарский шельф характеризуется плоской пологой наклонённой от островов поверхностью, значительной шириной и при этом исчезающе малой мощностью развитого на нём молодого (неоплейстоцен-голоценового) осадочного чехла. Для выработки такого профиля шельфа в механически устойчивой толще, слагающей структуру архипелага, требуется довольно значительное время. Короткий интервал голоцена, соответствующий последнему импульсу трансгрессии, вряд ли смог бы обеспечить его формирование. На это, по-видимому, ушла более значительная часть новейшего этапа.

Судя по всему, на ранних стадиях развития архипелага занимал много большую территорию по сравнению с его современным состоянием. И его острова были, очевидно, намного крупнее. Их абразия сопровождалась выносом большой массы материала в проливы и на периферию, в том числе в расположенный севернее архипелага Шантарский прогиб. Однако в ходе достаточно длительной эволюции структура Шантар со сформированной шельфовой зоной, по-видимому, периодически вовлекалась в поднятие и дополнительно дифференцировалась ЗПС-тектоникой. С уменьшением частоты и активности знакопеременно-сдвиговых перемещений сжатие в Шантарском узле уменьшалось, подъём островных поднятий замедлялся, на шельфе активизировалось осадкообразование. Увеличение же скорости и частоты знакопеременного сдвига сопровождалось усилением сжатия. В результате воздымание островов активизировалось вплоть до вывода шельфа и сформированных на нём (ещё рыхлых) осадков на поверхность с эрозией и последующим их переотложением в структуры проливов и на более дальнюю периферию. Скорее всего, в плейстоцене вся структура архипелага была надолго вовлечена в поднятие и выведена из седиментации. Осадки прибрежного шельфа при этом были практически полностью эродированы, а ложе шантарского шельфа препарировано.

Последний трансгрессивный цикл в Охотоморском рифтогене, как это было показано выше, начался на рубеже неоплейстоцен–голоцен. Он связан с активизацией всей нашей планеты, которая продолжается до настоящего времени, сопровождаясь наращиванием континентального орогенеза и глобальной океанской трансгрессией [12, 15]. По времени она соответствует короткому, но мощному ритму глобального сжатия. На континентальной окраине Азии и в зоне перехода начало этой активизации отмечено мощными землетрясениями [16]. В это время резко активизировались и обе разломные системы Шантарского структурного узла. Трансгрессия отмечена здесь смещением границы Охотского моря к западу и югу с активным развитием Удской губы, а на Б. Шантаре – губы Якшина. Активность трансгрессии хорошо видна и на примере Тугурского полуострова – южной, приближенной к Шантарам части материка. Под влиянием океанской абразии

он уже практически превратился в остров. От материка его отделяет лишь узкий (менее 1 км) перешеек, сложенный рыхлыми неоген-четвертичными осадками реликтовой палеодолины Эльганде, на которую здесь наложен залив (лагуна) Константина.

В заключение отметим следующее. Проведённые исследования показали, что Шантарский архипелаг в своём современном состоянии является сложной по строению инверсионной структурой, испытавшей длительную и непростую эволюцию. Система его поднятий-островов и впадин-проливов формировалась в геодинамически напряжённом структурном узле примерно с олигоцена в ходе взаимодействия Охотоморского рифтогена с континентом. Контролирующие Шантарский узел глубинные разломы Монголо-Охотской системы и системы Танлу функционировали по голоцен включительно в режиме знакопеременного сдвига. Под их влиянием структура Шантар была дезинтегрирована, разбита на блоки разной степени жёсткости. Наиболее жёсткие из них в условиях создаваемого знакопеременным сдвигом аномального сжатия развивались с доминантой воздымания, а между ними в относительно подвижном субстрате синхронно формировались впадины-проливы с доминирующим режимом раздвига. На фоне этой напряжённой, сложноорганизованной геодинамики развивались и дополнительно усложняющие структуру Шантар эрозия, абразия и седиментогенез.

Важным результатом проведённого исследования является то, что в ходе моделирования Шантарской структуры проявилась высокая активность её голоценовой сейсмогеодинамики. Пограничная структура Шантарского архипелага является в связи с этим индикатором голоценовой активизации окраинно-континентальной структуры Востока Азии. Статус Национального парка обозначает возможность использования Шантар в качестве исследовательского полигона для изучения новейшей геологической истории и современной сейсмогеодинамики этой структуры.

В процессе моделирования получен определённый опыт изучения взаимодействия синхронно развивающихся разломных систем разной ориентировки и взаимодействия полярных по режиму развития орогенов и рифтогенов. Тем самым обозначена продуктивность этого, по сути, нового направления. Выходные модели по нему обещают быть непростыми, но в дальнейшей перспективе максимально приближенными к исследуемому объекту. Представленная в данной статье модель новейшего этапа развития Шантар является лишь предварительной разработкой – моделью пилотного уровня. После поступления дополнительных сведений в неё, несомненно, могут быть внесены соответствующие коррективы.

Масштабность и сложность внутренней организации новейшей геодинамики Шантарского архипелага во многом определили состояние его современной интерферирующей структуры. Проведённое моделирование

показало значимость маскирующего эффекта новейшего этапа по отношению к более ранним геологическим образованиям и необходимость его учёта при разработке не только модели Шантарского узла, но и любых других моделей геологических структур Востока Азии. Малая достоверность многих действующих здесь прогнозно-металлогенических и прогнозно-поисковых моделей во многом связана с тем, что в них не снят этот маскирующий эффект.

Автор благодарит сотрудниц лаборатории «Сейсмологии и сейсмотектоники» ИТиГ ДВО РАН Н.В.Сатонину, О.Н.Колягину и Н.Н.Ковригу за помощь в подготовке статьи.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института тектоники и геофизики им. Ю.А.Косыгина ДВО РАН при частичном финансировании программой «Приоритетные научные исследования в интересах комплексного развития Дальневосточного отделения РАН» (проект 18-5-024).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ганешин Г.С. Происхождение Шантарских островов // Природа. 1956. № 4. С. 91–93.
2. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. Масштаб 1:2 500 000. Объяснительная записка / Л.И.Красный, А.С.Вольский, Пэн-Юньбяо и др. – СПб.–Благовещенск–Харбин, 1999.
3. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Удская. Лист N-53-XII. Объяснительная записка // Составители С.И.Горохов, В.Б.Караулов. – М., 1977.
4. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Удская. Лист N-53-XI. Объяснительная записка // Составители С.И.Горохов, В.Б.Караулов. – М., 1978.
5. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Удская. Лист N-53-XVIII. Объяснительная записка // Составители С.И.Горохов, В.Б.Караулов. – М., 1982.
6. Геология и нефтегазоносность Охотско-Шантарского осадочного бассейна / В.Г.Варнаевский, А.Э.Жаров, Г.Л.Кириллова и др. – Владивосток: ДВО РАН, 2002.
7. Коковкин А.А. Геодинамическая модель кайнозойского этапа развития континентальной коры юга Дальнего Востока России и уран-полиэлементное рудообразование // Автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. – М., 2007. <http://vak.ed.gov.ru/announcements/geomin/573/>
8. Коковкин А.А. Шантарский архипелаг: эволюция структуры, геодинамика и рельеф // Геоморфологические процессы и их прикладные аспекты, VI Щукинские чтения. – М.: МГУ, 2010. С. 305–307.
9. Коковкин А.А. Новейшая структура Сихотэ-Алинского орогена: эволюционная модель // Региональная геология и металлогения. 2012. № 52. С. 39–48.
10. Коковкин А.А. Сейсмогеодинамика новейших структур востока Азии: волновая модель / Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии, VIII Косыгинские чтения: мат-лы всероссийской конференции, 17–20 сентября 2013 г., г. Хабаровск. – Владивосток: Дальнаука, 2013. С. 400–403.
11. Коковкин А.А. Комплексная эволюционная модель новейшей инверсионной структуры Хабаровско-Хехцирской системы поднятий // Отечественная геология. № 4. 2013. С. 32–41.
12. Коковкин А.А. Эволюция новейшей окраинно-континентальной структуры Намибии и структура-антипод Востока Азии: опыт междисциплинарного исследования на синергетической основе. – Саратов: Приволжская книжная палата, 2014.
13. Коковкин А.А. Особенности неоплейстоцен-голоценовой эволюции восточной части Альпийско-Гималайского подвижного пояса / Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии, IX Косыгинские чтения: мат-лы всероссийской конференции, 13–15 сентября 2016 г. – Хабаровск, 2016. С. 253–256.
14. Коковкин А.А. Особенности новейшего этапа развития зоны Инкоу-Хинганского разлома // Региональная геология и металлогения. 2016. № 68. С. 42–51.
15. Коковкин А.А. Волновая модель структурирования континентальной коры Востока Азии (на пути к парадигме волновой нелинейной геодинамики) // Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ: мат-лы XLVIII Тектонического совещания. Т. 1. – М.: ГЕОС, 2016. С. 248–252.
16. Коковкин А.А. Неоплейстоцен-голоценовый рубеж в структурировании континентальной коры, его геологические индикаторы и возможная природа // Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и направления дальнейших исследований: мат-лы X всероссийского совещания по изучению четвертичного периода, 25–29 сентября 2017 г. – М.: ГЕОС, 2017. С. 188–190.
17. Шантарский архипелаг: Рассказ об уникальном природном островном комплексе Приохотья. – Хабаровск: Книжное изд-во, 1989.



ВОСТОЧНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ФОРУМ

V Восточный экономический форум состоится 4–6 сентября 2019 г. на площадке кампуса Дальневосточного федерального университета во Владивостоке.

Ежегодно Восточный экономический форум (ВЭФ) становится местом обсуждения ключевых вопросов мировой экономики, региональной интеграции, развития новых отраслей промышленности и технологий.

Мероприятия Форума традиционно проходят в формате панельных сессий, круглых столов, теледебатов, деловых завтраков и бизнес-диалогов, посвященных отношениям России с различными странами мира.

В деловую программу Форума входит ряд бизнес-диалогов с ведущими странами – партнерами в Азиатско-Тихоокеанском регионе, а также с АСЕАН – ключевой интеграционной группировкой активно развивающихся стран Юго-Восточной Азии.

Основные задачи ВЭФ

- Укрепление связей международного инвестиционного сообщества, российского бизнеса, федеральных, региональных и местных органов власти
- Всесторонняя экспертная оценка экономического потенциала российского Дальнего Востока, а также повышение конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности региона на российском и международном уровнях
- Презентация новых условий инвестирования и ведения бизнеса: территорий опережающего развития, Свободного порта Владивосток, государственной поддержки перспективных инвестиционных проектов

Выставки на площадке Форума

В рамках выставочного пространства ВЭФ традиционно представляются конкретные ТОРы, инвестиционные проекты, а также меры, предпринимаемые федеральными и региональными органами власти для развития социально экономического, демографического и инвестиционного потенциала Дальневосточного федерального округа.

