

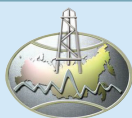
ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 6 / 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

Афанасьев В.П., Похиленко Н.П., Вавилов М.А., Желонкин Р.Ю., Земнухов А.Л., Барабаш Е.О., Самданов Д.А., Федорова Е.И., Малыгина Е.В.
Перспективы коренной алмазности правобережья р. Анабар (северо-восток Сибирской платформы)..... 3

Агибалов О.А.
Россыпная золотоносность арктических приморских равнин Чукотки: металлогенические и структурно-геоморфологические предпосылки формирования россыпей, проблемы прогнозирования и поисков..... 17

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Коковкин А.А.
Намурхэ-Амурская система разломов в окраинно-континентальной структуре востока Азии..... 28

ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ

Опарин Н.А., Олейников О.Б.
Макрокристаллы пикроильменита кимберлитовых трубок Хомпу-Майского кимберлитового поля (Центральная Якутия)..... 43

Окулов А.В., Кузина И.Н.
Аметисты Терского берега из археологических раскопок в Великом Новгороде..... 50

Лось В.Л., Гольдберг И.С.
Базовая модель, методика, результаты и программа прогнозно-поисковых работ на основе технологии Ionex в Казахстане..... 64

ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Анашкина Н.Е., Бунин И.Ж., Хачатрян Г.К.
Возможности метода электромагнитной импульсной обработки алмазносных кимберлитовых руд при их обогащении..... 78

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

Юбилей Светланы Степановны Двуреченской..... 84

Список статей, опубликованных в журнале «Отечественная геология» в 2019 году..... 85

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

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

Свидетельство о регистрации в средствах массовой информации

№ 01217 от 03 июня 1992 г.

Подписано в печать 16.12.2019

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

Перспективы коренной алмазности правобережья реки Анабар (северо-восток Сибирской платформы)

В.П.АФАНАСЬЕВ¹, Н.П.ПОХИЛЕНКО¹, М.А.ВАВИЛОВ¹, Р.Ю.ЖЕЛОНКИН², А.Л.ЗЕМНУХОВ²,
Е.О.БАРАБАШ¹, Д.А.САМДАНОВ^{1,3}, Е.И.ФЕДОРОВА¹, Е.В.МАЛЫГИНА¹

¹(Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИГМ СО РАН); 630090, г. Новосибирск, проспект академика Коптюга, 3),

²(Акционерное Общество «Алмазы Анабара»; 677027, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Кирова, 18Б),

³(Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ); 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2)

Приведены данные, обосновывающие существование среднепалеозойских алмазносных кимберлитов на междуречье Анабар–Уджа на северо-востоке Сибирской платформы. Эти данные основываются на результатах полевых работ и изучения индикаторных минералов кимберлитов и алмазов. Сделан вывод о широком распространении среднепалеозойского кимберлитового магматизма на северо-востоке платформы.

Ключевые слова: кимберлит, среднепалеозойский кимберлитовый магматизм, индикаторные минералы кимберлита, алмаз.

Афанасьев Валентин Петрович
доктор геолого-минералогических наук

avp-diamond@mail.ru

Похиленко Николай Петрович
академик РАН

chief@igm.nsc.ru

Вавилов Михаил Анатольевич
кандидат геолого-минералогических наук

mav@igm.nsc.ru

Желонкин Роман Юрьевич

zemnuchoval@alanab.ru

Земнухов Алексей Леонидович

zemnuchoval@alanab.ru

Барабаш Екатерина Олеговна



egorovaeo@igm.nsc.ru

Самданов Дмитрий Александрович
кандидат геолого-минералогических наук

science@igm.nsc.ru

Федорова Екатерина Ильинична

fedorova@igm.nsc.ru

Малыгина Елена Вениаминовна
кандидат геолого-минералогических наук

malygina@igm.nsc.ru

Primary Diamond Potential of the Right Side of the Anabar River (Northeastern Siberian Craton)

V.P.AFANASIEV¹, N.P.POKHILENKO¹, M.A.VAVILOV¹, R.Yu.ZHELONKIN², A.L.ZEMNUKHOV²,
E.O.BARABASH¹, D.A.SAMDANOV^{1,3}, E.I.FEDOROVA¹, E.V.MALYGINA¹

¹(Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian Academy of Sciences),

²(Public corporation «Diamonds of Anabar»),

³(Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation)

Field data and analyses of indicator minerals and diamond from the Anabar-Udza interfluvium in the northeastern Siberian craton justify the existence of Middle Paleozoic diamond-bearing kimberlites and indicate that the region underwent large-scale kimberlite magmatism in the Middle Paleozoic.

Key words: kimberlite, Middle Paleozoic kimberlite magmatism, kimberlite indicator minerals, diamond.

На северо-востоке Сибирской платформы (правобережье р. Анабар), а позже и в других местах в середине 1960-х годов были открыты богатейшие аллювиальные россыпи алмазов. Это послужило поводом для широко-масштабных поисков коренных месторождений алмазов, поскольку на момент открытия россыпей кимберлиты были единственным коренным источником алмазов, и не было оснований предполагать иные источники. Поиски кимберлитовых тел велись по стандартной технологии, сочетавшей главным образом минералогический и геофизический методы. Было найдено более 700 кимберлитовых тел, но до сих пор не обнаружено ни одного промышленного кимберлитового тела. Детальное изучение кимберлитового магматизма позволило установить, что на территории северо-востока Сибирской платформы присутствуют кимберлиты трёх возрастов – среднепалеозойского (единичные), нижнетриасового (немногочисленные) и юрско-мелового (подавляющее большинство). Последние практически неалмазоносны, поскольку глубинный метасоматоз в мезозое сократил мощность литосферы, преобразовал её состав и «выжег» алмазы [12]. Триасовые кимберлиты содержат лишь небольшое количество алмазов и не могут обеспечить россыпную алмазоносность. Судя по кимберлитам, найденным в районе Кютюнгинского грабена, среднепалеозойские кимберлиты (поздний девон) алмазоносны, но масштабы среднепалеозойского кимберлитового магматизма не определены. Детальное изучение алмазов позволило установить, что в россыпях присутствуют алмазы, которые или полностью отсутствуют в кимберлитах Сибирской платформы (алмазы V–VII разновидности, по классификации Ю.Л. Орлова), или их доля в россыпях значительно выше, чем в известных промышленных кимберлитах платформы (округлые додекаэдриты, кубоиды II разновидности, по классификации Ю.Л. Орлова). Эти алмазы отнесены к так называемому «северному» типу, коренные источники которых не известны. Предположительно эти алмазы происходят из докембрийских источников, возможно некимберлитового типа [2, 3, 5, 9].

В целом алмазы из россыпей северо-востока Сибирской платформы можно подразделить на пять типов [4]: 1 – алмазы кимберлитового типа, 2 – округлые алмазы из неизвестных источников, возможно докембрийского возраста, 3 – кубоиды II разновидности из неизвестных источников, возможно докембрийского возраста, 4 – алмазы V–VII разновидности из неизвестных источников, возможно докембрийского возраста, 5 – «якутиты» – импактные алмазы, связанные с Попигайской астроблемой [10]. Такой подход реализован впервые и позволяет разделить россыпные алмазы северо-востока Сибирской платформы на: а) происходящие из кимберлитов фанерозойского возраста, поиск которых реален и необходим и б) алмазы «северного» типа, поиск коренных источников которых крайне

проблематичен из-за неопределённости их индикационных характеристик, и за ними целесообразно оставить перспективы только россыпной алмазоносности.

Кроме того, авторы данной статьи выработали комплекс минералогических критериев определения возраста кимберлитов по их индикаторным минералам в россыпях [6]. К этим признакам относятся: 1) ярко выраженные признаки гипергенной коррозии, которая осуществлялась на Сибирской платформе только в среднем палеозое, 2) повышенная степень механического износа, связанная со среднепалеозойской трансгрессией, 3) специфическое распределение составов пиропов в среднепалеозойских кимберлитах, отличающихся от мезозойских [1].

Применение данных критериев и ревизия имеющихся материалов по алмазам и индикаторным минералам кимберлитов (ИМК) из россыпей северо-востока Сибирской платформы неожиданно выявили признаки широкого распространения среднепалеозойских кимберлитов в этом регионе. Такой подход к изучению алмазов и индикаторных минералов кимберлитов позволил полностью поменять парадигму алмазоносности северо-востока Сибирской платформы, включив в неё докембрийскую эпоху кимберлитового магматизма, и реально оценить перспективы коренной алмазоносности, связав их главным образом со среднепалеозойскими кимберлитами. Один из результатов проведённой работы – выделение территории, перспективной на обнаружение среднепалеозойских алмазоносных кимберлитов по правобережью реки Анабар. Этот результат оказался совершенно новым, поскольку ранее на основе изотопных датировок уран-свинцовым методом по цирконам и очень малому количеству гранатов алмазной ассоциации эта площадь считалась «населённой» мезозойскими непродуктивными кимберлитами типа трубок Надежда, Гренада на междуречье Биллях и Маят, а обилие алмазов в россыпях, не дифференцированное по типам коренных источников, не позволяло выработать обоснованные прогнозные рекомендации.

Интерес к правобережью р. Анабар был вызван алмазами из россыпи руч. Курунг-Юрях (приток р. Маят), изученными одним из авторов в 2010 г. Кристаллы этих алмазов были представлены прекрасно оформленными октаэдрами и совершенно не соответствовали «северной ассоциации» алмазов, распространённой фоном по всему северо-востоку Сибирской платформы, зато они полностью соответствовали алмазам из промышленных кимберлитов среднепалеозойского возраста. Позже были рассмотрены алмазы этой россыпи в количестве 950 каратов, которые дополнительно подтвердили предположение о наличии здесь продуктивных кимберлитов: до половины общего количества алмазов принадлежало кимберлитовому типу, причём распределены они были по всем гранулометрическим классам, а это является хорошим признаком, свидетельствующим

о наличии местных источников. Остальные алмазы относились к «северному» типу, который с точки зрения коренной алмазоносности пока не представляет интереса из-за неопределённости поисковых предпосылок и признаков. Ретроспективный анализ минералогических материалов, имеющих в распоряжении авторов по россыпям рек Биллях и Эбелях, показал по комплексу признаков, что индикаторные минералы принадлежат среднепалеозойской эпохе кимберлитового магматизма, который на Сибирской платформе служит основным объектом промышленной добычи алмазов [6]. В 2017–2018 годах проведены полевые работы по рекам Уджа, Чымара и Булгунняхтах. Изучение шлиховых проб полностью подтвердило гипотезу о среднепалеозойских кимберлитах. Найденные при опробовании руслового аллювия алмазы также соответствовали

кимберлитовым. По итогам двух полевых сезонов и ревизии имеющихся аналитических материалов выделен новый, перспективный на коренную алмазоносность район кимберлитового магматизма среднепалеозойского возраста, что позволило полностью пересмотреть потенциал коренной алмазоносности всего северо-востока платформы.

Район работ и материал для исследования. Шлиховым опробованием охвачена территория площадью около 8000 км² (рис. 1). Она расположена на восточном борту Анабарского щита при переходе его в Лено-Анабарский прогиб. В юго-западной части территории на поверхности обнажены породы кембрия, являющиеся кимберлитовмещающими. В северо-восточной части на кембрийских отложениях по мере их погружения в Лено-Анабарский прогиб залегают верхнепалео-

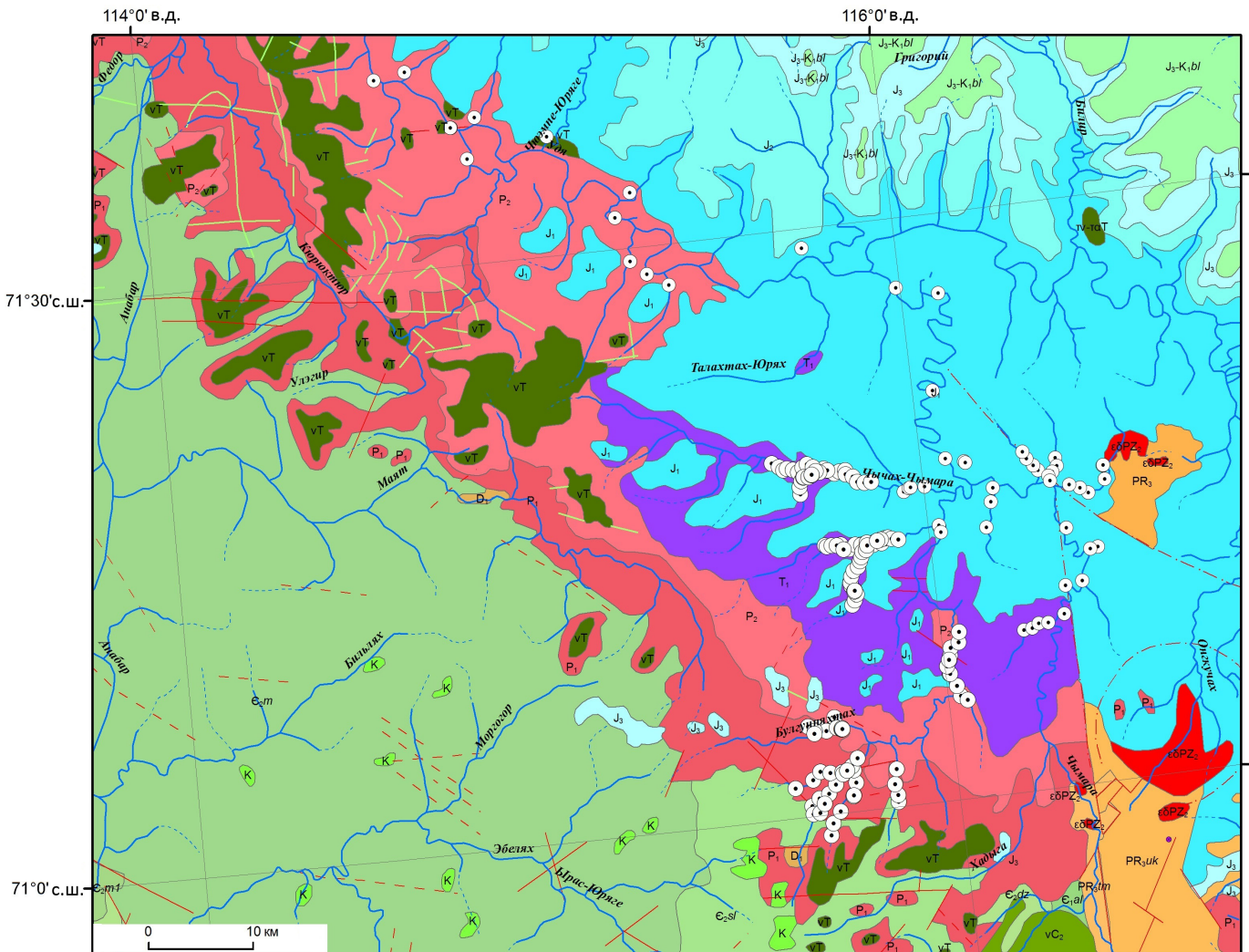


Рис. 1. Геологическая схема района работ с точками отбора шлиховых проб

зойские и мезозойские терригенные породы, представленные нижнепермскими, верхнепермскими, триасовыми, юрскими терригенными отложениями. Все промытые пробы были продуктивными и содержали алмазы и индикаторные минералы кимберлитов. В общей сложности было получено 179 алмазов и несколько десятков тысяч зёрен индикаторных минералов кимберлитов (пиропов и пикроильменитов). Этот материал позволяет объективно оценить перспективы коренной алмазности данной территории.

Кроме того, изучены шлиховые пробы АО «Алмазы Анабара» по бассейну р. Маят, протекающей по поверхности кембрийских отложений, и использованы имеющиеся данные по индикаторным минералам бассейна р. Эбелях, также с поверхности кембрийских отложений.

Методы исследования. Шлиховое опробование осуществлялось по русловому аллювию рек и по базальным горизонтам пермских и юрских отложений. Промывка шлиховых проб производилась с помощью стандартного деревянного лотка, объём проб от 20 литров до нескольких сотен литров. Шлиховые пробы обрабатывались обычным способом: разделение в тяжёлой жидкости и извлечение индикаторных минералов кимберлитов и алмазов из тяжёлой фракции шлиха. Изучение индикаторных минералов осуществлялось с помощью бинокулярного микроскопа и сканирующего электронного микроскопа, химический состав минералов проведён с помощью микрорентгеноспектрального анализа, алмазы изучались с помощью бинокулярного

микроскопа, сканирующего электронного микроскопа и ИК-спектроскопии. Аналитические исследования выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

Результаты исследований. Морфологические особенности индикаторных минералов кимберлитов. Индикаторные минералы изученной площади представлены пиропом и пикроильменитом. Хромиты, найденные в небольшом количестве, относятся к так называемому «курунгскому» типу, то есть происходят не из кимберлитов, а из неизвестных пород ультраосновного состава. Подобные хромиты распространены по всей Сибирской платформе [8].

Пироп. Всего в пробах обнаружено более 5000 пиропов размером от $-0,5$ мм до $-4+2$ мм, преобладающий цвет – фиолетовый, меньше зёрен оранжевого и красного цвета.

Большинство зёрен пиропов имеет признаки гипергенной коррозии. Часто практически не видимая в бинокуляр, она проявляется при наблюдении в сканирующем электронном микроскопе. Тип коррозии – главным образом кубоидный (рис. 2, каплевидные холмики). Как уже отмечалось, признаки гипергенной коррозии на ИМК связаны только со среднепалеозойской латеритной корой выветривания, поэтому данный признак однозначно указывает на происхождение ИМК из среднепалеозойских кимберлитов. Степень коррозии сильно различается, преобладает слабая или средняя, хорошо развитые кубоиды (устойчивые формы растворения) в изученных пробах практически отсутствуют.

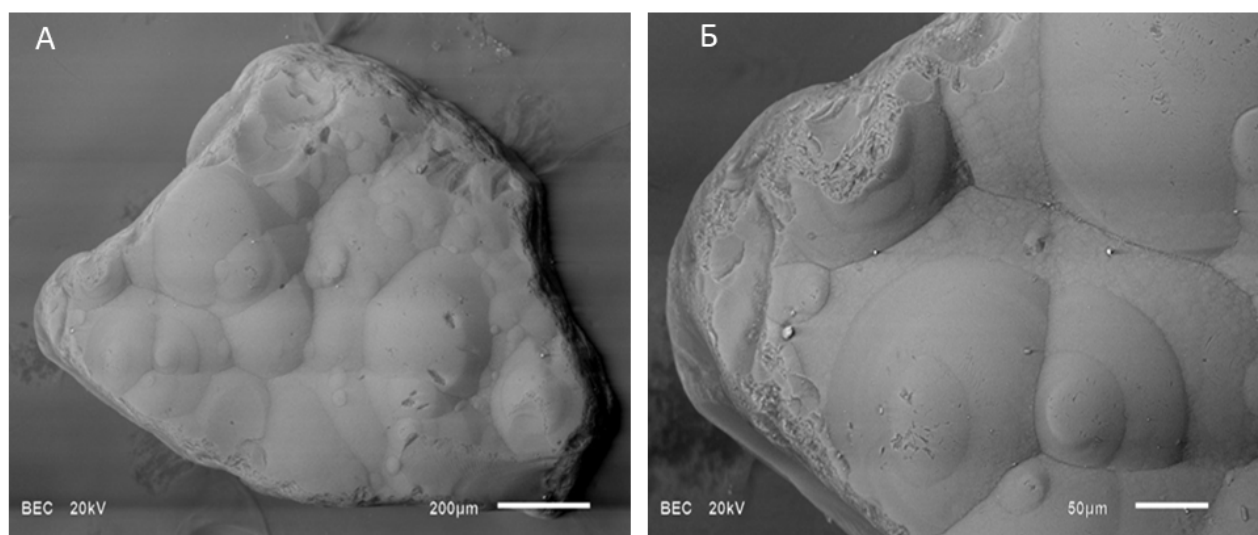


Рис. 2. Рельеф гипергенного растворения (каплевидные холмики) на пиропе:

А – общий вид зерна; Б – детали рельефа; р. Уджа

Однако в бассейнах рек Биллях и Эбелях степень гипергенной коррозии пиропов значительно выше, и присутствует большое количество хорошо развитых кубоидов.

Ещё одним важным морфологическим признаком является механический износ. На пиробах он проявлен в разной степени, от слабой до сильной, зёрен без износа нет. Детальные морфологические исследования позволяют выделить два этапа механического износа: 1 – докоррозионный (средний палеозой), при формировании первичного ореола и в условиях трансгрессии моря до эпохи выветривания; 2 – послекоррозионный (от верхнего палеозоя и моложе), связанный с перетолжением пиропов при размыве латеритной коры выветривания, формирующийся в условиях ингрессии и выраженный лишь в слабой степени; характерна полировка по всем формам рельефа.

Докоррозионный износ осуществлялся в гидродинамически активной среде в ходе морской трансгрессии, которая прошла по Сибирской платформе в конце фанена накануне формирования латеритной коры выветривания [1]. Степень докоррозионного износа разная – от слабой до предельной (рис. 3), что связано с локальными различиями условий механического износа, в целом характерными для внутриконтинентальных мелководных морей.

Трансгрессия оставила после себя абразионный пеплен, поэтому последующие эпизоды наступления моря носили характер не трансгрессии, а ингрессии, то есть подтопления суши без активной береговой абразии [1]. Ингрессией моря завершался каждый цикл седиментогенеза начиная со среднего карбона. Для ингрессии не характерен сильный износ, зато на твёрдых минералах типа граната развивается механогенная полировка. Она широко представлена на пиробах изученной площади как одна из основных форм послекоррозионного механического износа (см. рис. 3, В, Г). Однако имеются и шероховатые поверхности при общей слабой степени износа.

Не выявлены зёрна пиропов, по морфологическим особенностям соответствующие продуктам прямого современного размыва кимберлитов. Все пироба перетолжены из более ранних коллекторов.

Пикроильменит. По общему количеству зёрен пикроильменит на порядок превосходит пироп, что обычно свойственно кимберлитам. Пикроильменит значи-

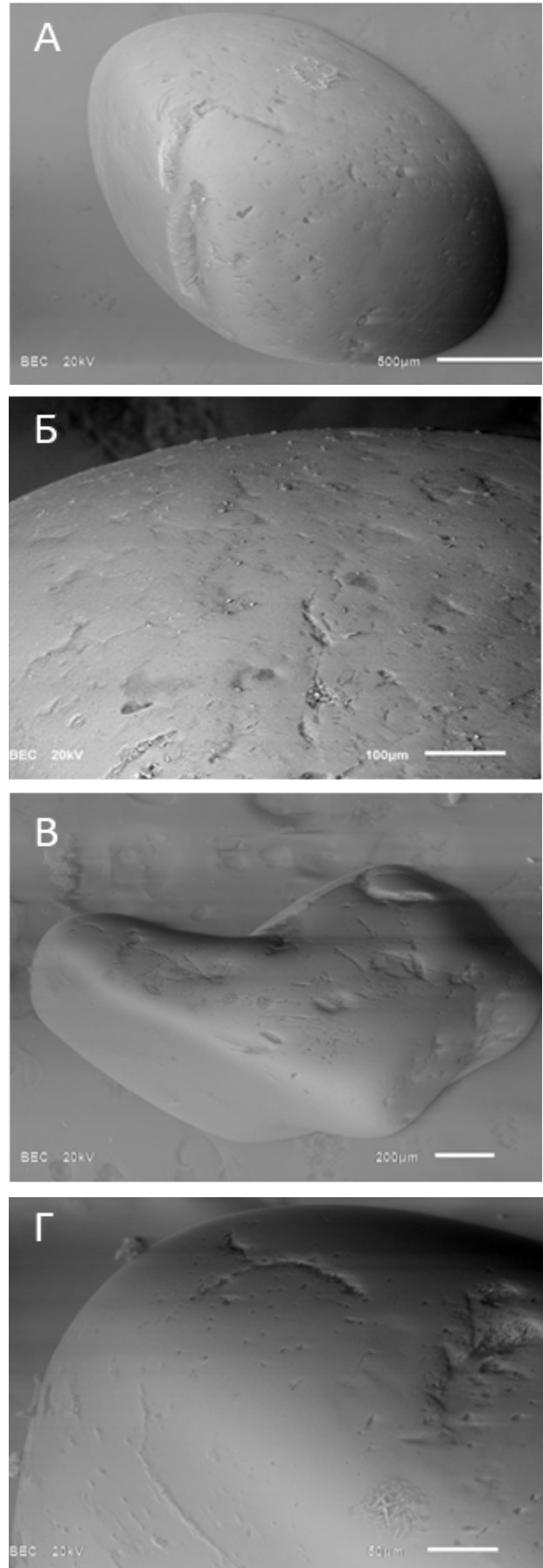


Рис. 3. Признаки механического износа на пиропе:

А, Б – предельная степень докоррозионного окатывания, гипергенез очень слабый по механогенной поверхности, по рельефу гипергенного растворения второй этап механического износа – механогенная полировка; В, Г – средняя степень первичного окатывания пироба с полировкой на втором этапе износа; р. Булгунняхтах

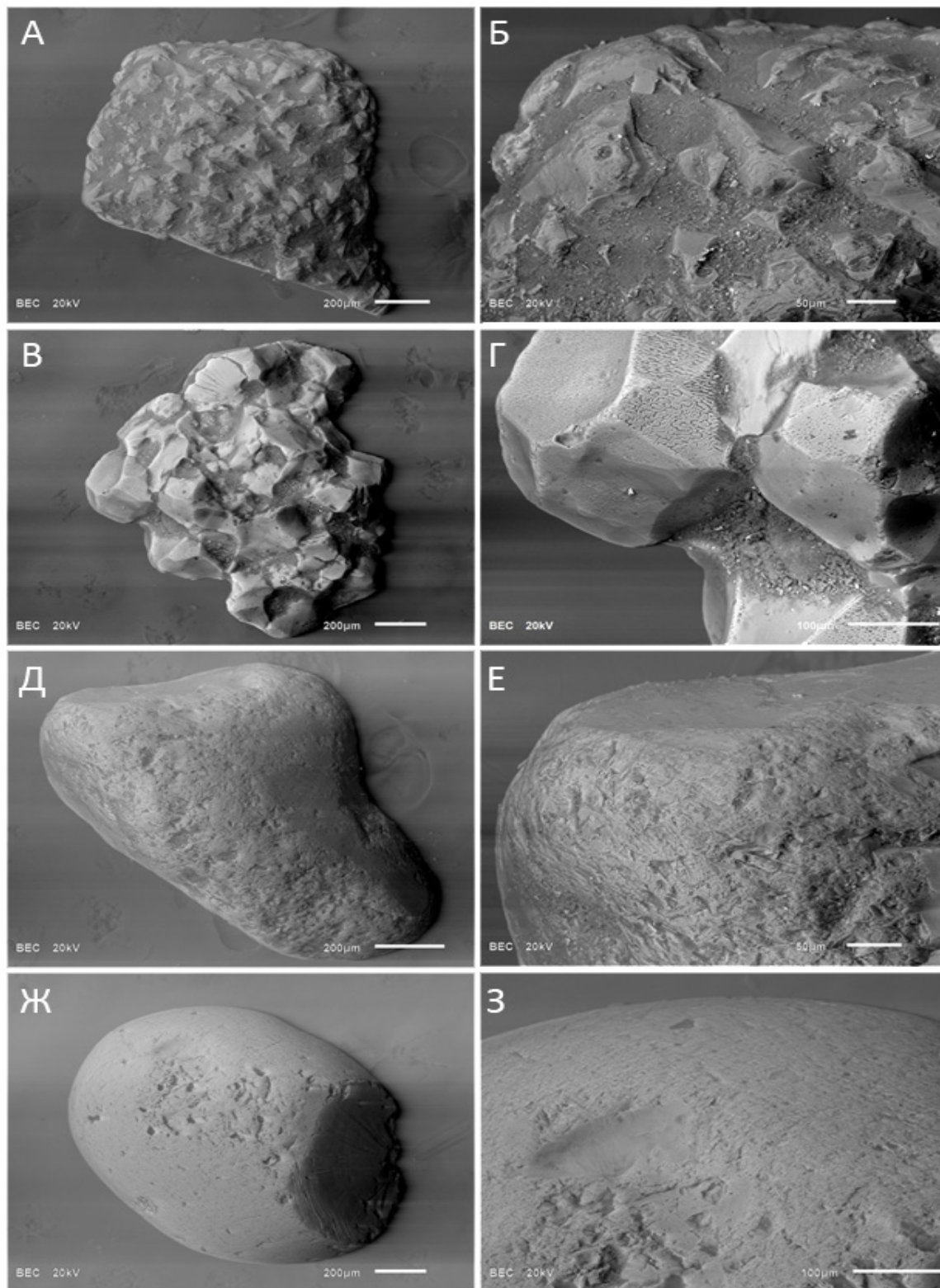


Рис. 4. Морфологические особенности пикроильменитов:

А, Б – пикроильменит с очень слабым износом, с первичным рельефом; В, Г – зерно агрегатного строения с очень слабым износом; Д, Е – пикроильменит со средним износом, первичный рельеф практически уничтожен; Ж, З – предельная степень окатывания пикроильменита; рек Уджа, Чымара

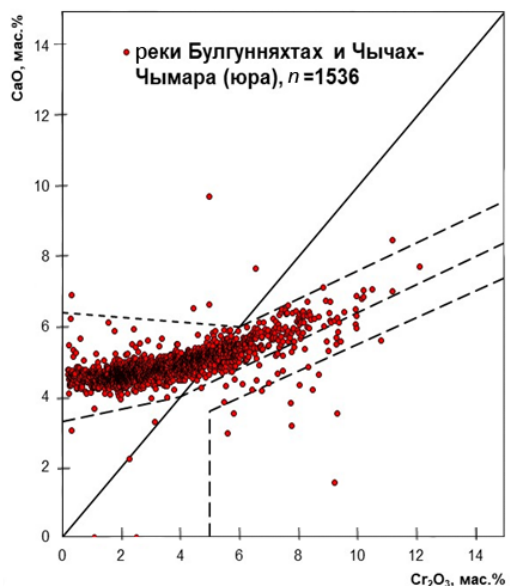
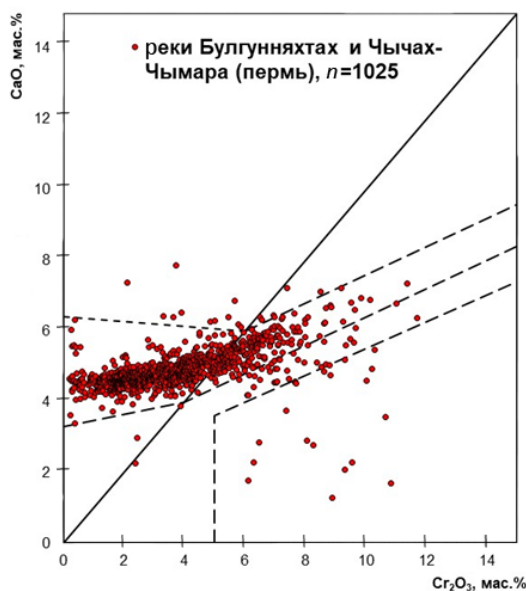
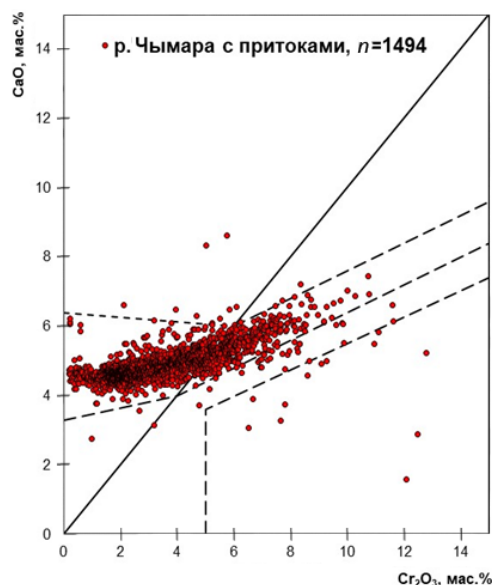
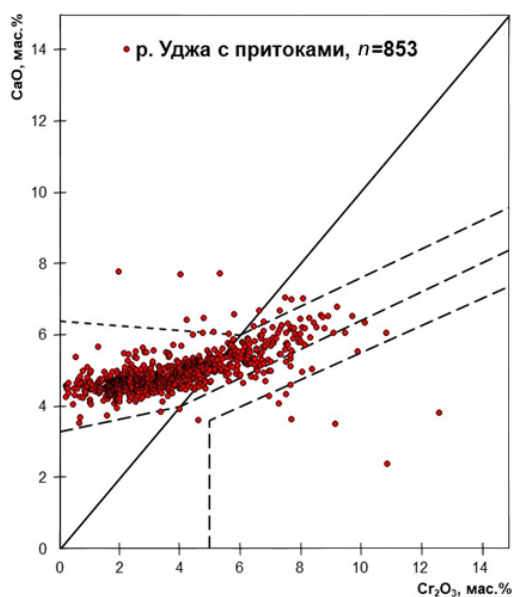


Рис. 5. Сводные диаграммы составов пиропов из руслового аллювия на пермских и юрских отложениях рек Удья, Чымара, Булгунняхтах и Чычах-Чымара

тельно более устойчив к химическому выветриванию, чем пироп, поэтому признаки гипергенеза на нём не заметны, и основным морфогенетическим фактором, характеризующим историю и условия развития ореолов, является механический износ.

Микрофотографии зёрен пикроильменита с разной степенью механического износа представлены на рис. 4. В частности, на рис. 4, А изображён пикроильменит с минимальным износом, хорошо выражен типичный микропирамидальный рельеф, формирующийся в постмагматических условиях в кимберлите [4]. Износом срезаны лишь верхушки микропиромид. Пикроильменит агрегатного строения (см. рис. 4, Б) также обладает слабым износом. Зёрна со средним и максимальным износом, на которых микропирамидальный рельеф не сохраняется, представлены на рис. 4, Д–З. Такой широкий диапазон по степени износа свидетельствует о переотложенном характере пикроильменитов и сложной истории развития ореолов. Из-за невыраженности гипергенной коррозии не ясно, являются ли слабоокатанные зёрна продуктом первичного размыва кимберлитов в девоне или более поздними поступлениями. Поскольку пикроильменит не такой твёрдый минерал как пироп, на нём не развивается полировка, все механогенные поверхности шероховатые.

Особенности состава индикаторных минералов кимберлитов. Составы индикаторных минералов в геологоразведочном плане актуальны с точек зрения: 1 – диагностики как самих минералов, так и их коренных

источников, 2 – возраста коренных источников, 3 – потенциальной алмазности коренных источников.

В общей сложности проанализировано более 5 тысяч зёрен пиропов и пикроильменитов.

Пироп. По указанным позициям изученные гранаты соответствуют пиропам: 1 – именно кимберлитовым, 2 – из среднепалеозойских кимберлитов, 3 – из потенциально алмазносных кимберлитов [11].

На диаграммах (рис. 5) хорошо видно, что распределение составов пиропов по всем изученным пробам соответствует среднепалеозойскому возрасту, влияние гранатов из юрских отложений незаметно. В небольшом количестве присутствуют гранаты алмазной ассоциации, причём их несколько больше на площади пермских отложений, особенно в базальном горизонте.

Пиропы из аллювия на поверхности кембрийских отложений в бассейне р. Маят, а также ранее изученные пиропы в бассейне р. Эбелях показывают то же распределение составов пиропов, соответствующее среднепалеозойским кимберлитам (рис. 6). И здесь не наблюдается влияние мезозойских кимберлитов.

Пикроильменит. Сводные диаграммы составов пикроильменитов по бассейнам рек Уджа, Чымара, Булгунняхтах, Чычах-Чымара представлены на рис. 7.

Прослеживается отчётливая закономерность: пикроильмениты проб, отобранных по поверхности юрских отложений, на диаграмме составов представлены двумя трендами. Один из них (основной) включает типичные составы кимберлитовых пикроильменитов. Вторым (дополнительный) не характерен для кимберлитов. Пикроильмениты этого тренда имеют очень низкую окисленность железа, повышенное содержание марганца, низкое содержание хрома и алюминия. В то же время пикроильмениты из проб по поверхностям пермских и кембрийских отложений дополнительного тренда не имеют. Весьма вероятно, что дополнительный тренд связан с подпиткой из триасовых некимберлитовых источников, потому и отсутствует на поверхности пермских отложений.

Алмазы. Всего найдено 179 алмазов. Большинство из них соответствует по морфологии кимберлитовым. Это октаэдры, кристаллы переходной формы, некоторое количество додекаэдров (рис. 8).

Диагностика последних вызывает отдельные затруднения: округлые додекаэдровиды в небольшом количестве присутствуют в кимберлитах, но очень характерны и для россыпей северо-востока, составляя в ряде из них основной объём продукции. Это явно не соответствует кимберлитам и предполагает для россыпных округлых додекаэдровидов иные, возможно докембрийские источники [5, 9]. Однако разделить по морфологии округлые додекаэдровиды из кимберлитов и потенциально докембрийские крайне сложно. Критерием различия может служить механический износ, присутствующий главным образом на докембрийских, и при его отсутствии диагностика затруднительна.

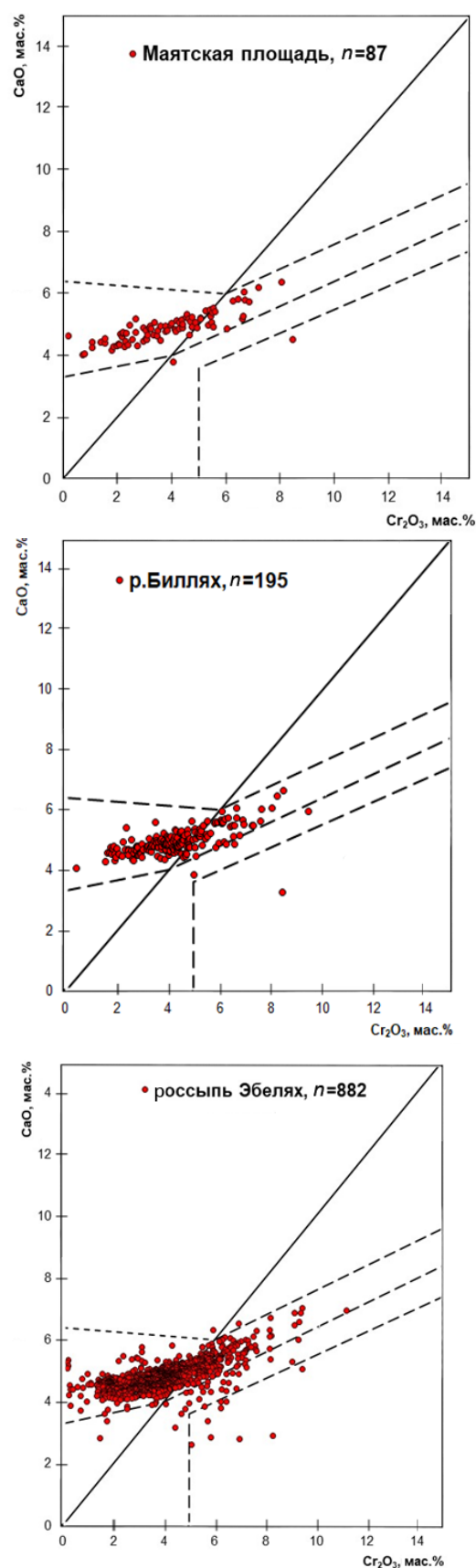


Рис. 6. Составы гранатов по рекам Маят, Биллях, Эбелях

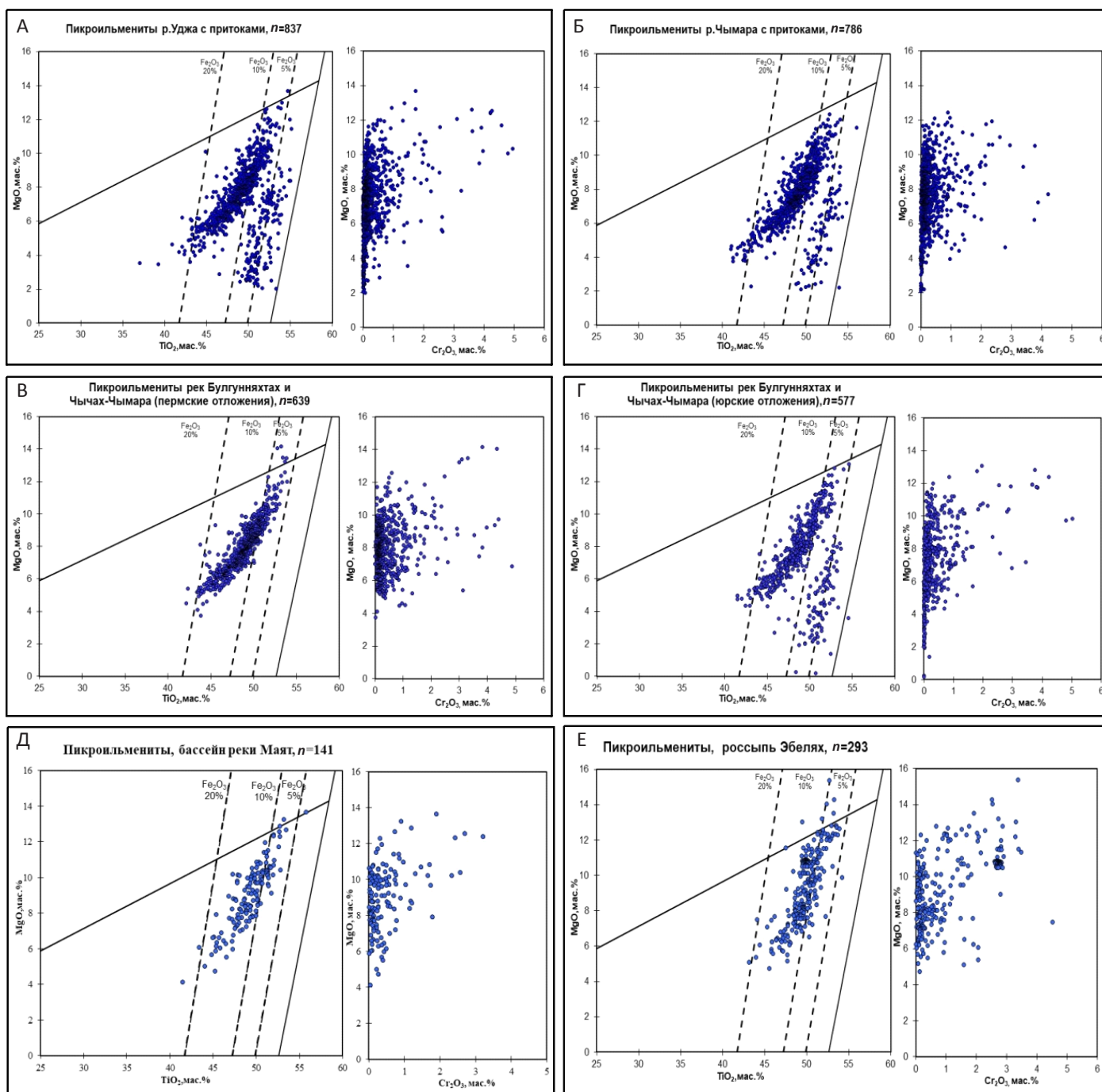


Рис. 7. Диаграммы составов пикроильменитов:

А, Б, Г – пикроильмениты из проб по юрским отложениям; В – пикроильмениты из проб по пермским отложениям; Д – пикроильмениты из проб по бассейну р. Маят по поверхности кембрийских отложений; Е – пикроильмениты из проб по бассейну р. Эбелях по поверхности кембрийских отложений

С осторожностью для нескольких округлых додекаэдров можно предположить докембрийский возраст, но кристаллы октаэдрической гаммы, обломки достоверно кимберлитовые.

На большинстве кимберлитовых алмазов хорошо виден ещё один признак происхождения из среднепалеозойских кимберлитов – ожелезнение в коре выветривания, выраженное в коричневых примазках гидроксидов

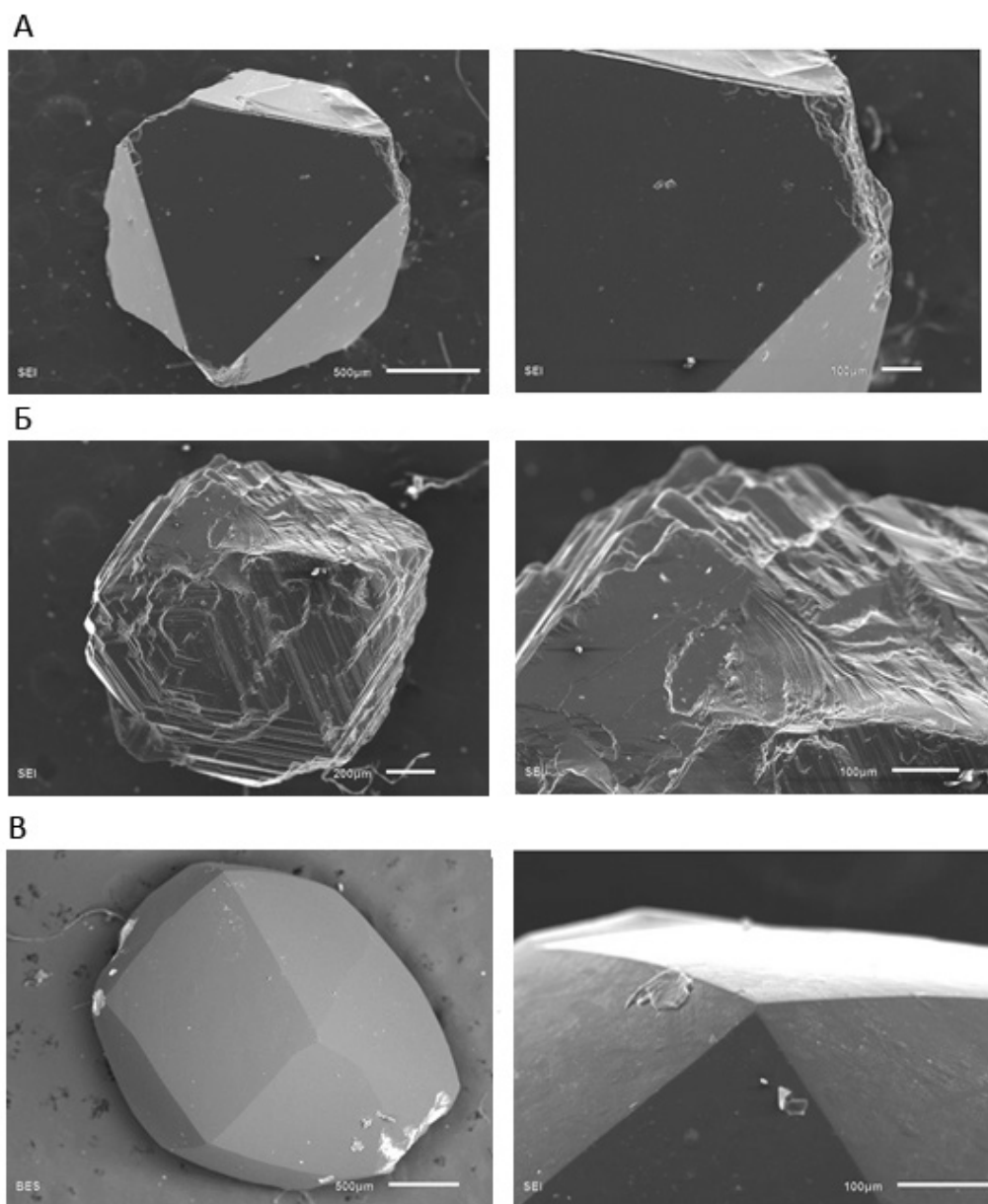


Рис. 8. Алмазы из шлиховых проб:

А – октаэдрический кристалл; Б – шпинелевый двойник кристаллов с полицентрическим строением граней; В – округлый додекаэдр

железа на поверхности кристаллов. Такие же признаки ожелезнения особенно характерны для россыпи Водораздельные галечники (трубка Мир), Новинка (трубка Интернациональная) и для всех россыпей, связанных со среднепалеозойскими кимберлитами, поскольку эти алмазы прошли эпоху латеритного выветривания. Интересно, что на алмазах V–VII разновидности, для которых обосновывается происхождение из докембрийских коренных источников, такие корочки ожелезнения отсутствуют, несмотря на большое количество шра-

мов и иных неровностей на поверхности. Это связано с тем, что подобные алмазы начали поступать в сферу фанерозойского седиментогенеза лишь после обнажения и вовлечения в эрозию докембрийских отложений на Анабарском щите в мезозое, соответственно, они не подвергались факторам латеритного выветривания в девоне.

Для 48 произвольно выбранных кристаллов проведены исследования методом ИК-спектроскопии с целью оценки концентрации и форм вхождения примеси

азота. На рис. 9, А показано распределение алмазов изученной выборки по общему содержанию азота и степени его агрегирования, оцениваемой по содержанию V1-центров. На рис. 9, Б представлено распределение алмазов по степени агрегирования азота в сравнении с алмазами из аллювия р. Куойка и из раннекарбонатовых прибрежно-морских гравелитов бассейна р. Кютюндэ. Алмазы р. Куойка выбраны как пример северной ассоциации алмазов с доминированием додекаэдров, алмазы из раннекарбонатовых гравелитов Кютюндэ представлены исключительно кимберлитовым типом. Очень разные (до 2000 ppm) содержание азота и степень агрегирования показаны на рис. 9, А. Из рис. 9, Б следует, что алмазы изученной площади по степени агрегирования азота очень близки к кютюндским, но резко отличаются от куойкских. Лишь максимум в области высокой степени агрегированности совпадает с куойкскими, тогда как у кютюндских он отсутствует. Из этого можно предположить, что часть додекаэдров изученной площади соответствует северной ассоциации (около 13%), тогда как остальные – типичные кимберлитовые.

Обсуждение результатов исследований. Основным итогом проведённых исследований должно быть определение возраста коренных источников индикаторных минералов и алмазов изученной площади, а также их потенциальная алмазоносность; материалов для этого достаточно. О локализации местоположения коренных источников на основе проведённых исследований, в первую очередь из-за ограниченного объёма полевых работ, говорить пока рано.

Минералогические критерии определения возраста коренных источников индикаторных минералов показывают, что основное количество кимберлитовых минералов (за исключением аномальных пикроильменитов) происходит из среднепалеозойских кимберлитов. Об этом свидетельствует наличие гипергенных изменений минералов, различная, в том числе повышенная, степень механического износа минералов, типичное «среднепалеозойское» распределение составов пиропов, присутствие большого количества алмазов кимберлитового типа. В целом шлиховая обстановка аналогична другим районам распространения среднепалеозойских кимберлитов, поэтому и возраст кимберлитов можно принять (как и для других районов продуктивного кимберлитового магматизма) среднепалеозойским–фаменским (350–360 млн. лет). С момента формирования кимберлитов и начала их эрозии начинается история формирования ореолов. В целом основные черты формирования ореолов аналогичны другим районам кимберлитового магматизма с учётом местных особенностей. Основной тренд их формирования – переотложение индикаторных минералов и алмазов во все более молодые коллекторы при размыве древних.

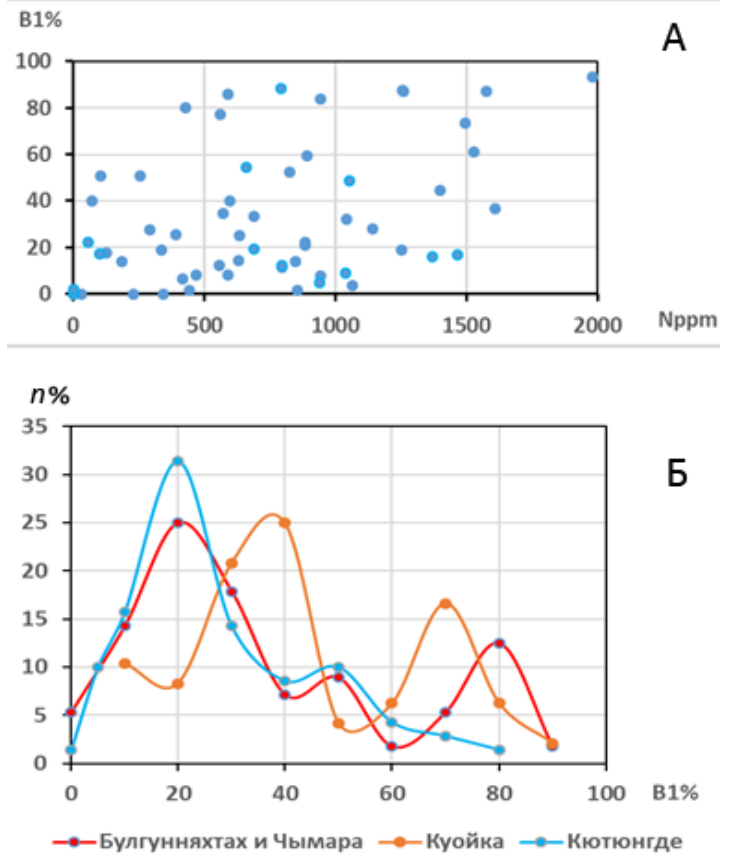


Рис. 9. Распределение алмазов изученной выборки (48 кристаллов):

А – по общему содержанию азота и степени его агрегирования, оцениваемой по содержанию V1-центров и Б – по степени агрегирования азота в сравнении с алмазами из аллювия р. Куойка и из раннекарбонатовых гравелитов бассейна р. Кютюндэ

Первичных ореолов девонского возраста, как и в других районах, не сохранилось, они были полностью размывы в более поздние этапы седиментогенеза. Однако изучение онтогенетических особенностей минералов показывает следующее. Эрозия кимберлитов происходила в условиях приподнятой суши, и эрозионный срез был большой (не менее 350–400 м), достаточный для формирования россыпей. Вероятно, от р. Маят на север территория была несколько более возвышенная. Это следует из того, что в бассейне рек Маят и Уджа индикаторные минералы в процессе позднефаменской трансгрессии, охватившей всю Сибирскую платформу, окатаны относительно слабо, не выше III класса износа, тогда как на р. Биллях и южнее, вплоть до р. Эбелях, индикаторные минералы окатаны значительно сильнее, пиропы были закатаны до шариков, что впоследствии послужило благоприятной основой

для формирования кубоидов при гипергенной коррозии. Аналогичная ситуация в Мало-Ботубинском районе: Мирнинское поле, находившееся в апикальной части Непско-Ботубинской антеклизы, оставалось островной сушей в ходе этой трансгрессии, тогда как на расстоянии 23–26 км к западу в береговой зоне Эвенкийского бассейна формировались прибрежно-морские ореолы, в которых пиропы окатывались до шариков, а пикроильменит был практически уничтожен истиранием (россыпь Восточная) [1].

Трансгрессия в конце фамена оставила после себя абразионный пенеплен, который определял режим седиментогенеза в последующие эпохи: наступление моря осуществлялось уже не в форме трансгрессии, а в форме ингрессии с сохранением континентальных осадков в базальных горизонтах [1].

После отступления моря на выровненной суше началась эпоха латеритного выветривания. В это время Сибирская платформа находилась близ экватора и была повёрнута на 180° относительно современного положения, то есть арктическая зона находилась на юге в наиболее благоприятных для формирования латерита условиях, тогда как территория современного юга платформы была на севере и индикаторы на этой территории корродированы слабо [1]. Из-за того, что минералы в бассейне р. Маят и севернее были окатаны слабо, среди них практически отсутствуют хорошо развитые кубоиды, которые охотно развиваются по овальным зёрнам. Поэтому в массовом количестве кубоиды пиропов присутствуют в бассейне р. Биллях и южнее, на р. Эбелях. Надо учесть, что Анабарская антеклиза в верхнем палеозое ещё не была выражена контрастно, хотя, судя по массовому количеству корового алмадина в пермских отложениях, в послекоровое время (верхний палеозой) на поверхности уже обнажались гранатсодержащие породы докембрия. Поэтому осцилляции уровня Мирового океана приводили к неоднократным затоплениям и осушениям обширной территории, включая территорию нынешней Анабарской антеклизы. При этом более древние осадки размывались, а их минералы переотлагались в более молодые коллекторы. В условиях ингрессии дополнительные срезы кимберлитов в каждую эпоху седиментогенеза были незначительными, эрозии хватало главным образом на уничтожение или сокращение мощности перекрывающих осадков. Поэтому, как и в центральных частях провинции, в шлиховом материале не обнаруживаются минералы прямого сноса с кимберлитов, которые можно было бы привязать к одной из этих эпох, все минералы по признакам гипергенной коррозии и повышенного механического износа попали в сферу седиментогенеза ещё в девоне. Позднедевонские–раннекарбоновые отложения при размыве питали, по-видимому, по аналогии с центральными районами провинции среднепозднекарбоновые отложения, а те, в свою очередь, при размыве питали пермские осадки. Карбоновые от-

ложения на данной территории отсутствуют (исключение составляют глыбы предположительно нижнекарбоновых отложений в бассейне р. Эбелях), поэтому, если они были, их минералы оказались в нижнепермских осадках. Это стандартная ситуация: если коллектор лежит на кимберлитовмещающих нижнепалеозойских отложениях, индикаторы всех предыдущих этапов седиментогенеза собираются в нём за счёт переотложения. Но если источник сноса продолжает работать, то индикаторы окажутся и в более молодом коллекторе на неразмытых предшествующих осадках. Такая ситуация наблюдается в Мало-Ботубинском районе: на западном склоне Непско-Ботубинской антеклизы к западу от Мирнинского поля на среднекарбоновых продуктивных осадках, вмещающих россыпь Восточная, лежат верхнекарбоновые осадки, также продуктивные, но уже с другой ассоциацией минералов, которые попадали сюда при продолжении эрозии продуктивных отложений в пределах Мирнинского поля.

Для изученной территории ясно, что осадки нижней перми содержат индикаторы и алмазы, переотложенные из более ранних коллекторов, и минералы, возможно, не слишком удалены от коренных источников, так как переотложение осуществляется, как правило, в фациях ближнего переноса. В данном случае индикаторные минералы и алмазы присутствуют и в шлиховых пробах на верхнепермских отложениях (если датировка верна). Возможно, это связано с началом подъёма Анабарской антеклизы, когда нижнепермские осадки на западе размывались и их минералы переносились на восток, питая верхнепермские отложения. Аналогичная ситуация имеет место в районе Накынского поля: продуктивные нижнеюрские отложения были распространены на огромной территории Сибирской платформы, но в связи с воздыманием Анабарской антеклизы они размывались на север-северо-западе, а их минералы мигрировали в сторону Вилуйской синеклизы, питая более молодые осадки. В результате в районе Накынского поля, в бассейне р. Конончан в юрских и меловых осадках присутствуют минералы нижней юры, размывтой на северо-западе, перенесённые в Вилуйскую синеклизу. Поэтому верхнепермские осадки изученной площади могли питаться за счёт нижнепермских, размываемых на западе по мере воздымания антеклизы. То же происходило здесь и в юрское время, когда в связи с воздыманием антеклизы на западе размывались пермские осадки, а их минералы сносились в северо-восточном направлении в сторону формирующегося Лено-Анабарского прогиба, питая новые осадки. Это объясняет близость типоморфных особенностей индикаторных минералов в пермских и юрских отложениях при неизбежных некоторых различиях, так как площади сноса мигрировали по мере размыва более древних осадков с запада на восток-северо-восток.

По поводу аномального тренда пикроильменита можно предположить, что он сформирован не кимберлитовым материалом, а добавлен из других, возможно триасовых источников. Об этом свидетельствует и состав тяжелой фракции шлихов по пермскому и юрскому коллекторам: в перми это практически чистая альмандиновая ассоциация с примесью индикаторных минералов кимберлитов, тогда как в юрском коллекторе пополам альмандины и рудные минералы, и последние, совершенно очевидно, являются дополнительными к пермским минералам. Видно, что аномальный тренд пикроильменита характерен для шлихов по поверхности юрских отложений, но отсутствует на открытых площадях, включая россыпь р. Эбелях, и на нижнепермских осадках.

Цифровая модель рельефа (рис. 10) показывает, что открытые площади находятся в приподнятой юго-западной части территории, где эрозия уже уничтожила древние отложения, и алмазы и индикаторные минералы из них сброшены в современную гидросеть. Этим объясняется высокая алмазоносность руслового

аллювия. В пониженной равнинной части, где осуществлялось шлиховое опробование, алмазы и индикаторы ещё распределены в древних отложениях, и пока не сформированы высокие россыпные концентрации минералов в аллювии.

Присутствие в пробах индикаторных минералов гранатов алмазной ассоциации, а также резкое доминирование алмазов кимберлитового типа в общей их совокупности свидетельствуют об алмазоносности коренных источников. Особый интерес вызывает находка ОАО «Нижнеленское» алмаза кимберлитового типа ювелирного качества весом около 300 каратов в аллювии реки Биллях. Алмазы такого размера и веса мало транспортабельны и определённо указывают на присутствие коренных источников – кимберлитов среднепалеозойского возраста на изученной территории.

В **заключение** следует отметить, что проведённые полевые и лабораторные работы несомненно указывают на присутствие среднепалеозойских алмазоносных кимберлитов на изученной площади. Практически все индикаторные минералы и значительная часть алмазов

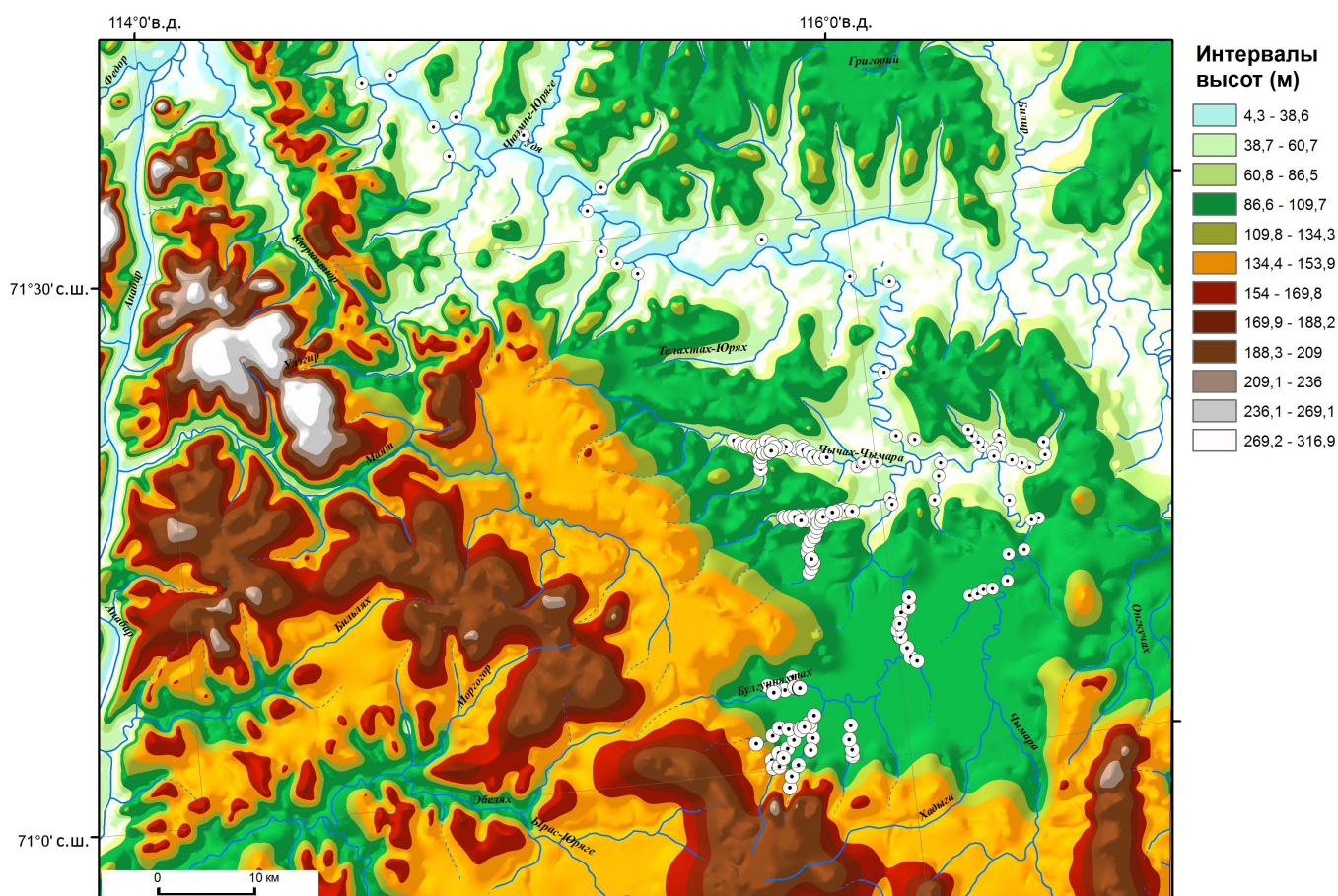


Рис. 10. Цифровая модель рельефа изученной площади с точками опробования

происходят из этих кимберлитов. Влияние юрских кимберлитов в изученном шлиховом материале не фиксируется. Пока площадь распространения среднепалеозойских кимберлитов не определена, необходимо выйти за пределы изученной площади. На ранней стадии поисковых работ оптимальной для поисков кимберлитов является юго-западная часть территории, где на дневной поверхности экспонированы нижнепалеозойские кимберлитовмещающие отложения; здесь есть шансы уловить минералы прямого сноса с кимберлитов. На закрытой территории все индикаторные минералы и алмазы переотложенные, и по ним локализовать местоположение кимберлитов сложно, кроме того, требуются большие объёмы бурения. В любом случае необходимы геофизические исследования с заверкой всех аномалообразующих объектов.

На северо-востоке Сибирской платформы изученная площадь является второй после района Кютюнгинского грабена территорией, на которой на большом фактическом материале надёжно обосновано присутствие алмазоносных среднепалеозойских кимберлитов. Однако, в отличие от Кютюнгинского грабена, здесь более простая поисковая обстановка и выше шансы найти промышленные коренные месторождения алмазов.

Проведённые исследования позволяют значительно пересмотреть перспективы коренной алмазоносности северо-востока Сибирской платформы и показывают пути поиска новых проявлений среднепалеозойского кимберлитового магматизма.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИГМ СО РАН, гранта РФФИ № 18-05-70063/18 и интеграционного проекта № 0330-2018-0033.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В.П., Агашев А.М., Похиленко Н.П.* Основные черты истории и условий формирования ореолов индикаторных минералов кимберлитов Сибирской платформы // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55. № 4. С. 295–304.
2. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.* Полигенез алмазов в связи с проблемой коренных источников россыпей северо-востока Сибирской платформы // ДАН. 1998. Т. 361. № 3. С. 366–369.
3. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Логвинова А.М.* Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // Записки Российского минералогического общества. 2009. № 2. С. 1–13.
4. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П.* Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001.
5. *Афанасьев В.П., Похиленко Н.П., Лобанов С.С.* Россыпная алмазоносность Сибирской платформы: возрастные уровни и возможные источники питания // Геология рудных месторождений. 2011б. Т. 53. № 6. С. 538–542.
6. *Егорова Е.О., Афанасьев В.П., Похиленко Н.П.* О среднепалеозойском кимберлитовом магматизме северо-востока сибирской платформы // Доклады Академии наук. 2016. Т. 470. № 6. С. 692–695.
7. *Механический износ индикаторных минералов кимберлитов: экспериментальные исследования / В.П.Афанасьев, Е.И.Николенко, Н.С.Тычков и др.* // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 2. С. 120–127.
8. *Особенности морфологии и состава хромшпинелидов алмазоносных площадей в связи с проблемой «ложных» индикаторов кимберлитов / В.П.Афанасьев, Н.П.Похиленко, А.М.Логвинова и др.* // Геология и геофизика. 2000. Т. 41. № 12. С. 1729–1741.
9. *Полигенез алмазов Сибирской платформы / В.П.Афанасьев, С.С.Лобанов, Н.П.Похиленко и др.* // Геология и геофизика. 2011а. Т. 52. № 3. С. 335–353.
10. *Якутиты – импактные алмазы Попигайской астроблемы / В.П.Афанасьев, С.С.Угайева, А.П.Елисеев и др.* // Руды и металлы. 2019. № 2. С. 67–74.
11. *Chrome-rich garnets from the kimberlites of Yakutia and their parageneses / N.V.Sobolev, Y.G.Lavrent'ev, N.P.Pokhilenko, L.V.Usova* // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1973. Vol. 40. P. 39–52.
12. *Peculiarities of Distribution of Pyroxenite Paragenesis Garnets in Yakutian Kimberlites and Some Aspects of the Evolution of the Siberian Craton Lithospheric Mantle / N.P.Pokhilenko, N.V.Sobolev, S.S.Kuligin, N.Shimizu* // Proceedings of the VIIth International Kimberlite Conference. Vol. II. Cape Town. 1999. P. 689–698.

Россыпная золотоносность арктических приморских равнин Чукотки: металлогенические и структурно-геоморфологические предпосылки формирования россыпей, проблемы прогнозирования и поисков

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

Приведены особенности строения и генезиса погребённых россыпей приморских равнин Чукотки на примере Рывеевской россыпи (Валькарайская низменность). Рассмотрены структурно-геоморфологические предпосылки формирования россыпей золота прибрежных равнин, проблемы их прогнозирования и поисков, в том числе с помощью применения современных дистанционных, геофизических и геохимических методов.

Ключевые слова: россыпи золота приморских равнин Чукотки, структурно-геоморфологический анализ, морфоструктурный анализ, прогнозно-поисковые критерии погребённых россыпей золота.

Агибалов Олег Анатольевич



agibalov@tsnigri.ru

Placer gold potential of the Arctic marine Chukotka plains: metallogenic and structural-geomorphological preconditions of placer formation, forecasting and prospecting issues

O.A.AGIBALOV (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals)

Structural and genetic features of Chukotka marine plains' buried placers are considered, with Ryveem placer (Valcarai lowland) as an example. Structural-geomorphological preconditions of coastal plain gold placer formation, their forecasting and prospecting issues including the use of modern remote, geophysical and geochemical methods are reviewed.

Key words: gold placers of Chukotka marine plains, structural-geomorphological analysis, morphostructural analysis, forecasting and prospecting criteria of buried gold placers.

Устойчивая тенденция уменьшения ресурсного потенциала россыпного золота (особенно легкодоступных мелкозалегающих россыпей) диктует необходимость выявления новых его источников в пределах слабоизученных районов со сложными горно-геологическими условиями залегания продуктивных отложений. К таким районам можно отнести приморские равнины арктического побережья Российской Федерации, среди которых значительный интерес представляют прибрежные низменности Чукотки, где были выявлены и в значительной степени отработаны крупные погребённые россыпи, в том числе выдающаяся по запасам и продуктивности Рывеевская россыпь.

Пик добычи россыпного золота в пределах Чукотки пришёлся на 1966–1977 гг., в этот период в год добывали по 30–35 т [1, 7]. Одним из наиболее значимых

объектов являлась Рывеевская россыпь (Валькарайская прибрежная низменность), из которой шахтным способом было добыто около 250 т металла; суточный съём металла доходил до 200 кг, а годовая добыча – до 17 т [6, 7]. Содержания золота на участке Прибрежный достигали 850 г/м³ (среднее 81,2 г/м³). В дальнейшем добыча в регионе неуклонно сокращалась, и с 2008 г. она не превышает 1–2 т. К 1 июля 2018 г. на россыпях Чукотки добыто 243 кг золота. В то же время, по мнению ряда исследователей [8, 15–17], золотоносные отложения в пределах прибрежных арктических равнин являются, возможно, последним резервуаром крупных россыпных объектов для рассматриваемого района, экономическому развитию которого в настоящее время придаётся большое значение: построены дороги Певек–Билибино, Певек–Эгвекино́т,

проектируется дорога Билибино–Колымская федеральная трасса; в г. Певек завершается подготовка к пуску плавучей АЭС.

Геологическое строение и металлогеническая позиция площадей, примыкающих к приморским впадинам, показаны в таблице и на рисунках 1 и 2.

Как видно из таблицы, большинство впадин расположено в пределах металлогенических зон с высокой и уникальной золоторудной продуктивностью, что свидетельствует о перспективности поисков крупных россыпных объектов, погребённых под полигенетическим комплексом рыхлых отложений. На общем фоне выделяются Чаунская и Валькарайская впадины, в пределах которых известны крупные и уникальные россыпи, а общий золотороссыпной потенциал (про-

гнозные ресурсы+запасы+ накопленная добыча) прилегающих к ним площадей достаточно высок – 244 (Чаунская) и 351 т (Валькарайская).

Строение рыхлых отложений, погребённого рельефа и история его развития (по данным С.А.Лаулина, С.Л.Казаринова, Б.В.Рыжова, Ю.П.Казакевич и др). Разрез кайнозойских осадков приморских впадин начинается с пестроцветной супесчано-суглинистой коры выветривания монтмориллонит-каолинитового и гидрослюдисто-каолинитового состава; коры выветривания как площадные, так и линейные; установленная мощность от 5 до 70 м [5, 6] (в зонах тектонических нарушений); возраст – поздний мел-эоцен. Выше залегают отложения палеоцена (тыноокенские слои, озёрные и озёрно-болотные глины),

Прибрежные впадины арктического побережья Чукотки и основные рудно-россыпные таксоны (зоны, районы, узлы) примыкающих к ним территорий. Составлена с использованием «Карты закономерностей размещения полезных ископаемых территории Российской Федерации «масштаба 1:2 500 000, ФГУ ВСЕГЕИ; ФГУП «Георегион», 2001:

Название впадины	Металлогеническая зона	Россыпной узел		Рудные районы (РР), узлы (РУ)	
		Название	РР+запасы+ добыча, т	Название	Продуктивность
Приморская	Аннойская Раучуанская*	Китэпский, Алярмаутский	3		
Чаунская	Раучуанская* Чаун-Чукотская*	Гремучинский	78	Лелювеем-Коневаамский (РР)	Высокая
		Чаанайский	11	Карпунг-Палянский (РР)	Высокая
		Ичувеемский	155	Ичувеем-Паляваамский (РР)	Высокая
Усть-Пеггымельская	Кувет-Рывеемская**	Киберовский	5		
Биллингская	Кувет-Рывеемская**	Кусьвеемский	7	Кусьвеемский (РУ)	
Валькарайская	Кувет-Рывеемская**	Пильхинкууль-Рывеемский	320	Шмидтовский (РР)	Уникальная
Экиатапская	Кувет-Рывеемская** Чаун-Чукотская*	Кувет-Куэквуньский	31	Шмидтовский (РР)	Уникальная
Тынкугинская	Чаун-Чукотская*	Ленотап-Метегинский	16		
Ванкаремская	Чаун-Чукотская* Танюрер-Ванкаремская Танюрер-Канчаланская	Пенхельинский	23	Экугвеемский (РР) Рекууль-Ванкаремский (РР)	Низкая

Примечание. * – металлогенические зоны с высокой золоторудной продуктивностью; ** – металлогенические зоны с уникальной золоторудной продуктивностью.

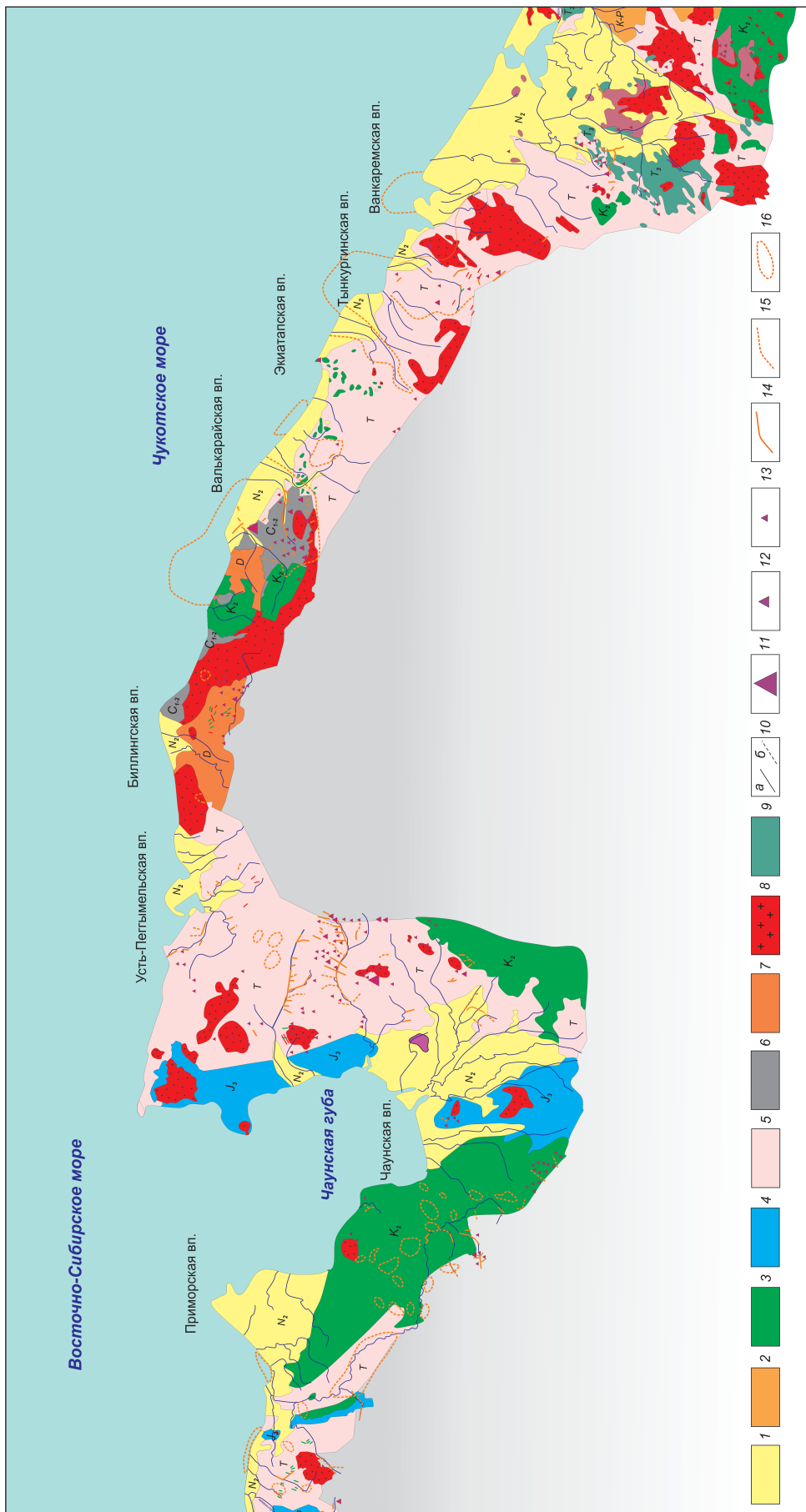


Рис. 1. Схема геологического строения территорий, примыкающих к арктическому побережью Чукотки. Составлена с использованием материалов геологических карт Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 ФГБУ ВСЕГЕИ:

1 – плиоцен, N_2 (алевролиты, глины, илы, линзы гравия); 2 – мел–палеоген, К–Р (базальты, андезиты, риолиты, дациты, их туфы, туфопесчаники, игнимбриты); 3 – нижний мел, K_2 (песчаники, алевролиты, аргиллиты); 4 – верхняя юра, J_3 (песчаники, алевролиты, аргиллиты, туффиты, гравелиты, конгломераты); 5 – триас, Т (песчаники, алевролиты, аргиллиты, глинистые сланцы, линзы конгломератов и известняков); 6 – нижний–средний карбон C_{1-2} (песчаники, алевролиты, сланцы, известняки, конгломераты); 7 – девон, D (песчаники, алевролиты, глинистые сланцы, известняки); 8 – нижнемеловые граниты, граносиениты; 9 – позднетриасовые пластовые тела (габбро, дуниты, серпентиниты, пироксениты); 10 – тектонические нарушения: а – установленные, б – предполагаемые по геофизическим данным; 11–16 – рудная и россыпная золотоносность: 11 – крупные месторождения, 12 – рудопроявления, 13 – пункты минерализации, 14 – россыпи, 15–16 – россыпепроявления: 15 – шлиховые потоки, 16 – шлиховые ореолы



Рис. 2. Схема золотоносных узлов, металлогенических зон и рудных районов территорий, примыкающих к арктическому побережью Чукотки. Составлена с использованием «Карты закономерностей размещения полезных ископаемых территории Российской Федерации» масштаба 1:2 500 000, ФГБУ ВСЕГЕИ; ФГУП «Георегион», 2001:

золото-россыпные узлы: 1 – низкой (прогнозные ресурсы+запасы+накопленная добыча=1–10 т), 2 – средней (прогнозные ресурсы+запасы+накопленная добыча=10–100 т) и 3 – высокой (прогнозные ресурсы+запасы+накопленная добыча >100 т) продуктивности (1 – Китеп-Гуйтэньривеевский, 2 – Алярмаутский, 3 – Гремучинский, 4 – Чаанайский, 5 – Ичувеевский, 6 – Киберовский, 7 – Кусьвеевский, 8 – Пинкильхууль-Рывеевский, 9 – Кувет-Куэвуньский, 10 – Лентап-Метегинский, 11 – Пенхельинский, 12 – Тыно-окенский); 4 – металлогенические зоны (А – Аннойская, Р – Раучуанская, Ч – Чуан-Чукотская, К – Кувет-Рывеевская, ТВ – Танюер-Ванкаремская, ТК – Танюер-Канчаланская); 5 – рудные районы (А – Алярмаутский, Л-К – Леловеем-Коневаамский, К-П – Карпунг-Палаянский, И-П – Ичвеем-палаяваамский, ШМ – Шмидтовский, ЭК – Экувеевский, Р-В – Рекууль-Ванкаремский) и рудные узлы (Ку – Кусьвеевский); 6–11 – рудная и россыпная золотоносность; 6 – крупные месторождения, 7 – рудопроявления, 8 – пункты минерализации, 9 – россыпи, 10–11 – россыпепроявления; 10 – шлиховые потоки и 11 – шлиховые впадин арктического побережья Чукотки

неогена (вельмайская свита, аллювиальные и озерно-аллювиальные отложения), плиоцена (рыгытгынская свита, аллювий).

К наиболее древним кайнозойским осадкам Валькарайской впадины относят отложения миоцена, выполняющие Приморскую ложбину шириной 2–3 км, выше залегает сложнопостроенная толща, представленная отложениями плиоцена (рыпильхинская свита; глины, алевроиты, галечники), нижнего плейстоцена (рывеемская свита, аллювиальные галечники), среднего плейстоцена (энмакайская свита, морские галечники и песчано-гравийные осадки), верхнего плейстоцена (аллювиально-пролювиальные отложения надводной дельты) и верхнего плейстоцена–голоцена (покровные суглинки, супеси, алевролиты, представляющие собой осадки аллювиально-озёрной заболоченной низменности). Отмечается сходство разреза Чаунской низменности с Валькарайским, но мощность отложений в её пределах в 2–3 раза больше.

Приведённый разрез рыхлых отложений сформировался в результате длительного и сложного неотектонического развития территории, включающего несколько основных этапов [6]:

- раннемеловое поднятие, сопровождаемое внедрением гранитоидов, несущих золотое оруденение, формирование кор выветривания;
- поздний мел – проявление вулканической деятельности и погребение россыпей;
- палеогеновое поднятие, денудация лавовых покровов и частично кор выветривания;
- конец палеогена–начало неогена (первый седиментационный цикл) – дифференцированные движения при слабых неотектонических поднятиях, обособление Валькарайской низменности от горного обрамления, переувлажнение и формирование остаточных россыпей (участки Рывеем, Зеленый, Приморский);
- вторая половина неогена первая трансгрессия (второй седиментационный цикл);
- неоген-четвертичные сводовые и глыбово-сводовые поднятия невысокой амплитуды (до 80 м) и интенсивности, заключительный этап формирования погребённой долины Рывеема (третий седиментационный цикл);
- средний плейстоцен – опускания и трансгрессия моря (четвёртый седиментационный цикл).

Важный фактор россыпеобразования – фиксация в разрезе рыхлых отложений следов неоднократного интенсивного переувлажнения как подстилающих кор выветривания, так и поступающего с горного обрамления золотоносного рыхлого материала, обусловленного дифференцированными блоковыми неотектоническими движениями мобильной зоны «горное обрамление–прибрежная впадина», которые сопровождалась долинными перестройками и перемещением береговой линии [14]. Россыпи многократно переотлагались с уровня на уровень и в конечном итоге были спрое-

цированы на современный цоколь равнины безотносительно к его эрозионным желобам [15].

Типичным для приморских впадин Чукотки является то, что в результате ранне-среднеплейстоценовой аккумуляции их территория (за исключением останцовых массивов) была выведена из сферы россыпеобразования и превратилась в площадь глубоко-залегавших россыпей со сложным погребённым рельефом.

Изученность погребённого рельефа складчатого основания впадин весьма неравномерна. Хорошо обследованы западная и северо-западная части Ванкаремской впадины (геолого-геофизические методы в масштабе 1:50 000), значительная часть площади Валькарайской низменности. В то же время обширные пространства низменного аккумулятивного побережья Чукотки исследованы разрозненными буровыми линиями или не изучались вообще.

В пределах Ванкаремской впадины погребённый рельеф представлен пологонаклонной в сторону современного арктического шельфа эрозионно-денудационной равниной с холмисто-увалистым рельефом водоразделов, фрагментами морских террас и широкими проработанными долинами, увязанными в палеосистемы с дендритовидным рисунком в плане. Количество погребённых цокольных террас в долинах крупных палеорек достигает 6 уровней. Строение погребённой долинной сети фиксирует постепенное, поэтапное расширение Ванкаремской впадины за счёт блоково-глыбового погружения периферии с амплитудами движений не более нескольких десятков метров. Движения по неотектоническим разломам регистрируются крутыми уступами в профилях долин [9].

Коренные источники (КИ) погребённых россыпей наиболее детально изучены в пределах Рывеемского золото-россыпного узла, положение которого контролируется пересечением региональных разломов нескольких направлений (Пильхинкууль-Рыпильхинский, Рывеемский, Приморский, Береговой). Разломы проявлены в виде зон интенсивного расщепления и брекчирования пород, которым нередко подчинена ориентировка основного плана гидросети. В центральной части площади по локальному минимуму гравитационного поля фиксируется нескрытая интрузия гранитоидного состава (предполагаемая глубина залегания 200–400 м). Минерализация концентрируется преимущественно на участках частого переслаивания песчаников, алевролитов и углистых сланцев.

Благоприятными участками для размещения коренных и россыпных месторождений золота являются узлы пересечения продольных и поперечных разломов глубокого заложения, расположенных в крайних частях антиклинальных поднятий, где интенсивно проявлен магматизм раннемелового возраста.

Наиболее значительным для формирования россыпей типом коренных источников считаются минера-

лизованные зоны дробления и смятия с кварцевыми кварц-карбонатными телами сложной формы (линзо- и лентовидной) мощностью от нескольких метров до первых сотен метров и протяжённостью от десятков метров до первых километров, отмечаются также жилы и свиты сближенных жил и зоны прожилкования кварцево-карбонатного состава мощностью от первых метров до первых сотен метров. Мощность отдельных жил изменяется от нескольких сантиметров до 1–2 м, протяжённость достигает сотен метров. В плане минерализованные зоны и зоны прожилкования могут образовывать штокверкоподобные зоны.

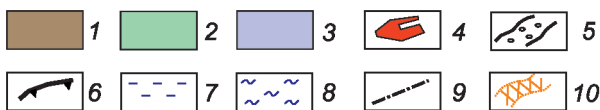
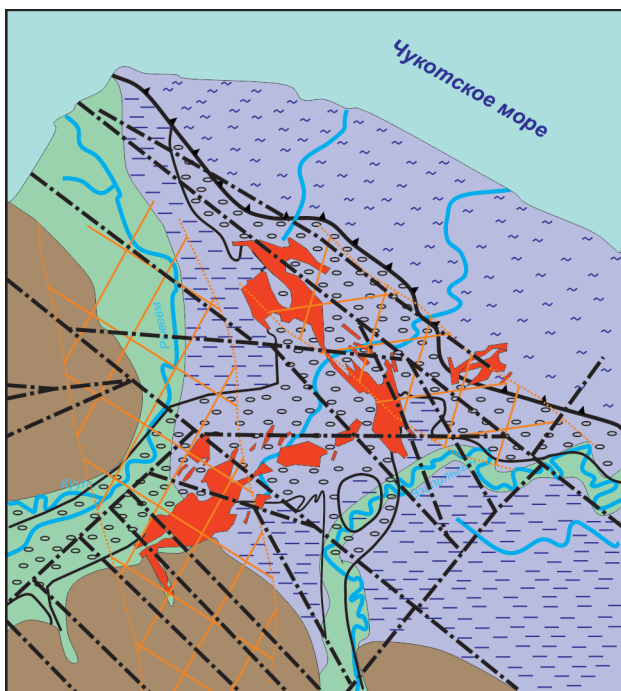


Рис. 3. Схема размещения погребённых россыпей Рывеемского участка Валькарайской прибрежно-морской низменности. По Ю.П.Казакевич, Б.В.Рыжову, 1975, с упрощениями:

1–3 – рельеф: 1 – эрозионно-денудационный (водоразделы, осложнённые гольцовыми террасами, десерпционные и солифлюкционные склоны различной крутизны), 2 – флювиальный (поймы рек, первая и вторая надпойменные террасы), 3 – аккумулятивный (поверхности прибрежно-морской и озёрно-аллювиальной равнин); 4 – погребённые россыпи золота; 5 – погребённая долина; 6 – борт погребённой озёрно-аллювиальной равнины; 7 – морские и 8 – аллювиально-озёрные отложения; 9 – тектонические нарушения; 10 – зоны с золото-кварцевой, золото-кварц-сульфидной, золото-пиритовой и золото-карбонатно-сурьмяной минерализацией (жилы, свиты жил, прожилки)

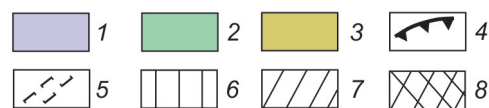
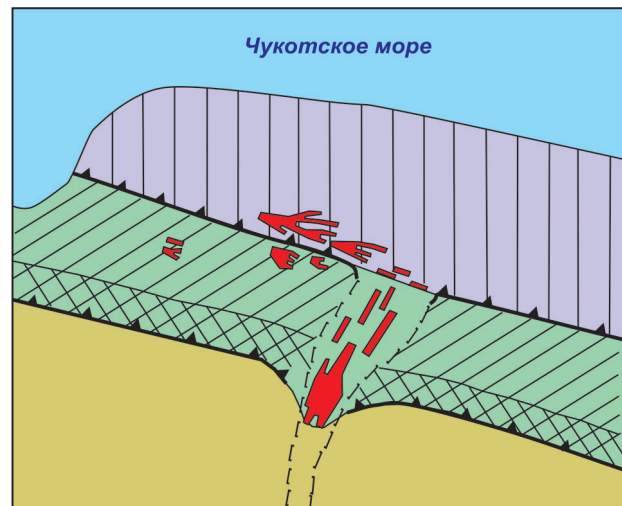


Рис. 4. Схематический план размещения полигенных россыпей Рывеемского россыпного поля в прибрежно-морской зоне Валькарайской прибрежной низменности. По данным В.Л.Сухорослова, Б.В.Рыжова, 1976:

абразионная терраса: 1 – «нижнего» и 2 – «верхнего» уровней; 3 – борт прибрежно-морской равнины; 4 – абразионные уступы; 5 – контур долины; 6–8 – отложения: 6 – бенча-пляжа-дна открытого материкового моря, абразионной террасы «нижнего», 7 – бенча-дна открытого материкового моря, абразионной террасы «верхнего» и 8 – бенча-пляжа, абразионной террасы «верхнего» уровней

Вмещающими породами (Рывеем) являются разнозернистые олигомиктовые песчаники, глинистые сланцы и алевролиты раннего карбона. На этих породах вдоль рудоносных зон тектонических разломов развиты линейные коры химического выветривания.

Минерализованные зоны дешифрируются на выложенных водоразделах и склонах гор в виде узких (первые метры–десятки метров) линейно вытянутых затундрованных (заболоченных депрессий, с «пятнами» мелкого щебенчато-суглинистого материала жёлтых, охристых тонов) с большим количеством дресвы и щебня кварца, сланцев, песчаников.

Строение погребённых россыпей и связь с КИ. В пределах прибрежных впадин выявлено несколько десятков россыпей. К наиболее значительным по масштабу россыпной золотоносности можно отнести погребённые россыпи Рывеем (Валькарайская впадина), Чаанай (Чаунская впадина) и Пеньельхин (Ванкаремская впадина). Россыпи залегают на глубинах от 20 до 120 м, средние содержания на пласт от 0,4 до 6,7 г/м³; средние содержания золота на участке При-

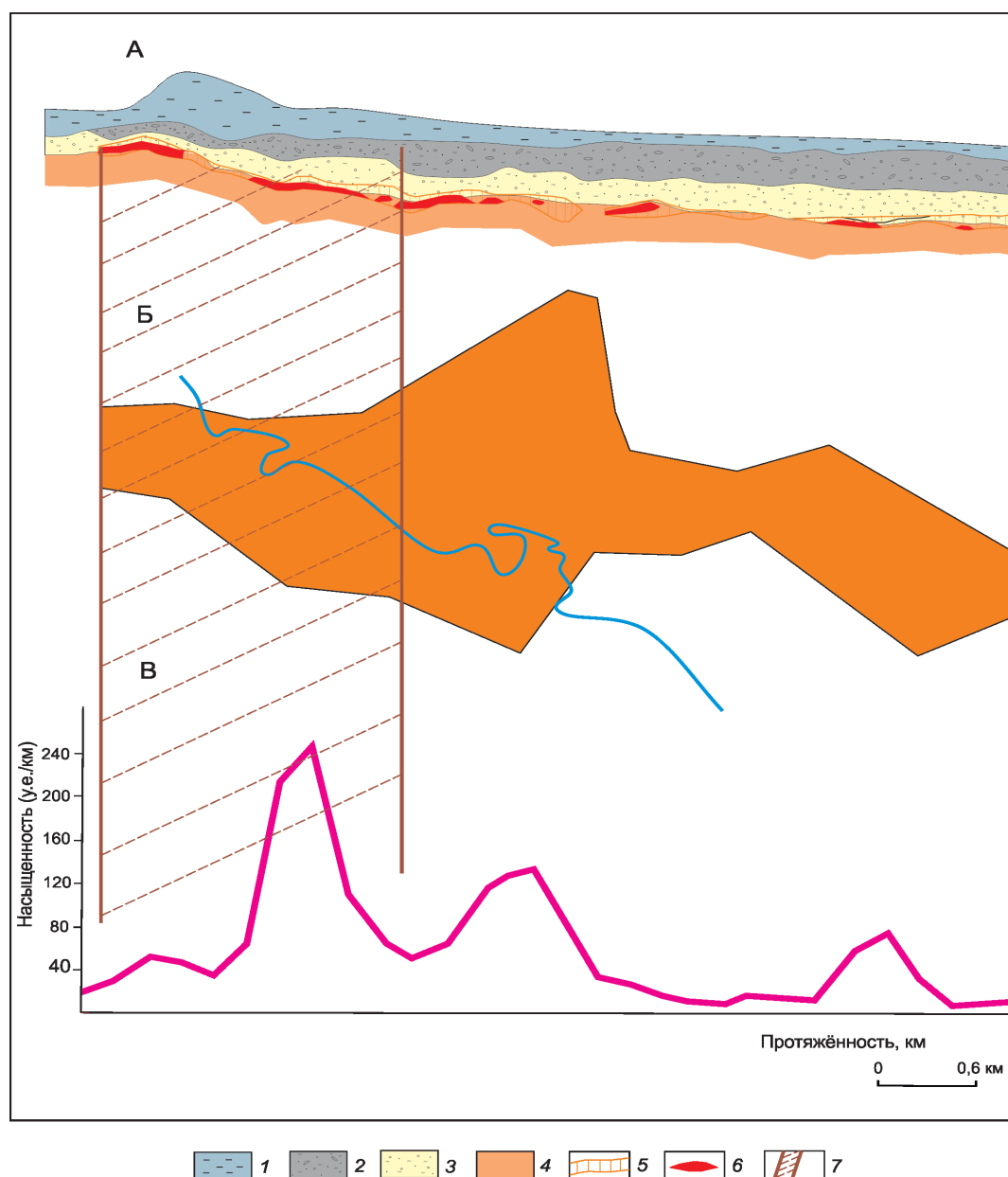


Рис. 5. Продольный профиль (А), морфология (Б) и распределение линейной продуктивности (В) россыпи Рывием (участок Основной). По материалам П.О.Генкина, А.Г.Беккера, К.В.Кистерова, 1973:

1–3 – отложения: 1 – льдистые, 2 – галечно-гравийные с песчано-глинистым и 3 – песчано-гравийные с глинистым и илистым заполнителем; 4 – контур плотика; россыпная золотоносность: 5 – с непромышленными и 6 – промышленными содержаниями; 7 – зона тектонического уступа и её проекция на план и график продуктивности россыпи

брежный (россыпь Рывием) $81,2 \text{ г/м}^3$ (по отдельным пробам до 850 г/м^3). Средняя мощность пласта варьирует от 0,2 до 2,0 м, под погребёнными неотектоническими уступами увеличивается до 3–4 м, иногда наблюдается расщепление пласта на несколько пропластков, из которых верхний более продуктивный. По россыпи Рывием в продольном направлении

в сторону моря мощность пласта уменьшается от 1,8 до 1,0 м, а мощность торфов возрастает с 14 до 22 м.

Из россыпи Пеньельхин добыто более 7 т золота; по россыпи Чаанай разведано более 10 т золота (добыто более 2 т, отработка прекращена из-за сложных инженерно-геологических условий); наиболее крупным объектом является уникальная по своим параметрам

россыпь Рывеем (рисунки 3, 4), из которой добыто, по разным источникам, от 200 до 250 т металла (суточный съём металла доходил до 200 кг), остаточные запасы составляют около 7,5 т, добыча металла на россыпи продолжается до настоящего времени. Золото в россыпи крупное (средний размер по разным участкам 2–5 мм) с самородками 1,5–2 кг.

Наиболее золотоносными (россыпь Рывеем) являются плиоцен-нижнеплейстоценовые отложения (участки Рывеем (Основной), Дикое озеро, Зеленый, Прибрежный). Золото в аллювиальных отложениях распределено весьма неравномерно (гнездовой характер распределения), значения вертикального запаса в пробах на расстоянии 10–15 м могут отличаться на 2–4 порядка. Пласт занимает приплотиковое положение (мощность от 0,4 до 2,2 м). Обогащённые участки в плане имеют форму изометричных и слабо вытянутых разобъённых пятен («ядра» повышенной золотоносности), они характеризуются поперечными размерами первые сотни метров и повышенной крупностью металла. К ним примыкают отдельные струи, местами четковидной формы, золотоносность в которых постепенно затухает по мере удаления от обогащённого участка. По россыпи Рывеем (участок Основной) в «ядре» повышенной золотоносности содержится около 40% запасов золота. По мнению Б.В.Рыжова, высокие содержания золота в пласте не обнаруживают явной приуроченности к каким-либо определённым пачкам аллювия или элементам рельефа. В то же время на разрезе (россыпь Рывеем, участок Основной) отчётливо видна приуроченность наиболее обогащённого участка к тектоническому уступу (высота уступа около 5 м; краевая часть Приморского разлома) в продольном профиле палеодолины (рис. 5).

Отмечается остаточный характер накопления металла: изометричная форма наиболее обогащённых участков, отсутствие закономерных изменений золота вдоль древней долины, приуроченность пласта к верхней части слабо смещённого элювия и нижней части «донной» фации аллювия; что позволило рассматривать их как слабо смещённую проекцию объёмного золотоносного тела коренного источника на субгоризонтальную поверхность. В то же время массовое опробование плотика показало убогий характер коренной золотоносности (за исключением единичных проб с содержаниями до 25 г/т), что, учитывая значительные параметры россыпной золотоносности, можно объяснить разрушением богатых частей рудных тел и их значительным эрозионным срезом либо тем, что продуктивные рудные тела находятся в стороне и пока не обнаружены (по материалам Ю.П.Казакевич, Б.В.Рыжова, 1975).

С учётом длительной многоэтапной истории формирования россыпей представляется также, что значительную роль в их образовании сыграли такие факторы, как положение на границе двух крупных морфо-

структур: горного приподнятого обрамления (области сноса) и приморской впадины (области аккумуляции), а также своеобразие неотектонического развития области погружения, которое заключается в наличии нескольких денудационно-эрозионных циклов, каждый из которых включал следующие этапы:

- 1) поднятия на фоне общего погружения (донная эрозия);
- 2) периоды стабилизации (переход от донной эрозии к боковой);
- 3) опускания (консервация образованных россыпей).

При наиболее благоприятных обстоятельствах, обусловленных малоамплитудными дифференцированными неотектоническими движениями, в пределах отдельных блоков могли быть созданы предпосылки для многократного перебива и проекции по-разному ориентированных элементарных россыпей (обусловленных различными направлениями палеодолин) на коренной плотик прибрежной низменности с образованием изометричных в плане обогащённых участков. В дополнение к этому следует добавить влияние морских трансгрессий и регрессий, которые могли по-разному влиять на формирование россыпей: консервировать их под чехлом морских отложений, разрушать в процессе формирования абразионной платформы, перебивать и изменять морфологию россыпи при образовании палеопляжа.

Выделение перспективных участков с благоприятным для формирования россыпей неотектоническим режимом развития на обширных пространствах прибрежных равнин с выровненным современным рельефом и весьма неравномерно (но в целом) слабоизученным палеорельефом является непростой задачей. В самом общем виде можно предположить, что наличие таких участков возможно в пределах наиболее мобильных областей, приуроченных к погребённым и полупогребённым сводам и зонам тектонических уступов.

Прогнозно-поисковые предпосылки выявления погребённых россыпей прибрежно-морских равнин Чукотки. С учётом вышеизложенных особенностей строения и формирования погребённых россыпей прибрежно-морских равнин к основным прогнозно-поисковым критериям и предпосылкам их прогнозирования можно отнести следующие:

1. *Магматические.* В пределах рассматриваемой территории выделяют следующие основные магматические комплексы, выходящие на уровень эрозионного среза:

- интрузивы габбро и габбро-диабазов, имеющие триасовый возраст;
- лейкократовые и биотитовые граниты раннемелового возраста слагают неправильные тела пластообразной формы, реже штоки, дайки; с породами комплекса парагенетически связывается золото-серебряное и ртутное оруденение;

- субвулканические образования раннемелового возраста представлены незначительными по размерам штокообразными телами.

В центральной части Рывеевской площади по локальному минимуму гравитационного поля фиксируется нескрытая интрузия гранитоидного состава (предполагаемая глубина залегания 200–400 м).

Важное прогнозное значение придаётся рудоносным интрузивно-купольным структурам, связанным с вертикальными движениями, возникающими при внедрении интрузивного массива в пологозалегающие осадочные толщи. Небольшие гранитоидные массивы периода ранне-позднемеловой тектономагматической активизации представляют собой своеобразные вулканокупольные структуры, в центре которых располагаются интрузивные массивы, окружённые останцами вулканических покровов, некками и экструзивными телами, полями даек кислого, основного и среднего составов. В плане они имеют округлую или удлинённую подошвообразную форму и вытянуты вдоль зон разломов. В интрузивно-купольных структурах отмечается своеобразная рудная зональность: по мере приближения к интрузиву эпitherмальное золото-серебряное оруденение сменяется мезотермальным золото-сульфидным вкрапленным и серебро-полиметаллическим, а в непосредственной близости к массиву располагаются более глубокие касситерит-сульфидные, касситерит-кварцевые и вольфрамит-кварцевые рудные тела [3].

2. *Структурно-тектонические.* Все месторождения и рудопроявления золота пространственно связаны крупными антиклинальными структурами мезозойского периода. Размещение антиклинальных структур контролируется зонами продольных по отношению к складчатости глубинных разломов, что обуславливает группировку золоторудных объектов в северо-западном направлении. Наиболее благоприятными участками для размещения коренных и россыпных месторождений золота являются узлы пересечения продольных и поперечных разломов глубокого заложения, расположенных в краевых частях антиклинальных поднятий, где интенсивно проявлен магматизм раннемелового возраста.

3. *Морфоструктурный.* Погребённые россыпи расположены в пределах морфоструктур с прерывисто-нисходящим разноамплитудным режимом развития, в ходе которого при преобладающем погружении территории отмечаются этапы небольших поднятий. В наиболее благоприятных обстановках (зоны тектонических уступов различной протяжённости и амплитуды) происходило полное или частичное совмещение в вертикальных разрезах разновременных золотоносных пластов и формирование высокопродуктивных участков. Такой характер неотектонических движений способствует сохранению реликтов линейных кор выветривания и формированию на них золотоносных пластов повышенной мощности.

Значительные мощности перекрывающих отложений, отсутствие связи современной гидросети с палеорельефом делают поиски погребённых россыпей в пределах прибрежно-морских равнин весьма дорогостоящим мероприятием с неоднозначными перспективами и результатами. На Рывеевской россыпи бурение по профилям сначала вкост предпологаемой палеодолины, затем вкост древней береговой линии привели к тому, что в итоге площадь россыпного поля оказалась покрыта сетью скважин прямоугольной и ромбической формы. Поэтому на начальных стадиях поисковых работ важной задачей является разработка критериев и признаков локализации перспективных участков. На первой стадии предлагается выделить все установленные минерализованные зоны, уходящие под чехол рыхлых отложений, ранжировать их по степени перспективности и по возможности проследить продолжение в пределах прибрежно-морских равнин. При этом необходимо использовать результаты морфоструктурного анализа и данные дистанционной съёмки земной поверхности. Значительную помощь при трассировании рудоносных россыпеобразующих структур может оказать высокоточный метод космического радиолокационного зондирования, который основан на применении дифференциальной интерферометрии, выполняемой в дециметровом диапазоне волн с применением радаров ALOS PALSAR [11]. Метод применяется при выделении палеодолин, погребённых террас, бассейнов палеоозёр, карстовых полостей, скрытых под чехлом рыхлых отложений тектонических нарушений, поясов даек и жильных образований, экзоконтактов интрузивных тел.

Для локализации и ранжирования предварительно выделенных площадей необходимо выполнить комплекс геофизических и, возможно, нетрадиционных для поисков россыпей геохимических работ. В последние годы широкое развитие наряду с традиционным вертикальным зондированием получает метод трёхмерной электротомографии [12], позволяющий создавать объёмную геоэлектрическую модель участка и в ряде случаев определять мощность продуктивных отложений и выделять локальные углубления и уступы в плотике.

Использование геохимических методов может быть оправдано в связи с появлением ореолов тонкодисперсного золота в глинистых отложениях, перекрывающих золотоносный пласт, который образуется в результате абразионных процессов в прибрежно-морской зоне [13]. Также определённый интерес представляют новые геохимические методы, которые могут быть применены при поисках погребённых россыпей. Например, бриогеохимический метод [4], основанный на использовании бактериологического барьера в бриофитах (*брюон* – мох), отличающегося высокой концентрирующей способностью. Выделенные на этом

барьере аномалии над погребёнными россыпями (глубина 40–50 м) достигают нескольких десятков геофонов. Выделяемые аномалии, по данным авторов метода, являются вертикальной проекцией контура источника металлов. Опытные-методические бактериально-геохимические работы проведены на разведанных россыпях Амурской области, Енисейского края и в Ленском районе.

Только после локализации перспективных площадей на основе металлогенического и структурно-геоморфологического анализа, обработки результатов геофизических (геохимических) работ следует переходить к обоснованию расположения, формы и параметров поисковой сети буровых скважин. В том случае, если удастся достаточно чётко проследить контур погребённой долины, оправдано применение традиционного профильного бурения вкрест её простираения. Если же данных для её оконтуривания недостаточно (или полученные данные противоречивы), то целесообразно рассмотреть возможность применения прямоугольной (ромбической) сети с постепенным сгущением в пределах наиболее перспективных участков.

В заключение следует отметить, что в наступивший период истощения богатых и относительно легкодоступных мелкозалегающих россыпей слабо и в недостаточной степени изученные и опосредованные прибрежно-морские низменности Арктического побережья России представляют поисковый интерес в качестве потенциальных коллекторов крупных погребённых россыпных объектов. Однако поиски их сопряжены со значительными затратами, а традиционные методические подходы, используемые при поисках долинных россыпей, не вполне применимы. В связи с этим актуальной является постановка вопроса о проведении опытно-методических работ в пределах хорошо изученных объектов, усовершенствовании на их основе методических подходов и прогнозно-поисковой модели. Отдельным этапом должно быть выделение на основе металлогенического, структурно-геоморфологического анализов, результатов ранее выполненных геологоразведочных работ перспективных площадей и проведение в их пределах опережающих дистанционных, геохимических и геофизических работ с учётом данных, полученных в ходе опытно-методических работ и на основе усовершенствованной прогнозно-поисковой модели.

Выполненные опережающие работы позволят ранжировать площади по степени их перспективности и локализовать первоочередные участки, наиболее близкие к эталонным площадям, для проведения большого объёмного и дорогостоящего поискового бурения.

Следует также отметить, что усовершенствованные методические подходы будут полезны для оценки погребённых россыпей в пределах широкого спектра геолого-геоморфологических условий: межгорные

впадины, грабен-долины, эрозионно-тектонические депрессии и др. В качестве примера можно привести слабоизученные на погребённые россыпи перспективные площади: прибрежная зона бухты Шхиперова (Шхиперовский россыпной узел), Кейтеванская площадь (побережье лагуны Внутренняя), Верхне-Берелехская, Малык-Сиенская, Талонская неотектонические впадины – Магаданская область (А.Д.Генкин, Ю.Р.Беккер, 1973); Удыль-Кизинская, Орельская, Усольгинская впадины на Нижнем Амуре; Поронайская (Лангерийский золотоносный узел) – Сахалин [10]; Пенжинская впадина (Камчатка); грабен-долина р. Няндонь – западный фланг Байкальской рифтовой зоны (О.С.Набровенков, Н.М.Риндзюнская, 1982) и ряд других площадей, слабововлечённых в ГРП предшествующих периодов из-за наличия более легкодоступных мелкозалегающих россыпей, к настоящему времени в значительной степени отработанных.

Изучение золотоносности и поиски крупных россыпных объектов в пределах приморских арктических депрессий Чукотки (а также в пределах депрессионных зон других золотоносных регионов) – актуальная задача, требующая разработки усовершенствованных методических подходов для её решения с учётом имеющегося опыта и новых дистанционных, геофизических и геохимических поисковых методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков А.В., Галямов А.Л., Сидоров А.А. Проблемы освоения минеральных ресурсов Арктики (на примере Чукотки и Аляски) // Арктика: экология и экономика. 2018. № 4 (32). С. 4–12.
2. Волков А.В. Вопросы освоения ресурсных регионов Арктики на примере Чукотки и Аляски // Золото и технологии. № 3. 2018. С. 126–134.
3. Волков А.В., Сидоров А.А. Особенности золото-оловянных и золото-вольфрамовых рудных узлов Чукотки // Руды и металлы. 1999. № 1. С. 30–32.
4. Загоскин С.В., Доничев А.В. Бригеохимический метод поисков россыпей золота // Золотодобыча. 2018. № 9. С. 34–35.
5. Казаринов С.Л. Морфоструктурный анализ при поисках погребённых россыпей на низменном арктическом побережье Центральной Чукотки // Колыма. 1983. № 4. С. 23–27.
6. Казаринов С.Л., Ларионов Я.С. Седиментационные циклы и этапы россыпеобразования в кайнозойе (на примере Чаун-Чукотки) // Этапы формирования и коренные источники россыпей. Тр. ЦНИГРИ. Вып. 172. 1982. С. 65–69.
7. Лаломов А.В., Бочнева А.А., Чефранов Р.М. Россыпные месторождения Арктической зоны России: современное

- состояние и пути развития минерально-сырьевой базы // Арктика: экология и экономика. 2015 № 2(18). С. 66–72.
8. *Леонтьев О.К., Тараканов Л.В., Фотеева Н.И.* О перспективах и типах россыпной металлоносности арктического побережья Северо-Востока СССР // Геоморфология. 1976. № 1. 1976. С. 31–40.
 9. *Лопаткина И.В.* Особенности строения и генезиса погребенных россыпей золота // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1984. №5. С. 122–125.
 10. *Малтизов А.Г.* К методике поисков и разведки погребенных россыпей золота на Дальнем Востоке // Этапы формирования и коренные источники россыпей. Тр. ЦНИГРИ. Вып. 172. 1982. С. 85–89.
 11. *Миронов А.А.* Дистанционный метод оценки перспектив россыпной золотоносности // Золотодобыча. 2018. № 10. С. 33–35.
 12. *Оленченко В.В., Осипова П.С.* Обоснование применения метода электротомографии на поисково-разведочной стадии работ на россыпное золото аллювиальных россыпей // Золотодобыча. 2018. № 9. С. 38–42.
 13. *Петров О.П.* Роль абразии в преобразовании золотоносных россыпей арктического побережья Центральной Чукотки // Колыма. № 3. 1978. С. 42–44.
 14. *Структурно-геоморфологические и палеогеографические предпосылки формирования россыпей золота прибрежной Раучуанской равнины / Н.Г.Патык-Кара, К.С.Воскресенский др.* // Этапы формирования и коренные источники россыпей. Тр. ЦНИГРИ. Вып. 172. 1982. С. 57–64.
 15. *Тараканов Л.В.* Сетевые поиски россыпей золота и олова, погребенных на равнинах // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1980. №7. С. 62–66.
 16. *Тараканов Л.В.* Поиски аллювиальных россыпей на равнинах Севера с помощью реконструкций поверхности едомы // Геоморфология. № 1. 1976. С. 31–40.
 17. *Тараканов Л.В., Терентьев В.Б.* Геологические предпосылки интенсификации поисков погребенных россыпей на арктических равнинах и шельфе // Известия высших учебных заведений Геология и разведка. 1988. № 2. С. 103–107.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Плата с авторов за публикацию (в том числе с аспирантов) не взимается. Гонорар не выплачивается. Автор, подписывая статью и направляя ее в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на ее опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет».

Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или намеченных к публикациям в других изданиях, не допускается.

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

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

Намурхэ-Амурская система разломов в окраинно-континентальной структуре востока Азии

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)

В окраинно-континентальной структуре востока Азии выделена Намурхэ-Амурская система глубинных разломов (НАС). Обоснована её связь с северной (широтной) ветвью мезозойско-кайнозойского Альпийско-Гималайского подвижного пояса. Исследован характер взаимодействия разломов НАС с синхронно развивающимися разломами Тихоокеанского пояса с акцентом на новейший (эоцен-голоценовый) этап. Оценено влияние разломов НАС на развитие региональной структуры. Предложен волновой знакопеременно-сдвиговый механизм структурирования разломов. На примерах реальных инверсионных структур – индикаторов знакопеременно-сдвигового режима – исследован характер формирования внутренней структуры НАС. Показана высокая активность современной сейсмогеодинамики этой системы.

Ключевые слова: эволюция, новейшая тектоника, сеймотектоника, дислокации, волновые процессы, знакопеременный сдвиг, инверсионные структуры.

Коковкин Александр Александрович
доктор геолого-минералогических наук



kokovkin@itig.as.khb.ru

The Namurkhe-Amur fault system in the marginal-continental structure of East Asia

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

The Namurkhe-Amur fault system (NAS) is distinguished in the marginal-continental structure of East Asia. Its relation to the northern (latitudinal) branch of the Mesozoic-Cenozoic Alpine-Himalayan mobile belt is validated. The pattern of interaction between the NAS faults and synchronously developing faults of the Pacific belt is investigated and the emphasis is made on the modern (Eocene-Holocene) stage. The influence of the NAS faults on the development of the regional structure is evaluated. The wave reverse-sense-shear mechanism of fault structurization is proposed. Based on the real inversion structures, indicators of reverse-sense-shear regime, the pattern of the NAS inner structure formation is examined. High activity of recent seismogeodynamics of the system is shown.

Key words: evolution, modern tectonics, seismotectonics, dislocation, wave processes, reverse-sense shear, inversion structures.

Намурхэ-Амурская система глубинных разломов – одна из самых крупных разломных систем востока Азии. Её широтная структура уверенно прослеживается по комплексу геологических признаков от Монголии до Тихого океана более чем на 3000 км. Тем не менее в региональной геологической картографии она выражена лишь отдельными фрагментами [3, 19]. Причина в том, что значительная её часть находится под чехлом рыхлых осадков многочисленных мезозойско-кайнозойских рифтогенных впадин Монгольской Гоби, Сунляо-Амура-Зейского и Амура-Ханкайского рифтогенов. На обрамлении же этих впадин разломы НАС теряются в сложнопостроенной, интерферирующей,

полихронной структуре их фундамента. В данной статье рассматриваются особенности развития Намурхэ-Амурской системы в основном на территории юга Дальнего Востока России (ЮДВР), где она проявила себя с максимальной яркостью и во многом определила характер развития окраинно-континентальной структуры востока Азии.

Автором по территории ЮДВР была накоплена разноплановая информация по геолого-съёмочным работам, поисковому бурению и методам структурной геофизики. Вся эта территория была покрыта сетью рекогносцировочных маршрутов. В последние 20 лет сведения по ней были дополнены данными по сейсмо-

геодинамике. Это позволило сформировать эволюционную модель геологической структуры востока Азии, с акцентом на новейший (эоцен-голоценовый) этап [6, 11, 14]. В этой междисциплинарной модели дана характеристика её тектоники, металлогении, радиогеохимии, радиогидрогеологии и сейсмотектоники. Модель включает в себя серию скоординированных между собой карт и схем – от региональных (масштаб 1:15 000 000 – 1:2 500 000) до детальных (масштаб 1:50 000 и крупнее), с системой палеорекоstructions. Работа над этой моделью проведена в рамках параллельно разрабатываемой модели волновой нелинейной геодинамики [5, 6, 11].

Значительный вклад Намурхэ-Амурской системы в процесс структурирования континентальной коры востока Азии, выраженность её структуры в информационном поле этого региона вызвали необходимость в представлении расширенной характеристики региональной позиции НАС. Использование же в качестве базисной модели волновой нелинейной геодинамики потребовало сопроводить статью разделом по методологии и методике исследований с общей характеристикой этой модели. Для демонстрации особенностей внутреннего структурирования НАС были привлечены сведения по двум структурам-полигонам – Константиновско-Скобельцинскому своду в её западной части и Хабаровско-Хехцирской системе поднятий в восточной.

Цель данной работы заключалась в исследовании особенности эволюции Намурхэ-Амурской системы глубинных разломов с акцентом на новейший этап её развития, показе характера её взаимодействия с другими разломными системами и оценке её влияния на формирование структуры востока Азии.

Особенности методологии и методики исследований. Все проводимые автором исследования основываются на принципах и подходах синергетики, адаптированных к геологической специфике [11]. В соответствии с ними *любая геологическая система рассматривается как открытая, самоорганизующаяся система, развивающаяся необратимо, в нелинейном волновом режиме.* Каждая отдельная геологическая структура представляет собой *текущее состояние соответствующей ей геологической системы в какой-либо момент её развития.* При этом учитывается то обстоятельство, что все геологические системы развиваются во взаимосвязи с соседними, синхронно развивающимися системами, под определяющим влиянием вмещающих их систем более высокого иерархического уровня.

Особая роль в структурировании континентальной коры принадлежит различного рода **барьерам**, представляющим собой *зоны взаимодействия синхронно развивающихся геологических систем, резко отличающихся по своему физико-химическому состоянию.* На барьерах происходит накопление или рассеивание энергии и вещества. В структуре планеты барьеры формируют иерархически организованную систему,

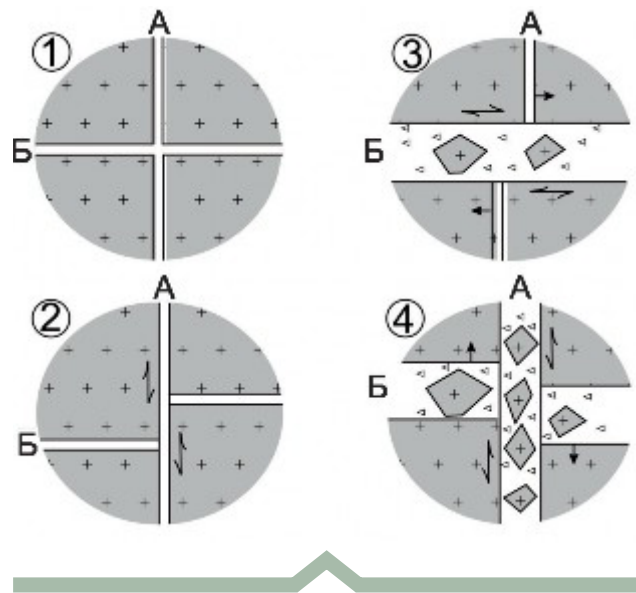


Рис. 1. Модели знакопеременного сдвига и его структурных индикаторов. По [16], с дополнением:

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

ответственную за всё многообразие её структурных форм – от глобальной сферической зональности до локальной геологической структуры и рудной концентрации. Для каждой отдельной системы характерен свой набор барьеров, отражающий внутреннюю неоднородность вмещающей её среды. Все эти барьеры наращивают в ходе эволюции неоднородность структуры коры, иллюстрируя работу режимов «с обострением» и связанных с ними резонансных эффектов – ведущих элементов развития любой самоорганизующейся системы. Барьеры, как правило, носят *комплексный характер.* Примером является барьер «земля–воздух». В нём совмещены динамический, фазовый, плотностной и температурный барьеры.

Характер развития и особенности внутреннего структурирования любой геологической системы во многом определяют *волновые процессы.* В системе нашей планеты они формируют свой иерархический ряд – от волновых пульсаций глобального уровня до волновой (маятниковой) знакопеременно-сдвиговой системы отдельного разлома и деформационных резонансов поверхностных сейсмических волн. Основные элементы этой волновой модели представлены в работах [5–7, 9, 11]. Здесь рассматривается в основном её *знакопеременно-сдвиговая* составляющая, определяющая

особенности формирования внутренней структуры разломов НАС и характер их взаимодействия с другими разломными системами. Следует заметить, что вопрос о взаимодействии разнонаправленных, синхронно развивающихся систем разломов является одним из ключевых для понимания закономерностей структурирования континентальной коры, и в то же время одним из самых сложных и слабо проработанных.

В режиме *знакопеременного сдвига* (ЗПС) функционируют все крупные, длительно развивающиеся разломы земной коры (рис. 1). Индикаторами этого режима являются инверсионные структуры – приразломные инверсионные впадины и внутренние инверсионные поднятия. Модели этих индикаторов были подготовлены ранее на примерах реальных геологических структур востока Азии [4, 9, 7]. Для инверсионного поднятия была разработана также и экспериментальная модель [11, 12]. Здесь следует обратить внимание на одно важное обстоятельство. Все новейшие разломы рассматриваемого региона (как, впрочем, и соответствующие по возрасту разломы других регионов) – это *раскрытые, флюидо-водонасыщенные структуры*. Такое свойство разломов во многом определило специфику их внутреннего структурирования.

Приразломные *инверсионные впадины* (ИВ) с необходимым для них режимом растяжения развиваются в орогенах, в которых доминирует режим сжатия (рис. 2). Обычно ИВ появляются на участках осложнения (изгиба) бортов разлома или в структурных узлах. В этих условиях в разломах при развитии ЗПС на глубине и в приповерхностной части коры формируются *открытые полости*. В выходящих на поверхность полостях и развиваются инверсионные впадины с их осадочными бассейнами. Флюидо-водонасыщенный, практически несжимаемый субстрат разломов и осадков впадин при невысокой скорости смещений бортов разлома обеспечивает им устойчивость развития. Крупные линейные структуры ИВ нередко фиксируют начальные фазы формирования более крупной рифтогенной системы.

В процессе эволюции орогена при наращивании в нём сжатия многие локализованные в нём впадины со временем деградируют, выводятся из седиментации и деформируются сдвиговой тектоникой. В регионе представлен весь этот эволюционный ряд – от открытых полостей Байкала и Хубеугула с их современными осадочными бассейнами до деформированных плейстоценовой тектоникой и вовлечённых в эрозию приразломных впадин – Тункинской, Муйской, Верхне-Зейской, Верхне-Амгуньской и др.

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. 3). ИП появляются на участках интенсивной проработки фундамента рифтогена новейшей тектоникой до дезин-

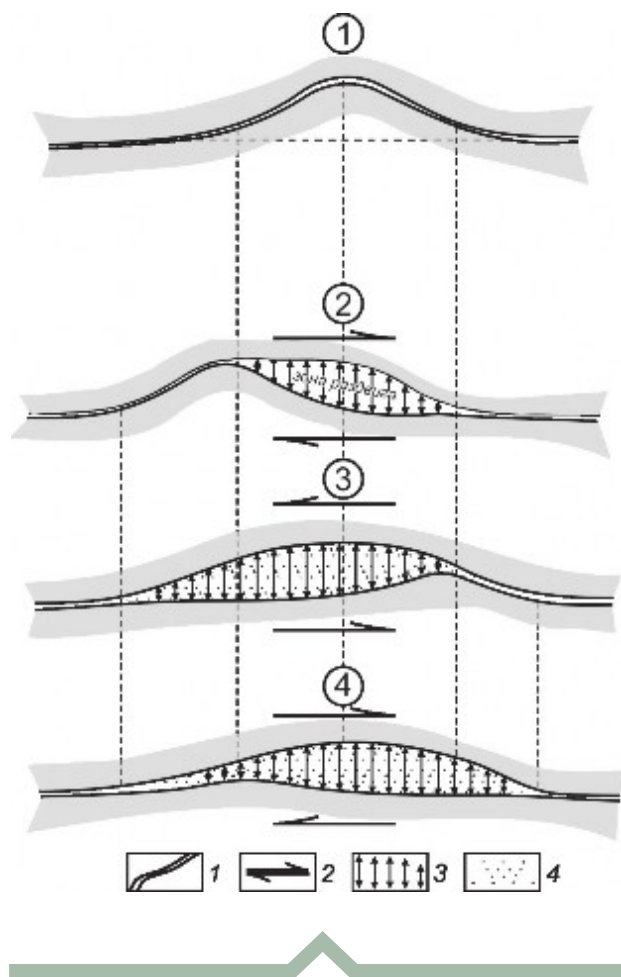


Рис. 2. Модель инверсионной впадины. По [16], с дополнением:

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

тегрированного состояния, обычно в узлах пересечения разломов разного направления. Сохранившийся в них от разрушения, относительно жёсткий блок ИП под действием пульсационных сжимающих усилий знакопеременного сдвига выталкивается (всплывает) из этого дезинтегрированного, флюидо-водонасыщенного и практически несжимаемого субстрата вверх с элементами вращения в горизонтальной плоскости и постепенно превращается в *бескорневой*. Осадочный чехол вмещающего рифтогена деформируется при этом структурой инверсионного поднятия. В процессе воздымания в нём формируются штамповые складки, а нередко ИП полностью прорывает его с выходом на дневную поверхность.

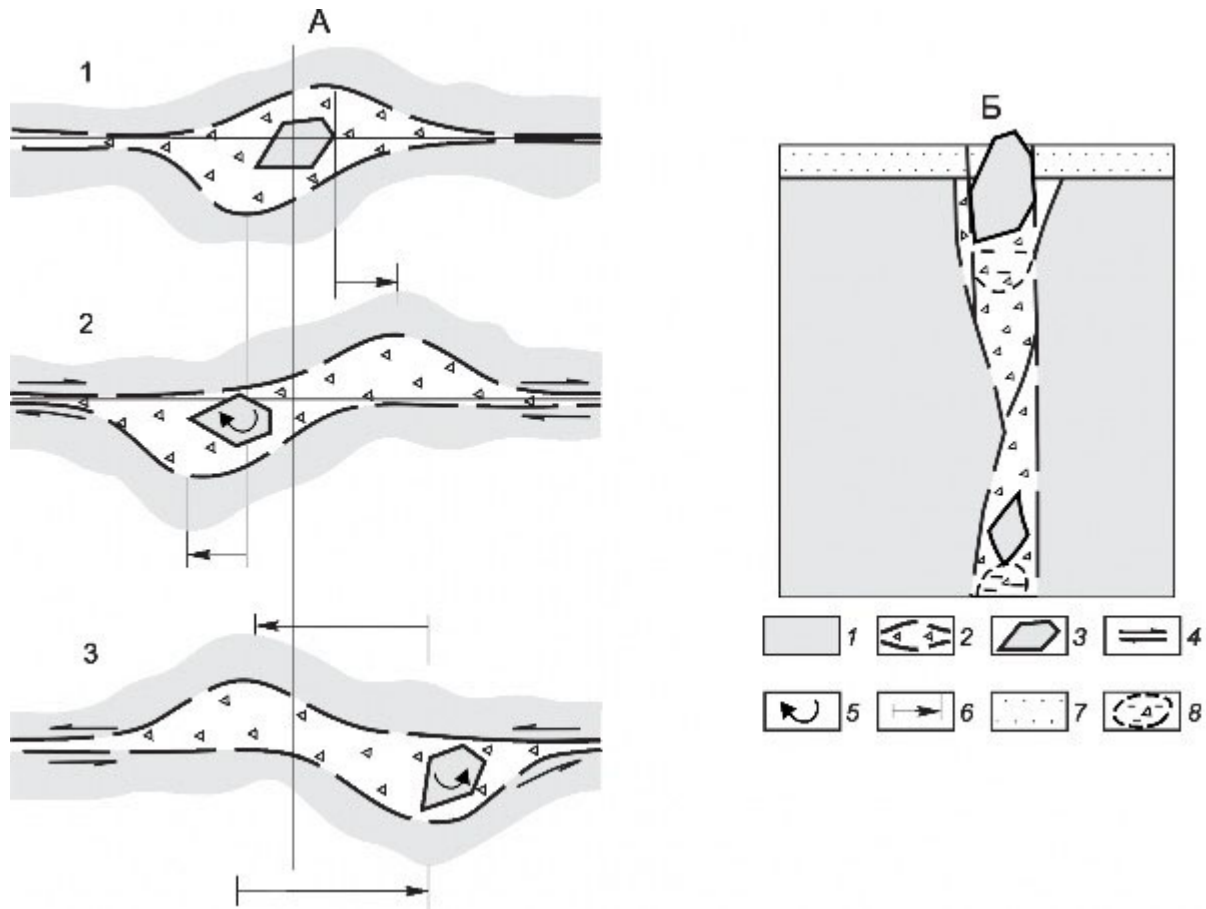


Рис. 3. Модель инверсионного поднятия. По [6], с дополнением:

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 (разрез)

Правомерность модели инверсионного поднятия подтвердил выполненный автором в работе [10] анализ сведений по профилю магнито-теллурического зондирования (МТЗ), заимствованных из статьи В.Б.Каплуна [4]. Этот профиль пересекает в районе Биробиджана западную краевую часть новейшей структуры Средне-Амурской впадины, где разломы НАС взаимодействуют с зоной Танлу-Курского разлома. Здесь в узел их сочленения вложено крупное (10×20 км) поднятие Малые Чурки. Под жёстким блоком этого поднятия, сложенной палеозойскими и мезозойскими породами фундамента впадины, по данным МТЗ, находится объёмная область дезинтегрированных, обводнённых пород. Поднятие Малые Чурки является отчётливо бескорневым, «плавающим» на этом обводнённом, дезинтегрированном субстрате. Данная ситуация полностью соответствует приведённой выше модели ИП,

подтверждая её правомерность и, соответственно, доказательность модели знакопеременного сдвига. Профиль МТЗ выступает здесь в роли *независимого натурного эксперимента*.

Доминирующая до настоящего времени в геологии модель однонаправленного сдвига не объясняет ряда базисных свойств, характерных для всех крупных, длительно развивающихся разломов. Прежде всего, такие разломы – это не единые, непрерывные швы. Чаще это мощные, шириной до многих десятков километров, зоны и целые системы сложного внутреннего строения. Разломы внутри этих зон *фрагментированы*, а выполняющий эти зоны субстрат коры деформирован новейшей тектоникой и насыщен инверсионными структурами. По сути, однонаправленные сдвиги отражают *характер смещений по отдельному фрагменту разлома только для сравнительно локального*

временного интервала. При этом наиболее выраженное смещение соответствует завершающей фазе активного (знакопеременно-сдвигового) развития этого фрагмента. Для разломных систем активной структуры востока Азии такие смещения соответствуют неоплейстоцен-голоценовому времени.

Отмеченные базисные свойства, остающиеся за рамками модели однонаправленного сдвига, и были в своё время положены автором в основу альтернативной ей модели ЗПС. В соответствии с этой моделью разломы взаимодействующих, разнонаправленных систем нерегулярно меняют свою активность, фрагментируя друг друга и постепенно превращаясь в мощные, сложностроенные зоны (см. рис. 1, А). Фрагментированность разломов, как и продуцируемые ими сдвиг-надвиговые дислокации, возникает в результате *некомпенсированного смещения* разлома по более активной на данный момент разломной системе иной ориентировки.

В процессе взаимодействия двух разломных систем менее активная подстраивается под более активную, нередко меняя свою ориентировку, с элементами ветвления (виргации). В результате внутренняя структура обеих разломных систем усложняется. Всё это крайне затрудняет увязку не только отдельных фрагментов разломов, но и разломных зон и систем в целом. По этой причине практически на каждой карте (геологической, тектонической, неотектонической, на картах интерпретации геофизических полей, на схемах космо-фотодешифрирования и др.) появляется своя интерпретация разломной сети со своей (авторской) субъективной её увязкой.

Свои варианты структурно-тектонических карт и схем автор изначально ориентировал на *новейший* этап с максимальной выраженностью его структур в признаковом пространстве региона. Для более уверенного выделения новейших разломов были использованы упомянутые выше структуры-полигоны, наиболее насыщенные разноплановой геологической информацией. В качестве основного из них была взята структура *Хабаровско-Хехцирской системы новейших инверсионных поднятий*, локализованная в центре Средне-Амурской впадины, в узле пересечения разломов Намурхэ-Амурской системы с разломами Мишаньской ветви Танлу. Влияние разломов НАС на формирование этой структуры проявилось достаточно ярко. Вторым полигоном, на котором Намурхэ-Амурская система получила не менее яркое выражение, стала зона сочленения впадины Сунляо с Амуро-Зейской впадиной, где её широтные разломы взаимодействуют с системой меридиональных и северо-восточных разломов Тихоокеанского пояса.

Результаты исследований. Региональная позиция НАС. Структура востока Азии (рис. 4) обычно трактуется как область сочленения Центрально-Азиатского подвижного пояса (ЦАПП), являющегося восточным фрагментом Урало-Монгольского подвижного пояса

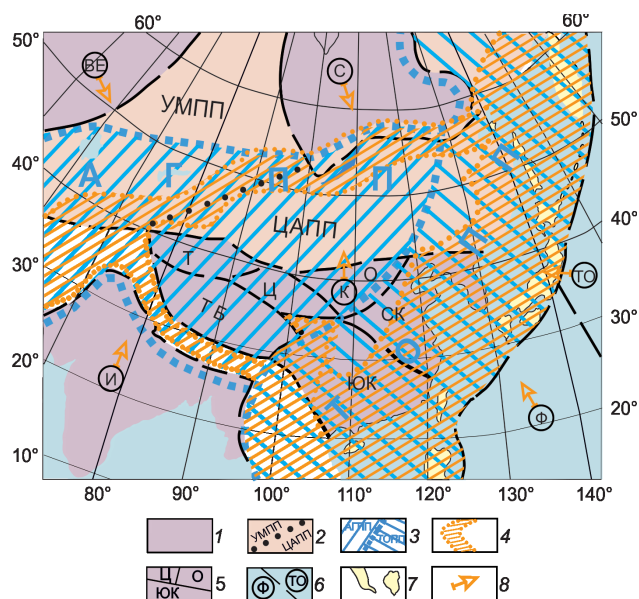


Рис. 4. Схема области взаимодействия Альпийско-Гималайского и Тихоокеанского подвижных поясов. По [11], с дополнениями:

1 – Северная Евразия с Восточно-Европейской плитой (ВЕ) и Сибирским кратоном (С), Юго-восток Азии с Индийской плитой (И) и Китайским кратоном (К); 2 – Байкальско-герцинские структуры Урало-Монгольского (УМПП) и Центрально-Азиатского (ЦАПП) подвижных поясов; 3 – структуры мезозойско-кайнозойских подвижных поясов: Альпийско-Гималайского (АГПП) и Тихоокеанского (ТОПП); 4 – зоны голоценовой коллизии; 5 – границы коллизионных блоков Китайского кратона (СК – Северо-Китайский, ЮК – Южно-Китайский, О – Ордосский, Т – Таримский, ТБ – Тибет, Ц – Цайдам); 6 – океанические плиты: ТО – Тихоокеанская, Ф – Филиппинская; 7 – современные орогены зоны перехода; 8 – направление современных движений плит

(УМПП), с Тихоокеанским подвижным поясом (ТОПП). На начальном этапе её моделирования этой точки зрения придерживался и автор, но в дальнейшем она испытала значительную трансформацию. Со временем постепенно и всё более внятно обозначилось, что эти пояса – образования разных этапов, резко отличающихся по характеру наполняющих их геологических событий и по их структурному плану. Центрально-Азиатский пояс – это отчётливо реликтовая внутриконтинентальная *байкальско-герцинская* структура, уже завершившая своё развитие. Тихоокеанский же пояс – структура окраинно-континентальная, *мезозойско-кайнозойская*, активно ведущая себя до настоящего времени.

При этом одновременно с окраинно-континентальной структурой ТОПП на востоке Азии развивалась (и продолжает своё развитие) структура *внутриконтинентального Альпийско-Гималайского (Средиземно-*

морского) подвижного пояса (АГПП). По принятым представлениям [13], структура АГПП круто подворачивается в районе Памира на юго-восток с формированием Гималайской ветви. В своей юго-восточной части эта ветвь сочленяется с Тихоокеанским подвижным поясом.

Появились, однако, веские основания для продолжения и всей основной (широтной) структуры Альпийско-Гималайского пояса далее к востоку, до окраины континента, где она также сочленяется со структурой ТОПП. В этом случае рассматриваемый регион логичнее представить как область взаимодействия двух этих мезозойско-кайнозойских, синхронно развивающихся поясов. Стабилизировавшаяся к концу герцинского этапа структура Центрально-Азиатского пояса с его древней структурной рамой из Сибирского и Китайского кратонов выступает здесь в роли субстрата, на котором взаимодействуют два этих молодых подвижных пояса.

В мезозое-кайнозое ход внутреннего структурирования этой области, в соответствии с волновой моделью, определил механизм трёхстороннего пульсационного пресса двух кратонов (Сибирского и Китайского) и Тихоокеанской плиты – западного сегмента одноимённого суперплюма. К концу новейшего этапа здесь была сформирована конформная этому прессу рифтогенно-орогенная структура. Её трёхсторонняя волновая «гармоника» наращивала континентальную кору к востоку, системно омолаживаясь к окраине Азии от позднего мезозоя в глубине континента до плиоцена-голоцена на Сахалине и Курилах [6, 9].

В соответствии с системностью этого омоложения в том же (восточном) направлении сокращается мощность и наращивается мобильность континентальной коры. Параллельно омолаживается возраст целой совокупности формирующих эту кору процессов – магматизма в орогенах, связанного с ним гидротермального метасоматоза и рудогенеза, возраст рифтогенеза, литификации осадков рифтогенов и проявленного в них нефтегазообразования. В зоне перехода континент-океан смещение фронта структурирования коры отмечено градиентным наращиванием теплопотока, развитием плейстоцен-голоценового магматизма и аномальной сейсмичностью. Современная позиция этого фронта соответствует Курило-Камчатской орогенной системе.

Представительными индикаторами системности структурирования континентальной коры являются мезозойско-кайнозойские рифтогенные впадины, закладывавшиеся по системе глубинных разломов Альпийско-Гималайского и Тихоокеанского поясов. Возраст их заложения, согласно латеральному тренду омоложения коры, «скользит», омолаживаясь к востоку – от юры на западе Монголии до плиоцена на Сахалине. В глубине материка впадины закладывались с некоторым отставанием от фронта структурирования коры, где доминирует орогенез с магматогенным режимом. Сами впадины развивались в основном амагматично. Вулканогенная

составляющая появлялась в разрезе их осадков только вблизи этого фронта. Здесь, как правило, в большей мере обогащены нижние части их осадочного разреза.

Согласно тренду омоложения коры и смене возраста её рифтогенов, меняется к востоку и положение верхней возрастной границы литификации осадочного выполнения рифтогенов. Так, во впадинах Монголии не литифицирован осадочный разрез, начиная с его нижнемеловой части. В Амуро-Зейской впадине не подвержены литификации осадки моложе нижнего мела, а в Амуро-Ханкайском рифтогене они не литифицированы начиная с эоцена (на западе) и миоцена-плиоцена (на востоке). На Сахалине же нелитифицированной остаётся лишь самая верхняя (плиоцен-плейстоценовая) часть разреза континентальных осадков.

Литификация осадков рифтогенов представляет собой своеобразный след смещавшегося в мезозое-кайнозое к востоку фронта континентального корообразования с характерным для него магматогенным режимом и мощным глубинным теплопотоком. Здесь, однако, следует учитывать, что региональная системность омоложения литификации нередко нарушается локально развивающимися процессами гидротермального метасоматоза. Очаги и зоны новейшего (в том числе современного) метасоматоза, контролирующиеся глубинными разломами, получили достаточно широкое развитие во всём регионе востока Азии, и в том числе в разломах НАС [6].

С конца плейстоцена в упомянутом пульсационном механизме трёхстороннего пресса стали преобладать встречные движения, дополненные активным продвижением к северу Индийской и Филиппинской плит, что во многом и обеспечило рассматриваемой области выраженную доминанту современного орогенеза. Эта тенденция сохранилась до настоящего времени, что подтверждается данными GPS-наблюдений [2].

Многие глубинные разломы, контролировавшие развитие мезозойско-кайнозойских орогенных и рифтогенных структур, были активизированы в плиоцен-плейстоценовое время на мантийном уровне, с проявлением молодого базальтоидного вулканизма. Дополнительную активизацию они получили уже в голоцене (Тува, Тункинская впадина, Токинский Становик и др.). Эти современные активизационные процессы дополнительно фрагментировали разломные системы региона, и в том числе разломы НАС.

В голоцене же под диктовку орогенеза, вызванного коллизией Индийской и Евразийской плит, окончательно сформировалась и современная структура АГПП с его широтной (северной) и юго-восточной (Гималайской) ветвями. Масштабность коллизионных процессов Гималайской ветви при этом намного выше. Здесь, в отличие от северной ветви, зона транзита импортируемой Индийской плитой энергии значительно сокращена. Сдвиговой тектоникой Гималайской ветви были сформированы грандиозные горные сооружения Гималаев,

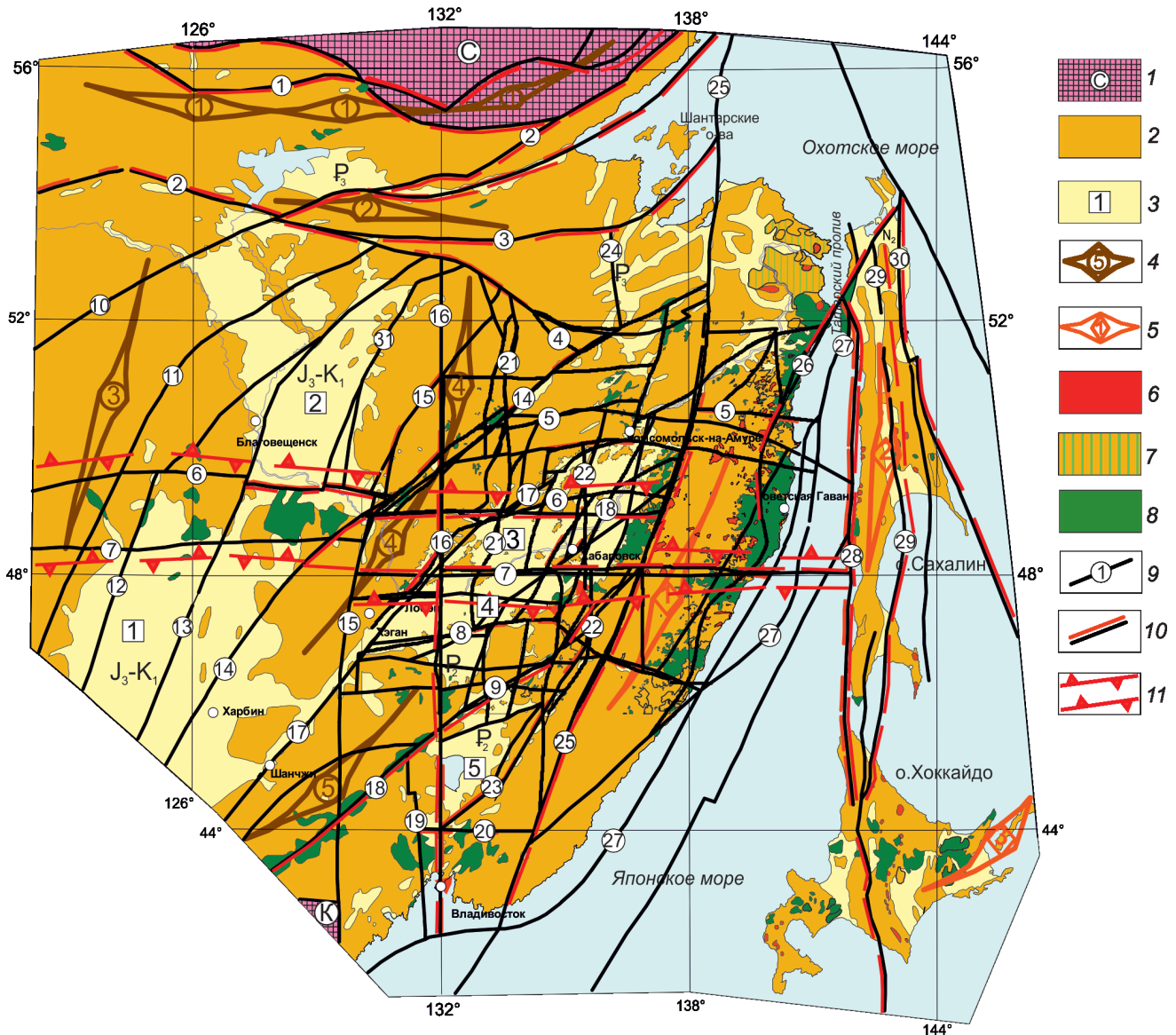


Рис. 5. Схема окраинно-континентальной структуры востока Азии с позицией Намурхэ-Амурской системы. По [6, 11], с дополнением:

1–2 – домезозойские образования: 1 – структуры Сибирского (С) и Китайского (К) кратонов; 2 – байкальско-герцинская структура Центрально-Азиатского пояса с массивами – реликтами протоплатформы; 3 – контуры мезозойско-кайнозойских рифтогенных впадин (цифры в квадратиках): 1 – впадина Сунляо, 2 – Амуро-Зейская впадина, 3 – Средне-Амурская впадина, 4 – впадина Саньцзян, 5 – группа Приханкайских впадин; 4 – оси новейших орогенов с амагматичным режимом развития (1 – Алдано-Становой, 2 – Северо-Буреинский, 3 – Большого Хингана, 4 – Восточно-Буреинский, 5 – Ляолинский); 5 – оси новейших орогенов с магматогенным режимом (1 – Сихотэ-Алинский, 2 – Хоккайдо-Сахалинский, 3 – Курило-Камчатский); 6 – массивы олигоценых гранитов; 7 – вулканиты базальт-андезит-риолитовой формации неогена; 8 – поля неоген-плейстоценовых платобазальтов; 9 – новейшие глубинные разломы: 1 – Становой, 2 – Монголо-Охотский, 3 – Южно-Турурингский, 4 – Пауканский, 5 – Гур-Комсомольский, 6 – Намурхэ-Бирский, 7 – Намурхэ-Амурский, 8 – Наолихэ-Бикинский, 9 – Северо-Ханкайский, 10 – Дербур, 11 – Большого Хингана, 12 – Цицикар-Селемджинский, 13 – Шанси-Селемджинский, 14 – Инкоу-Хинганский, 15 – Муданьцзян-Мельгинский, 16 – Эхилкан-Ханкайский), 17 – Танлу-Курский (Иланьская ветвь Танлу), 18 – Фущунь-Мишань-Алчанский, 19 – Западно-Приморский, 20 – Южно-Приморский, 21 – Тастахский, 22 – Петропавловский, 23 – Синегорский, 24 – Комсомольско-Тугурский, 25 – Центральный Сихотэ-Алинский, 26 – Восточный Сихотэ-Алинский, 27 – Татарского пролива, 28 – Западно-Сахалинский, 29 – Центрально-Сахалинский, 30 – Восточно-Сахалинский, 31 – Западно-Туранский; 10 – разломы с признаками современной активности; 11 – обобщённый контур Намурхэ-Амурской системы разломов; J_3-K_1 – возраст заложения впадин

Куньлуня, Гиндукуша и Памира, был деформирован на ряд крупных блоков Китайский кратон.

Активность коллизионного воздействия Индии нарастала здесь с пиком в конце плейстоцена–начале голоцена. По данным палеореконокструкций структуры северного Китая [18], смещение соответствующей этому этапу плиоценовой формации Джигуда в районе, расположенном на территории Тибета к северу от Лхасы, происходило в северо-восточном направлении и составило 118 км. На дрейф геоблока Тибета на север под прессом Индийской плиты в плейстоцене со средней скоростью 28 мм/год указывают в своей работе П.Молнар и П.Таппонье [20]. В другой работе тех же авторов [21] приводятся сведения о современном смещении в северо-восточном направлении Ордосского (4 мм/год) и Цайдамского (8 мм/год) блоков Китайского кратона.

Северная ветвь АГПП развивалась в это время под определяющим воздействием пресса Евразии с жёстким блоком Сибирского кратона на сохранивший относительную мобильность субстрат Центрально-Азиатского пояса. Под воздействием этого пресса структурный план ЦАПП был существенным образом деформирован. Наиболее активные деформации развивались и продолжают своё развитие до настоящего времени на границе АГПП с кратоном. Контролирующая эти деформации знакопеременно-сдвиговая система разломов развивалась, подчиняясь изменчивости южного контакта кратона, с образованием конформной ему, сложноорганизованной коллизионной системы Саяно-Байкальского и Алдано-Станового орогенов. При этом была деформирована и южная часть самого кратона.

Индикатором молодого возраста этой коллизионной системы являются вложенные в её орогены инверсионные впадины Байкало-Удской рифтогенной системы (Тункинская, Муйская, Токская, Верхне-Зейская, Боконская и др.). В неоплейстоцене–голоцене с активизацией орогенеза большинство этих впадин было взброшено, выведено из седиментации и деформировано. Но параллельно здесь появились и новые, современные инверсионные впадины (Байкальская, Хубсугульская) с их открытыми полостями и лишь недавно начавшими своё развитие осадочными бассейнами. Наличие этих впадин свидетельствует об устойчивости действующей здесь разломной системы с её знакопеременно-сдвиговым механизмом.

Северную ветвь АГПП отличает намного меньший по сравнению с Гималайской ветвью масштаб коллизии. Это, очевидно, связано с заметно ослабленным (по сравнению с Индией) прессом Евразийской плиты. Энергия воздействующего на неё с севера Арктического суперплюма по мере приближения к её южной, удалённой от него границе расходуется в гигантской массе этой плиты. Тем не менее активность этой коллизии всё же достаточно высока. И она, также как и в Гималайской ветви, наращивается в неоплейстоцен-голоценовое время.

На Токинском Становике в ней взломана поверхность плейстоценового пенеплена и проявлен голоценовый базальтоидный вулканизм [6].

Наличие инверсионных впадин в приповерхностной части Байкальско-Удской рифтовой зоны предполагает существование в ней и *глубинных полостей*. Образование таких полостей с характерными для них *комплексными барьерами* (фазовыми, динамическими и плотностными), судя по всему, продолжается здесь до настоящего времени. Это, по-видимому, и определило высокую сейсмичность данной зоны. В её наиболее изученном Байкальском фрагменте, особенно насыщенном структурами ИВ, в течение года фиксируется более 200 коровых землетрясений, в том числе 7-балльных через 1–2 года, 8-балльных через 5 лет, 9-балльных через 15 и 10-балльных через 50 [16]. Это значительно выше средней статистической величины повторяемости ЗТ, оцениваемой в 200–500 лет [15].

По сравнению с северной и южной коллизионными ветвями активность *центральной части* широтной ветви АГПП выглядит заметно скромнее. Тем не менее и она выражена достаточно ярко. И немалую роль здесь сыграли именно разломы *Намурхэ-Амурской системы*. В позднем мезозое и на протяжении всего кайнозоя они развивались в весьма напряжённом режиме. В меловое время на территории Монгольской Гоби разломы НАС определили развитие Долиноозерской, Ошинуринской, Ундуршилинской, Улан-Нурской и ряда других впадин, имеющих отчётливо широтную ориентировку [6]. На востоке в конце мезозоя активность разломов НАС и всей широтной структуры АГПП была заметно снижена. Здесь на развитие континентальной коры определяющее влияние оказывал Тихоокеанский пояс. Но позднее, на всём новейшем этапе, вся широтная ветвь АГПП вместе с Намурхэ-Амурской системой получила дополнительный импульс развития. С этого времени во взаимодействии с разломными системами ТОПП она стала оказывать весьма существенное влияние на развитие континентальной коры востока Азии и особенно на развитие её *окраинно-континентальной* структуры (ОКС).

Новейший этап развития Намурхэ-Амурской системы глубинных разломов и её влияние на формирование окраинно-континентальной структуры востока Азии (рис. 5). В эоцене–голоцене на западе окраинно-континентальной структуры разломами Намурхэ-Амурской системы во взаимодействии с разломными системами Тихоокеанского пояса (Цицикар-Селемджинской, Муданьцзян-Мельгинской, Инкоу-Хинганской и др.) была трансформирована структура Сунляо-Амуро-Зейского рифтогена. Восточнее, взаимодействуя с разломами Иланьской и Мишаньской ветвями Танлу и зоной Эхилкан-Ханкайского разлома, Намурхэ-Амурская система определила формирование Средне-Амурской впадины – крупного северного фрагмента Амуро-Ханкайского рифтогена. В это время разломы НАС были фрагментированы, вся её структура была насыщена

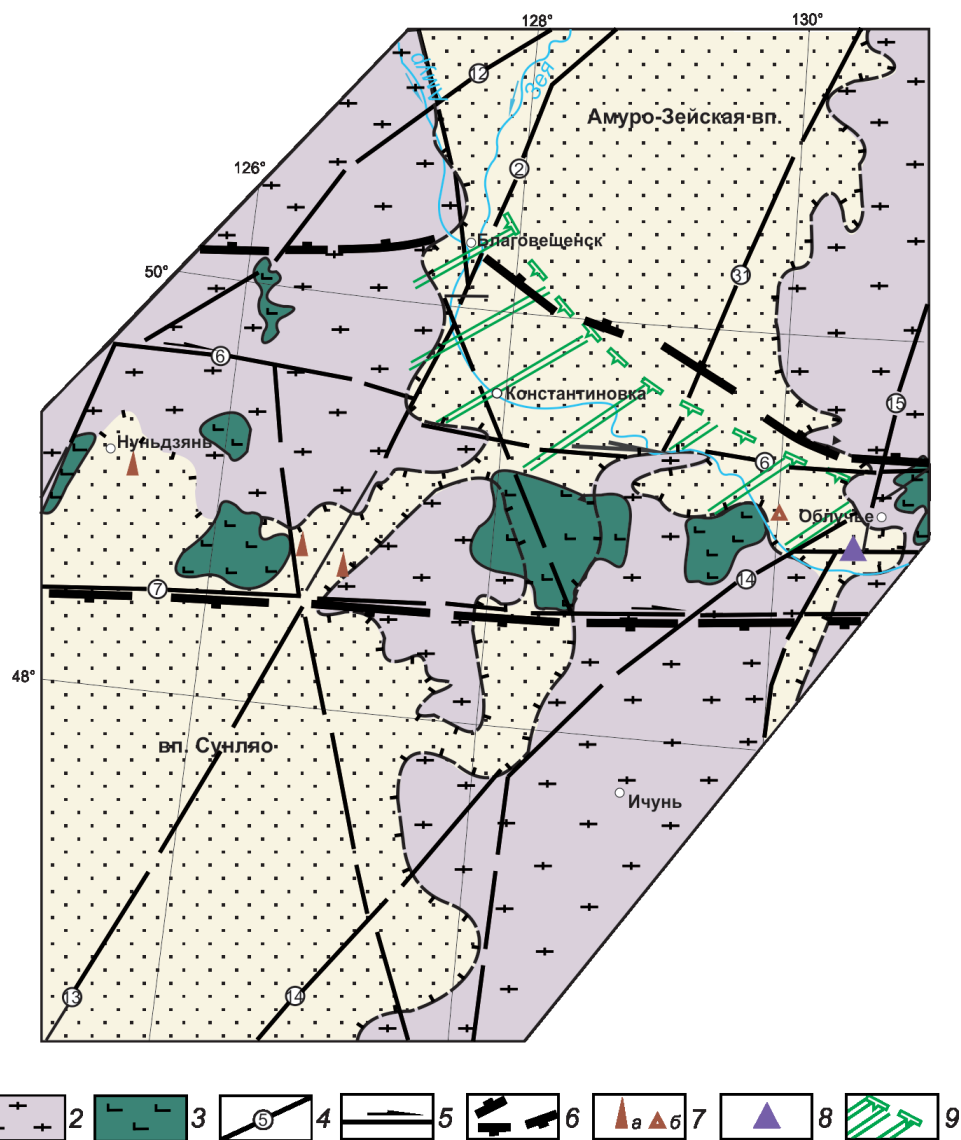


Рис. 6. Схема зоны сочленения впадин Амуро-Зейская и Сунляо. По [6], с изменениями:

1 – контуры впадин; 2 – породы фундамента впадин; 3 – поля неоген-плейстоценовых платобазальтов; 4 – глубинные разломы и их номера (цифры в кружках, см. рис. 5); 5 – доминирующее направление сдвиговых смещений в зоне НАС; 6 – контур Константиновско-Скобельцинской сводовой структуры; 7 – нефте-газопроявления впадины Сунляо (а) и проявление битумов в Амуро-Зейской впадине (б); 8 – Богучанское проявление флюорита; 9 – ареал новейшего аргиллизитового метасоматоза с водно-газовыми и радио-гидрохимическими аномалиями в осадках Амуро-Зейской впадины

инверсионными впадинами и поднятиями, и она нарастила свою мощность до 100 км и более.

Константиновско-Скобельцинское сводовое поднятие. Это широтное поднятие, отделившее Амуро-Зейскую впадину от впадины Сунляо, было заложено в НАС в эоцене в режиме инверсионной структуры (рис. 6). Контролирующие его разломы развивались с доминан-

той правосторонних смещений. В результате Амуро-Зейский блок был смещён относительно Сунляо к востоку с остаточной амплитудой около 100 км. На российской территории представлен северный борт упомянутого поднятия. Он прослеживается по левобережью Амура, по всей южной части Амуро-Зейской впадины, выходами верхнемеловых осадков завитинской свиты.

Севернее эти осадки перекрыты отложениями палеогена и неогена.

Плиоцен-раннеплейстоценовая активизация региональной структуры отразилась формированием в апикальной части свода крупных полей плато-базальтов, сохранивших от эрозии слагающие её новейшие осадки. В конце плейстоцена–начале голоцена структура свода была дополнительно активизирована на мантийном уровне. На китайской стороне эта активизация сопровождалась формированием нескольких локальных базальтовых полей. По данным Yu Wang et Hongzhou Chen [23], вулканическими структурами базальтового поля Wudalianchi, расположенного на востоке Константиновско-Скобельцинского свода в узле пересечения НАС с зоной Инкоу-Хинганского разлома, прорваны отложения плейстоценового возраста.

На контролируемом НАС северном борту свода в неоплейстоцене–голоцене в ходе последней активизации была сформирована серия выходящих на поверхность локальных инверсионных поднятий (сопки Шапка, Скобельцинская, Богучанская, Константиновское поднятие и др.), сложенных породами фундамента впадины – герцинскими гранитоидами и вулканитами юрско-мелового возраста. По всему борту свода на этих поднятиях и во вмещающих их осадках развиты проявления новейшего аргиллизитового метасоматоза довольно пёстрого вещественного состава (кварц, карбонат, флюорит, каолинит, гидрослюда, сульфиды, местами оксиды урана). Подземные воды Амуро-Зейской впадины насыщены здесь аномалиями гелия, двуокиси азота, углеводов, водорода, радона, урана и фтора [6].

Восточнее Суляо-Амуро-Зейского рифтогена Намурхэ-Амурская система наложена на структуру новейшего *Восточно-Буреинского* орогена, развивающегося на активизированном в позднем мезозое протерозой-палеозойском субстрате Буреинского массива. Здесь структура НАС представлена своим северным швом, Намурхэ-Бирским разломом с вложенной в него линейной инверсионной *Сутарской впадиной*. По данным поискового бурения, проведённого здесь ФГУП «Таежгеология» в 1970-е годы, эта впадина выполнена неогеновыми осадками мощностью до 300–500 м. На границе неоплейстоцен–голоцен впадина была взброшена сдвиговой тектоникой Восточно-Буреинского орогена, выведена из седиментации и в настоящее время находится в фазе эрозии. В неё врежется русло Сутары.

К востоку от Буреинского массива с приближением к окраине континента, где омоложение всех структурирующих его процессов приобретает градиентный характер, резко возрастает и активность Намурхэ-Амурской системы. В эоцен-голоценовое время за жёстким блоком этого массива её разломы во взаимодействии с разломами системы Танлу оказали определяющее влияние на формирование *Средне-Амурской впадины*

(САВ). В этом взаимодействии в целом доминировали разломы НАС, что и определило общий *раздвиговый* режим впадины на всём новейшем этапе её развития вплоть до настоящего времени, с системным наращиванием её структуры к северо-востоку. Большая часть этой впадины находится и сейчас в состоянии седиментации. В ней преобладают озёрно-болотные ландшафты с абсолютными отметками поверхности 30–50 м. Разломы Танлу, взаимодействуя с разломами НАС, работают на усложнение внутренней структуры впадины с максимумом активности в её краевых зонах. Под влиянием Танлу разломы Намурхэ-Амурской системы были здесь фрагментированы с наращиванием общей мощности её зоны до 150 км.

Западная часть Средне-Амурской впадины структурировалась в ходе взаимодействия НАС с Танлу-Курским разломом (ТКР) – северным продолжением Иланьской ветви Танлу [10]. До 49 широты (район Биробиджана) этот разлом превратился под влиянием НАС в сложнопостроенную зону мощностью до 20 км, насыщенную инверсионными впадинами-грабенами и инверсионными поднятиями. Здесь в зоне ТКР к югу от Биробиджана расположено и отмеченное выше бескорневое поднятие Малые Чурки. Судя по общей (современной) субмеридиональной ориентировке этой и других инверсионных структур зоны ТКР, её разломная система доминировала в голоцене над Намурхэ-Амурской системой.

По южной границе Средне-Амурской впадины сформировалась сводовая структура субширотной северо-восточной ориентировки, близкая по характеру к упомянутому выше Константиновско-Скобельцинскому своду, но заложенная позднее, в олигоцен-миоценовое время, с дополнительной активизацией в неоплейстоцене–голоцене. Она отделила Средне-Амурскую впадину от расположенной южнее впадины Саньцзян. В своём современном состоянии эта структура выражена серией сближенных инверсионных поднятий-кулис, смещающихся к северу, по мере продвижения на восток, по субмеридиональным разломам системы Танлу. На территории КНР многие из этих поднятий выходят на поверхность.

Хабаровско-Хехцирская система поднятий (ХХСП). Эта крупная (около 2000 км²) инверсионная структура (рис. 7) расположена на восточном (российском) фрагменте свода, разделяющего Средне-Амурскую впадину и впадину Саньцзян. ХХСП является наиболее изученной в настоящее время инверсионной структурой юга Дальнего Востока России. Она послужила основным полигоном для изучения характера структурирования Намурхэ-Амурской системы. По ней автором проведены работы по 3 научно-техническим проектам, ориентированным на изучение новейшей тектоники, сейсмодинамики, гидродинамики и радононосности. По результатам этих работ была составлена её комплексная (междисциплинарная) эволюционная модель [7].

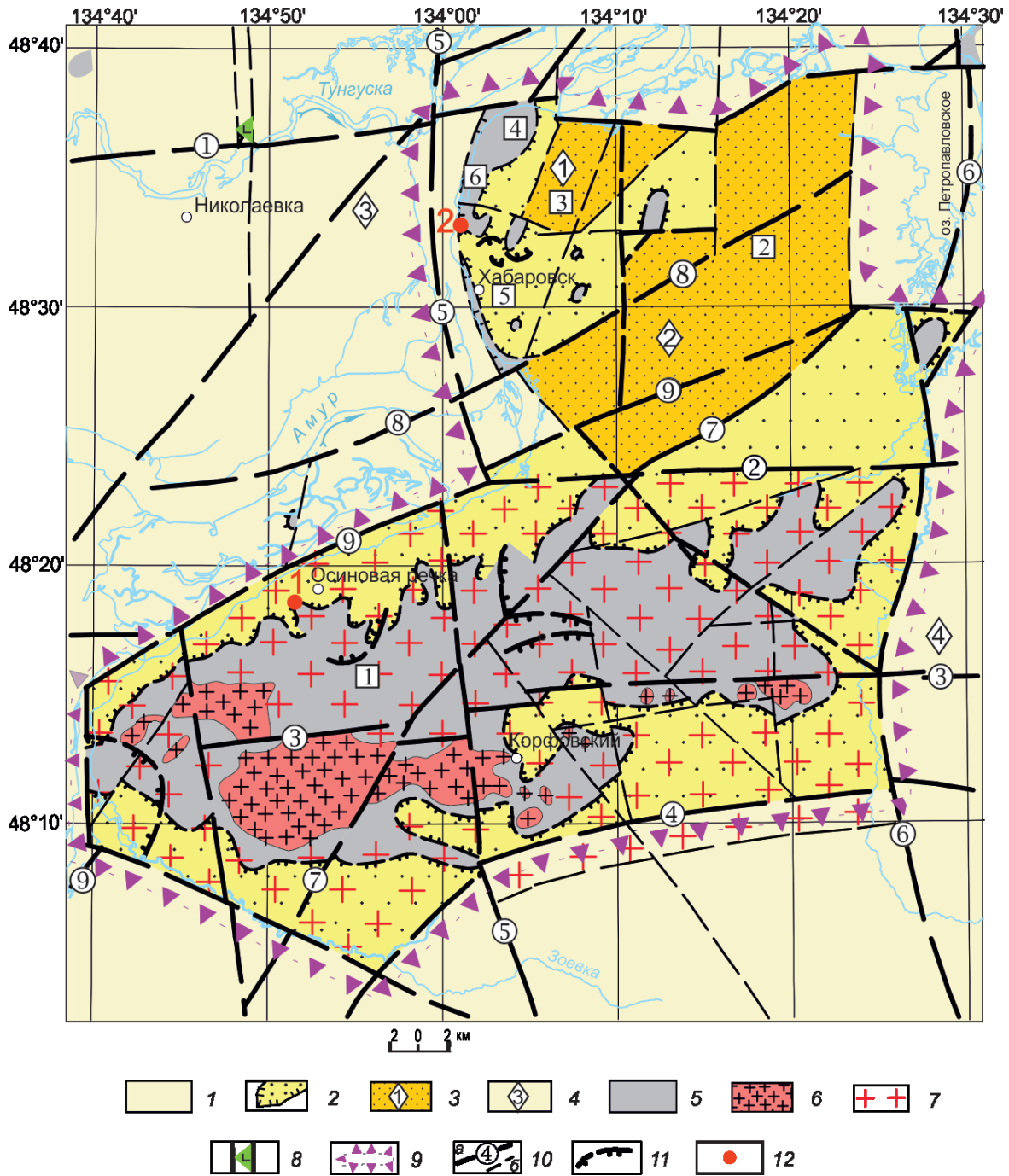


Рис. 7. Схема новейшей инверсионной структуры Хабаровско-Хехцирской системы поднятий. По [7, 13], с дополнением:

1 – современные осадки Средне-Амурской впадины; 2 – выходы плиоцен-плейстоценовых осадков; 3 – реликты взброшенных новейших грабенов в контуре ХХСП: 1 – Базовский, 2 – Хабаровский; 4 – структуры олигоцен-миоценовых грабенов за контуром ХХСП, под покровом плейстоцен-голоценовых осадков: 3 – Николаевский, 4 – Оборю-Уссурийский; 5 – домеловые породы фундамента впадины; 6–7 – гранитоиды Корфовской интрузии: 6 – выходящие на поверхность и 7 – предполагаемые на глубине; 8 – Новокаменское инверсионное поднятие; 9 – обобщённый контур структуры ХХСП; 10 – новейшие разломы: а – глубинные (цифры в кружках): 1 – Тунгуско-Воронежский, 2 – Северо-Хехцирский, 3 – Центрально-Хехцирский, 4 – Южно-Хехцирский, 5 – Хабаровско-Корфовский, 6 – Петропавловский, 7 – Хехцирско-настасьевский, 8 – Центрально-Хабаровский, 9 – Амуро-Чернореченский и б – прочие; 11 – новейшие надвиги; 12 – поселения осиповской культуры Гончарка (1) и Осиповка (2); цифры в квадратах – блоки ХХСП первого (1 – Хехцирский, 2 – Хабаровско-Краснореченский, 3 – Хабаровско-Воронежский) и второго (4 – Воронежский, 5 – Хабаровский, 6 – Осиповский) порядков

Хабаровско-Хехцирская система поднятий с абсолютными отметками её поверхности до 950 м контрастно выделяется на низкой (абс. отм. 30–50 м), плоской, заболоченной равнине Средне-Амурской впадины. Внутри она представляет собой мозаику поднятых на разную высоту, трансформированных новейшей тектоникой и эрозией, разно-порядковых блоков пород докайнозойского фундамента с реликтами взброшенных структур олигоцен-миоценовых грабенов и плиоцен-плейстоценовых палеодолин. Размеры этих блоков варьируют в широких пределах – от менее 1 км² до $n \times 100$ км². Блоки крепких докайнозойских пород, более устойчивых к эрозии, соответствуют при этом самым поднятым частям структуры, а блоки с рыхлыми, механически неустойчивыми осадками кайнозоя – её наименее поднятым (более эродированным) частям.

Характер развития Хабаровско-Хехцирской системы поднятий во многом определил *Хехцирский* блок, соответствующий самой высокой части этой системы и являющийся её наиболее жёстким блоком. Сложен он в основном гранодиоритами и гранитами *Корфовской интрузии* с вмещающими её вулканогенно-осадочными породами триас-юрского возраста и кремнистыми сланцами перми. В западной (максимально поднятой) части блока с хребтом Большого Хехцира интрузия была выведена на поверхность и максимально препарирована эрозией. Восточнее, на Малом Хехцире, она представлена серией небольших сближенных выходов гранитов и гранодиоритов среди ороговикованных пород мезозоя и перми. Глубинный контур Корфовской интрузии, судя по ороговикованию, значительно шире контура её апикальной части. Очевидно, что именно этой интрузии Хехцирский блок и обязан своей повышенной жёсткостью, и именно она определила максимальную амплитуду его «всплытия», задавая тенденцию к подъёму и всей остальной инверсионной

структуре Хабаровско-Хехцирской системы поднятий.

Разломы Намурхэ-Амурской системы, взаимодействуя с северо-восточными субмеридиональными структурами Мишаньской ветви Танлу, оказали определяющее влияние на развитие структуры ХХСП. Они уверенно дешифрируются на космоснимках. За пределами ХХСП, в структуре САВ, они идентифицируются системой широтных линейаментов, подчёркнутых линейными фрагментами современных русел Амура и Тунгуски – его левого притока, их проток и стариц. В литифицированных породах ХХСП все эти разломы раскрыты, обводнены и активно ведут себя до настоящего времени. Южно-, Центрально- и Северо-Хехцирский разломы Намурхэ-Амурской системы контролируют развитие жёсткого Хехцирского блока, определив его современную широтную ориентировку и общий структурный план ХХСП. Широтный *Тунгусско-Воронежский* разлом ограничивает структуру ХХСП с севера. Западнее он определяет также и положение ряда менее крупных инверсионных поднятий – Новокаменского, Даниловского и Волочаевского.

Мишаньская ветвь Танлу в ходе взаимодействия со структурой НАС была разделена здесь на ряд северо-восточных и субмеридиональных разломов. Её северо-восточная составляющая представлена в Хабаровско-Хехцирской системе поднятий *Центрально-Хабаровским, Хабаровско-Анастасьевским и Амуро-Чернореченским* разломами. Эти разломы осложняют внешние границы и внутреннее строение отдельных блоков ХХСП. Хорошо проявленные здесь (и ещё более выраженные юго-восточнее, на территории КНР) они заметно теряют свою выразительность к северо-востоку от ХХСП, что, по-видимому, связано с общей системностью омоложения коры к окраине континента.

Высокую активность своей геодинамики структура ХХСП сохранила до конца новейшего этапа. Следы

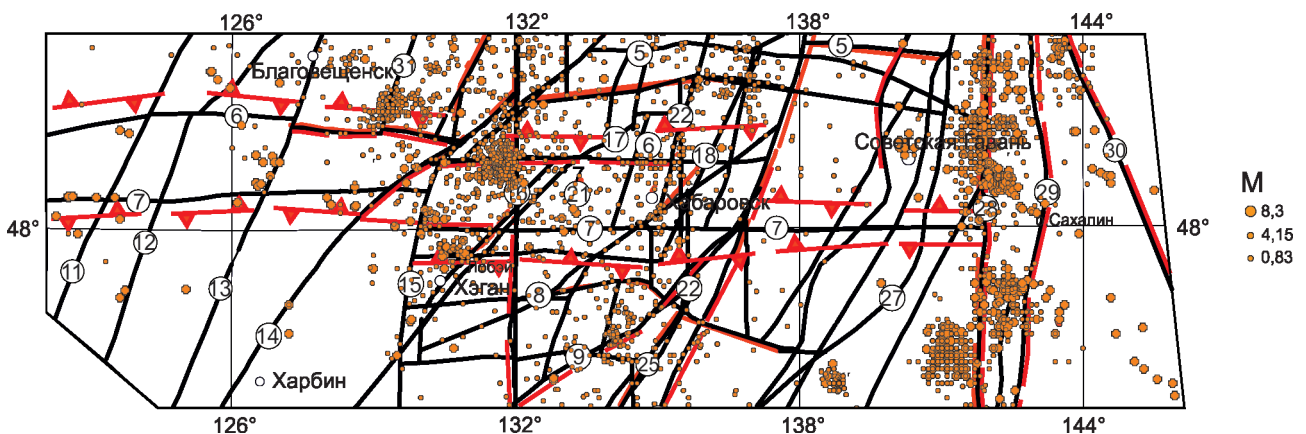


Рис. 8. Распределение эпицентров коровых землетрясений на востоке Азии в зоне влияния Намурхэ-Амурской системы разломов. Из каталога землетрясений России по состоянию на 2013 г. [22]

её неоплейстоцен-голоценового воздымания достаточно ярко выражены в ступенчатой структуре крутого южного борта Хехцирского блока, в контрастном рельефе хребта Большой Хехцир, в отсутствии на нём коры выветривания и почвенного слоя. С этим молодым воздыманием, по-видимому, связана и усилившаяся в последние десятилетия миграция к западу водного потока Амура со смещением его основного русла из Амурской в Пемзенскую протоку.

Активность современной *сейсмогеодинамики* ХХСП выражена наличием многочисленных, разнообразных по морфологии раннеголоценовых *сейсмодислокаций* (СД) [7], выявленных автором в береговой зоне Амура, где действует контрастный барьер «вода–суша» – ситуация, характерная для многих береговых зон активной окраины Азии. Все они насыщены сейсмодислокациями.

Исследования последних лет показали, что в ХХСП сейсмодислокации деформировали также и *культурный слой начального неолита (осиповская культура)* [13]. Следы поселений этой культуры с возрастом 9–12 тыс. лет, подтверждённым радиоуглеродными датировками, сохранились здесь по берегам Амура на западе и северо-западе ХХСП [17]. Характер проявленных в структуре ХХСП сейсмодислокаций свидетельствует о развитии здесь в начале голоцена мощного землетрясения (или серии сближенных во времени сейсмических событий) магнитудой до 8–10. О масштабности наложенного на поселения осиповской культуры сейсмического события свидетельствует и тот факт, что после него они прекратили своё существование.

На Хабаровско-Воронежском блоке, в северо-западной части Хабаровско-Хехцирской системы поднятий, в интенсивно деформированных сдвиг-надвиговой тектоникой породах докайнозойского фундамента получили развитие *радоновые аномалии* с объёмной активностью до $n \times 1000$ Бк/м³. При отсутствии на ХХСП специализированных на уран пород радон выступает здесь в роли дополнительного индикатора активности её современной сейсмогеодинамики.

К востоку от Хабаровско-Хехцирской системы поднятий с приближением к современному фронту структурирования коры, где доминирующее развитие получили субмеридиональные структуры Тихоокеанского пояса, Намурхэ-Амурская система резко снижает свою активность. Она проявлена здесь лишь локальными структурами. Так, в новейшей структуре Сихотэ-Алинского орогена в плейстоцене по небольшому фрагменту широтного разлома НАС развивалась Средне-Хорская инверсионная впадина [9]. В голоцене она была взброшена. В неё вложен широтный отрезок современной долины р. Хор. В береговых уступах Хора развиты структуры сейсмогенных голоценовых выдвигов и взбросо-сдвиговые дислокации, наложенные на плейстоценовые осадки, с вертикальной амплитудой смещений до 15 м. Восточнее Сихотэ-Алиния разло-

мами НАС в рифтогенной структуре Татарского пролива, развивающейся с юга (от Япономорского рифтогена) с неогена до настоящего времени, в районе 48 широты сформировано локальное седловидное (инверсионное) поднятие [1].

Представленные здесь сведения указывают на то, что *высокой активностью современной геодинамики* Намурхэ-Амурская система разломов характеризуется на всём своём протяжении. На западе, в Монгольской Гоби, структурами НАС в неоплейстоцене-голоцене был деформирован крупный меридиональный рифтоген Чойренской впадины [8]. Здесь в рыхлых осадках нижнего мела, на пересечении впадины широтным разломом, действует термальный углекислый радоновый источник Халдзан-Обо. На поверхности он формирует современные травертины. Восточнее, в западной части Ульдзуйтинской впадины, близкие по характеру травертины наблюдались автором на выходе термального источника в шлаковом конусе небольшого базальтового вулкана.

Далее к востоку, в пределах окраинно-континентальной структуры, разломы Намурхэ-Амурской системы характеризуются ещё более выраженной активностью современной геодинамики. Выше отмечалась активность её инверсионных поднятий в Амуро-Зейской и Средне-Амурской впадинах. Узлы пересечения НАС с новейшими разломами субмеридиональной – северо-восточной ориентировки характеризуются наличием аномалий радона – индикаторов активности сейсмогеодинамики.

Активность современной сейсмогеодинамики НАС подтверждается и её повышенной (современной) *сейсмичностью*, с контролем роёв коровых землетрясений узлами сочленения её разломов с разломами других систем (рис. 8). Крупный рой гипоцентров землетрясений имеется в Амуро-Зейской впадине на пересечении НАС с зоной меридионального Западно-Туранского разлома. Второй рой ЗТ контролируется пересечением НАС с зоной Эхилкан-Ханкайского разлома в пределах Восточно-Буреинского орогена. Плановое смещение этих роёв от упомянутых узлов может быть связано с отклонением их глубинных структур от вертикали.

В заключение следует отметить, что данная статья дополняет разрабатываемую автором, акцентированную на новейший этап эволюционную модель континентальной коры востока Азии сведениями по Намурхэ-Амурской системе разломов. При работе над ней был систематизирован большой объём данных по выраженности структур НАС в геологическом информационном поле региона, по особенностям внутреннего строения этой системы и по характеру её взаимодействия с другими разломными системами. Проведённое исследование, выполненное в едином с региональной моделью пространственно-эволюционном контексте, позволило оценить воздействие НАС на формирование окраинно-континентальной структуры

Азии, повысив при этом доказательность волнового (знакопеременно-сдвигового) механизма её структурирования. Ниже представлены выводы по проведённой работе.

1. Намурхэ-Амурская система разломов является системой трансконтинентального уровня, фрагментом северной широтной ветви мезозойско-кайнозойской структуры Альпийско-Гималайского пояса. Она прослежена по комплексу признаков от Монголии до окраины Азии.

2. Внутренняя структура НАС формировалась в знакопеременно-сдвиговом режиме, во взаимодействии с другими разломными системами.

3. В ходе развития НАС постепенно усложняла свою внутреннюю структуру, насыщаясь инверсионными впадинами и поднятиями – индикаторами её знакопеременно-сдвигового режима.

4. Разнонаправленными смещениями по меридиональным и северо-восточным системам разломов структура НАС была фрагментирована, с наращиванием мощности до 100 км и более.

5. Намурхэ-Амурская система развивалась согласно с общей закономерностью развития континентальной коры с омоложением к восточной окраине континента.

6. В глубине континента, до границы со структурами Тихоокеанского пояса разломы НАС контролировали формирование Гобийских юрско-меловых впадин.

7. В эоцене на сочленении Амура-Зейской впадины с впадиной Сунляо Намурхэ-Амурской системой было сформировано инверсионное сводовое Константиновско-Скобельцинское поднятие, дополнительно активизированное в неоплейстоцене–голоцене, с образованием более локальных инверсионных поднятий.

8. В пределах Амура-Ханкайского рифтогена Намурхэ-Амурская система во взаимодействии с системой Танлу определила формирование внутренней структуры Средне-Амурской впадины с её многочисленными инверсионными поднятиями.

9. Разломами Намурхэ-Амурской системы во взаимодействии с разломами Танлу сформировано новейшее сводовое поднятие, отделившее Средне-Амурскую впадину от впадины Саньцзян. На востоке оно представлено инверсионной структурой Хабаровско-Хеццирской системы поднятий, которая является полигоном для изучения взаимодействия этих разломов.

10. В начале голоцена на структуру ХХСП вместе со всей структурой востока Азии было наложено мощное землетрясение (или серия сближенных во времени землетрясений) с развитием сейсмодислокаций разнообразной морфологии. Возрастным индикатором событий является смещение культурных слоёв осиповских поселений.

11. Бескорневой характер поднятия Малые Чурки, локализованного в западной краевой зоне Средне-Амурской впадины, в узле сочленения НАС с зоной Танлу-Курского разлома, позволяет рассматривать

его в качестве эталона инверсионного поднятия, подтверждающего правомерность знакопеременно-сдвиговой модели.

12. Высокую активность своей геодинамики, сейсмичности и флюидо-гидродинамики Намурхэ-Амурская система разломов сохраняет до настоящего времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Варнавский В.Г.* Геодинамика кайнозойских нефтегазовых бассейнов активных континентальных окраин. – М.: Наука, 1994.
2. *Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В.* Геодинамика Евразии плит и тектоника блоков // *Геотектоника*. 2004. № 1. С. 3–20.
3. *Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий*. Масштаб 1:2 500 000. Объяснительная записка / Л.И.Красный, А.С.Вольский, Пэн-Юньбао и др. – СПб.– Благовещенск–Харбин, 1999.
4. *Каплуи В.Б.* Геоэлектрические разрезы северо-западного борта Средне-Амурского осадочного бассейна (Дальний Восток) по данным магнитотеллурического зондирования // *Тихоокеанская геология*. 2014. Т. 33. № 6. С. 50–62.
5. *Коковкин А.А.* Волновая модель структурирования континентальной коры в кайнозой для области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского подвижных поясов // *Вестник ДВО РАН*. 2006. № 3. С. 47–60.
6. *Коковкин А.А.* Геодинамическая модель кайнозойского этапа развития континентальной коры юга Дальнего Востока России и уран-полиэлементное рудообразование / Автореф. дисс. ... д-ра геол.-минер. наук. – М.: РИС ВИМС, 2007. <http://vak.ed.gov.ru/announcements/geomin/573/>.
7. *Коковкин А.А.* Комплексная эволюционная модель новейшей инверсионной структуры Хабаровско-Хеццирской системы поднятий // *Отечественная геология*. № 4. 2013. С. 32–41.
8. *Коковкин А.А.* Модель экзогенного уранового рудогенеза в рифтогенах Монголии // *Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных элементов*. – М., 2000. № 142. С. 52–60.
9. *Коковкин А.А.* Новейшая структура Сихотэ-Алинского орогена: эволюционная модель // *Региональная геология и металлогения*. № 52. 2012. С. 39–48.
10. *Коковкин А.А.* Танлу-Курский и Тастахский разломы в окраинно-континентальной структуре Востока Азии: тектоника, сеймотектоника, взаимодействие с другими разломными системами // *Отечественная геология*. № 3. 2018. С. 43–54.

11. *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.
12. *Коковкин А.А., Горшков М.В.* О влиянии неоплейстоценоголоценовой тектоники и сейсмотектоники на поселения осиповской культуры начального неолита (на примере новейшей структуры Хабаровско-Хехцирской системы поднятий с поселениями Гончарка-1, Амур-2 и Осиповка-1, 2) // Вестник ДВО РАН. 2018. № 6 (202). С. 79–90.
13. *Милановский Е.Е.* Геология СССР. Ч. 3. Средиземноморский и Тихоокеанский подвижные пояса. – М.: Изд-во МГУ, 1991.
14. *Сейсмогеодинамика*, активные тектонические структуры и сейсмический процесс на востоке Азии / В.Г. Быков, В.А.Бормотов, А.А.Коковкин и др. // Изменение окружающей среды и климата, природные и связанные с ними техногенные катастрофы: в 8 томах. Сейсмические процессы и катастрофы. Т. 1. – М.: ИФЗ РАН, 2008. С. 44–65.
15. *Уломов В.И., Шумилина Л.С.* Комплект карт общесейсмического районирования территории СНГ. ОСР-97. Масштаб 1:8 000 000. Объяснительная записка. – М., 1999.
16. *Чиков Б.М.* Короткопериодные колебания в геологических процессах литосферы (обзор проблемы) // Литосфера. 2005. № 2. С. 3–20.
17. *Шевкомуд И.Я., Янишина О.В.* Начало неолита в Приамурье: поселение Гончарка-1. – СПб.: МАЭ РАН, 2012. Вклейка. ISBN-978-5-88431-190-9. <http://www.kunstkamera.ru/lib/rubrikator/05/978-5-88431-190-9/>.
18. *Ding Guoyu, Lu Yanchou.* A preliminary discussion of the status of recent intraplate motions in China. Kexue Tongbao. 1988. Vol. 33. № 1. P. 52–57.
19. *Karsakov L.P., Zhao Chunjing.* Tectonic Map of the central Asian – Pacific Belts Junction Areal. Scale 1:1 500 000. – Khabarovsk–Shenyang, 2001.
20. *Molnar P., Tapponnier P.* A possible dependence of tectonic strength on the age of the crust in Asia // Earth and Planetary Science Letters. 1981. Vol. 52. № 5. P. 107–114.
21. *Molnar P., Tapponnier P.* Cenozoic Tectonic of Asia: Effects of a continental collision // Science. 1975. Vol. 189. № 4201. P. 419–426.
22. www.wdcb.ru/sep/seismology/seismology.ru.html. Каталог землетрясений России по состоянию на 2013 г. Дата обращения 29.12.2016.
23. *Yu Wang, Hongzhou Chen* Tectonic controls of Pleistocene-Holocene Wudalianchi volcanic field (northeastern China) // Journal of Asian Earth Sciences. 2005. № 24. P. 419–431.

Журнал «Отечественная геология» принимает участие в геологических конференциях, совещаниях, съездах в качестве информационного партнёра, освещая на своих страницах важные события отрасли.

Приглашаем к сотрудничеству представителей геологических, горно-геологических, горнодобывающих организаций и предприятий, отраслевых научно-исследовательских, академических и образовательных институтов по вопросам размещения рекламы или издания целевого номера.

Макрокристаллы пикроильменита кимберлитовых трубок Хомпу-Майского кимберлитового поля (Центральная Якутия)

Н.А.ОПАРИН, О.Б.ОЛЕЙНИКОВ (Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук (ИГАБМ СО РАН); 677000, г. Якутск, проспект Ленина, д. 39)

Приведены результаты изучения макрокристаллов пикроильменита из кимберлитовых пород трубок Манчары и Апрельская (Хомпу-Майское кимберлитовое поле, Центральная Якутия). Среди макрокристаллов пикроильменита из кимберлитовой трубки Манчары выделены две разновидности – высоко- и низкохромистые, которые соответствуют различным парагенезисам. Высокохромистые ($\text{Cr}_2\text{O}_3 > 1\%$) макрокристаллы из кимберлитовой трубки Апрельская по содержанию хрома соответствуют таковым из трубки Манчары, однако являются более магниезиальными. В обеих трубках для макрокристаллов пикроильменита характерен магматический кимберлитовый тренд эволюции состава. Для трубки Манчары был установлен ещё и второй тренд кристаллизации, связанный с наличием высокохромистых флогопитов, которых нет в трубке Апрельская.

Ключевые слова: пикроильменит, макрокристаллы, кимберлитовая трубка, Хомпу-Майское поле, Центральная Якутия.

Опарин Николай Александрович



nik3256-1989@yandex.ru

Олейников Олег Борисович
кандидат геолого-минералогических наук

olei-oleg@yandex.ru

Picroilmenite macrocrystals from kimberlite pipes of the Khompu-May field (Central Yakutia)

N.A.OPARIN, O.B.OLEINIKOV (Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences)

The study results of picroilmenite macrocrystals from kimberlite rocks of the Manchary and Aprelskaya pipes (Khompu-May kimberlite field, Central Yakutia) are presented. Among the picroilmenite microcrystals from the Manchary kimberlite pipe, two types – high- and low-chromium, which correspond to different parageneses, were detected. High-chromium ($\text{Cr}_2\text{O}_3 > 1\%$) macrocrystals from the Aprelskaya kimberlite pipe correspond, in chromium content, to those of the Manchary pipe, however, it is more magnesian. In both pipes, picroilmenite macrocrystals are characterized by the presence of a magmatic kimberlite evolution trend. For the Manchary pipe, a second crystallization trend related to the presence of high-chromium phlogopites, which are not present in the Aprelskaya pipe, was also established.

Key words: picroilmenite, macrocrystals, microcrystals, kimberlite pipe, Khompu-May field, Central Yakutia.

Среднепалеозойское Хомпу-Майское кимберлитовое поле расположено в Центральной Якутии (рис. 1). В настоящее время в его пределах установлено 6 кимберлитовых трубок, первая из них трубка Манчары открыта в 2007 г. [2]. Породы верхних горизонтов трубок сильно изменены, поэтому только в отдельных блоках сохранились неизменные минералы или их реликты, благодаря которым возможно установить отдельные элементы петрогенезиса кимберлитовых пород. К настоящему времени в публикациях охарактеризованы общие петрографические особенности состава пород

этих тел [2, 7], и более детально – результаты изучения флогопита [6] и хромистой шпинели [5]. Настоящее исследование посвящено изучению макрокристаллов пикроильменита, диагностированных в аншлифах и в протолочных пробах наименее изменённых разновидностей кимберлитовых пород, слагающих наиболее крупные трубки Манчары и Апрельская, диаметры которых по геофизическим данным достигают 250 и 300 м в диаметре, соответственно. Так как оба тела перекрыты юрскими отложениями мощностью до 150 м, то они вскрыты скважинами на глубину до 100 м.

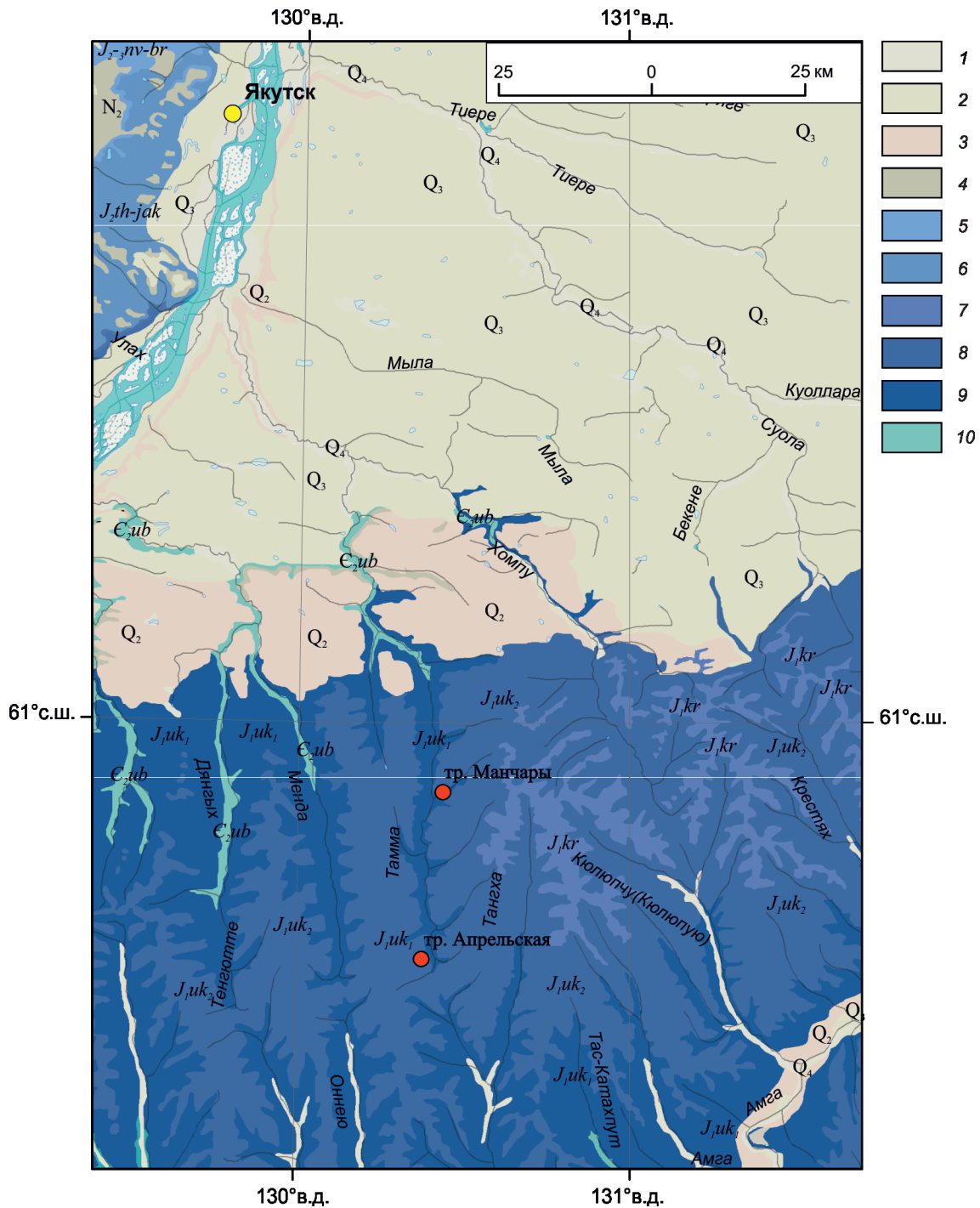


Рис. 1. Геологическая позиция трубок Центральной Якутии:

1 – голоцен, Q₄; 2 – плейстоцен, верхнее звено, Q₃; 3 – плейстоцен, среднее звено, Q₂; 4 – отложения неогена, N₂; 5–9 – юрские отложения: 5 – средний отдел – келовейский ярус, нижневилуйская свита, верхний отдел – кимериджский–волжский ярусы, берегеинская свита J₂₋₃nv-br, 6 – ааленский ярус, верхний подъярус–батский ярус, лохаинские слои (J₂lh) – якутская свита J₂jak, 7 – плинсбахский ярус, красноалданская свита, J₁kr, 8 – плинсбахский ярус, укугитская свита, верхняя подсвита, J₁uk₂, 9 – плинсбахский ярус, укугитская свита, нижняя подсвита, J₁uk₁; 10 – карбонатные отложения кембрия, E₂ub

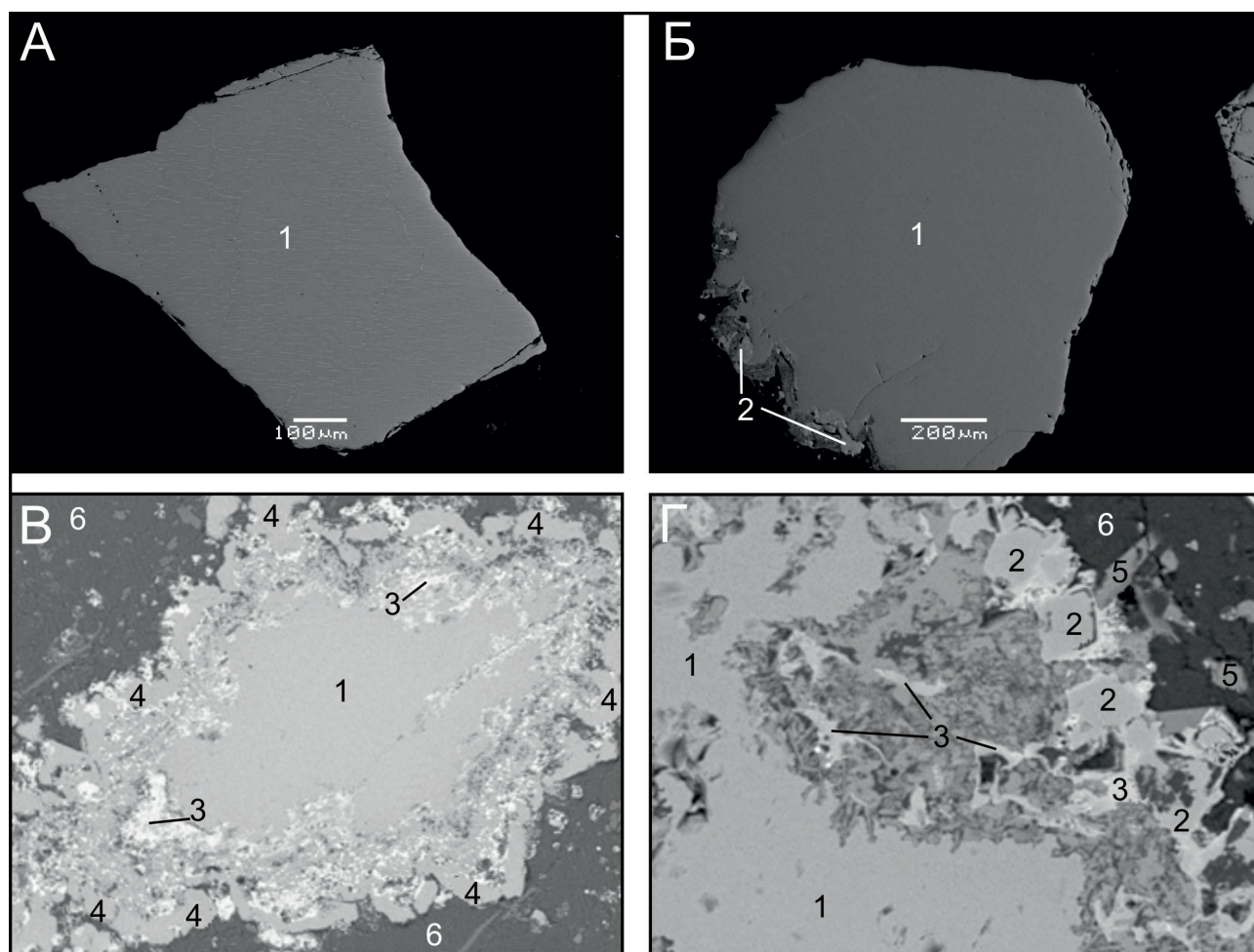


Рис. 2. Пикроильменит из кимберлитовых пород Хомпу-Майского поля:

А – неизменённый макрокристалл (тр. Апрельская); Б – макрокристалл округлой формы резорбированный по нижнему краю (тр. Манчары); В – резорбированный макрокристалл с внешней каймой из перовскита и магнетита (тр. Манчары); Г – край резорбированного макрокристалла с внешней каймой из феррошпинели (тр. Манчары); 1 – пикроильменит, 2 – феррошпинель, 3 – магнетит, 4 – перовскит, 5 – апатит, 6 – серпентин, SEI

Трубки сложены порфировым кимберлитом и кимберлитовой брекчией, между которыми существуют постепенные переходы. Верхние горизонты трубки интенсивно карбонатизированы на глубину около 30 м. Основными крупными компонентами кимберлитов обоих тел являются: ксенолиты осадочных пород, изменённых метаморфических пород и серпентинитов овальной и неправильной формы, иногда содержащие пироп и пикроильменит. Также присутствуют мега- (Манчары) и макрокристаллы флогопита, пироба, пикроильменита и хромшпинелида и псевдоморфозы серпентина по вкрапленникам оливина. Основная масса наименее изменённых кимберлитов сложена преимущественно мелкопластинчатым флогопитом, серпентинитом с ксеноморфными выделениями карбоната и с вы-

соким содержанием рудных минералов. Видовой набор первичных минералов мезостаза также однотипен и представлен: перовскитом, апатитом, минералами ряда магнетит-хромшпинелид, флогопитом, Ва-флогопитом, вторичными ильменитом и оксидом титана. Таким образом, петрографический состав кимберлитовых пород трубок в целом однотипен. Основные отличия заключаются в присутствии только в трубке Манчары мега- и макрокристаллов флогопита и в более масштабном проявлении постмагматической карбонатизации верхних горизонтов пород в трубке Апрельская.

Методика исследования. Макрокристаллы пикроильменита были отобраны из протолочных проб наименее изменённых кимберлитовых пород, затем заключены в шашки из эпоксидной смолы и отполированы

(трубка Апрельская – $n=300$ зёрен, трубка Манчары – $n=84$). Единичные макрокристаллы изучались в аншлифах. Исследование состава пикроильменита из прото-лочных проб проводилось по стандартной методике на микрозонде Camebax-micro. Пикроильменит и ассоциирующие с ним минералы в аншлифах пород изучались на сканирующем электронном микроскопе JSM6480LV с энергетическим спектрометром INCA-Energy 350 при напряжении на катоде 20 кВ и токе электронов 1 нА. При съёмке на обоих приборах использовались следующие стандарты для линий: Al K α – гранат O-145, Mg K α – гранат O-145, Mn K α – марганцевый гранат ИГЕМ, Ti K α и Fe K α – пикроильменит ГФ-55, Cr K α – хромит 531-M8.

Макрокристаллы пикроильменита в обеих трубках встречаются в виде зёрен неправильной (рис. 2, А) и округлой (см. рис. 2, Б) форм размером от 0,7 до 25 мм.

В трубке Манчары некоторые зёрна пикроильменита в аншлифах по краям резорбированы в результате замещения феррошпинелями, магнетитом и перовскитом, которые иногда образуют полиминеральную кайму (см. рис. 2, В). Эта кайма сложена либо феррошпинелями и магнетитом, либо перовскитом и магнетитом. В обоих случаях магнетит выполняет внутреннюю часть каймы, а феррошпинель и перовскит – внешнюю. Феррошпинели (FeO₁ до 56,68%, Cr₂O₃ до 9,51% и TiO₂ до 20,52%) представлены в виде дискретных зёрен округлой формы с элементами октаэдрической огранки размером от 10 до 50 мкм (см. рис. 2, Г). Магнетит (FeO₁ до 89,65%,

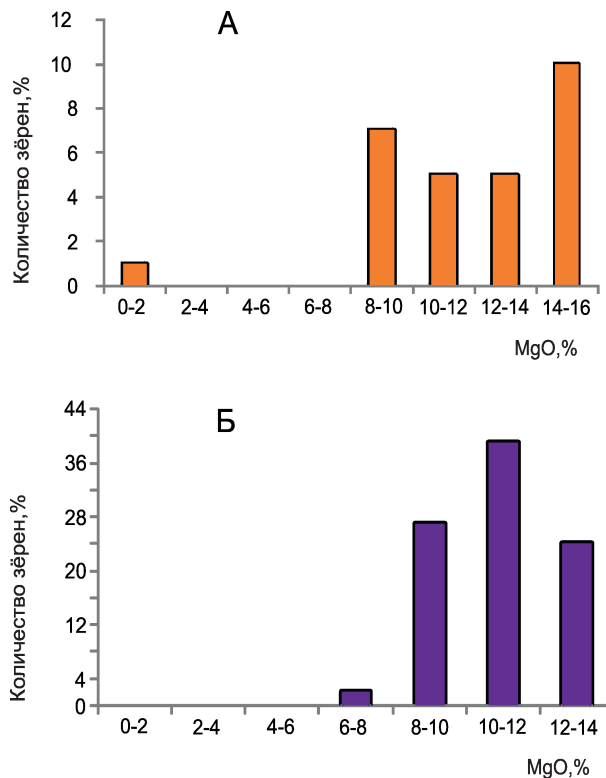


Рис. 3. Гистограммы распределения MgO в макрокристаллах пикроильменита из кимберлитовых пород трубок Апрельская (А) и Манчары (Б)

1. Представительные анализы минералов, ассоциирующих с макрокристаллами пикроильменита из трубки Манчары (в %)

Минералы	Оксиды									
	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO ₁	MgO	MnO	CaO	Na ₂ O	SrO	Сумма
Феррошпинель	20,52	2,51	5,81	47,71	19,94	0,36				96,85
	16,43	2,77	9,51	56,68	11,11					96,50
	15,73	4,95	3,63	54,61	18,57					97,49
Магнетит			0,87	88,37	3,59					92,83
	1,15			89,65	2,23	1,16				94,19
	1,48		0,44	86,03	3,32	0,58				91,85
Перовскит	59,31			2,19			39,02			100,52
	58,23			1,13			37,54		1,47	98,37
	57,38			3,05			38,35			98,78
	56,99			1,66			39,05	0,43		98,13

Примечание. Анализы выполнены в ИГАБМ СО РАН в отделе физико-химических методов анализа на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6480 LV (аналитик Н.В.Христофорова).

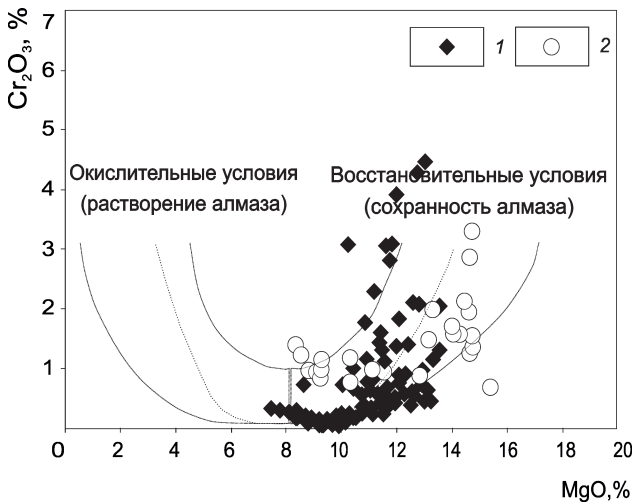


Рис. 4. Особенности эволюции составов макрокристаллов пикроильменита из кимберлитов на диаграмме $MgO-Cr_2O_3$ [8, 9]:

макрокристаллы пикроильменита из трубок: 1 – Манчары, 2 – Апрельская

MgO до 3,32% и TiO_2 до 1,48%) образует губчатые агрегаты (от 50 до 120 мкм). Некоторые зёрна феррошпинели и магнетита содержат MnO . Перовскит (CaO до 39,05%, TiO_2 до 59,31% и FeO до 3,05%) наблюдается в виде субизометричных ксеноморфных зёрен (см. рис. 2, В) размером от 20 до 80 мкм, часто образующих фрагментарную кайму шириной 50 мкм. В отдельных зёрнах перовскита отмечаются SrO и Na_2O . Образование этих минералов говорит о химической неравновесности ранее образованных макрокристаллов пикроильменита по отношению к кимберлитовой матрице [1]. Представительные анализы феррошпинелей, магнетита и перовскита показаны в табл. 1.

В трубке Апрельская подобных продуктов замещения пикроильменита не наблюдается, что связано, по-видимому, с более интенсивной карбонатизацией породы. По составу часть зёрен пикроильменита из трубки Апрельская является более магниезиальной (MgO от 8,28 до 15,36%) по отношению к макрокристаллам из трубки Манчары (MgO от 7,49 до 13,54%) (см. табл. 2 и рис. 3).

Распределение количества зёрен на гистограммах содержания MgO , построенных для минерала из кимберлитовых пород трубки Апрельская, имеет двумодальный характер. Максимальное количество зёрен содержит 8–10 и 14–16% оксида магния. Распределение количества зёрен пикроильменита из трубки Манчары отличается одномодальным характером, содержание меняется от 6 до 14%, а основной диапазон составов лежит в пределах от 8 до 14%. Зёрна, содержащие $MgO < 6\%$, в кимберлите трубки Манчары не диагностированы.

Химический состав минерала. Распределение точек состава минерала на диаграмме $MgO-Cr_2O_3$ имеет форму «параболы Хаггерти» [9] – типичную для пикроильменитов из кимберлитов, только с короткой левой частью (рис. 4). Для пикроильменита трубки Манчары условно можно выделить два тренда – низкохромистый (Cr_2O_3 от 0,02 до 1,50%) и высокохромистый (Cr_2O_3 от 0,54 до 4,47%), которые соответствуют, вероятно, разным парагенезисам. Между этими двумя трендами расположен тренд ильменита из трубки Апрельская (Cr_2O_3 от 0,67 до 3,27%). Распределение точек составов пикроильменита на диаграмме указывает на кристаллизацию минерала в восстановительных условиях [8], что согласуется с находками микрокристаллов алмаза в обеих трубках. В трубке Манчары был обнаружен один растворённый обломок октаэдрического кристалла алмаза I разновидности размером 0,7 мм [1]. Ещё три кристалла размерами 0,2, 0,6 и 0,7 мм были диагностированы в трубке Апрельская [4].

На тройной диаграмме $Fe_2O_3-FeTiO_3-MgTiO_3$, предложенной С.Е.Хаггерти и Р.Х.Митчеллом [9, 10], подавляющее большинство фигуративных точек состава пикроильменита из обеих трубок попадает в область кимберлитового магматического тренда раннего этапа эволюции кимберлитового расплава (рис. 5). Для трубки Манчары также можно выделить второй тренд (рис. 6), возможно связанный с наличием в трубке

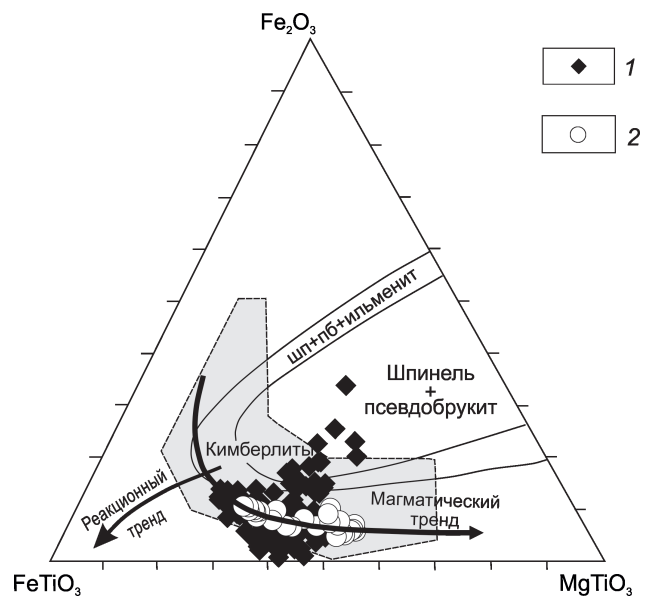


Рис. 5. Особенности эволюции составов макрокристаллов пикроильменита из кимберлитов в координатах $Fe_2O_3-FeTiO_3-MgTiO_3$ [9, 10]:

макрокристаллы пикроильменита из трубок: 1 – Манчары, 2 – Апрельская

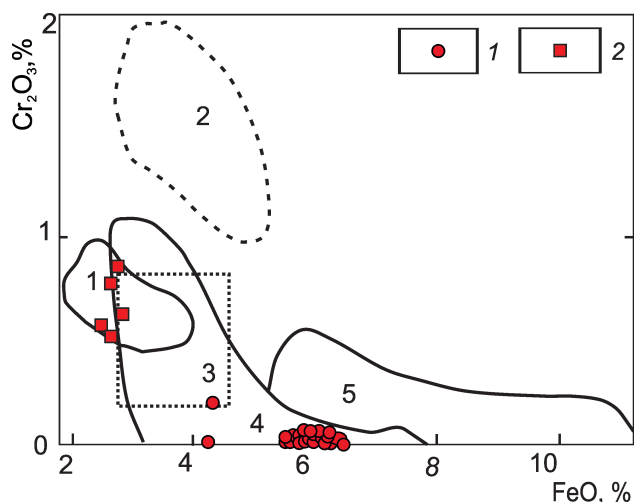


Рис. 6. Особенности распределения Cr_2O_3 -FeO в флогопитах кимберлитовых пород трубки Манчары [6]:

1 – низкохромистые флогопиты мегакристаллов; 2 – высокохромистые флогопиты мегакристаллов; цифрами показаны поля составов слюд: 1 – перидотиты, 2 – вторичные и 3 – метасоматические слюды, 4 – мегакристаллы, 5 – MARID («глиммериты»)

Манчары высокохромистых флогопитов из ксенолитов лерцолитов [6]. В кимберлитовых породах трубки Апрельская такие флогопиты не установлены.

Таким образом, исследования позволили выделить среди макрокристаллов пикроильменита из трубки Манчары высоко- и низкохромистые разновидности, образующие самостоятельные параболические тренды на диаграмме Хаггерти и, вероятно, соответствующие разным парагенезисам. Высокохромистые ($\text{Cr}_2\text{O}_3 > 1\%$) макрокристаллы из трубки Апрельская по содержанию хрома идентичны с пикроильменитом из трубки Манчары, но являются более магниезальными (см. табл. 2). Для макрокристаллов пикроильменита обоих тел установлено наличие магматического кимберлитового тренда эволюции минерала, а для трубки Манчары установлен ещё и второй тренд кристаллизации, который, возможно, связан с наличием в трубке Манчары высокохромистых флогопитов из ксенолитов лерцолитов, которые не установлены в трубке Апрельская. Таким образом, проведённое исследование пикроильменита из кимберлитовых пород Хомпу-Майского поля подтвердило, что пикроильменит полигенен, то есть, кроме индивидов собственно кимберлитового генезиса, в породе могут находиться зёрна этого минерала из ксенолитов глубинных пород [1].

Работа выполнена по плану государственного задания ИГАБМ СО РАН.

2. Представительные анализы макрокристаллов пикроильменита кимберлитовых пород трубок Хомпу-Майского поля (в %)

Анализ	Оксиды							Сумма
	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO _t	MgO	MnO	CaO	
Трубка Манчары								
1	48,39	1,03	2,25	37,92	11,18	0,17	0,01	100,95
2	49,02	0,18	0,29	43,86	7,49	0,13	0,00	100,97
3	57,68	0,25	0,54	31,24	11,93	0,06	0,03	101,74
4	53,12	0,24	0,02	37,35	9,34	0,10	0,02	100,19
5	51,36	1,50	4,47	30,59	13,01	0,10	0,03	101,05
6	52,54	1,08	2,04	30,78	13,54	0,25	0,03	100,26
Трубка Апрельская								
7	49,72	0,21	1,39	40,99	8,28	0,26	0,00	100,85
8	53,59	0,90	2,85	27,78	14,64	0,35	0,15	100,26
9	53,31	0,63	0,43	34,59	12,20	0,23	0,03	101,42
10	53,31	0,88	3,27	27,75	14,74	0,39	0,20	100,54
11	55,31	0,89	0,67	28,07	15,36	0,41	0,10	100,82

Примечание. 1–2 – перидотитовый и 3–11 – кимберлитовый тренды; анализы выполнены в ИГАБМ СО РАН в отделе физико-химических методов анализа на микрозонде Camebax-micro (аналитик Н.В.Христофорова).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алмазная «ласточка» Манчары / А.П.Смелов, О.Б.Олейников, А.Д.Павлушин, А.В.Толстов // Наука из первых рук. 2012. Т. 45. №3. С. 20–25.
2. Кимберлиты трубки Манчары: новое кимберлитовое поле центральной Якутии / А.П.Смелов, А.П.Андреев, З.А.Алтухова и др. // Геология и геофизика. 2010. № 1. С. 153–159.
3. Микрокристаллические оксиды из кимберлитов России / В.К.Гаранин, А.В.Бовкун, К.В.Гаранин и др. – М.: ГЕОС, 2009.
4. Молотков А.Е., Олейников О.Б. ИК спектроскопия первых находок алмаза, обнаруженных при обогащении кимберлита из кернов Хомпу-Майского поля / Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных, цветных металлов и алмазов. Сборник тезисов докладов VII научно-практической конференции. 2017. С. 40–41.
5. Опарин Н.А., Олейников О.Б. Хромшпинелиды из трубок Хомпу-Майского кимберлитового поля (Центральная Якутия) // Отечественная геология. № 5. 2018. С. 35–41.
6. Опарин Н.А., Олейников О.Б., Бабушкина С.А. Флогопит из трубок Манчары и Апрельская (Хомпу-Майское кимберлитовое поле, Центральная Якутия) // Отечественная геология. № 5. 2017. С. 37–44.
7. Особенности состава кимберлитовых пород трубок Дабан и Апрельская / Н.А.Опарин, В.М.Мишнин, А.П.Андреев и др. / Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. 2016. С. 247–250.
8. Типоморфизм индикаторных минералов кимберлитов из отложений урзугской свиты центральной части Зимнебережного алмазоносного района / В.В.Третьяченко, А.В.Бовкун, С.Л.Бортник и др. // Сборник публикаций по результатам III и IV ежегодных научных чтений им. Г.П.Кудрявцевой. – М., 2010. С. 198–218.
9. Haggerty S.E., Hardie R.B., McMahon B.M. The mineral chemistry of ilmenite nodule association from the Monastery diatreme // The mantle sample. A.G.U. – Washington, 1979. P. 249–256.
10. Mitchell R.H. Kimberlites Mineralogy, Geochemistry, and Petrology. – Thunder Bay, Ontario, Canada: Plenum Press. 1986.

Требования к оформлению рисунков

Рисунки и другие графические материалы (не более 8) представляются в цветном или черно-белом варианте в электронном виде. Размер оригиналов рисунков не должен превышать формата страницы журнала (170x237 мм). Каждый рисунок помещается в отдельный файл в одном из следующих форматов: графический редактор Corel Draw, JPEG, TIFF (только для фото), диаграмма Microsoft Excel. Графика должна быть 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.

Аметисты Терского берега из археологических раскопок в Великом Новгороде

А.В.ОКУЛОВ (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1),
И.Н.КУЗИНА (Институт археологии Российской академии наук (ИА РАН); 117292, г. Москва, ул. Дмитрия Ульянова, 19)

Рассмотрены результаты исследований друзы и отдельных кристаллов аметиста, найденных при археологических раскопках в Великом Новгороде в слоях древнерусского времени. На основании комплекса характеристик находка отнесена к типу телетермальных месторождений среди полимиктовых железистых песчаников. Отмечено, что ближайшей к месту находки территорией локализации месторождений и проявлений данного типа является район Терского берега Белого моря. Выполнено сравнение характеристик кристаллов аметиста и вмещающих пород с характеристиками аметистовой минерализации месторождения «Мыс Корабль» и других проявлений в районе Терского берега с использованием сведений из опубликованных и фондовых источников. По данным проведённых авторами лабораторно-аналитических исследований было установлено сходство размеров, формы и окраски кристаллов аметиста, установлена идентичность текстурно-структурных характеристик вмещающих железистых песчаников, их минерального состава, идентичность химического состава слагающих песчаники породообразующих минералов. Сделан вывод о происхождении новгородской друзы аметиста из района Терского берега.

Ключевые слова: аметист, друза, красноцветные песчаники, микрорентгеноспектральный анализ, лабораторно-аналитические исследования, Кольский полуостров, Терский берег, месторождение «Мыс Корабль», Великий Новгород.

Окулов Алексей Вячеславович
кандидат геолого-минералогических наук



okulovav@mail.ru

Кузина Инна Николаевна

kuzina.i@gmail.com

Tersky coast amethysts from archeological excavations in Veliky Novgorod

A.V.OKULOV (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals),
I.N.KUZINA (Institute of Archeology, Russian Academy of Sciences)

Study results of druse and individual amethyst crystals found in Novgorod archeological excavations in old Russian layers are considered. Based on multiple characteristics, the discovery is attributed to telethermal deposit type among polymictic carstones. It is noted that the White Sea Tersky coast is the most proximate area of these deposits and occurrences localization from the discovery. Characteristics of amethyst crystals and host rocks are compared with those of Mys Korabl (Ship Cape) deposit amethyst mineralization and other occurrences within Tersky coast area using the data from published and collected sources. Based on the authors' laboratory and analytical study data, similarity of amethyst crystal size, habit and color was found as well as the identity of textural-structural characteristics of host carstones, their mineral composition and chemical composition of rock-forming sandstone minerals. The origin of Novgorod amethyst druse from Tersky coast area is concluded.

Key words: amethyst, druse, redbed sandstones, electron-probe microanalysis, laboratory and analytical studies, Kola peninsula, Tersky coast, Mys Korabl deposit, Veliky Novgorod.

Археологические находки обработанных ювелирных камней (и изделий с ними) в древнерусских городах – вещь достаточно редкая. К категории относительно нечастых археологических находок также относятся и необработанные ювелирные камни, представляющие собой сырьё или отходы ювелирного ремесла. Отдельное исключение составляют изделия из горного хрусталя, сердолика и ряда других минералов, находки необработанного янтаря и изделий из него [7, 9, 19]. Среди находок необработанных камней известны и аметисты. По опубликованным данным, они зафиксированы в Москве, Твери, Великом Новгороде и на Селитренном городище [2, 13, 18]. Настоящая работа посвящена аметистам, найденным при археологических раскопках на территории Ярослава Дворища в Великом Новгороде.

Происхождение находки. Территория древнего Новгорода делится на две основные части – Софийскую сторону (левый берег р. Волхов) с кремлём и Софий-

ским собором и Торговую (правый берег р. Волхов), где находился главный новгородский торг. Торговля являлась одним из основных занятий жителей города, связанного удобными путями с государствами Европы, странами Востока и Русского Севера. Ярославово Дворище – историческая часть Новгорода – расположено на его Торговой стороне. Своё название это место получило по находившемуся здесь когда-то двору князя Ярослава Владимировича (Ярослава Мудрого). На территории Дворища находится один из древнейших новгородских храмов, построенный в начале XII в., – Никольский собор.

В 1938 г. при проведении археологических раскопок на Ярославовом Дворище в раскопе № 4, разбитом примерно в 10 м от Никольского собора, были обнаружены друза аметиста и несколько отдельных кристаллов. Примечательно, что из того же слоя происходили фрагменты светлой слюды – мусковита, широко использовавшегося

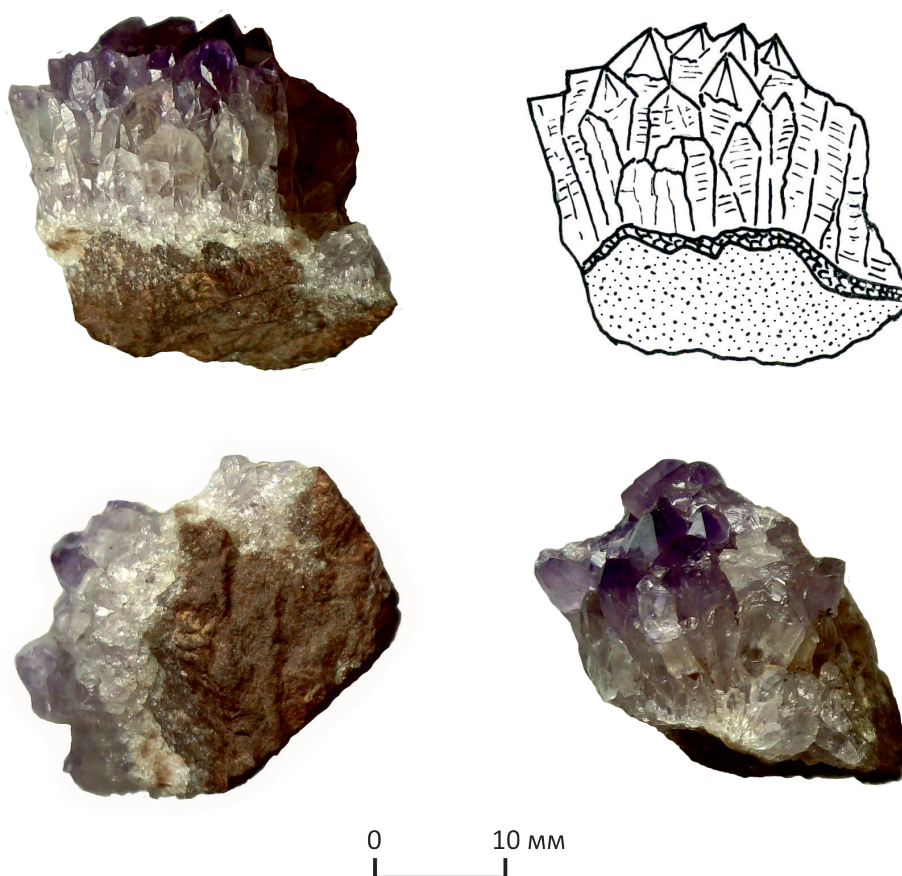


Рис. 1. Друза аметиста (фотографии и рисунок) на основании из плотного красновато-коричневого песчаника. Обнаружена в 1938 г. при археологических раскопках в Великом Новгороде; государственный исторический музей:

в основании кристаллов – прослойка мелкокристаллического бесцветного кварца

в позднем Средневековье вместо оконного стекла [2]. К сожалению, точно датировать находку не удаётся. Согласно современным данным, она происходит из слоя, датированного в широких рамках XV–XVII вв. [16].

Характеристика аметистов, обнаруженных при раскопках в Великом Новгороде. Находки представляют собой друзы и несколько отдельных кристаллов, найденных вблизи неё. Друза имеет относительно небольшие размеры (в мм): высота – 28, ширина – 27, толщина – 20 (рис. 1). Длина наиболее крупных кристаллов по главной оси составляет 16–18 мм. Кристаллы расширяются от основания к вершине, имеют субпризматический облик. Грани «призмы» покрыты характерной поперечной индукционной штриховкой. Наиболее чётко сформированы шестигранные пирамидальные вершины кристаллов, имеющие ровную гладкую и блестящую поверхность (грани ромбоэдров r и z). Высота вершин достигает 4–5 мм. При этом часть вершин имеет сколы. В основании кристаллов локализована маломощная (до 2 мм) прослойка мелкокристаллического бесцветного кварца. Кристаллы в основании бледно-сиреневые, по направлению к вершинам окраска становится более насыщенной, привершинные части и вершины имеют яркую фиолетовую окраску (рис. 2). Отдельные кристаллы, найденные рядом с друзой, имеют размеры по длинной оси 10–12 мм и характеризуются теми же особенностями, что и описанные выше.

Основанием друзы служит плотная красновато-коричневая порода массивной текстуры, мелко- и тонкозернистой структуры, которая макроскопически определяется как красноцветный песчаник. Явных следов обработки не наблюдается. Друза хранится в Государственном историческом музее в Москве.

Возможные источники новгородских аметистов. Как известно, аметист – это фиолетовая разновидность кварца, имеющая цветовые оттенки от голубоватого до пурпурного. Аметист относится к категории драгоценных камней. По химическому составу этот минерал является диоксидом кремния – SiO_2 с постоянной примесью Fe^{3+} . Из примесей встречаются Al, Li, K, Ca, Mg, Cr, Mn, Ti, Cu и другие элементы. Элементом-хромофором аметиста считается Fe^{3+} , при этом интенсивность окраски аметиста зависит от концентрации последнего. Минерал обычно встречается в друзовых

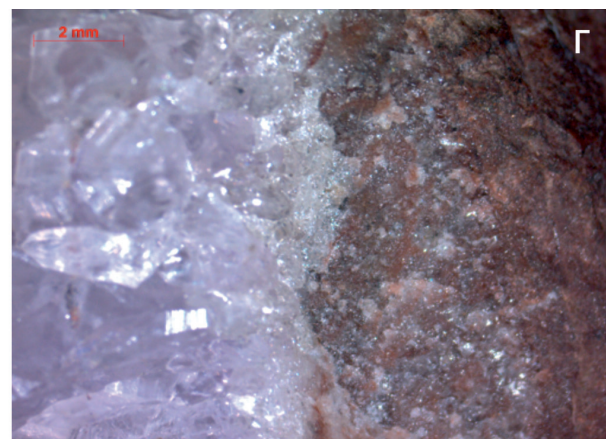
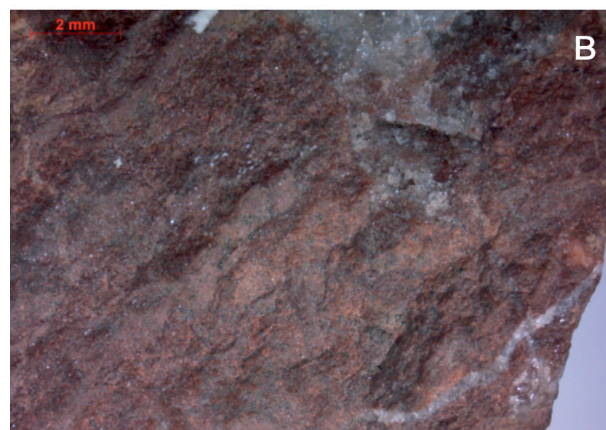


Рис. 2. Детали строения новгородской друзы:

сгущение окраски к вершинам кристаллов (А), хорошо сформированные вершины кристаллов и обломанные вершины (Б), красноцветный мелкозернистый песчаник из основания друзы (В), нарастание кристаллов аметиста на окварцованный песчаник, в основании кристаллов прослойка мелкокристаллического бесцветного кварца (Г)

полостях, где выполняет пустоты различной формы или стенки минерализованных трещин, образуя щётки кристаллов, часто заполняет жёоды. Характерны призматические, короткопризматические, а также скипетровидные кристаллы, образовавшиеся за счёт нарастания аметиста на более ранний горный хрусталь. У кристаллов хорошо развиты грани призмы и грани ромбоэдра [10, 12, 17]. У тесно сросшихся кристаллов из жёод и друзовых полостей грани призмы обычно угнетены, в результате чего кристаллы имеют субпризматический или искажённый облик. Как правило, всегда характерно наличие хорошо развитых шестигранных пирамидальных вершин.

В целом формирование большей части месторождений и проявлений аметиста связано с гидротермаль-

ными постмагматическими процессами. Для хрусталеносных жил с аметистом связь с гидротермальными процессами постмагматического характера выражена недостаточно отчётливо, поэтому их генезис является предметом дискуссий. Одними исследователями он трактовался как гидротермально-метаморфогенный, другими – как гидротермально-плутоногенный [3, 20]. Часть месторождений связана с процессами образования пегматитов. Месторождения так называемого телетермального типа не связаны с интрузивными комплексами, однако считается, что их образование обусловлено поступлением гидротермальных растворов из глубоких магматических очагов [10].

Следует также упомянуть, что аметистовая минерализация может формироваться и вне связи с перечис-

1. Геолого-генетическая классификация месторождений аметиста. По данным [10, 14], с уточнениями

Морфолого-генетические типы месторождений	Характеристика продуктивных образований, сопутствующие минералы	Месторождения, перспективные районы/промышленное значение
I. Гранитные пегматиты		
1. Хрусталеносные гнёзда с аметистом в камерных дифференцированных пегматитах	Хрусталеносные полости и гнёзда с микроклином, альбитом, олигоклазом, биотитом, минералами группы кварца (реже – топазом, литиевыми слюдами); аметист нарастает на кристаллы мориона и дымчатого кварца	Штат Монтана (США), Майдантал (Узбекистан), Южно-Канские проявления (Красноярский край)/ <i>мелкие месторождения, источники россыпей аметиста</i>
2. Миароловые пустоты и гнёзда в жильных микроклиновых слабодифференцированных пегматитах с убогой редкометалльной минерализацией	Трещины и занорыши с аметистом, полевым шпатом, кварцем, турмалином (шерлом), лепидотитом, топазом, реже – с минералами редких земель и танталониобатами	о. Мадагаскар, месторождения Адуйского массива (Читинская обл.)/ <i>мелкие месторождения драгоценных камней</i>
II. Гидротермальные		
1. Аметистоносные штокверки, зоны жильных брекчий (так называемые телетермальные, без отчётливой связи с магматизмом):		
а) среди полимиктовых железистых песчаников; кварцитов	Жилы, прожилки, штокверки и брекчии с флюоритом, кальцитом, баритом, кварцем и аметистом	Мыс Корабль, проявления Терского берега, (Мурманская обл.); месторождения Бреженьо, Жакобина (Бразилия)/ <i>месторождения подлочного аметиста с запасами в тыс. дм² аметистовых щёток; месторождения оградного аметиста</i>
б) среди глинистых сланцев, диабазов	Брекчированные породы с прожилками, жёодами и полостями с аметистом, дымчатым кварцем и гётитом в лимонитизированных породах	Волк-остров, Ваз-остров (Республика Карелия)/ <i>мелкие месторождения подлочного аметиста с низким качеством сырья; отдельные кристаллы, пригодные для огранки</i>

Окончание таблицы 1

Морфолого-генетические типы месторождений	Характеристика продуктивных образований, сопутствующие минералы	Месторождения, перспективные районы/ <i>промышленное значение</i>
2. Кварц-аметистовые жилы и минерализованные трещины в зонах тектонических трещин:		
а) среди биотитовых гранитов, магнетитсодержащих плагиогранитов	Жилы и «столбы» (на пересечении различно ориентированных трещин) с кварцем, горным хрусталём, аметистом, карбонатами (редко – анальцимом, пиритом, лимонитом)	Мурзински копи, Ватиха, Каменный Ров, Волчья ямы, Тальян (Средний Урал), Чуксинское, Акмуллинское, Кочкарское (Южный Урал); Сельбур (<i>Таджикистан</i>)/месторождения с запасами в десятки–сотни килограммов <i>ограниченного сырья</i>
б) в зоне тектонизированных контактов гранитоидов и гнейсов, обогащённых гематитом	Кварц-аметистовые жилы в гематитизированных породах	Мвакомбико (Зимбабве)/ <i>крупнейшие месторождения ограниченного камня с запасами в сотни тысяч килограммов сырья</i>
в) среди метаморфических сланцев в связи с хрусталеносными кварцевыми жилами	Кварцевые жилы и гнёзда с горным хрусталём, дымчатым кварцем, аметистом, кальцитом, гематитом, анкеритом, сидеритом	Хасаварка (Приполярный Урал), Монтесума, Гроту-де-Кошо (Бразилия) Джанги-Джол, (Узбекистан)/ <i>попутное сырьё при обработке хрусталеносных гнёзд</i>
г) среди гранат-пироксеновых и рудных скарнов	Друзы кварца и аметиста на магнетите, полости с аметистом в кварцевых жилах в железорудных скарнах, полости с аметистом в ассоциации с эпидотом, актинолитом и гранатом в магнетит-гранатовых скарнах	Дашкесан (Азербайджан), Ангаро-Илимские месторождения, проявления Средней Азии, Траварселла (Италия)/ <i>попутное сырьё на железорудных месторождениях</i>
3. Аметистоносные газовые полости в пузыристых и миндалекаменных базальтах	Миндалины, полости с аметистом, горным хрусталём, агатом, халцедоном, цеолитами, кальцитом	Рио-Гранде-до-Сул (Бразилия), Идароберштайн (ФРГ), Сибирская платформа, Северный Тимман/ <i>крупнейшие месторождения агата и аметиста, перспективные районы</i>
III. Экзогенные		
1. Полости растворения и минерализованные трещины с аметистом в линейных корях выветривания и зонах гипергенеза на железорудных и полиметаллических месторождениях	Трещины и пустоты выщелачивания с глинистыми минералами, халцедоном, агатом, гематитом, гётитом, лимонитом	Кургашинокан (Узбекистан), Яковлевское (Курская магнитная аномалия), Кальмиус (Украина), Средняя Азия и др./ <i>возможные источники попутного сырья на железорудных и полиметаллических месторождениях</i>
2. Кварцевые аметистсодержащие россыпи:		
а) аллювиальные	Аллювиальные отложения с окатанными минералами; аметист часто встречается с другими драгоценными камнями – рубином, цирконом, топазом, турмалином, цитрином и др.	Минас-Жерай (Бразилия), Шри-Ланка, Санарка (Южный Урал)/ <i>месторождения с запасами аметиста в несколько тонн сырья</i>
б) элювиальные	Соответствуют коренному источнику	Хасаварка (Приполярный Урал), Лог Аметистовый (Оренбургская область)/ <i>мелкие месторождения, масштабы неизвестны</i>

ленными выше процессами. Как известно, аметист и кварц нередко выполняют стенки жеод и друзовых полостей в известняках, образуясь в результате циркуляции и последующей кристаллизации Si-содержащих растворов в пустотах карбонатных отложений. Одно из таких проявлений известно на территории современной Новгородской области в окрестностях города Боровичи [21]. Однако такой аметист образует лишь мелкие кристаллы и не формирует значительных скоплений, поэтому представляет только минералогический интерес.

Учитывая условия генезиса аметиста, данные о геологическом строении Новгородской области и сопредельных территорий, где не проявлены описанные выше магматические, постмагматические и метаморфические процессы, можно сделать вывод о явно привозном характере описываемой находки. Прежде чем найти ответ на вопрос о территориальном происхождении друзы, попытаемся определить происхождение генетическое. В опубликованных источниках имеется несколько генетических классификаций месторождений аметиста [10, 14, 15]. Наибольшую детальность по геологическим обстановкам формирования имеют классификации Е.Я.Киевленко [10] и Е.П.Куценко [14]. Этими авторами выделяется три главных морфолого-генетических типа месторождений (табл. 1):

- 1) в гранитных пегматитах;
- 2) гидротермальные;
- 3) экзогенные.

На генетический источник минералов в ряде случаев могут указывать данные об их химическом составе (основные минералообразующие элементы, элементы-примеси). Как говорилось выше, аметист из различных типов месторождений обладает в целом идентичным химическим составом – диоксид кремния SiO_2 с основной примесью в виде Fe^{3+} и второстепенными менее значительными примесями ряда других элементов. При этом концентрации Fe^{3+} могут иметь вариации не только на одном месторождении, но даже в пределах одного кристалла – как известно, интенсивность окраски аметиста зависит от концентрации этого иона. Характерно, что окраска часто становится более насыщенной от основания кристалла к его вершине, что связано с увеличением содержания примеси Fe^{3+} .

Что касается других элементов-примесей, то концентрации большинства из них существенно ниже, чем концентрации Fe^{3+} , и составляют обычно сотые и тысячные доли процента. Вопрос о характерности тех или иных элементов-примесей и(или) их концентраций для различных типов месторождений по имеющимся у авторов данным специальным образом не изучался. В некоторых публикациях приводятся данные об элементах-примесях в аметистах отдельных месторождений [4].

В итоге данные о химическом составе пока не могут быть использованы для решения поставленной задачи.

К другим признакам, характеризующим непосредственно сам аметист, относятся размер и морфология кристаллов, скульптура граней, характер окраски и её распределения. Эти признаки, конечно, могут иметь определённые особенности как на отдельных месторождениях, так и на генетических типах месторождений. Однако, те характеристики, которыми обладают описываемые находки, не являются уникальными и в целом характерны для аметиста из друзовых полостей.

Важное значение при определении источника имеют данные о сопутствующих минералах (см. табл. 1), однако таковые не были установлены при изучении описываемой находки. Параметры газовой-жидкой включений не изучались, поскольку этот метод является разрушающим. Таким образом, для решения поставленной задачи авторы опирались на состав вмещающих пород, который в целом существенно отличается на объектах различных генетических типов (см. табл. 1).

Так как экзогенные месторождения являются производными от других ранее образованных, то в данном случае их можно не учитывать при определении источника. Месторождения в гранитных пегматитах имеют достаточно специфический характер вмещающих пород (см. табл. 1), поэтому явно не могут служить источником находки. Среди месторождений гидротермального типа наиболее вероятным источником друзы авторы рассматривают подтип так называемых *телетермальных месторождений среди полимиктовых железистых песчаников*, где продуктивная минерализация представлена аметистоносными штокверками и зонами жильных брекчий. Месторождения остальных подтипов локализованы в породах существенно иного состава – гранитоидах, гнейсах, скарнах, базальтах, глинистых сланцах, диабазе и др.

Ближайшей к Новгороду областью, где проявлены месторождения аметиста в железистых песчаниках, является Терский берег Белого моря, на юге Кольского полуострова (рис. 3). Здесь вдоль берега в полосе протяжённостью более 150 км известно около 30 проявлений кварц-аметистовой минерализации и одно месторождение аметиста – «Мыс Корабль» (К.Ф.Гурьянов, 1971). На большей части этих объектов аметистовая минерализация локализована в тектонизированных красноцветных песчаниках терской свиты и связана с зонами брекчирования и жильно-прожилкового окварцевания (К.Ф.Гурьянов, 1971).

Отложения терской свиты залегают с угловым несогласием на архейских образованиях. Возраст отложений свиты определяется как средний рифей или же, по другим данным, как средний–поздний рифей. Отложения свиты представлены терригенными породами – конгломератами (в основании свиты), песчаниками, алевролитами, аргиллитами. Песчаники по составу аркозовые

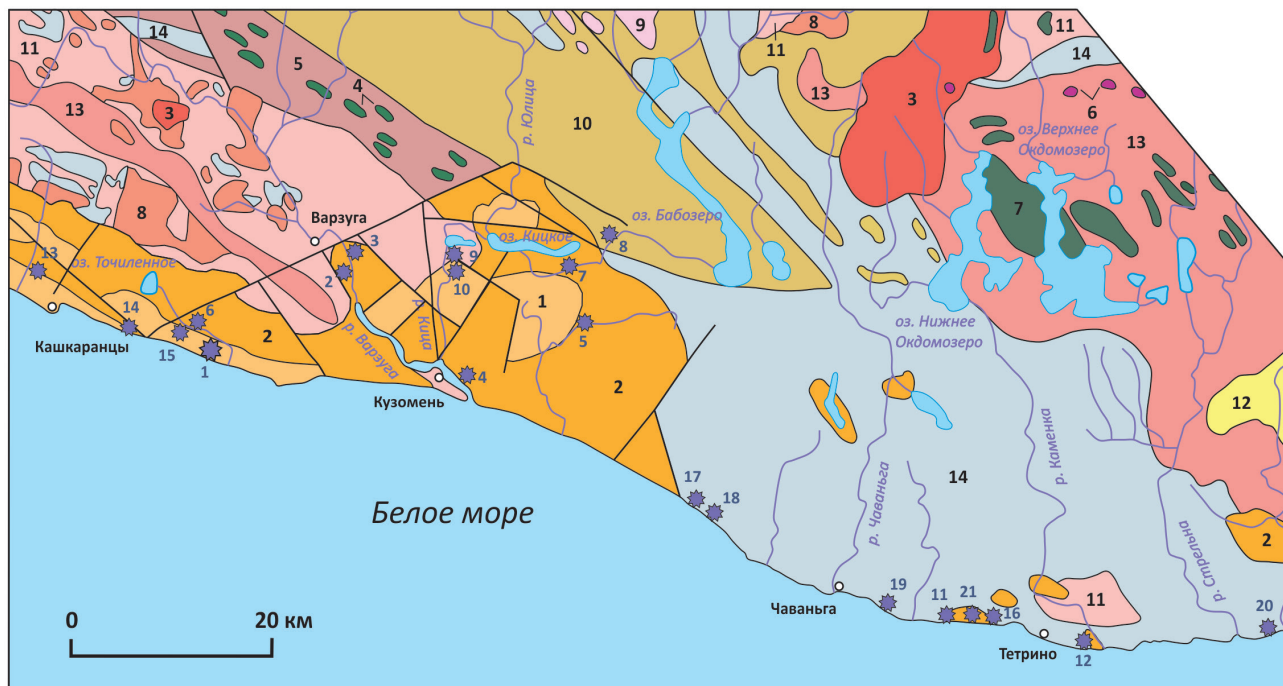


Рис. 3. Схематическая геологическая карта района Терского берега Белого моря с основными проявлениями и месторождением аметиста (геологическая карта Кольского региона, фрагмент, Апатиты, 2001):

средний рифей: 1 – полимиктовые песчаники, алевролиты, аргиллиты, 2 – полимиктовые конгломераты, элювиальные брекчии, красноцветные аркозовые песчаники; *нижний (ранний) протерозой (Калевий)*: 3 – лейкограниты, 4 – габбро-диабазы, габбро-амфиболиты; *Людиковий*: 5 – риолиты, дацитовые, андезит-дацитовые порфиры, туфы, туфобрекчии, метаосадки, 6 – перидотиты, пироксениты; *Сумий*: 7 – перидотиты, пироксениты, габбронориты; *верхний (поздний) архей (Лопий)*: 8 – лейкограниты, гранодиориты, 9 – кислые, средние метавулканиды, 10 – слюдяные, гранат-слюдяные парагнейсы и сланцы, конгломераты, кварциты, 11 – гранодиориты, тоналиты, плагиограниты; *Кольско-беломорский нестратифицированный комплекс*: 12 – слюдяные, гранат-слюдяные гнейсы с кианитом и(или) силлиманитом, 13 – гнейсы, амфиболиты, кальцифилиты; *комплекс основания*: 14 – биотитовые, амфибол- и пироксен-биотитовые гнейсы, мигматиты, тоналито-гнейсы, гранодиорито-гнейсы, амфиболиты, 15 – геологические границы (а), тектонические нарушения – сдвиги (б); 16 – месторождение аметиста (а), проявления аметиста(б); месторождения и проявления аметиста: 1 – «Мыс Корабль», 2 – Хутор Яма, 3 – Морской Порог, 4 – Устье, 5 – Индера, 6 – Средне-Лодочное, 7 – Леваны, 8 – Падун, 9 – Порог Кривец, 10 – Порог Рахман, 11 – Шубино, 12 – Каменка, 13 – Кашкаранское, 14 – Малое Точильно, 15 – Умбский Невод, 16 – Тетрино, 17 – Крутая Гора, 18 – Китовское, 19 – Ромбач, 20 – Югина, 21 – Валдай (по К.Ф.Гурьянову, 1973);

полимиктовые, с железистым цементом, от тонкозернистых до гравелитистых, красновато-коричневые, с хорошо выраженной косой или горизонтальной слоистостью [6].

Аметистовая минерализация на описываемой территории контролируется разрывными нарушениями северо-западного, субширотного простирания, а также

узлами их пересечения с субмеридиональными и северо-восточными разломами. При этом наиболее активный рост кристаллов происходил именно в узлах пересечений разрывных нарушений различной ориентировки [22].

На Терском берегу аметистовая минерализация наиболее интенсивно проявлена на месторождении

«Мыс Корабль». Описание геологического строения и минералогии месторождения подробно изложено не только в фондовой, но и в опубликованной литературе, поэтому остановимся лишь на основных характеристиках данного объекта. По опубликованным данным, на месторождении выделяется семь минерализованных зон, расположенных вдоль побережья Белого моря. Центральные части зон сложены интенсивно брекчированными и окварцованными породами, среди которых имеется большое количество пустот и трещин, выполненных щётками и друзами кварца и аметиста с баритом (рис. 4). В промежуточной части сеть трещин более разреженная, здесь наблюдаются жильный кварц, флюорит и мелкие аметистовые щётки. В крайних частях отмечаются трещины, выполненные жильным флюоритом [22]. Размеры кристаллов аметиста в щётках и друзах составляют от первых мм до 10 мм, редко достигают 1,5 см и, как исключение, до 4 см (К.Ф.Гурьянов, 1971).

Как упоминалось выше, основанием новгородской друзы служит красновато-коричневый мелко-, тонкозернистый песчаник. Эта порода по всем установ-

ленным макроскопическим характеристикам сходна с красноцветными песчаниками терской свиты, вмещающими аметистовую минерализацию в районе Терского берега (табл. 2, рис. 5). В связи с этим авторы предположили происхождение новгородской друзы из этого района. Для проверки данного предположения проведены микроскопические исследования вмещающих пород в полированных шлифах (см. рис. 5).

Изначально предполагалось, что так же будут проведены исследования в прозрачных шлифах. Однако образец, отобранный из новгородской находки, имеет очень незначительные размеры; отбор большего образца потребовал бы существенного разрушения друзы. По этой причине минеральный состав песчаников уточнялся по данным микрорентгеноспектрального анализа. По полученным данным, главными породообразующими минералами в обоих случаях являются кварц, кали-натровый полевой шпат, плагиоклаз (альбит), а также гематит и светлая слюда (мусковит). Процентное соотношение минералов и их химический состав идентичны – в обоих случаях в кали-натровом полевоом шпате резко преобладает калиевый минал,

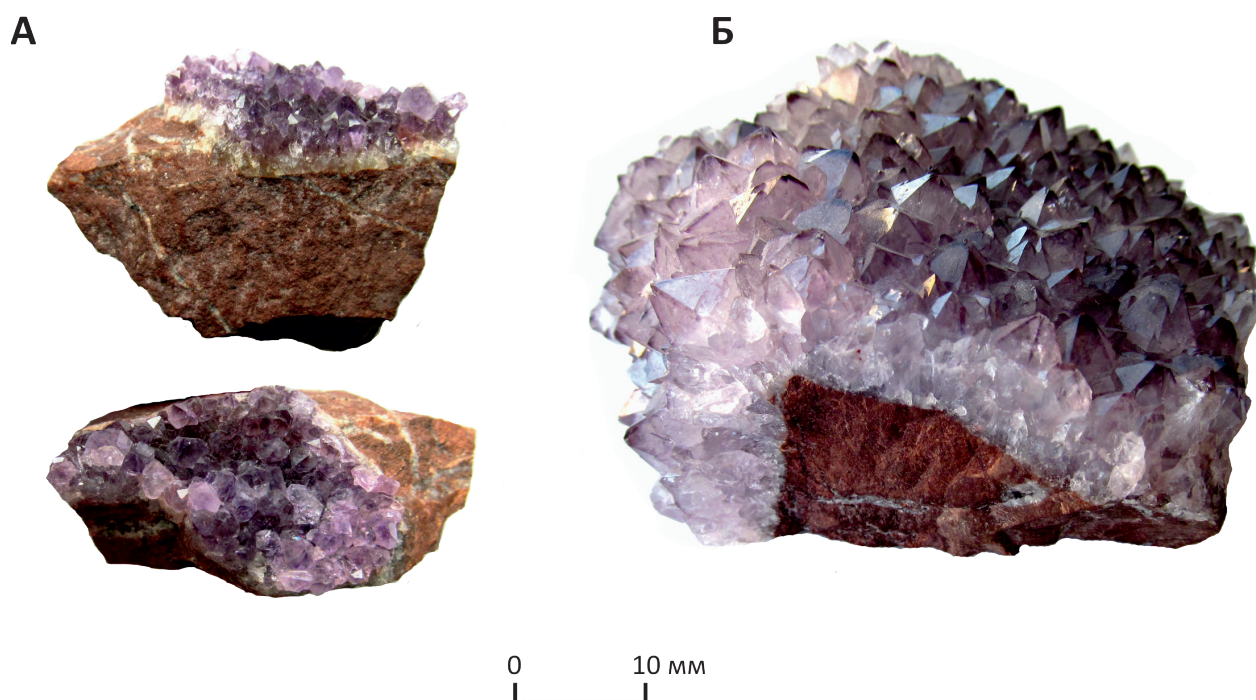


Рис. 4. Друзы кристаллов аметиста на красноцветных песчаниках терской свиты. Месторождение «Мыс Корабль»

в плагиоклазе – альбитовый (№№ 0–7), а в светлой слюде – мусковитовый. Гематит в обоих случаях содержит заметные примеси Ti, менее значительные примеси Cr, V и ряда других элементов; концентрации элементов-примесей находятся в сопоставимых диапазонах (табл. 3). Химический состав полевых шпатов отражён на трёхкомпонентных диаграммах (рис. 6).

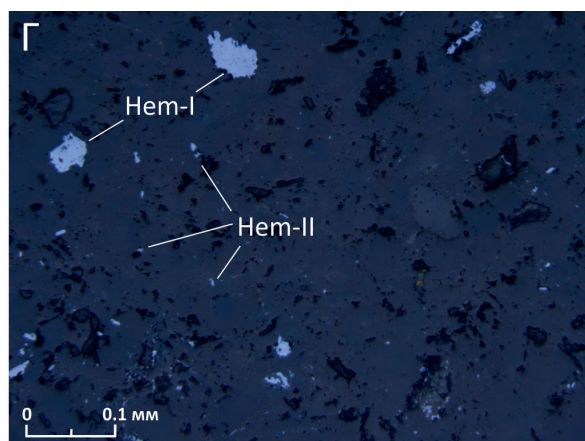
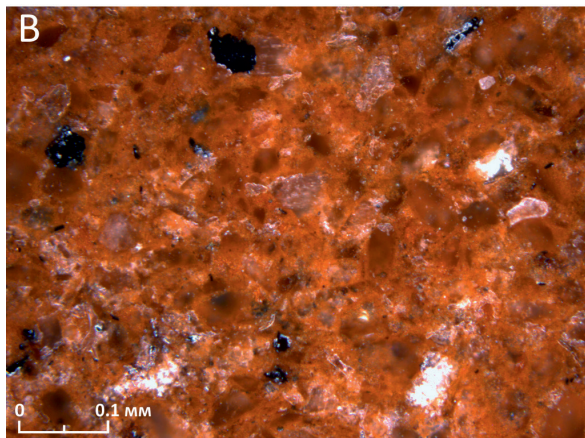
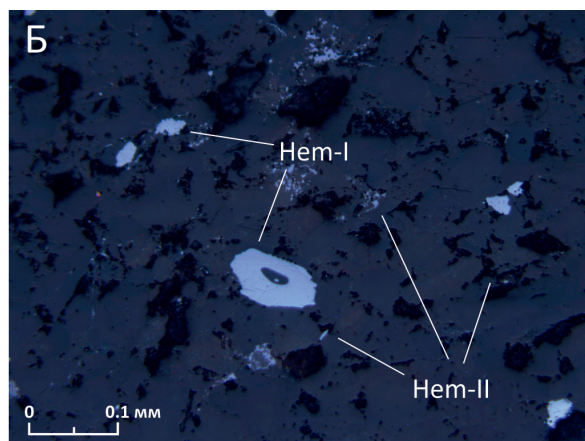
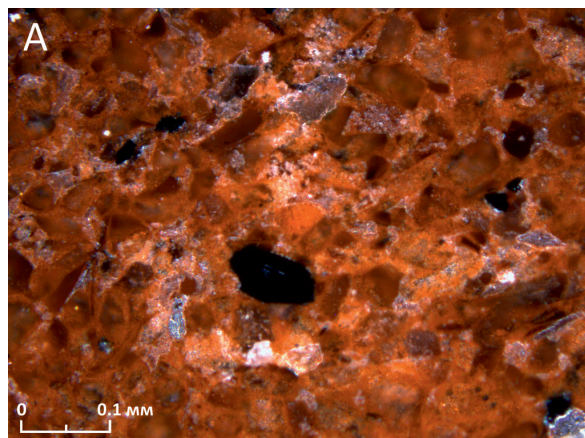
Как видно из сравнения макро- и микроскопических характеристик, песчаник терской свиты и песчаник друзы в целом идентичны – совпадают размерность и форма зёрен, степень их окатанности, набор породообразующих минералов, их количественное соотношение, химический состав и морфологические особенности, состав цемента, окраска пород, их микротекстурные и микроструктурные характеристики. Некоторые различия отмечаются в размерности зёрен и текстурных особенностях пород. Различия в размерности зёрен объясняются наличием постепенных переходов в породах терской свиты от мелкозернистых песчаников к алевролитам (см. табл. 3). Наличие среди терских песчаников слоистых текстур, которые не отмечаются в образце из Новгорода, объясняются небольшим размером последнего. Суммируя всё вышесказанное, можно сделать вывод о том, что новгородская друза образовалась на территории Терского берега.

Что касается конкретного источника, то по размерам кристаллов в этом качестве наиболее близки проявления Шубино, Каменка и само месторождение «Мыс Корабль». На остальных проявлениях, по данным фондовых источников, размеры кристаллов обычно не превышают 5–6 мм (К.Ф.Гурьянов, 1971). Окраска аметиста здесь весьма разнообразная – от бледно-сиреневой, голубовато-фиолетовой до красновато- и пурпурно-фиолетовой. При этом, как правило, наблюдается усиление окраски по направлению к вершинам. Важно отметить, что для месторождения «Мыс Корабль» характерно нарастание аметиста на ранний мелкокристаллический кварц [22]. Такие же особенности отмечены для новгородской друзы.

К вопросу о поступлении терского аметиста в Новгород. По-видимому, первое геологическое описание Терского берега сделал горный инженер Н.В.Широкшин в 1835 г. Он описал красноцветные терские песчаники как «железистый зернистый кварц», указав,

Рис. 5. Красноцветный песчаник терской свиты из основания друзы аметиста (месторождение аметиста «Мыс Корабль») (А, Б) и красноцветный песчаник из основания друзы аметиста из раскопок в Великом Новгороде (В, Г) под микроскопом:

гематит образует выделения двух морфологических типов (Hem-I и Hem-II); полированные шлифы; обычное освещение (А, В); отражённый свет при || николях (Б, Г)



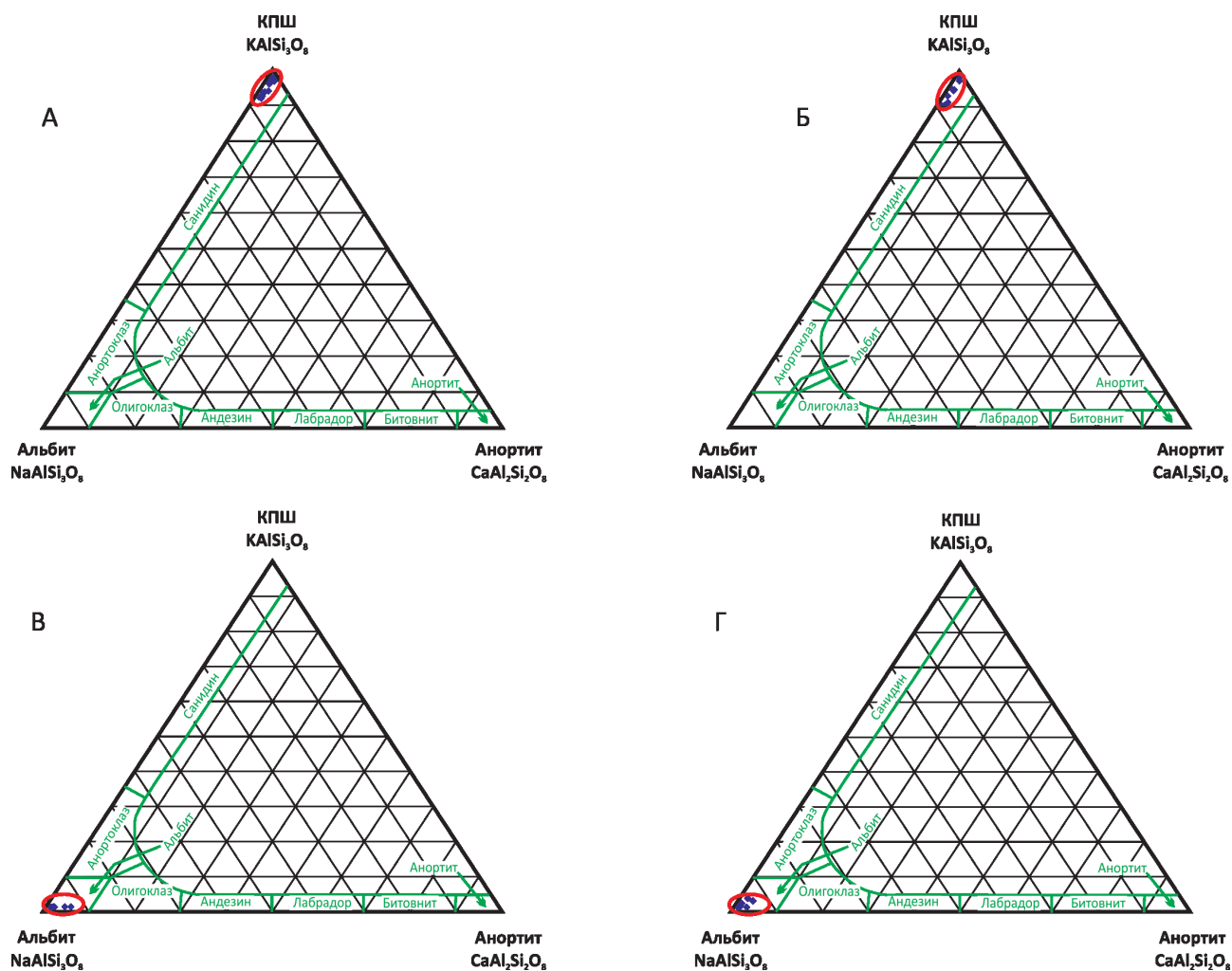


Рис. 6. Трёхфазные диаграммы состава К-На полевого шпата (А, Б) и плагиоклаза (В, Г); песчаник новгородской друзы (А, В); песчаник месторождения «Мыс Корабль» (Б, Г)

что «сия порода одна, без участия других, обнажается в низком весьма пологом берегу Белаго моря, между селениями Кашкаранцами и Варзугой. На середине сего разстояния в невысокой горе, называемой Кораблём, она особенно примечательна многими пустотами, которых стены усеяны кристаллами стекловидного кварца и аметиста. Хотя сии кристаллы и не крупны, но довольно высокий и ровный цвет аметиста, ровно и количество, в каком он здесь находится, быть может, увенчал бы полным успехом особую разведку для отыскания ценных кристаллов его» [24, с. 413].

В более ранних русских письменных источниках нет упоминаний о добыче терского аметиста в период Средневековья. Из зарубежных источников авторам этой статьи известны лишь краткие сведения о нём в районе Кольского полуострова. По данным А.Е.Фер-

смана, шведский историк и картограф XVI в. Олаф Магнус в своём сочинении «История северных народов» (первое издание книги датируется 1555 г.) упоминает об аметистах «близ Колы», то есть, вероятно, Кольского полуострова или реки Колы (река Кола и одноимённый город, известный с XVI в., находятся в северной части современной Мурманской области) [21]. Не исключено, что речь идёт именно об аметистах Терского берега.

Бассейн р. Варзуга начал осваиваться достаточно рано, по-видимому, уже в каменном веке, о чём говорят археологические находки. О более позднем пребывании человека в этих местах свидетельствуют материалы эпохи раннего железного века и XII–XIII вв. [23]. В XV в. территория Терского берега активно заселялась выходцами из Новгородской и Псковской земель.

2. Минералого-петрографические характеристики песчаников терской свиты и песчаников новгородской друзы аметиста

Характеристики	Песчаники терского берега
<i>Макроскопические характеристики (с учётом литературных данных)</i>	
Окраска	Красновато-коричневая, коричневато-красная («красноцветная»)
Текстура	От массивной до полосчатой; в обнажениях и крупных образцах часто фиксируется наличие плитчатой отдельности, косой слоистости, «знаки ряби»
Структура	От мелкозернистой до гравелитистой; в переходных к алевролитам разностях мелко-тонкозернистая
<i>Микроскопические характеристики исследованных образцов (микроскоп Olympus BX-51)</i>	
Окраска (в полированном шлифе)	Коричневато-красная
Состав зёрен	Кварц, кали-натровый шпат, плагиоказ (альбит), мусковит, гематит
Размер зёрен	Размер зёрен от 0,02 мм до 0,25 мм, в целом преобладают зёрна размером 0,1 мм
Форма зёрен	Близкая к изометричной, слабоудлинённая (соотношение параметров 1:1,5–1:2), редко – удлинённая (1:3 и более)
Степень окатанности	Зёрна преимущественно угловато-окатанные и неокатанные, редко окатанные
Состав цемента	Цемент представлен тонкозернистой коричневато-красной массой (размер частиц <0,01 мм); состав цемента гематит-кремнистый, окраска, вероятно, обусловлена тонкорассеянным гематитом
Рудные минералы	Рудные минералы представлены гематитом двух морфологических типов: Гематит-I представляет собой мельчайшие включения размером в среднем около 0,001 мм, их неотчётливые скопления в цементе песчаников; Гематит-II образует частицы неправильной, иногда удлинённой формы размером от 0,01 до 0,1 мм; количество гематита обоих типов составляет около 5%; распределение гематита обоих типов в породе сравнительно равномерное
Наложённые изменения	Кварцевые прожилки от тонких, волосовидных мощностью от 0,05 до 2 мм; форма прожилков от слабоизвилистой до извилистой; кварц прожилков светло-серый, в крупных прожилках почти всегда наблюдаются включения песчаника или тонкозернистого вещества цемента
Микротекстура	Текстура от массивной до слоистой, обусловленной наличием отдельных участков, сложенных более мелкозернистыми и более крупнозернистыми породами
Микроструктура	Алевро-псаммитовая
Название породы по результатам петрографических исследований	Алевритовый аркозовый песчаник с железисто-кремнистым цементом

Окончание таблицы 2

Характеристики	Песчаники новгородской друзы
<i>Макроскопические характеристики (с учётом литературных данных)</i>	
Окраска	Красновато-коричневая
Текстура	Массивная
Структура	Мелко-тонкозернистая
<i>Микроскопические характеристики исследованных образцов (микроскоп Olympus BX-51)</i>	
Окраска (в полированном шлифе)	Коричневато-красная
Состав зёрен	Кварц, кали-натровый шпат, плагиоказ (альбит), мусковит, гематит
Размер зёрен	Размер зёрен от 0,02 до 0,2 мм, в целом преобладают зёрна размером 0,07–0,1 мм
Форма зёрен	Близкая к изометричной, слабоудлинённая (соотношение параметров 1:1,5 – 1:2), отдельные зёрна имеют удлинённую форму (соотношение параметров около 1:3)
Степень окатанности	Зёрна преимущественно угловато-окатанные и неокатанные, редко встречаются окатанные зёрна
Состав цемента	Цемент представлен коричневато-красной тонкозернистой массой, размер частиц цемента <0,01 мм; состав цемента гематит-кремнистый, наличие гематита, вероятно, обуславливает окраску цемента и породы в целом
Рудные минералы	Рудные минералы представлены гематитом двух морфологических типов: Гематит-I представляет собой мельчайшие включения размером в среднем около 0,001 мм, их неотчётливые скопления в цементе песчаников; Гематит-II образует частицы неправильной, иногда удлинённой формы размером от 0,01 до 0,08 мм; количество гематита обоих типов составляет около 5%
Наложенные изменения	Кварцевые прожилки от тонких, волосовидных мощностью от 0,01 до 0,5 мм; форма прожилков извилистая, редко слабоизвилистая и древовидная; кварц прожилков светло-серый, в крупных прожилках почти всегда наблюдаются включения тонкозернистого вещества цемента
Микротекстура	Текстура породы массивная, сравнительно однородная
Микроструктура	Алевро-псаммитовая
Название породы по результатам петрографических исследований	Алевритовый аркозовый песчаник с железисто-кремнистым цементом

3. Химический состав основных породообразующих минералов терских песчаников и песчаников новгородской друзы аметиста. По данным пересчёта результатов микрорентгеноспектрального анализа

Образец	Минерал, его усреднённый химический состав (по совокупности определений)
Мыс Корабль, Терский берег	Плагиоклаз (альбит – 97,73%, анортит – 1,05%, К полевой шпат – 1,22%)
	$\text{Na}_{0,98} \text{Ca}_{0,01} \text{K}_{0,01} [\text{Al}_{1,01} \text{Si}_{2,98} \text{O}_8]$
Новгородская друза	Плагиоклаз (альбит – 98,3%, анортит – 1,27%, К полевой шпат – 0,39%)
	$\text{Na}_{0,98} \text{Ca}_{0,01} \text{K}_{0,004} [\text{Al}_{1,01} \text{Si}_{2,99} \text{O}_8]$
Мыс Корабль, Терский берег	К-На полевой шпат (альбит – 5,85%, К полевой шпат – 94,15%)
	$\text{K}_{0,92} \text{Na}_{0,06} \text{Ba}_{0,01} [\text{Al}_{1,00} \text{Si}_{3,00} \text{O}_8]$
Новгородская друза	К-На полевой шпат (альбит – 3,78%, К полевой шпат – 96,22%)
	$\text{K}_{0,93} \text{Na}_{0,04} \text{Ba}_{0,01} [\text{Al}_{1,01} \text{Si}_{3,00} \text{O}_8]$
Мыс Корабль, Терский берег	Мусковит (мусковит – 94,93%, парагонит – 5,07%)
	$(\text{K}_{0,82} \text{Na}_{0,04} \text{Ba}_{0,01})_{0,87} (\text{Al}_{1,74} \text{Fe}_{0,17} \text{Mg}_{0,12})_{2,03} [\text{Al}_{0,83} \text{Si}_{3,13} \text{O}_{10}] (\text{OH})_2$
Новгородская друза	Мусковит (мусковит – 98,41%, парагонит – 1,59%)
	$(\text{K}_{0,84} \text{Na}_{0,01} \text{Ba}_{0,01})_{0,86} (\text{Al}_{1,67} \text{Fe}_{0,21} \text{Mg}_{0,17})_{2,05} [\text{Al}_{0,77} \text{Si}_{3,17} \text{O}_{10}] (\text{OH})_2$
Мыс Корабль, Терский берег	Гематит
	$(\text{Fe}^{3+}_{1,89} \text{Cr}^{3+}_{0,006} \text{V}^{3+}_{0,006} \text{Fe}^{2+}_{0,046} \text{Ti}^{4+}_{0,041})_{1,99} \text{O}_3$ с примесями Al, Mn, Mg, Ca, Nb
Новгородская друза	Гематит
	$(\text{Fe}^{3+}_{1,92} \text{Cr}^{3+}_{0,004} \text{V}^{3+}_{0,005} \text{Fe}^{2+}_{0,038} \text{Ti}^{4+}_{0,035})_{2,00} \text{O}_3$ с примесями Al, Mn, Mg, Ca, Nb

В XV в. здесь образовались две крупные административные единицы – волости Умба и Варзуга с центрами в одноимённых поселениях. Месторождение аметиста «Мыс Корабль» и наиболее значимые известные проявления аметиста на Терском берегу располагались на территории волости Варзуга. Основным занятием населения этих территорий был рыбный промысел, а также охота на морского зверя и добыча пресноводного жемчуга. Эта область находилась в зоне влияния Великого Новгорода, который, вероятно, был одним из главных центров сбыта промысловых товаров [11]. Месторождение «Мыс Корабль» расположено непосредственно в береговом обрыве у кромки Белого моря, в прибрежной полосе находится ещё ряд проявлений аметиста. Учитывая, что аметистовая минерализация выходит на дневную поверхность, эти объекты почти наверняка были известны местным жителям-поморам уже в начальный период заселения этого края.

Ещё один немаловажный вопрос – предназначение находки и её датировка. Как уже было сказано, находка происходит из слоёв, датируемых достаточно обширным периодом – XV–XVII вв., в непосредственной близости от Никольского собора, то есть на удалении от Торга и построек, которые могли быть связаны с ремеслом. Какие-либо явные следы обработки на друзе и её кристаллах не фиксируются. Сколы на вершинах некоторых кристаллов являются след-

ствием естественных причин или же образовались при извлечении друзы из полости или отделении её от более крупной глыбы. Не исключено, конечно, что их появление связано с попытками механического отделения (откалывания) верхних наиболее окрашенных частей кристаллов для их последующей обработки. Впрочем, для применения в ювелирных целях размер наиболее окрашенных частей кристаллов сравнительно небольшой. Возможно, что попавшие в культурный слой аметисты – это «некондиционное сырьё», то есть отбракованный товар.

В заключение отметим следующее. В литературных источниках неоднократно указывалось, что аметист «с берегов Кандалакшского залива» был на Руси в употреблении уже в XVI в. Однако конкретных указаний на письменные свидетельства этого времени или археологические находки не приводились [1, 10, 12]. Вполне вероятно, что такой вывод сделан с учётом сведений шведского картографа и историка XVI в. Олафа Магнуса, упоминаемых А.Е.Ферсманом. Проведённые исследования доказывают, что аметисты Терского берега действительно были известны на Руси, по крайней мере, уже в XVII в., а возможно и в более ранний период. Кроме того, они служили объектом добычи. В настоящий момент сложно говорить, насколько значительную роль для Руси играла эта территория в качестве источника ювелирного аметиста, так как пока сделаны только единичные находки и только

в Новгороде. Однако находки необработанного аметиста в Москве и Твери в комплексах XV–XVII вв., связанных с обработкой камня, говорят не только о несомненном интересе наших предков к этому минералу, но и о существовании в разных городах мастерских по его обработке. Вероятно, внутренние потребности, пусть даже частично, покрывались за счёт собственных месторождений. Новгородская находка позволяет также предположить, что необработанные аметисты из Москвы и Твери могли также происходить с территории Кольского полуострова, но из месторождений и проявлений иного типа. Надеемся, что новые находки и новые исследования прольют свет на все неразрешённые вопросы.

Авторы выражают благодарность и глубокую признательность А.О.Шевцову – младшему научному сотруднику отдела археологических памятников Государственного исторического музея; Д.В.Пежемскому – старшему научному сотруднику НИИ и Музея антропологии МГУ, директору Новгородского научно-просветительского центра.

Исследование выполнено в рамках государственного задания № НИОКТР АААА-А18-118021690056-7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонов В.С. Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Запада РСФСР. – Л.: Гос. Изд-во научно-технической и горно-топливной литературы, 1962. С. 197.
2. Арциховский А.В. Раскопки восточной части Дворища в Новгороде // Материалы и исследования по археологии СССР. № 11. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1949. С. 152–176.
3. Бетехтин А.Г. Курс минералогии. – М.: КДУ, 2010. С. 149–150.
4. Гарибмахмадова С.Н. Элементы-примеси в кварце и аметисте месторождения «Сельбур» (Южный Гиссар, Таджикистан) // Труды XVII междунар. симпозиума имени академика М.А.Усова студентов и молодых ученых, посвящённого 150-летию со дня рождения академика В.А.Обручева и 130-летию академика М.А.Усова – основателей Сибирской горно-геологической школы. Т. 1. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. С. 179–180.
5. Геологическая карта Кольского региона / Глав. ред. Ф.П.Митрофанов. – Апатиты, 2001.
6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист Q-(35)-37 (Кировск). Объяснительная записка. – СПб., 2001. С. 66.
7. Зеленцова О.В., Кузина И.Н., Милованов С.И. Древнерусские усадьбы из раскопок в Мономаховом городе Владимира в 2008 г. // Археология Владимиро-Суздальской земли: Материалы научного семинара. Вып. 3. – М.: ИА РАН; – СПб.: Нестор-История, 2011. С. 113–114.
8. Интерпретация геохимических данных / Е.В.Скляр, Д.П.Гладкобчук, Т.В.Донская и др. – М.: Интермент Инжиниринг, 2001. С. 237.
9. Каргер М.К. Древний Киев: очерки по истории материальной культуры древнерусского города. Т. 1. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 473–474.
10. Киевленко Е.Я., Сенкевич Н.Н., Гаврилов А.П. Геология месторождений драгоценных камней. – М.: Недра, 1982. С. 220–231.
11. Копанев А.И. Неземледельческая волость в XVI–XVII веках // Крестьянство и классовая борьба в феодальной России. – Л.: Наука, 1967. С. 176–194.
12. Корнилов Н.И., Солодова Ю.П. Ювелирные камни. – М.: Недра, 1983. С. 12, 155–157.
13. Кузина И.Н., Окулов А.В. Аметисты XVI в. с Романова двора (Москва) // От Смуты к Империи. Новые открытия в области археологии и истории России XVI–XVIII вв.: материалы научной конференции. – Москва–Вологда: Древности Севера, 2016. С. 106–122.
14. Куценко Е.П. Типы месторождений аметиста и его ресурсы // Драгоценные камни как полезное ископаемое. – М.: Наука, 1973. С. 155–165.
15. Методическое руководство по поискам и перспективной оценке драгоценных и цветных камней (ювелирных, поделочных, декоративно-облицовочных). Вып. 1: Аметист. – М., 1974. С. 11–30.
16. Пежемский Д.В., Мацковский В.В. О датировке кладбища у Никольского собора на Ярославовом Дворище в Великом Новгороде // Вестник антропологии. 2013. № 3 (25). С. 92–93.
17. Платонов А.Н., Таран М.Н., Балицкий В.С. Природа окраски самоцветов. – М.: Недра, 1984. С. 154–155.
18. Полубояринова М.Д. Украшения из цветных камней Болгара и Золотой Орды. – М., 1991. С. 103–104.
19. Полубояринова М.Д. Полудрагоценные камни и янтарь в древнем Новгороде // Материалы научной конференции, посвящённой 60-летию археологического изучения Новгорода и 90-летию со дня рождения основателя Новгородской археологической экспедиции А.В.Арциховского. – Новгород, 1994. С. 75–82.
20. Свешникова О.Л. Выставка «Минералы хрустальных кварцевых жил» в минералогическом музее им. А.Е.Ферсмана Российской академии наук // Новые данные о минералах. Вып. 51. 2016. С. 134–145.
21. Ферсман А.Е. Избранные труды. Т. 7. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 179–180.
22. Фришман Н.И. Аметистовый берег. – Мурманск–СПб.: Русская Коллекция, 2007. С. 17–19, 51.
23. Шахнович М.М. Археология реки Варзуга // «Варзуга – первое русское поселение на Кольском Севере». Вторые Федоритовские чтения. – СПб., 2010. С. 153–172.
24. Широкий Н.В. Геогностический обзор берегов Канда-лакшской губы Белого моря до г. Кеми в Архангельской губернии // Горный журнал. 1835. Кн. 3. Ч. 1. С. 397–427.

Базовая модель, методика, результаты и программа прогнозно-поисковых работ на основе технологии Ionex в Казахстане

В.Л.ЛОСЬ (Общественное объединение Академия минеральных ресурсов Республики Казахстан (АО АМР РК); 050000, Казахстан, г. Алматы, пр. Абылай хана, 91, оф. 1004),
И.С.ГОЛЬДБЕРГ (Geochtm.Pty.Ltd; Австралия)

Характеризуется состояние прогнозных исследований на рудные полезные ископаемые. Рассматриваются теоретико-методологические основы прогнозирования, предлагается модель рудообразования на основе представлений о перераспределении элементов «in situ» в рамках рудообразующих геохимических систем. Приводится стандартный образ рудообразующих геохимических систем и информационная основа для их выделения. Для проведения прогнозно-поисковых работ в качестве базового метода рекомендуется геохимическая технология Ionex. Показаны примеры использования технологии в Казахстане. Предлагается концепция и схема нового направления прогнозно-поисковых работ на основе технологии Ionex и методов цифрового прогнозирования.

Ключевые слова: рудные полезные ископаемые, прогнозирование, геохимические системы, геохимические ассоциации, технология Ionex, концепция прогнозно-поисковых работ, цифровое прогнозирование.

Лось Владимир Львович
доктор геолого-минералогических наук



v_los@mail.ru

Гольдберг Иссай Соломонович
кандидат геолого-минералогических наук

geo@issaigoldberg.com

Basic model, methodology, results and program for forecasting-prospecting on the basis of Ionex technology in Kazakhstan

V.L.LOS (Academy of Mineral Resources of Republic of Kazakhstan (AMR RK)),
I.S.GOLDBERG (Geochtm.Pty.Ltd)

The status of ore deposits forecasting is characterized. The theoretical and methodological basics of forecasting are considered, an ore formation model is proposed based on the ideas about *in situ* redistribution of elements within ore-forming geochemical systems. A standard image of ore-forming geochemical systems and an information basis for their isolation are given. For forecasting and prospecting, the Ionex geochemical technology is recommended as the basic method. Examples of the technology use in Kazakhstan are shown. The concept and scheme of a new direction of forecasting and prospecting based on Ionex technology and digital forecasting methods are proposed.

Key words: ore deposits, forecasting, geochemical systems, geochemical associations, Ionex technology, concept of forecasting and prospecting, digital forecasting.

Состояние и направления прогнозных исследований рудных полезных ископаемых. В последние десятилетия произошли глубокие изменения геолого-разведочной ситуации в сфере выявления новых рудных объектов, обусловленные исчерпанием фонда выходящих на поверхность или близповерхностных месторождений. Выяснилось, что используемые традиционные прогнозно-поисковые методы в новых условиях оказались недостаточно эффективными и, как следствие, в настоящее время из 1000 участков, оце-

нённых как потенциально перспективные, примерно на 1–2 десятках выявляются рудопроявления и только на одном значимое месторождение [9, 32].

В настоящее время необходимо ориентироваться, используя соответствующие знания, информацию и технологии, на выявление рудных объектов с низким статусом открываемости: глубокозалегающие, перекрытые аллохтонными отложениями (рыхлыми породами, базальтами и др.), не имеющие явных индикативных признаков на поверхности.

В целом низкая эффективность прогноза, прежде всего, связана с трудностью самой задачи прогнозирования рудных объектов. Это задача моделирования поведения сложных диффузных нелинейных систем с самоорганизацией при недостаточной информации об этих системах и невозможностью наблюдать динамику их развития. Теоретико-методологические, информационные и методико-технологические аспекты задачи оценки недр на рудные полезные ископаемые тесно переплетаются между собой и возможно лишь совместное продвижение на пути их решения. Развитие теории рудообразования невозможно без математического и компьютерного моделирования механизмов рудообразующих процессов, включая мобилизацию, перемещение и отложение рудного вещества. Дело в том, что, приближаясь к фундаментальным основам любой науки, уже не обойтись без математики, физики, химии и нельзя опираться лишь на обыденные представления и «здравый смысл». Необходимо использовать объективную числовую информацию о недрах (первичных и вторичных характеристиках геологической среды и геологических систем), позволяющую в принципе решать задачу прогноза тех или иных типов полезных ископаемых с определённой надёжностью и применять цифровые технологии, преобразующие знания и информацию в прогнозную оценку недр.

Можно сформулировать ряд требований, которым должны отвечать новые технологические подходы, ориентированные на прогноз и поиски рудных объектов с низким статусом открываемости. В частности, они должны:

- обладать достаточным запасом научной, информационной и технологической новизны;
- учитывать новые металлогенические модели и представления (похоже, что «геосинклинали», «геотектоника» и даже «плюмы» в значительной мере выработали свой ресурс);
- использовать в качестве базовой информации объективно измеряемые, по возможности, определяемые в сильных шкалах характеристики геологической среды и геологических систем;
- основываться на отечественных, имеющих экспортный потенциал методах и технологиях извлечения из знаний и информации данных о размещении перспективных на рудные месторождения участков;
- оценивать стоимость и экономическую конкурентоспособность работ.

К сожалению, пока приходится констатировать, что научные исследования, призванные обеспечить теоретико-методологические основы оценки недр на рудные полезные ископаемые, стратегически не ориентированы на прогноз, разрознены и недостаточно системны. В них практически отсутствует междисциплинарность, совершенно недостаточно используются результаты фундаментальных наук и очень ограничено – возможности математического и компьютерного моделирова-

ния рудообразующих процессов, систем и объектов. Информационную основу прогнозно-поисковых работ продолжают составлять традиционные характеристики (породный состав, разломы, метасоматоз, геофизические и позитивные геохимические аномалии и др.) и которые, в принципе не могут существенно повысить эффективность прогнозно-поисковых работ. Практически не используются процедуры определения целевой (прогностической) ценности отбираемых для прогноза характеристик геологической среды. Хотя известно и доказано, что включение в систему прогноза неинформативных характеристик снижает надёжность вычисляемой целевой характеристики прогнозирования [24].

Что касается собственно прогноза, то он продолжает основываться на субъективных экспертных оценках (что не всегда плохо!), а разработки прогнозно-поисковых технологий (их методологии, алгоритмов и программ) почти полностью прекратились. Конечно, интуиция, знания, опыт специалиста очень полезны, но владение новыми современными технологиями прогнозирования и их использование не менее важны. Требование учёта стоимости обозначает, что новый технологический подход к прогнозно-поисковым работам не должен опираться на аксиому тотальной «комплексности», так как она значительно увеличивает общую цену работ, обычно не приводящую к существенному повышению эффективности исследований и новым результатам.

Одними из наиболее перспективных направлений в сфере прогнозирования рудных месторождений с низким статусом открываемости будут:

- использование представлений о перераспределении элементов в геологической среде;
- информация о структурах геохимических полей рудных, сопутствующих и других элементов и, главное, о геохимических полях подвижных форм этих элементов (строится на основе фазовых анализов вещества), позволяющих выявлять скрытые рудные объекты;
- широкое применение методов и технологий цифрового прогнозирования полезных ископаемых.

В значительной мере эти направления соединены и реализованы в прогнозно-поисковой геохимической *технологии Ionex* [4, 29, 34].

Теоретико-методологические основы прогнозирования рудных полезных ископаемых. Важнейшим аспектом эффективности, точности и надёжности прогнозно-поисковых исследований является их теоретико-методологическое обеспечение, определяемое уровнем развития металлогении. Тренд такого развития основывается на трансформации качественных металлогенических сценариев, одномерных линейных схем, одноуровневых аналогий к расшифровке, формализованным цифровым описаниям и моделям механизмов рудообразования, адекватным физической сущности

процессов рудообразования и основанным на объективной информации (наблюдаемых фактах) [18].

Примем как базисную аксиому, что **фундаментальной физической основой формирования рудных объектов в геологической среде являются перемещение, ассоциация, дифференциация химических элементов** (в частности, металлов, имеющих низкие кларки концентрации). В качестве другой базисной аксиомы можно принять следующее положение: **рудные объекты (месторождения, рудные поля, узлы, районы) являются не случайными, а специфическими геологическими образованиями, которые органично присущи земной коре и протекающим в ней процессам перераспределения вещества**. Несмотря на кажущуюся тривиальность, данные аксиомы ставят под сомнение металлогенические построения, основанные на случайном совмещении факторов или «впрыскивании» металлов с больших глубин (хотя последнее не исключается).

Собственно методология исследований должна основываться на преобладающем типе поведения изучаемых систем или типе поведения, представляющем наибольший теоретический или прикладной интерес для решения конкретных задач. В металлогении наибольший интерес представляют системы и процессы с самоорганизацией, так как именно они обеспечивают структурное усложнение систем с понижением их энтропии, формирование устойчивых объектов в разнообразных условиях (именно к таким системам и объектам относятся рудообразующие системы и рудные месторождения) [8, 12, 15, 26].

Явление самоорганизации в упрощённом виде можно пояснить как тип поведения систем в координатах воздействие (на систему)–результат (изменение системы) (табл. 1).

Самоорганизационные процессы запускаются при конкуренции противоположных тенденций. Для геологической среды это могут быть диссипация и подвод тепла, электромагнитное отталкивание и притяжение частиц, растворение и осаждение, десорбция и сорбция, диффузия вещества (увеличение энтропии) и его концентрация (минимизация свободной энергии), деструкция сложных молекул и полимеризация (класте-

ризация), плавление и кристаллизация и др. Самоорганизация приводит к необратимому структурированию среды, что, в свою очередь, ведёт к углублению и ускорению структурирования.

Принятие мировоззренческой модели самоорганизации в металлогенических системах влечёт изменение методологии их изучения и интерпретации. Во-первых, необходимо учитывать пространственно-временную автономизацию систем с самоорганизацией. Автономизация происходит на всех иерархических уровнях и приводит к появлению ячеистых (мозаичных) и ритмичных структур. Автономизация указывает на то, что главное внимание нужно уделять внутренним особенностям, внутренней логике развития систем, хотя внешние причины в отдельных случаях могут быть решающими (особенно для разрушения систем). Во-вторых, желательно *отказаться от чисто детерминированных и(или) вероятностных схем* и моделей образования и развития систем. В-третьих, нужно признать *отсутствие доминантных факторов*, влияющих на развитие систем с самоорганизацией. Главное не сила влияния какого-то фактора, а правильная архитектура воздействия на систему (среду). В-четвёртых, необходимо обратить внимание на *нелинейные связи* (внутренние и внешние) и особенно на дискретную нелинейность и режимы с обострением. Отметим, что фиксировать нелинейные связи и эффекты мы можем только при использовании для описания свойств систем сильных шкал измерения (шкалы интервалов, отношений). И в-пятых, для систем с самоорганизацией существует *несколько путей развития*, и поэтому их моделирование должно быть многовариантным.

Результаты самоорганизации фиксируются появлением пространственной и(или) временной упорядоченности (например, ритмов, ячеек), структурным и(или) вещественным усложнением объектов (что, в общем, соответствует антиэнтропийной направленности развития) и, главное, в образовании однотипных по веществу и структуре объектов в разных средах и условиях.

Таким образом, наиболее адекватная методология при металлогенических исследованиях, а особенно

1. Типы поведения систем

Воздействие (на систему)	Результат (изменение системы)	
	Неспецифическое	Специфическое
Неспецифическое	Хаотичное	Самоорганизационное
Специфическое	Вероятностное	Детерминированное

при исследованиях, ориентированных на получение количественных результатов, это системно-синергетическая методология.

Базовая модель рудообразования. Базовой моделью рудообразования, в той или иной степени объединяющей разные металлогенические гипотезы и представления, может служить простая и ясная схема перераспределения элементов в геологической среде «in situ» [11, 16, 35]. Несмотря на значительное разнообразие геологических обстановок, перераспределение элементов осуществляется по одной схеме: мобилизация (перевод рудных элементов в подвижное состояние)– миграция (перемещение в пространстве)–отложение (перевод в неподвижное состояние). В данном контексте под термином «in situ» понимается тесная пространственная сближенность и даже перекрытие областей выноса и зон накопления элементов. Области мобилизации и выноса элементов (V_m), пути миграции и зоны отложения с накоплением V_s (в частном случае, зоны образования руд) фиксируются негативными и положительными аномалиями рудообразующих и других элементов, которые в совокупности образуют **рудообразующие (металлогенические) системы** (рис. 1).

Если принять, что химические элементы в геологический период развития Земли не создавались и не уничтожались (распадом неустойчивых радиоактивных атомов можно пренебречь), то такое перераспределение соответствует структурированию полей концентраций элементов, которое в пределе может привести к образованию рудных месторождений, представляющих собой локальные концентрации тех или иных металлов в макрообъёмах. Отсюда следует очевидный и важный вывод: *все процессы, протекающие в геологической среде (осадконакопление, магматизм, метасоматоз и др.), и физические поля (температурные, электромагнитные, механических напряжений и др.) связаны с образованием месторождений не непосредственно, а через поля концентраций рудообразующих элементов.*

Задачи выделения рудообразующих систем достаточно сложны, не всегда однозначны, иногда практически не возможны, но в принципе системы могут быть описаны следующими характеристиками:

- размерами и формами V_m и V_s ;
- распределением концентраций перемещаемых элементов в V_m и V_s ;
- распределением форм нахождения элементов в V_m и V_s ;
- степенью извлечения (α_m) и накопления (α_s) элементов в V_m и V_s ($\alpha_m = C_m/C_k$; $\alpha_m < 1$; $\alpha_s = C_s/C_k$; $\alpha_s > 1$; где C_m , C_s – оценки средних концентраций в V_m и V_s , C_k – оценённое значение кларковой концентрации элемента в районе расположения V_m и V_s);
- массой мобилизованного (M_m) и переотложенного (M_s) элемента ($M_m \approx M_s > M_0$ ($C > C_b$)), где M_0 – масса эле-

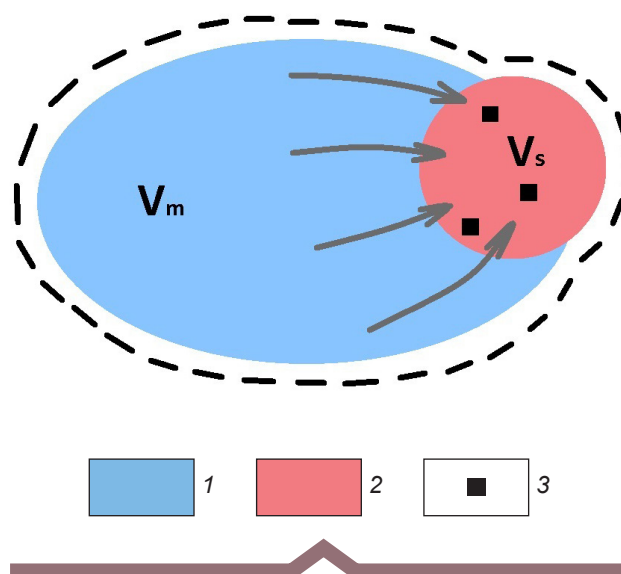


Рис. 1. Геохимический образ рудообразующей (металлогенической) системы:

1 – негативная аномалия, V_m (область выноса элементов); 2 – положительная аномалия, V_s (зона накопления рудных и сопутствующих элементов); 3 – рудные объекты

мента в концентрации выше заданной (C_b). Обычно для рудных узлов и рудных полей M_0 ($C > C_b$) $\approx 0,05 - 0,2 M_s$, то есть 5–20% мобилизованного и переотложенного элемента концентрируется собственно в месторождениях.

Возможности практического использования рассматриваемой модели связаны с взаиморасположением областей мобилизации и отложения рудного вещества. В настоящее время существует тенденция помещать области мобилизации элементов на большие, недоступные непосредственным наблюдениям глубины и (или) однозначно сопоставлять области мобилизации с какими-либо масштабными геологическими процессами (объектами). Например, с интрузивным и вулканогенным магматизмом, разного рода глубинными подвижными зонами. Кстати, потенциальные возможности этих процессов (объектов) для тонкой дифференциации вещества как необходимого условия рудообразования представляются не всегда очевидными.

Нельзя отрицать привнос элементов с больших глубин при формировании литосферы, который и определил её металлогеническую специализацию [13]. Однако следует указать на несколько общеизвестных фактов, которые свидетельствуют о том, что собственно формирование рудных объектов происходит за счёт металлов, извлекаемых из окружающих месторождения пород.

Во-первых, рудные месторождения обычно приурочены к формациям и зонам, обогащённым соответствующими металлами [1, 5, 28, 29]. В своей монографии С.Т.Бадалов делает вывод о том, что специализация рудообразующих систем, а соответственно и элементный состав месторождений зависят от потенциально обогащённых данными элементами вмещающих пород, и эта связь обусловлена генетически.

Во-вторых, глобально рудные объекты относительно равномерно распределены по поверхности континентов, которая не перекрыта чехлом рыхлых отложений или молодых вулканитов. Здесь под «равномерностью» понимается генерализованная плотность количества рудных объектов; по запасам металлов распределение существенно менее равномерное. Это свидетельствует о том, что образование рудных скоплений есть процесс, органично присущий всей континентальной земной коре, хотя, конечно, в каких-то ситуациях он стимулируется, а в каких-то угнетается. При этом источником металлов являлась сама земная кора, в противном случае никакой, даже относительной равномерности в распределении рудных объектов ожидать нельзя, и даже очень крупные регионы могли не содержать ни одного рудного объекта, что не соответствует реальности.

Наконец, наиболее наглядным фактом является то, что рудные объекты, особенно крупные, в пространстве тесно ассоциируют с областями пониженных концентраций основных металлов, которые интерпретируются как зоны мобилизации и выноса вещества. Соответствующие примеры рассмотрены в ряде работ [5, 35 и др.].

Стандартный образ геохимических систем рудных объектов. Таким образом, *рудообразующие (металлогенические) системы представляют собой пространственно сопряжённые области накопления и выноса металлов*, которые полно или фрагментарно фиксируются геохимическими полями в виде положительных и отрицательных «аномалий» [7]. Практическая применимость базовой модели образования рудных объектов в результате перераспределения элементов в земной коре «in situ» обосновывается тем, что рудные объекты, особенно крупные, располагаются в зонах накопления рудных и сопутствующих им элементов (или их ближайшей периферии), которые в пространстве тесно ассоциируют с областями пониженных концентраций этих элементов. Размеры рудообразующих систем варьируют от $n \times 10^{4-6}$ км² (рудные провинции, районы) до $n \times 10^{1-2}$ км² (месторождения), причём системы более низких уровней «вкладываются» в зоны накопления систем более высокого уровня. Такое «вложение» показано на примере рудной провинции Миссисипи (рис. 2).

Если рассматривать рудообразующие системы месторождений цветных, благородных и редких металлов, то можно выделить геохимические ассоциации 4 типов

(подтипы 1 и 2 между собой разделяются нечётко), характерных для областей накопления металлов [30]:

A1 – Zn, Pb, Cu, Ag, Cd, Se, (Te, Bi, As);

A2 – Pb, Zn, (Ag, Cd);

B1 – Cu, (Ag, Pb, Sb, Re, As);

B2 – Cu, (Mo, Co, Au);

C1 – Au, Te, Bi, (As, Ag, Se, Sb);

C2 – Au, As, Sb;

D – Mo, W, Be, Re.

Ядра зон накопления часто характеризуются пониженными содержаниями сидерофилов и лантаноидов, которые выносятся на их периферию и часто формируют вокруг ядер своего рода «рубашку». Области выноса почти всегда характеризуются пониженными содержаниями элементов геохимических ассоциаций *A*, *B*, *C* и сидерофилов. По строению геохимических систем ассоциации *D* пока нет достаточной информации.

Неспецифическим воздействием (см. табл. 1), движущей силой, приводящей к перераспределению элементов и структурированию полей концентрации элементов в геологической среде (в том числе приводящих к образованию рудообразующих систем и рудных объектов), являются различные по способам образования и размерам *естественные электрические поля* [3, 6, 34, 36]. Представления об электрохимическом механизме мобилизации основываются на следующем:

- обычной несопоставимости в пространстве областей выноса и зон накопления элементов с какими-либо геологическими (породными) телами и(или) структурами;
- экспериментальных данных по электрохимическому извлечению элементов (в том числе рудообразующих металлов) из пород и минералов [3, 6];
- широком распространении электрических полей в земной коре, которые имеют различную природу, способы образования, размеры и потенциально способны переносить огромные массы вещества.

Приведённые данные явились основой для их приложения к природным геоэлектрохимическим процессам перераспределения элементов с образованием рудных месторождений.

Информационная основа прогнозирования рудных полезных ископаемых. Из базовой модели рудообразования вытекает достаточно очевидное следствие об *информационной основе прогнозирования рудных объектов*: наиболее естественными, фундаментальными и информационно важными характеристиками геологической среды при поисках рудных объектов являются концентрации химических элементов. Картирование полей концентрации – наиболее прямое и естественное направление прогнозирования и поисков рудных объектов.

Принятие концентраций химических элементов в качестве информационной основы прогнозирования рудных объектов не исключает использование данных о составе и структуре породных комплексов, геофизи-

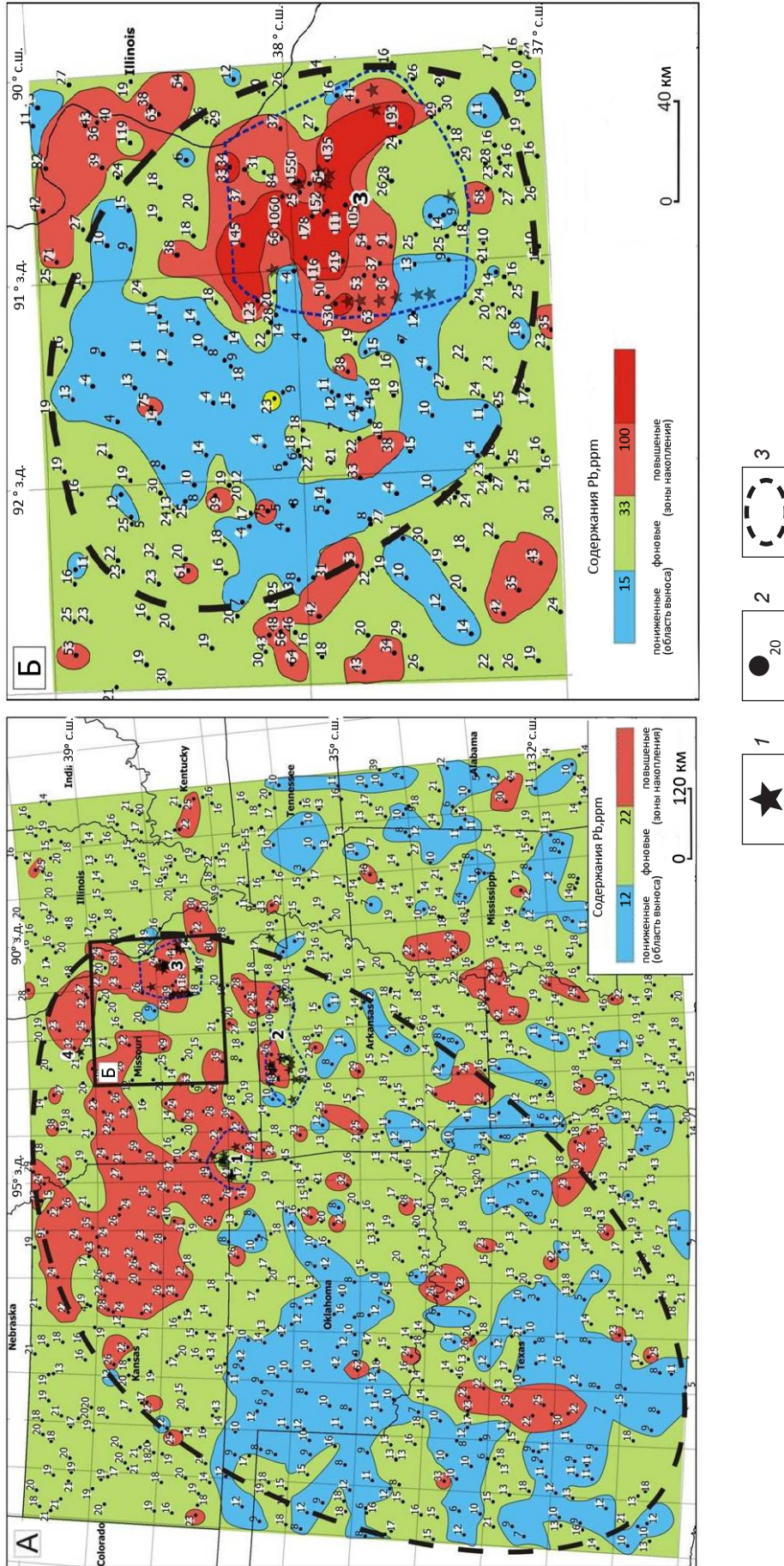


Рис. 2. Геохимические системы рудной провинции Миссисипи (А) и рудного района Southeast (Б):

1 – рудные месторождения; 2 – точки отбора проб; 3 – граница геохимических (металлогенических) систем; 1–3 – рудные кластеры (узлы); рудные районы на А: 1–Tri-State, 2–Northern Arkansas, 3–Southeast region

ческих полей и аномалиях, тектонических нарушениях и др. В недалёком будущем практический интерес для оценки недр будут, возможно, представлять некоторые методы получения информации о физико-химических параметрах геологической среды [27].

С большой вероятностью можно полагать, что **базовой** информацией при оценке недр на рудные полезные ископаемые являются данные о **концентрации химических элементов**. Это самые простые, фундаментальные характеристики геологии. Кроме того, как следует из физической сущности формирования рудных объектов, именно анализ полей концентрации рудных, сопутствующих и антагонистичных к ним элементов должен лежать в основе металлогенических исследований, и он же является наиболее прямым и естественным путём прогнозирования и поисков рудных объектов при оценке недр. Об этом, кстати, свидетельствует и тот факт, что за последние десятилетия 70–80% открытий рудных месторождений основывались на геохимических методах [10, 37].

Важно, что концентрации элементов являются настоящими физическими величинами, допускающими их объективное измерение, формализованное описание, демонстрацию воспроизводимости, определение систематических и случайных отклонений. Существенно, что концентрации определяются по шкале отношений, в которой возможны все алгебраические преобразования и логические операции, а также то, что анализ распределения концентраций допускает детерминированную и вероятностную интерпретацию, позволяя гибко использовать широкий набор математических методов и моделей, что открывает путь к количественной металлогении и цифровому прогнозированию.

Использование при прогнозе и поисках месторождений в качестве базовой информационной основы разномасштабных карт полей валовых концентрации элементов, карт концентраций подвижных форм элементов, выделение в полях концентрации разноранговых геохимических систем рудных объектов может дать скачок в эффективности оценки недр на рудные полезные ископаемые.

Прогнозно-поисковая геохимическая технология Ionex. Эта технология основывается и органически вытекает из металлогенических представлений о формировании рудных объектов в результате иерархически организованного перераспределения элементов в геологической среде «in situ».

Технология Ionex может использоваться как базовая при проведении прогнозно-поисковых работ, ориентированных на выявление рудных объектов с низким статусом открываемости (при работе на открытых, частично открытых и закрытых территориях). Она основана на высокоточных анализах пород и, главное, **фазовых анализах** подвижных форм (метод МПФ) рудных, сопутствующих и полярных к ним

элементов. На закрытых территориях используются только фазовые анализы. Минимальная плотность точек отбора проб – 1 точка на 1 см² карты. Сеть отбора – квадратная или близкая к ней. Данные анализов обрабатываются с помощью авторского программного комплекса **Elan** с выделением моно- и полиэлементных структур с выделением геохимических систем рудных объектов разных геохимических ассоциаций. В настоящее время ПК **Elan** обеспечивает выполнение следующих основных операций [14]:

1. Структурный статистический анализ распределения содержаний элементов с выделением «уровней концентрации» и естественных границ между уровнями (программа Anhis 2).

2. Построение 2–3D моделей геохимических полей (распределения содержаний элементов по площади работ). Учитывая значительную статистическую и пространственную неоднородность, а также высокую, доходящую до фрактальности, локальную изменчивость содержаний элементов (особенно элементов с малыми кларками) в геологической среде, геохимические поля представляются в форме аппроксимационных моделей. При построении моделей обычно использовались алгоритмы, основанные на принципе «обратного расстояния» (программа Modeling2).

3. Анализ нелинейной взаимосвязи содержаний элементов для выделения геохимических ассоциаций и определения целевой информативности геохимических полей методом вычисления оптимального корреляционного отношения (программа FSON4).

4. Классификации и районирование многомерных данных (в этом случае многомерных геохимических полей) проводится с помощью программы RegSOM. Операция ориентирована на классификацию слабо различающихся данных, когда нет априорной информации о числе классов или о расстояниях между ними. В содержательном плане классификация без априорной информации представляет собой извлечение скрытых в неклассифицированных данных знаний. Потенциально перспективными считаются районы обогащённые элементами каких-либо рудных геохимических ассоциаций.

5. Построение многомерных нелинейных прогнозных функций в форме «функций суммы одномерных нелинейностей» или нейросетей (программы FSON5 и NNM). Эта операция используется при наличии эталонов прогнозирования.

Основой выполняемых операций служит аппарат математической статистики. Её преимущества (при ряде ограничений) – возможность решать нечётко поставленные задачи, использовать информацию со случайными отклонениями и слабой воспроизводимостью. Собственно выделение геохимических систем рудных объектов и оценка их потенциальной перспективности проводится с использованием процедуры районирования многомерных моделей геохимических полей

и (или) технологии многомодельного метода прогнозирования (при наличии объектов-эталонов).

Решаемые задачи и применимость технологии Ionex:

- ориентирована на прогноз и поиски рудных объектов практически всех металлов, залегающих на глубине до 500–1000 м или перекрытых чехлом рыхлых отложений мощностью до сотен метров;
- применима в различных геологических ситуациях и масштабных диапазонах (от регионального до детального);
- заключается в картировании полей валовых содержаний в коренных и (или) рыхлых породах, содержаний подвижных форм элементов в почвах (анализ МПФ) с выделением по построенным полям геохимических структур (особенно геохимических систем рудных объектов);
- технология используется на нескольких масштабных уровнях, реализуя принципы последовательной детализации геохимических структур и резкого «сжатия» выделяемых потенциально перспективных площадей (примерно в 6–10 раз после каждой стадии работ);
- экономически рентабельна и конкурентоспособна.

Интерпретация полученных результатов обработки данных и моделирования опирается на представления о формировании рудных объектов в рудообразующих системах и методологических следствиях развития систем с самоорганизацией. При интерпретации необходимо использовать информацию о геологическом строении, геофизических полях и другие данные. При интерпретации, на которой основываются рекомендации по направлению дальнейших работ, необходимо сформулировать принимаемые интерпретационные положения и главные факторы, на которых основывается выделение потенциально перспективных площадей. Не исключаются и различные интерпретации получаемых результатов и, соответственно, различные (многовариантные) рекомендации по направлению дальнейших работ.

Накопленный опыт прогнозно-поисковых работ на основе технологии Ionex показал, что при интерпретации получаемых результатов необходимо учитывать и можно опираться на следующие положения:

1. Структуры полей концентрации рудных, сопутствующих, антагонистических к ним и других элементов автономны относительно геологических (породных), геофизических структур и несут самостоятельную информацию об изучаемых средах и системах. Степень автономности геохимических систем приблизительно уменьшается с увеличением кларков элементов.

2. Геохимические системы рудных объектов разных иерархических уровней представляют собой пространственно ассоциирующие области накопления (положительные аномалии) и выноса (отрицательные аномалии) рудных и сопутствующих элементов. Типичные размеры систем: рудные провинции ($n \times 10^5 - n \times 10^6$ км²), зоны ($n \times 10^4$ км²), районы ($n \times 10^3$ км²), узлы ($n \times 10^2$ км²), поля

($n \times 10$ км²), месторождения ($n \times 10^0$ км²) (иерархическая градация рудных объектов дается по А.А.Головину).

3. Необходимо учитывать, что соотношение площадей, объединённых в геохимическую систему положительных и отрицательных аномалий на поверхности, может не соответствовать реальному соотношению объёмов зон накопления и выноса рудных элементов в пространстве 3D.

4. Перспективность геохимических систем на выявление рудных объектов определяется следующими факторами:

а) чем полнее в зоне накопления представлена какая-либо рудная геохимическая ассоциация элементов и чем выше содержание этих элементов, тем выше перспективность системы;

б) чем большее число элементов извлекается из области выноса и чем ниже их содержание в ней, тем выше перспективность системы;

в) чем теснее в пространстве ассоциируют зоны накопления и области выноса элементов, тем выше перспективность системы.

5. Если в зоне накопления полиметаллов, меди, золота фиксируются пониженные содержания сидерофилов и лантаноидов (вынос данных элементов), а вокруг зон накопления формируются своего рода «рубашки» повышенных содержаний этих элементов, то это повышает перспективность системы (для зон рудных геохимических ассоциаций А, В, С).

6. Рудные объекты располагаются в зонах накопления или на их ближней периферии.

7. С одной областью выноса элементов могут быть связаны несколько зон накопления, представляющих одну или разные рудные геохимические ассоциации.

Конечно, при интерпретации и оценке потенциальной перспективности геохимических систем рудных объектов и выделяемых площадей (участков) необходимо учитывать данные геологического картирования, геофизики, дистанционного зондирования Земли, специальных исследований. В целом же при интерпретации необходимо держаться подхода, сформулированного А.Эйнштейном и Л.Инфельдом [33]: *если какую-то закономерность можно интерпретировать на основе случайного сочетания событий (факторов) или для интерпретации вводятся какие-то специальные условия, то такие трактовки по своему достоинству ниже, чем интерпретации на основе неких более общих и фундаментальных законов или устойчивых закономерностей.*

Применение технологии Ionex в Казахстане. Геохимическая технология Ionex в качестве базового метода прогнозно-поисковых работ на полиметаллы, медь, золото использовалась в регионах Казахстана, представленных в табл. 2.

Во всех регионах проведённые работы по картированию геохимических полей и их интерпретация позволили выявить новые закономерности в размещении

2. Применение технологии Ionex в Казахстане

Регионы, районы	Площадь работ (в км ²)	Масштаб	Заказчик работ
Лениногорский и Зырянский районы Рудного Алтая	24 000	1:500 000 и 1:100 000	ТОО «КазЦинк», 2005–2007 гг.
Западный Торгай	11 000	1:500 000 и 1:100 000	ТОО «КазЦинк», 2007–2008 гг.
Жезказганский рудный регион	137 000	1:1 000 000	Комитет геологии и недропользования МИР РК, 2014–2015 гг.
Спасская меднорудная зона (Центральный Казахстан)	12 000	1:200 000 и 1:50 000	ТОО «СП «Тау-Кен Проект», 2015–2017 гг.

рудных объектов и выделить новые потенциально перспективные на золотое, медное и полиметаллическое оруденение площади [19, 31].

Так, в Лениногорском и Зырянском районах (Рудный Алтай) была установлена региональная закономерность по приуроченности практически всех колчеданно-полиметаллических месторождений к геохимическим эпицентрам, расположенным на пересечении СЗ и широтных геохимических полос, связанных, вероятно, с регматическими структурами и расположенных на расстоянии 60 км друг от друга (см. рис. 2 в работе [31]). Была выделена новая широтная геохимико-металлогеническая Нарымская зона, в западной части которой последующими работами выявлен довольно крупный, но с очень низкими содержаниями большеобъемный золоторудный объект [2].

В Жезказганском рудном регионе выделены зоны накопления подвижных форм элементов медной ассоциации **B** (Cu, Ag, Sb, Pb, Re) и золоторудной ассоциации **C** (Au, Te, W, Ag, Sb). Значительная площадь развития ассоциации **B** фиксируется в районе известного Жезказганского медного месторождения, а ассоциации **C** – в 200 км к ЮЮЗ от этого месторождения (Южно-Карсакапайская площадь) [20]. Обе площади приурочены к бортам Чу-Сарысуйского бассейна и, вероятно, связаны с общей зоной выноса (порядка 20 000 км²), характеризующейся пониженными содержаниями элементов медной и золоторудной ассоциаций, а также сидерофилов (рис. 3).

Особый интерес на выявление нового крупного золоторудного района представляет Южно-Карсакапайская площадь в Жезказганском рудном регионе. На этой площади, полностью перекрытой рыхлыми отложениями мощностью до 100 и более метров, совместились большая зона (2000–2500 км²) повышенных содержаний подвижных форм элементов золоторудной ассоциации с «незаполненной вакансией» крупного золоторудного района [20]. Эта «вакансия» была выделена на основе проведенного анализа сред-

них кратчайших расстояний между крупными эпицентрами плотности оруденения (рудными районами) разных металлов на территории Казахстана и Средней Азии (табл. 3) и установленной закономерностью «разбегания» крупных рудных объектов в пространстве (рис. 4) [20, 29].

Совмещение потенциально перспективных площадей, выделение которых проведено на различных и независимых основаниях (случайность такого совмещения <0,2%), значительно повышает вероятность существования в этом месте *нового золоторудного района* и указывает на необходимость проведения дальнейших прогнозно-поисковых работ.

Концепция нового технологического направления прогнозно-поисковых работ на рудные полезные ископаемые. Рассмотренные теоретико-методологические, информационные и технологические основы прогнозно-поисковых работ на основе геохимической технологии Ionex, накопленный в Казахстане опыт использования данной технологии позволили сформировать *схему нового технологического «мейнстрима» прогнозно-поисковых работ* на рудные полезные ископаемые на территории Казахстана [21, 22] (табл. 4).

На региональных этапах I и II, кроме картирования геохимических полей, используется информация о региональных геологических и геофизических структурах. На локальном этапе III добавляется ДЗЗ, а на детальном этапе IV – электроразведочные работы (вид и объемы дополнительных к геохимическому картированию работ определяются в зависимости от конкретной геолого-информационной ситуации на конкретном участке).

Наиболее важным и во многом определяющим успешное выполнение всей программы является I-ый региональный (глобальный) этап. Региональные работы должны выполняться на площади 1,4–2 млн. км² (на всей территории Казахстана или только на территории свободной от мощного чехла рыхлых отложений).

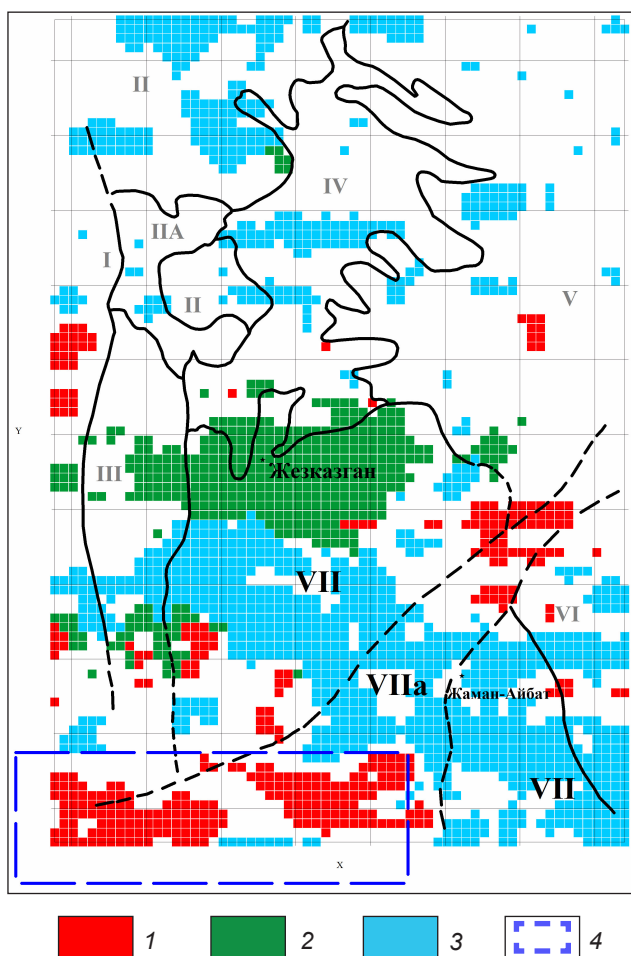


Рис. 3. Схема геологического и геохимического районирования Жезказганского рудного региона:

геохимические районы: 1 – обогащённые элементами золоторудной ассоциации (Au, Te, W, Ag, Sb), 2 – обогащённые элементами меднорудной ассоциации (Cu, Ag, Pb, Sb, Re), 3 – обеднённые элементами золоторудной, меднорудной ассоциаций и сидерофилами (область выноса); 4 – Южно-Карсакапайская площадь (14 000 км²), перспективная на выявление золоторудного района; I–VI – структурно-формационные районы, сложенные протерозой-палеозойскими комплексами (I – Байконурский, II – Улытауский, IIIA – Южно-Улытауский, III – Касакапайский, IV – западный Сарысу-Тенизский, V – восточный Сарысу-Тенизский, VI – Чу-Илийский); VII – Чу-Сарысуйский бассейн, сложенный пермскими и мезо-кайнозойскими отложениями (VIIa – пески старого русла р. Сарысу)

Выполнение этого этапа работ создаёт фундамент для работ всех последующих стадий. Заметим, что на площадях, где были проведены прогнозно-поисковые работы по технологии Ionex, уже сейчас можно ставить исследования III–IV этапов (например, в Жезказганском рудном регионе и Спасской меднорудной зоне на золото и медь).

Любой технологический «мейнстрим» может существовать, развиваться и оставаться конкурентоспособным, если он *постоянно поддерживается новыми научно-технологическими разработками*. Это относится и к рассматриваемому направлению прогнозно-поисковых работ на основе геохимической технологии Ionex.

Для более полного извлечения целевой информации и знаний из данных необходимо сформировать *технологии цифрового прогнозирования* рудных полезных ископаемых, которая обеспечит более точную количественную оценку прогнозных ресурсов. Главные требования к технологии цифрового прогнозирования:

- *системность* с охватом основных процедур прогноза рудных объектов;
- *практическая применимость* в широком диапазоне геологических условий и масштабов работ;
- *ориентация* разработок не только на внутренний, но и на внешний рынки геологоразведочных технологий.

Общая схема цифрового прогнозирования и разработки (идеологические, математические, программные) по выполнению отдельных операций в настоящее время уже созданы.

Кроме выполняемых в настоящее время операций, для реализации цифровой технологии прогнозирования в ПК Elan предполагается включить следующие процедуры:

1. Описание и использование при прогнозировании *взаимосвязи пространственных переменных*. Прогнозирование полезных ископаемых (или «косвенные» поиски) в любом случае основывается на взаимосвязи свойств геологической среды. Анализ и описание силы и формы связи между целевыми X и прогнозирующими (косвенными) Y характеристиками в настоящее время производится с помощью статистических критериев. Перспективным направлением здесь является методика анализа взаимосвязи с учётом их пространственной природы на основе следующего функционала:

$$CEN = \{ [S(Y_b) \cap S(X_b)] / [S(Y_b) \cup S(X_b)] \} * [i(Y_b) + i(X_b)],$$

где $S(Y_b)$, $S(X_b)$ – длины, площади или объёмы, в которых характеристики Y и X больше Y_b и X_b ; \cap – символ пересечения множеств; \cup – символ объединения множеств; $i(Y_b)$, $i(X_b)$ – Шенноновская информативность ($i = -\ln P$).

Распределение величин CEN в координатах $Y_b - X_b$ (Y_b от $\min Y$ до $\max Y$, X_b от $\min X$ до $\max X$) создаёт поле чисел, описывающих силу и формы взаимосвязи между характеристиками Y и X, что, в принципе, позволяет извлекать гораздо больше целевой информации и знаний из данных по сравнению со статистическими критериями.

2. Цифровое описание *систем диффузионного типа* (сред, систем, объектов с плохо организованной структурой). В таких средах, системах и объектах сложно, а иногда невозможно разграничить влияние разно-

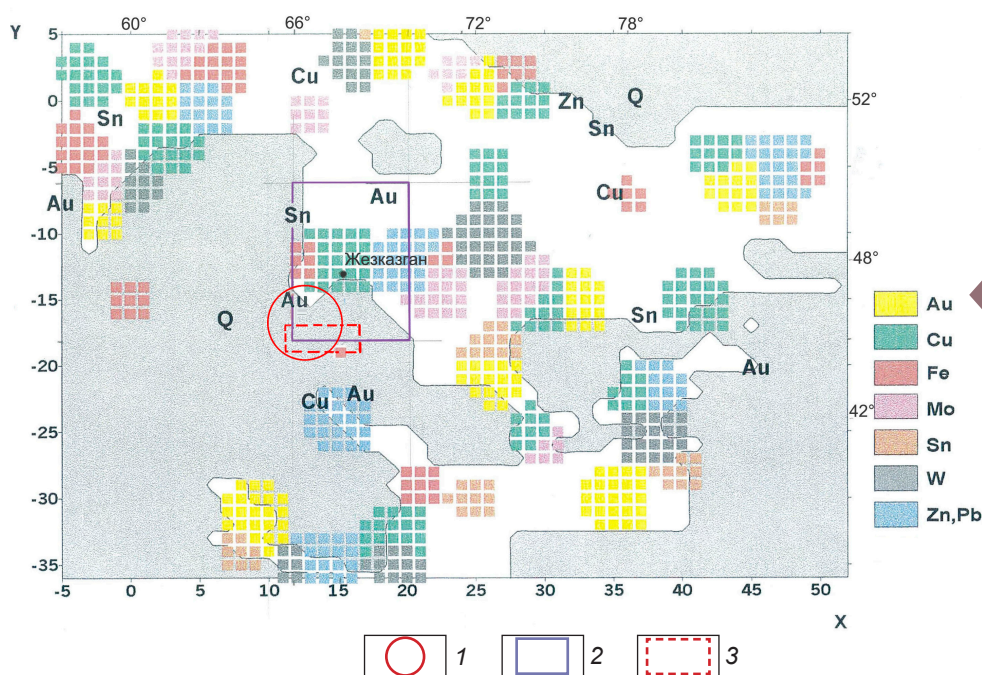


Рис. 4. Схема размещения на территории Казахстана и Средней Азии эпицентров плотности оруденения (рудных районов) Au, Cu, Fe, Mo, Sn, W, Zn и Pb:

1 – «вакансия» золоторудного района; 2 – территория проведения геохимического картирования Жезказганского рудного региона (2014–2015); 3 – Южно-Карсакапайская площадь (14 000 км²), перспективная на золотое оруденение; Q – рыхлые отложения и отсутствие данных (ЮВ угол); химические символы – «вакансии» размещения рудных объектов соответствующих металлов; X, Y – условные координаты

родных факторов, выделить уровни иерархической организации и даже определить их внешние границы. При описании диффузных систем, их моделировании, прогнозе организации и поведения необходимо учитывать действия очень многих разнородных по своей природе процессов и факторов. Для технологии цифрового прогнозирования рудных объектов потребуются разработать методы описания и выделения диффузных систем. Оцифрование таких систем должно послужить входным материалом для генерации алгоритмов распознавания геологических объектов посредством искусственного интеллекта, который, в свою очередь, должен позволять оценивать множество исследуемых объектов на предмет их рудоносности.

3. **Томография скалярных геохимических полей.** Проблема томографии геологических сред на базе поверхностных опробований, интерпретируемых как скалярные поля, не получила решения на настоящий момент. Между тем это очень важная задача, поскольку её решение могло бы существенно расширить интерпретационные возможности геохимического или иного состояния геологических сред в оцениваемых районах поиска рудных объектов за счёт получения дополнительной информации об объёме среды. Решение этой задачи становится возможным только при включении в рассмотрение физических и химических процессов масса- и теплопереноса, приводящих к тем или иным последствиям в распределении вещества в геологических средах [25].

3. Средние кратчайшие расстояния между эпицентрами плотности оруденения

Эпицентры металлов	Число эпицентров	R	Rсл	R/Rсл
Au (все)	9	400	250	1,6
Au (крупные)	4	900	400	2,4
Cu (все)	11	330	220	1,5
Cu (крупные)	5	540	350	1,55
Zn (крупные)	6	570	320	1,8
Fe (все)	10	440	230	1,4
Mo (крупные)	8	330	270	1,2
W (все)	7	500	290	1,9

Примечание. R – средние кратчайшие расстояния между объектами (км); Rсл – средние кратчайшие расстояния между случайно расположенными точками (км).

4. Схема выполнения прогнозно-поисковых работ

Этапы	Основной масштаб	Выделяемые объекты	Получаемые знания	Изучаемые площади
I. (2020–2022 гг.)	1:2 500 000 (региональный)	Рудные районы, крупные рудные узлы	Новые знания по металлогении Казахстана	Изучается вся территория Казахстана, где мощность рыхлых отложений меньше 300–400 м
II. (2021–2026 гг.)	1:500 000 (региональный)	Рудные узлы, участки крупных месторождений	Новые знания по металлогении рудных и потенциально рудных районов	Изучаются 9–12 площадей, соответствующих рудным районам или крупным рудным узлам (20–30% площади работ этапа I)
III. (2023–2029 гг.)	1:200 000–1:100 000 (локальный)	Небольшие рудные узлы, участки месторождений	Новые знания о количественных закономерностях локализации месторождений и рудных зон	На каждой площади изучаются 4–10 участков, выделенных как перспективные на этапе II (всего 40–60 участков)
IV. (2024–2030 гг.)	1:25 000 (детальный)	Месторождения, рудные зоны		Изучается по 1–3 объекта на каждом из участков работ этапа III

4. Элементы *искусственного интеллекта* (ИИ) для выделения и оценки рудообразующих систем. Уже созданный и предлагаемый для создания объём научно-технологических и программных разработок в сфере прогнозно-поисковых работ на рудные полезные ископаемые может послужить основой для создания первичных версий ИИ. При этом следует отметить, что создание искусственного интеллекта не является самоцелью. Он необходим для экономии производственных и финансовых ресурсов при осуществлении геологоразведочных операций оценки недр. Алгоритмическая основа специализированного ИИ в области геологии (геохимии) может опираться на теории распознавания образов и нейросетей с использованием «генератора случайностей». При этом понятие «образ» понимается в широком смысле слова. Например, цифровой материал, полученный в результате построения карт геохимических полей, результаты районирования и томографических расчётов плюс оцифрованные геология модели (знания) и образ объекта диффузного типа плюс цифровые образы различных поисковых и оценочных критериев и многих других цифровых параметров, составляющие разные грани распознаваемого объекта. Необходимость использования технологии искусственного интеллекта при цифровом прогнозировании рудных объектов свя-

зана с тем, что в большой диффузной системе геологической среды может содержаться огромное число «рудных» подсистем разных иерархических уровней, полное выделение которых традиционными методами затруднительно. Искусственный интеллект будет помогать принимать решения о перспективности «рудных» подсистем благодаря синтезу, анализу и визуализации информации.

5. Математическое и компьютерное *моделирование механизмов образования и размещения рудных объектов* различных иерархических (масштабных) уровней. Все алгоритмические и технологические разработки в сфере цифрового прогнозирования на основе геохимических данных должны поддерживаться математическим и компьютерным моделированием механизмов образования и размещения рудных объектов различных иерархических уровней, являясь своего рода инструментом обеспечения знаниями и решения практически всех операций цифрового прогнозирования. И хотя в этой области мы находимся в самом начале пути, построение даже простейших моделей рудообразования уже дало интересные и нетривиальные результаты [17].

В **заключение** следует отметить, что, формируя стратегию и тактику оценки недр на рудные полезные ископаемые в новой геологоразведочной ситуации, необходимо

объективно проанализировать реальное состояние прогнозно-поисковых исследований и наметить новые пути, принципиально повышающие их эффективность и качество. Перспективными направлениями при оценке недр на рудные полезные ископаемые являются:

- *области научно-методологического обеспечения:* преобразование металлогении в количественное, прогнозически ориентированное научное направление путём её синтеза с геохимией на основе системно-синергетической методологии и новой информации о структурах разномасштабных полей концентрации элементов; расшифровка и моделирование механизмов рудообразования с использованием фундаментальных представлений физики, химии и компьютерных технологий;

- *в области информационного обеспечения:* качественное развитие информационной базы за счёт разномасштабного картирования полей концентрации элементов с использованием высокочувствительных анализов, методов фазовой геохимии (определение «подвижных» форм нахождения элементов) и выделением моно- и полиэлементных структур (прежде всего, геохимических систем рудных объектов);

- *в области технологии обработки информации и знаний:* развитие методов извлечения целевой информации и знаний из данных о свойствах геологической среды; разработка и использование цифровых технологий прогнозирования, обеспечивающих объективную, несмещённую и достаточно точную оценку недр с определением прогнозных ресурсов.

Рассматривая различные аспекты оценки недр, авторы не претендуют на исключительность или безальтернативность своих взглядов и предложений, а стараются лишь привлечь внимание к накопившимся проблемам и необходимости поиска новых подходов, идей и методов при решении задач прогноза и поисков новых месторождений. Только новые знания и информация, а также современные цифровые прогнозно-поисковые технологии смогут обеспечить принципиальное повышение эффективности оценки недр на рудные полезные ископаемые. В частности, новое направление оценки недр на основе прогнозно-поисковой геохимической технологии Ionex и методов цифрового прогнозирования должно привести к следующим результатам:

- повысить инвестиционную привлекательность недр за счёт получения более надёжных оценок их потенциальной перспективности;

- привести к выявлению нескольких значимых скрытых месторождений (для территории Казахстана);

- будет стимулировать развитие цифровых и природоподобных технологий с превращением их в экспортный продукт.

Конечно, решение научно-методологических, информационных, технологических проблем для повышения эффективности оценки недр на рудные полезные ископаемые потребует одновременного решения

некоторых организационных, управленческих и нормативно-правовых вопросов, но это уже тема специального обсуждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бадалов С.Т.* Геохимические особенности рудообразующих систем. – Ташкент, 1999.
2. *Бегаев И.В., Назаров В.Н., Шатов В.В.* Полигенно-комплексные месторождения порфирировых систем в Нарьмском районе Рудного Алтая (ВКО) // Геология и охрана недр. 2015. № 4(57). С. 2–10.
3. *Гольдберг И.С.* Геоэлектрoхимическое извлечение элементов из горных пород и энергия рудообразования. Сафроновские чтения. – СПб., 1993. С. 135–151.
4. *Гольдберг И.С., Абрамсон Г.Я., Лось В.Л.* Поиски рудных объектов на основе полярной зональности геохимических систем // Прикладная геохимия. Вып. 3. Прогноз и поиски. – М., 2002. С. 305–323.
5. *Гольдберг И.С., Абрамсон Г.Я., Лось В.Л.* Геохимические системы рудных объектов: примеры, модель, генетические и поисковые критерии // Геология и охрана недр. 2003. № 1(7). С. 24–33.
6. *Гольдберг И.С.* Рудообразование в геоэлектрoхимических системах // Геология и охрана недр. 2005. № 2(15). С. 28–40.
7. *Гольдберг И.С., Абрамсон Г.Я., Лось В.Л.* Геохимический образ рудных объектов – от региональных до локальных – основа прогноза и поисков месторождений по технологии Ionex // Разведка и охрана недр. 2013. № 8. С. 12–16.
8. *Горяинов П.М., Иванюк Г.Ю.* Самоорганизация минеральных систем. – М.: ГЕОС, 2001.
9. *Концепция* развития геологической отрасли Республики Казахстан до 2030 года. – Астана, 2012.
10. *Кременецкий А.А.* Принципы и технология разномасштабных прогнозно-поисковых геохимических работ // Поисковая геохимия: теоретические основы, технология, результаты. – Алматы, 2004. С. 13–25.
11. *Кривцов А.И.* Прикладная металлогения. – М.: Наука, 1989.
12. *Летников Ф.А.* Синергетика геологических систем. – Новосибирск: Наука, 1992.
13. *Летников Ф.А.* Флюидный режим эндогенных процессов в континентальной литосфере и проблемы металлогении // Материалы теоретического семинара ОГГИ РАН, 1998–1999. – М.: ГЕОС, 2000. С. 204–224.
14. *Лось В.Л., Гоберник И.А., Иоффе А.Л.* Программный комплекс ELAN // Математические методы решения задач моделирования и прогнозирования в геологии. – Алматы, 1994. С. 78–88.
15. *Лось В.Л.* Самоорганизация в геологических системах: общие принципы, методологические и прикладные исследования // Геология и охрана недр. 2005. № 1(14). С. 75–80.

16. Лось В.Л. Металлогенические системы и механизмы рудообразования // Геология и охрана недр. 2005. № 4(17). С. 28–36.
17. Лось В.Л., Гоберник И.А., Мурзадилов Т.Д. Имитационное моделирование процессов рудообразования // Руды и металлы. 2011. № 3–4. С. 116–117.
18. Лось В.Л., Нарсеев В.А., Старостин В.И. Проблемы оценки недр на рудные полезные ископаемые // Геология и охрана недр. 2015. № 1(54). С. 75–83.
19. Лось В.Л., Дегенбаева М.С. Новые представления о металлогении и перспективах Жезказганского рудного региона // Геология и охрана недр. 2016. № 1(58). С. 18–36.
20. Лось В.Л., Дегенбаева М.С. Перспективы выявления нового золоторудного района в Казахстане // Геология и охрана недр. 2016. № 4(61). С. 12–16.
21. Лось В.Л., Мурзадилов Т.Д. Концепция и методология нового технологического «мейнстрима» прогнозно-поисковых работ на рудные полезные ископаемые // Геология и охрана недр. 2018. № 3(68). С. 58–67.
22. Лось В.Л., Ужкенов Б.С. Оценка недр на рудные полезные ископаемые: состояние, проблемы, возможности // Горный журнал Казахстана. 2019. № 3. С. 18–23.
23. Минерально-сырьевая база меди, свинца, цинка, золота Республики Казахстан. Состояние, прогноз развития / Б.С.Ужкенов, М.А.Сайдуакасов, А.К.Мазуров, Е.М.Селифонов // Сырьевая база свинца и цинка, меди и золота Казахстана. – Алматы, 2002. С. 4–5.
24. Мулагулов И.А. Оценка достоверности определения целевой функции при прогнозе полезных ископаемых с помощью имитационного моделирования // Принципы, методы и опыт прогнозирования и оценки прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. – Алма-Ата, 1988. С. 33–42.
25. Мурзадилов Т.Д., Гринштейн Ю.А. Принципы газовой томографии геологической среды: материалы международной научно-практической конференции «Инновации и перспективные технологии геологоразведочных работ в Казахстане», 16–17 марта. – Алматы, 2017.
26. Нарсеев В.А. Структурирование геологического пространства (в поисках новой парадигмы геологии) // Геология и охрана недр. 2007. № 1(22). С. 15–18.
27. Нарсеев В.А., Петровский А.Д. Нормализованные масс-энергетические показатели комплексов среды рудоотложения. Препринт. – М., Изд-во РАЕН, 1993.
28. Овчинников Л.Н. Образование рудных месторождений. – М.: Наука, 1988.
29. Прогноз, поиски и моделирование рудных объектов // Комплексная переработка минерального сырья Казахстана. Т. 1а. – Алматы, 2008.
30. Распределение средних концентраций элементов в рудных месторождениях: статистика, корреляция, классификация / В.Л.Лось, В.С.Горяева, В.С.Легонькин, О.В.Самохвалова // Геология и охрана недр. 2009. № 4(33). С. 32–42.
31. Технология IONEX при прогнозно-поисковых работах (Рудный Алтай / В.Л.Лось, Г.Я.Абрамсон, И.С.Гольдберг, В.Н.Назаров // Разведка и охрана недр. 2014. № 3. С. 14–22.
32. Фрейман Г.Г. Ключевые элементы реформирования горно-геологической отрасли Казахстана, переход на международные стандарты публичной геологической отчетности // Роль университетов в создании инновационной экономики. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2018. С. 307–313.
33. Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. – М.: Наука, 1965.
34. Geoelectrochemical Exploration: Principles, Practice and Performance. Recourcing the 21st Century / I.S.Goldberg, G.J.Abramson, C.O.Haslam, V.L.Los. – Australia, Ballarat, 1997. P. 193–199.
35. Goldberg I.S., Abramson G.Y. and Los V.L. Depletion and enrichment of primary haloes: their importance for mineral deposits // Journal Geochemical Exploration. Environment, Analyses. 2003. Vol. 3. P. 281–293.
36. Satu M., Mooney N. The electrochemical mechanism of sulphide self – potential Geophys. 1960. Vol. 25. № 1. P. 226–249.
37. Wang Xuejin, Xie Xuejing Cheochemical Mapping: Implications for Mineral Exploration and Assessment // Поисковая геохимия: теоретические основы, технология, результаты. – Алматы, 2004. С. 26.

Возможности метода электромагнитной импульсной обработки алмазоносных кимберлитовых руд при их обогащении

Н.Е.АНАШКИНА, И.Ж.БУНИН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова Российской академии наук (ФГБУН ИПКОН РАН); 111020, г. Москва, Крюковский тупик, 4),
Г.К.ХАЧАТРЯН (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 результате воздействия мощных наносекундных электромагнитных импульсов на алмазосодержащие кимберлиты происходит эффективное разупрочнение породообразующих минералов, селективное раскрытие полиминеральных сростков при сохранении целостности и исходных свойств кристаллов алмаза. Разупрочнение пород достигается за счёт образования каналов электрического пробоя в породообразующих минералах кимберлита вблизи металлосодержащих минеральных включений, а также деструкции поверхностного слоя оливина, серпентина и образования микротрещин в кальците, что приводит к существенному уменьшению их микротвердости.

В то же время в кристаллической решётке алмаза формируются дополнительные планарные образования интерстициального характера – «плейтлетс», характерные для природных алмазов с повышенными прочностными свойствами, что может способствовать большей сохранности кристаллов алмаза при измельчении кимберлитов.

Ключевые слова: алмазы, высоковольтные наносекундные импульсы, спектроскопия, структурные дефекты, микротвердометрия.

Анашкина Наталия Евгеньевна
кандидат технических наук

for_nataliya@list.ru

Бунин Игорь Жанович
доктор технических наук



Хачатрян Галина Карленовна
доктор геолого-минералогических наук

khachatryan_g_k@mail.ru

Possibilities of the method of electromagnetic pulse processing of diamond-bearing kimberlite ores during their enrichment

N.E.ANASHKINA, I.Zh.BUNIN (Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences),
G.K.KHACHATRYAN (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals)

As a result of powerful nanosecond electromagnetic impacts on diamond-bearing kimberlites an effective softening of rock-forming minerals, selective opening of polymineral aggregates while maintaining the integrity and basic natural properties of diamond crystals was established. The softening of the rocks is achieved due to the formation of electric breakdown channels in the rock-forming minerals of kimberlite near metal-containing inclusions, as well as the destruction of the surface layer of olivine, serpentine and the formation of microcracks in calcite, which leads to a decrease of their microhardness.

At the same time, additional planar interstitial formations – «platets», characteristic of natural diamonds with increased strength properties, are formed in the diamond crystal lattice, which contributes to the better preservation of diamond crystals during diamond-bearing kimberlite processing.

Key words: diamonds, high-voltage nanosecond pulses, spectroscopy, structural defects, microhardness.

При существующей в России технологии добычи и переработки алмазоносных кимберлитов повреждаемость кристаллов алмаза составляет от 25 до 75%, что приводит к потере полезной массы кристаллов, достигающей 29% от общего количества. Основным источником повреждений алмаза при переработке кимберлитовых руд является процесс их самоизмельчения, приводящий к нарушению целостности значительного числа кристаллов алмаза [4].

Повышение сохранности кристаллов алмазов при их извлечении из руд можно обеспечить как за счёт предварительного разупрочнения минералов кимберлита и сокращения пребывания рудной массы в мельницах мокрого самоизмельчения (ММС), так и вследствие направленного изменения (модификации) структурно-химических и технологических свойств самого алмаза. Практика исследований в области переработки алмазосодержащих кимберлитов свидетельствует об экономической нерациональности применения традиционных технологий для уменьшения потерь алмазов крупностью менее 5 мм [6]. В связи с этим проблема разработки новых процессов и методов, обеспечивающих эффективную комплексную переработку труднообогатимых кимберлитов, повышение извлечения и сохранность целостности и качества алмазов, является весьма актуальной.

В последние годы в России и за рубежом всё большее значение приобретают новые, высокоэффективные, энергосберегающие методы обработки труднообогатимого алмазосодержащего минерального сырья, такие как химическая, ультразвуковая, криогенная, механохимическая активация, электрохимический метод водоподготовки и другие методы, способствующие повышению эффективности технологического процесса извлечения алмазов из руд и сохранности кристаллов алмазов при измельчении кимберлитов в мельницах самоизмельчения.

Одним из путей повышения эффективности процессов дезинтеграции минерального сырья, разделения минералов с близкими физико-химическими и технологическими свойствами является использование в подготовительных операциях перед обогащением руд нетрадиционных (немеханических) методов энергетических воздействий. Среди таких методов важное значение имеет высокоэффективный, энергосберегающий способ *нетеплового* воздействия на руды и продукты обогащения мощными наносекундными электромагнитными импульсами (МЭМИ).

Цель работы – исследование влияния наносекундных импульсов высокого напряжения на механические свойства породообразующих минералов кимберлитов и структурные особенности кристаллов алмаза и выявление принципиальной возможности использования МЭМИ для оптимизации процессов переработки алмазосодержащих руд.

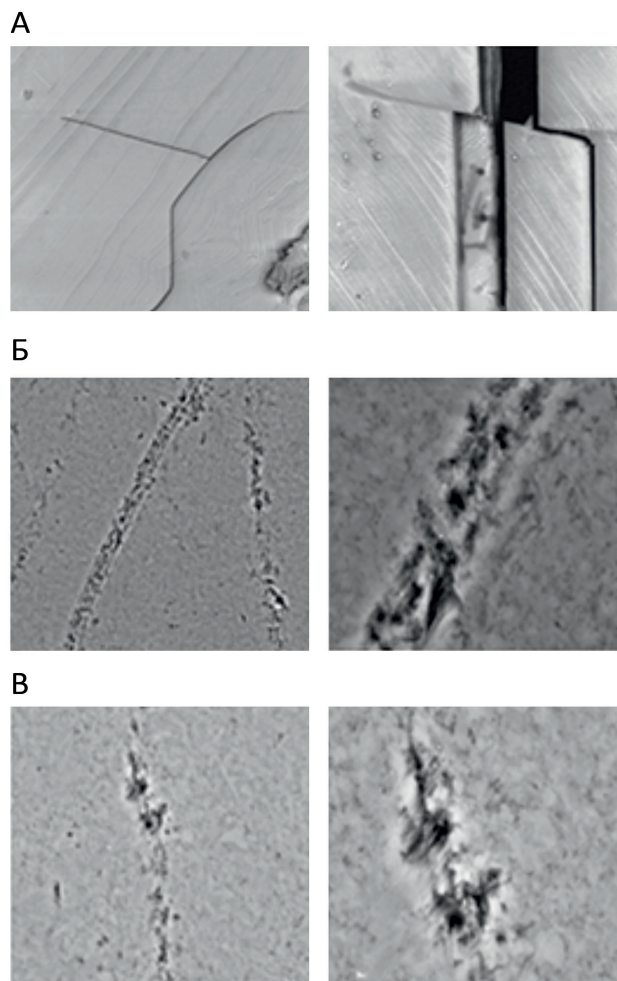


Рис. 1. РЭМ-изображение поверхности кальцита (А), серпентина (Б) и оливина (В) после воздействия МЭМИ в течение 50 с

Материалы и методы исследований. Объектами исследования послужили образцы алмаза и породообразующих минералов кимберлитов – серпентина, оливина и кальцита из месторождений Якутии.

Алмазы представлены кристаллами класса крупности $-2+1$ мм из триасовых россыпей Нижнеленского района (коллекция Ю.М.Сибирцева).

Обработка проб (кристаллов алмаза и аншлифов породообразующих минералов кимберлитов) высоковольтными наносекундными импульсами проводилась на воздухе при стандартных условиях. Параметры импульсной обработки: τ (фронта импульса) $\sim 1-5$ нс, τ (длительность импульса) ~ 50 нс, U (амплитуда импульса) ~ 25 кВ, $E \sim 10^7$ В·м $^{-1}$, частота повторения импульсов 100 Гц, энергия в импульсе $\sim 0,1$ Дж, диапазон изменения времени электроимпульсной обработки – 10–150 с, то есть число МЭМИ $N_{imp} \sim (1-15) \times 10^3$.

Содержание структурных примесей и дефектов в алмазах определялось методом ИК-Фурье-спектроскопии (ИКФС) на спектрометре Nicolet-380 с микросветильной приставкой фирмы Karl Zeiss; диапазон волновых чисел 400–4000 см⁻¹.

Морфологические свойства поверхности минералов исследовались методами аналитической электронной (РЭМ–РСМА, растровый электронный микроскоп LEO 1420VP – EDX Oxford INCA Energy 350, низковакуумный микроскоп JEOL JSM-6610LV), сканирующей зондовой (атомно-силовой микроскоп NTEGRA Prima) и оптической (ОМ, оптический стереомикроскоп по схеме Грену Olympus SZ61) микроскопии.

Микротвёрдость порообразующих минералов в исходном состоянии и после обработки аншлифов МЭМИ определялась по методу Виккерса (HV, МПа) на микротвердомере ПМТ-3М, оснащённом фотоэлектрическим окулярным микрометром ФОМ-2.

Результаты исследования. По данным аналитической электронной микроскопии (РЭМ–РСМА), в результате импульсных энергетических воздействий на поверхности порообразующих минералов произошли следующие стимулированные электрическим полем изменения: образование следов незавершённых пробоев, локализованных в местах скопления металлсодержащих фаз, для оливина и серпентина (рис. 1, Б, В, соответственно) и разнонаправленных трещин и микроструктурных фрагментов (выколоток) для кальцита (см. рис. 1, А).

Наряду с изменениями микрорельефа поверхности порообразующих минералов кимберлитов импульсные энергетические воздействия вызывали нарушение их структуры, что подтверждено спектроскопическими исследованиями [9]. Так, в спектрах оливинов и серпентинов, обработанных МЭМИ, наблюдается уширение полос поглощения в области 700–1100 см⁻¹, обусловленных колебаниями тетраэдров SiO₄.

Анализ данных ИК-спектров кальцита в исходном и изменённом МЭМИ состояниях показал, что, в отличие от оливина и серпентина, электроимпульсная обработка не оказывала существенного влияния на кристаллохимические свойства минерала, островная структура которого содержит пространственно ограниченные (во всех трёх измерениях) прочные структурные группировки, составляющие комплексные анионы CO₃⁻² [5].

Возможными причинами установленных изменений спектральных характеристик оливина и серпентина являются нарушения микроструктуры, обусловленные образованием, перемещением и взаимодействием дефектов, а также процессами разупорядочения и аморфизации.

Электромагнитная импульсная обработка порообразующих минералов кимберлитов вызвала значительное снижение микротвёрдости образцов. На рис. 2, А–В показаны зависимости влияния времени обработ-

ки (t_{treat}) на относительное изменение микротвёрдости минералов: $(HV_{0i} - HV_i)/HV_{0i}$, %, где HV_{0i} – микротвёрдость образцов в исходном состоянии, HV_i – микротвёрдость i -го образца после обработки МЭМИ.

В целом максимальное относительное снижение микротвёрдости минералов достигало 42–66% в результате воздействия МЭМИ в течение 100 и 150 с. Для минералов с низкой твёрдостью (кальцит, серпентин) резкое снижение микротвёрдости достигалось уже при $t_{\text{treat}}=10-30$ с. Для минералов со сравнительно низким уровнем твёрдости скорость изменения микротвёрдости максимальна при малых дозах электромагнитного излучения и, по-видимому, определяется изначальной твёрдостью минералов, зависящей от природы и энергии химических связей.

По данным конфокальной лазерной сканирующей микроскопии (КЛСМ), в области вдавливания алмазной пирамидки на поверхности оливина и кальцита в результате обработки МЭМИ образовывались микротрещины, предположительно, дислокационного происхождения (см. рис. 2, Г, Д), что свидетельствует о влиянии импульсных энергетических воздействий не только на микротвёрдость минералов, но и на их трещиностойкость (вязкость разрушения K_{IC}).

В то же время нетепловое воздействие МЭМИ не вызывало образования существенных повреждений кристаллов алмаза, диагностируемых методами микроскопии, что обусловлено величиной электрической прочности алмаза, составляющей порядка 10^9 В·м⁻¹ и на два порядка превышающей величину напряжённости электрического поля в межэлектродном промежутке генератора импульсов ($E \sim 10^7$ В·м⁻¹).

По данным ИКФС, в результате электромагнитного импульсного воздействия установлены незначительные изменения структуры кристаллов алмаза, проявляющиеся в увеличении концентрации дефектов микродвиговой природы, представленных межузельными углеродными атомами – плейтлетс или В2 [8], характерными для алмазов с повышенными прочностными свойствами [2]. Данные структурные изменения зафиксированы по истематическому увеличению коэффициента поглощения линии ИК-спектра около 1365 см⁻¹, обусловленной В2-дефектами, с ростом продолжительности (дозы) электроимпульсной обработки $N_{\text{imp}}=(1-15) \times 10^3$ (рис. 3). Вместе с тем глубокой структурной перестройки кристаллов алмаза не происходило, а именно, концентрация и распределение азотных центров практически не изменялись. Новые В2-дефекты образовывались преимущественно в образцах с повышенным относительным содержанием азотных В-дефектов [7], составляющим 35–65% от общего содержания примеси азота в кристаллах.

Исследование морфологических особенностей поверхности кристалла алмаза на субмикронном и нанометровом уровнях с использованием атомно-силового микроскопа показало наличие ориентированных узких

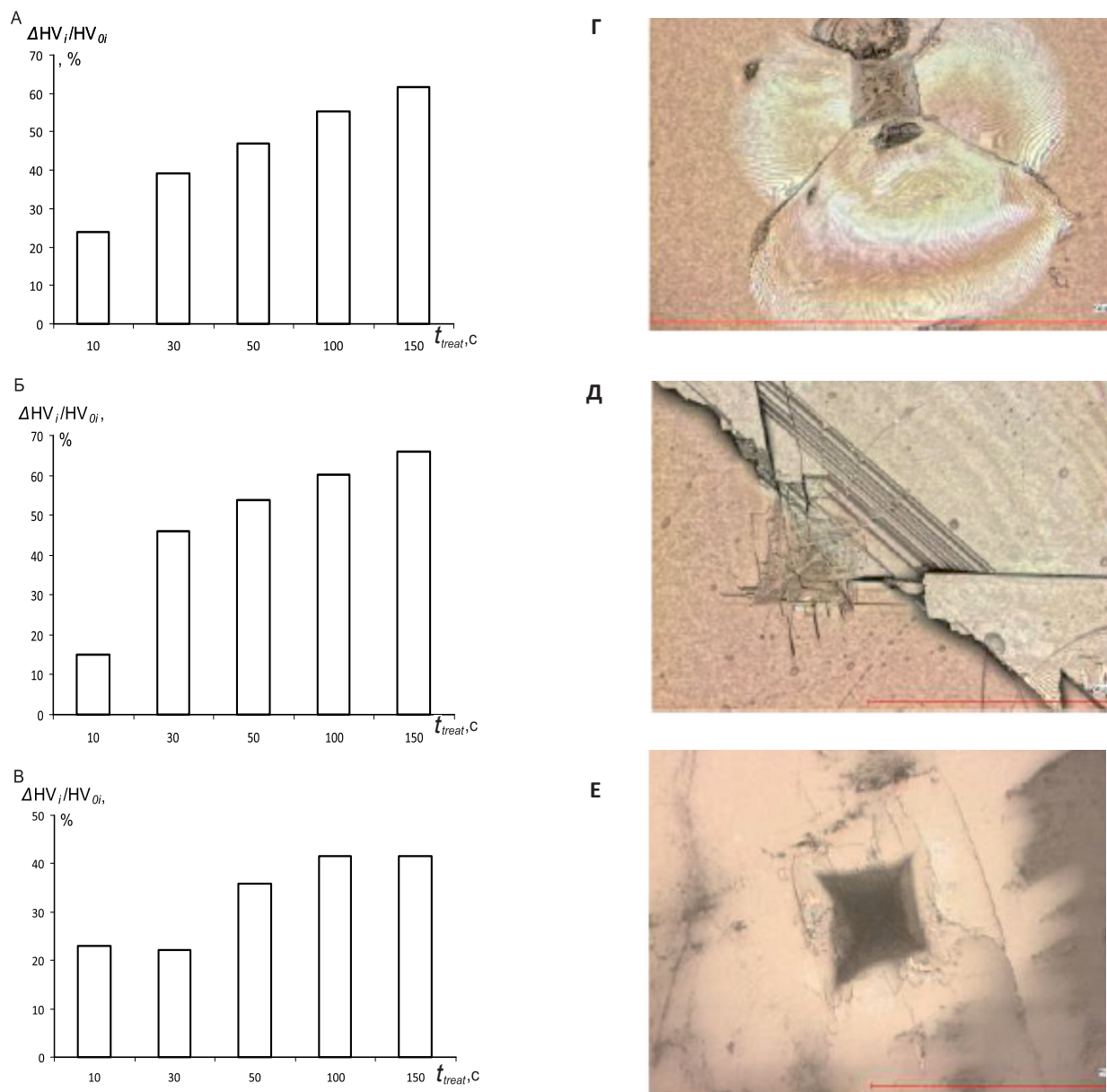


Рис. 2. Относительное изменение микротвёрдости ($\Delta HV_i / HV_{0i}, \%$) оливина (А), кальцита (Б), серпентина (В) в зависимости от времени обработки МЭМИ (t_{treat}, C); морфология отпечатков алмазной пирамидки Виккерса на поверхности минералов (Г–Е)

протяжённых полос, разделённых характерными вторичными трещинами. Эти полосы авторы статьи интерпретировали как проявление плейтлетс. В результате воздействия на алмазы МЭМИ ($t_{treat}=30$ с) наблюдались незначительное расширение и углубление этих дефектов (рис. 4, А–В), а также возникновение новообразований в виде частиц шарообразной формы размером от нескольких десятков до 100 нм (см. рис. 4, Г).

Таким образом, в результате проведённых исследований установлен эффект разнонаправленного изменения механических (прочностных) свойств породообразующих минералов кимберлита (оливина, серпентина,

кальцита) и алмазов в условиях воздействия наносекундных импульсов высокого напряжения, состоящий в разупрочнении поверхности минералов породы, уменьшении их микротвёрдости в целом на 40–60% и, предположительно, повышении прочностных свойств алмазных кристаллов. Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения импульсных энергетических воздействий для повышения эффективности разупрочнения породообразующих минералов алмазосодержащих кимберлитов без повреждения кристаллов алмазов, обеспечения их сохранности в процессе измельчения руд.

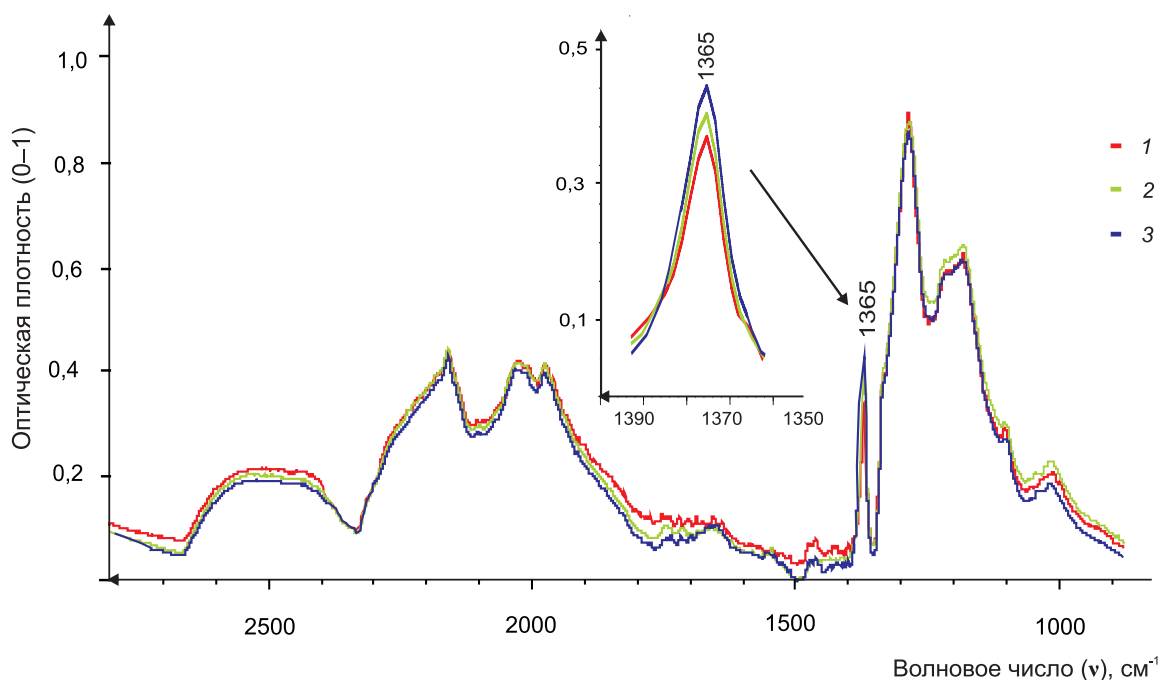


Рис. 3. ИК-спектр алмаза и его увеличенный фрагмент, полученные до (1) и после (2, 3) обработки МЭМИ: электроимпульсное воздействие в течение $t_{\text{reat}}=50$ с (2) и 150 с (3)

Возможность применения метода обработки МЭМИ для интенсификации процессов обогащения кимберлитовых руд. Для оценки возможности применения способа обработки МЭМИ кимберлитовых руд в непрерывном режиме в условиях технологического процесса обогащения алмазосодержащего минерального сырья были проанализированы такие факторы, как минимальный и максимальный размер обрабатываемых минеральных частиц и относительная влажность пульпы.

Как было установлено ранее [1], размер обрабатываемой МЭМИ минеральной частицы не должен быть меньше ~ 100 мкм, что определяется условиями формирования зоны повреждений (трещиноватости) вокруг канала электрического пробоя в частице для повышения эффективности процесса дезинтеграции (раскрытия) минеральных сростков при последующем измельчении. Максимальный размер минеральных частиц составляет 2–3 мм (максимально 5 мм), что обусловлено необходимостью формирования слоя руды заданной толщины для обеспечения равномерности воздействия МЭМИ на минералы в условиях непрерывной подачи руды в зону электроимпульсной обработки. В то же время повышенное содержание жидкости в обрабатываемом материале приводит к энергетическим потерям вследствие поглощения электромагнитного излучения миллиметрового диапазона молекулами воды. Поэтому для использования способа обработки МЭМИ руд

с большим содержанием влаги (минеральных суспензий) должны быть проведены предварительные операции по обезвоживанию минерального сырья. Также важно отметить необходимость применения защитного экранирования зоны размещения генератора высоковольтных импульсов.

Несмотря на указанные ограничения, нетепловое воздействие наносекундных МЭМИ позволяет направленным образом модифицировать физико-химические и технологические свойства породообразующих минералов кимберлита и алмазов при непрерывном режиме обработки руды и минимальных энергозатратах (1,7 кВт·ч на 1 т руды). Как было показано ранее [3], помимо повышения эффективности процессов разрушения и селективности дезинтеграции кимберлитов, МЭМИ позволяет направленно изменять физико-химические свойства и функциональный покров поверхности алмазов, что позволяет использовать данный метод для интенсификации процесса флотации.

По результатам анализа особенностей применяемых в России технологических схем обогащения кимберлитов, а также преимуществ и ограничений метода обработки МЭМИ можно прогнозировать эффективность применения данного вида импульсного энергетического воздействия для переработки (обработки) хвостов обогатительных операций, направленных на доизмельчение (циркуляция), относящихся к классу крупности руды менее 5 мм.

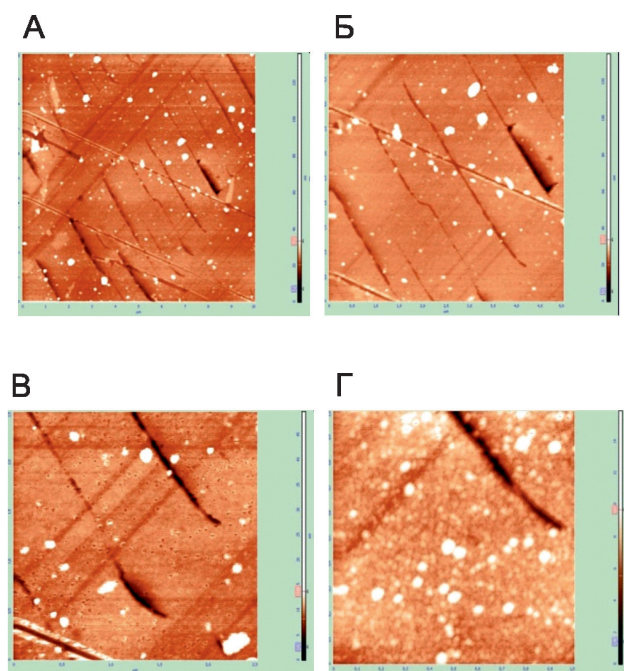


Рис. 4. АСМ – изображения рельефа поверхности кристалла алмаза после обработки МЭМИ в течение $t_{\text{treat}}=30$ с:

размер сканов: 10×10 мкм, Z ~70 нм (А); 5×5 мкм, Z ~30 нм (Б); 2,5×2,5 мкм, Z ~30 нм (В); 1,0×1,0 мкм, Z ~15 нм (Г)

Проведённые исследования свидетельствуют о целесообразности режимов кратковременных (малые дозы) импульсных энергетических воздействий для направленного изменения структурно-химического состояния поверхности, механических и флотационных свойств кристаллов алмазов и породообразующих минералов кимберлитов. В этом случае за счёт предварительной электромагнитной импульсной обработки руды следует ожидать реализации следующих положительных эффектов:

1) интенсификация процесса дезинтеграции кимберлитов перед операцией доизмельчения хвостов (циркуляции), повышение селективности раскрытия минеральных сростков и сохранности алмазов в мельницах самоизмельчения;

2) направленная модификация структурно-химических и технологических свойств гидрофильных, покрытых минеральными плёнками алмазов для повышения эффективности извлечения ценных кристаллов из хвостов обогащения (циркуляции), а также контрастное изменение физико-химических и механических свойств минералов породы (кальцита, оливина, серпентина).

Таким образом, экспериментально показано, что воздействие МЭМИ вызывает разупрочнение поверхност-

ного слоя и уменьшение микротвёрдости породообразующих минералов в целом на 40–66%, а также образование дополнительных В2-дефектов в кристаллах алмаза, которые вследствие дисперсионного упрочнения кристалла, предположительно, будут способствовать повышению прочностных свойств алмазов.

Полученные результаты показали принципиальную возможность использования импульсных энергетических воздействий (МЭМИ) для повышения эффективности разупрочнения породообразующих минералов кимберлитов, обеспечения сохранности кристаллов алмазов при измельчении кимберлитовой породы в мельницах самоизмельчения, направленного изменения физико-химических и технологических свойств природных минералов-диэлектриков и совершенствования технологического процесса извлечения алмазов из руд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бунин И.Ж. Теоретические основы воздействия наносекундных электромагнитных импульсов на процессы дезинтеграции и вскрытия тонкодисперсных минеральных комплексов и извлечения благородных металлов из руд // Дисс. ... д-ра техн. наук. – М., 2009.
2. Влияние оптически активных центров на прочностные свойства алмаза / А.М.Налетов, Ю.А.Клюев, О.Н Григорьев и др. // Доклады АН СССР. 1979. Т. 246. № 7. С. 83–86.
3. Изменение состава функционального покрова природных и синтетических алмазов при воздействии высоковольтных наносекундных импульсов / В.А.Чантурия, Н.Е.Анашкина, И.Ж.Бунин, Г.К.Хачатрян // Руды и металлы. 2016. № 4. С. 98–110.
4. Каплин А.И. Интенсификация процесса мокрого самоизмельчения кимберлитов на основе использования электрохимического кондиционирования водных систем // Дисс. ... канд. техн. наук. – М., 2010.
5. Урусов В.С., Ерёмин Н.Н. Кристаллохимия. Краткий курс. – М.: Изд-во МГУ, 2010.
6. Чантурия В.А., Горячев Б.Е. Обогащение алмазосодержащих кимберлитов // Прогрессивные технологии комплексной переработки минерального сырья. – М.: Издательский дом «Руда и металлы». 2008. С. 151–163.
7. Bursill L.A., Glaisher R.W. Aggregation and dissolution of small and extended defect structures in type I a diamond // American Mineralogist. 1985. Vol. 70. P. 608–618.
8. Conversion of platelets into dislocation loops and voidite formation in type IaB diamonds / T.Evans, I.Kiflawi, W.Luyten et al. // Proc. R. Soc. Lond. A. 1995. Vol. 449. P. 295–313.
9. Experimental validation of mechanism for pulsed energy effect on structure, chemical properties and microhardness of rock-forming minerals of kimberlites / I.Zh.Bunin, V.A.Chanturia, N.E.Anashkina, M.V.Ryazanceva // Journal of Mining Science. 2015. № 4. P. 799–810.

Юбилей Светланы Степановны Двуреченской



5 декабря 2019 г. – юбилей Светланы Степановны Двуреченской, старшего научного сотрудника отдела минералогии и изотопной геохимии, ведущего специалиста в области петрографии и рудной минералогии.

После окончания в 1972 г. Московского геологоразведочного института имени Серго Орджоникидзе С.С. Двуреченская работала геологом в Приленской экспедиции Якутской АССР: занималась поисками и разведкой урановых месторождений. С 1979 г. С.С. Двуреченская начала трудиться в ЦНИГРИ. Её основные научные интересы и производственная деятельность связаны с изучением вещественного состава руд цветных и благородных металлов. С.С. Двуреченской впервые был детально исследован минеральный состав окисленных серебряных руд, сформировавшийся в условиях криолитозоны,

на месторождениях Дукат, Тидит, Гольцовый, Арылахское, Доронинское и Лунное. На этих же объектах ею впервые обнаружен ряд редких минералов, ранее не известных в России, выявлена стадийность и зональность гипергенной минерализации в профиле зоны окисления.

Под руководством С.С. Двуреченской проведено минералого-технологическое картирование ряда золото-серебряных объектов на Северо-Востоке России, разработана оригинальная методика оконтуривания окисленных руд и выявлены причины зависимости их технологических свойств от минерального состава. По результатам работ была написана и в 1987 г. блестяще защищена в московском государственном университете имени М.В. Ломоносова кандидатская диссертация «Минералогия зоны гипергенеза одного из золото-серебряных месторождений Северо-Востока СССР».

В последние годы С.С. Двуреченская проводит минералого-петрографические исследования пород, руд и метасоматитов на многочисленных золоторудных объектах нашей страны, в ходе которых уточняются минеральный состав золотоносных образований и последовательность рудоотложения, определяются продуктивные минеральные ассоциации и формы нахождения полезных компонентов руд. Результаты этих работ используются при разработке рациональных технологических схем обогащения золотосодержащих руд, а также для расшифровки зональности окорудных метасоматических и минералогических ореолов при поисковых работах. Полученные данные позволяют обосновать геолого-генетический и рудноформационный тип оруденения и скорректировать геолого-поисковые модели.

С.С. Двуреченская – автор десятков научно-исследовательских отчетов и 75 изданных научных работ, в числе которых 9 статей в журналах *Mineralium Deposita* и *Ore Geology Reviews*, опубликованных в 2017–2019 гг.

Особо следует отметить монографию «Гипергенные минералы серебряных месторождений» (ЦНИГРИ), являющуюся результатом многолетних целенаправленных изысканий С.С. Двуреченской. В труде детально, с применением современных методов исследования, охарактеризовано около 80 гипергенных минералов, впервые найденных в Дукатском рудном районе и на Асгатском месторождении Монголии. Приведены сведения о химическом составе, структурных, ИК-спектроскопических и термических параметрах для многих крайне редких минералов. Указаны основные факторы, определяющие специфические черты зоны гипергенеза и этапы её формирования. Монография, внесшая весомый вклад в теорию гипергенеза рудных месторождений, поистине может служить настольной книгой для минералогов.

Заслуги С.С. Двуреченской в развитии отрасли отмечены ведомственными грамотами. В 2013 г. она награждена почётным знаком «Отличник разведки недр».

Поздравляем Светлану Степановну с юбилеем, желаем ей крепкого здоровья, благополучия и новых успехов в научной деятельности.

Редколлегия и редакция журнала

**Список статей, опубликованных в журнале
«Отечественная геология» в 2019 году**

**ОРГАНИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ЭКОНОМИКА,
НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ**

Аксенов С.А. Основные результаты геологоразведочных работ на твёрдые полезные ископаемые в 2018 г. и задачи на 2019 г. № 1. С. 3.

Иванов А.И., Черных А.И., Алексеев Я.В., Конкина О.М., Котельников Е.Е., Пивоварова Т.А. Развитие минерально-сырьевой базы золота Российской Федерации за 1976–2017 гг. № 1. С. 15.

Голнев В.Б., Куликов Д.А. Оценочные параметры для локализации прогнозных ресурсов. № 1. С. 24.

Куликов Д.А., Голнев В.Б. Общие принципы квалификации прогнозных ресурсов. № 1. С. 29.

Корчагина Д.А. Состояние и прогноз развития минерально-сырьевой базы золота Забайкальского края. № 4. С. 3.

**НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ,
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ПРИКЛАДНОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Вахрушев А.М., Муравьев В.С. К вопросу использования государственной системы координат (ГСК-2011) при работах геологической отрасли, формировании единого информационного пространства и требований к функционалу ГИС. № 4. С. 14.

Ткачева Е.А., Михайлова Г.А., Шпекторова О.А. Верификация баз данных изученности по результатам ревизионных работ. № 4. С. 21.

МИНЕРАГЕНИЯ

Минина О.В., Мигачёв И.Ф., Звездов В.С. Прогнозно-металлогеническое районирование южной части Дальневосточного региона на медно-порфировое оруднение. № 1. С. 35.

**МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПО-
ЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Заскин Е.С., Конкина О.М. Типизация сульфидных медно-никелевых и платинометалльных месторождений для целей прогноза и поисков. № 2. С. 3.

Голнев В.Б., Куликов Д.А. Сравнение российской и зарубежных классификаций и систем подсчёта запасов твёрдых полезных ископаемых. № 2. С. 16.

Гаврилов Р.Ю. Аномальная структура геохимического поля золоторудного месторождения Чертово Корыто (Патомское нагорье). № 2. С. 31.

Голнев В.Б., Куликов Д.А. Прогнозные ресурсы твёрдых полезных ископаемых и их аналоги в мировой практике. № 3. С. 17.

Лихачев А.П. Возможность самообогащения рудным веществом и тяжёлым изотопом серы (^{34}S) мантийных магм, формирующих Pt-Cu-Ni месторождения и перспективное место для локализации руд в Норильском районе. № 3. С. 32.

Новрузов Н.А., Саттарзаде Н.А. Основные черты минералого-геохимических особенностей руд месторождения Филизчай (Азербайджан). № 3. С. 50.

Юшманов Ю.П. Золотоносные вихревые структуры в сдвиговых дуплексах Дальнего Востока: Центральная Колыма, Нижнее Приамурье. № 3. С. 55.

Никулин И.И. Большетроицкое месторождение рыхлых маргитовых руд закарстованной палеокоры выветривания железистых кварцитов и джеспилитов Курской магнитной аномалии. № 4. С. 25.

Жирнов А.М. Крупные золотоносные штокверки в архейской зеленокаменной толще Приамурья – новый тип месторождений России. № 4. С. 37.

Иванов А.И., Черных А.И. Особенности проведения геологоразведочных работ на рудное золото по заявительному принципу в условиях сложных горно-таёжных ландшафтов. № 5. С. 3.

Звездов В.С. Обстановки формирования крупных и сверхкрупных медно-порфировых месторождений. № 5. С. 16.

Лихачев А.П. Специфические особенности норильских рудоносных интрузий, их природа и определяющее значение в открытии Pt-Cu-Ni месторождений. № 5. С. 36.

Пенделяк Р.Н., Морозов А.В., Могутова В.А. Геологическое строение трубки им. В.Гриба и её индикаторные особенности в геофизических полях. № 5. С. 53.

Крашенинин В.Ф. Особенности генезиса русловых месторождений строительных песков Тарского Иртышья (на примере Нерпинского месторождения). № 5. С. 60.

Афанасьев В.П., Похиленко Н.П., Вавилов М.А., Желонкин Р.Ю., Земнухов А.Л., Барабаш Е.О., Самданов Д.А., Федорова Е.Н., Малыгина Е.В. Перспективы коренной алмазности правобережья р. Анабар (северо-восток Сибирской платформы). № 6. С. 3.

Агибалов О.А. Россыпная золотоносность арктических приморских равнин Чукотки: металлогенические и структурно-геоморфологические предпосылки формирования россыпей, проблемы прогнозирования и поисков. № 6. С. 17.

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Гриненко В.С., Баранов В.В. Глобальная палеогеография и палеобиогеография позднего триаса (карний-рэт) по брахиоподам. № 2. С. 66.

Кокочкин А.А. Эволюционная модель новейшей структуры Шантарского архипелага. № 2. С. 73.

Калмыков Н.П. О полихронном местонахождении плейстоценовых млекопитающих на северо-западном побережье оз. Байкал. № 3. С. 83.

Коковкин А.А. Намурхэ-Амурская система разломов в окраинно-континентальной структуре востока Азии. № 6. С.28.

ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ,
ГЕОХИМИЯ

Галиахметова Л.Х., Быдтаева Н.Г. Типоморфные признаки жильного кварца и их значение для прогнозирования качества кварцевых продуктов (на примере Мало-Чипикетской зоны Патомского кварценосного района, Иркутская область). № 1. С. 50.

Рафиков Я.М., Юсупов Р.Г. Флюоритоносность раннепермской трахириолит-лейкогранитной вулканоплутонической ассоциации (срединный Тянь-Шань). № 1. С. 59.

Парада С.Г. Выявление геохимической зональности эндогенного оруденения по вторичным ореолам рассеяния на примере Зыгыркольской зоны (Северный фланг Тырныаузского рудного узла). № 1. С. 68.

Петроченков Д.А., Барабошкин Е.Ю. Коллекционные, интерьерные и ювелирные аммониты из отложений нижнего апта Ульяновской области. № 1. С. 79.

Зубова Т.П., Краснов А.Н., Черемисина Е.А. Использование минералого-геохимических методов при поисках золотоносных кор выветривания в различных геолого-геоморфологических обстановках. № 2. С. 39.

Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Особенности алмазов в древних осадочных толщах на площадях влияния продуктивных кимберлитовых диатрем № 2. С. 48.

Степанов В.А., Мельников А.В. Разновидности высокопродуктивных золотоносных узлов Приамурской провинции. № 2. С. 59.

Хачатрян Г.К., Колесникова Т.И. Методика исследования оливина и хромдиоксида с помощью ИК-Фурье микроскопа и возможности её использования при шлихо-минералогических поисках месторождений алмаза. № 3. С. 63.

Карнаухова Г.А. Обстановки осадконакопления и особенности состава донных отложений в Ангарских водохранилищах. № 3. С. 74.

Николаев В.И. Роль хромового оруденения в интерпретации генезиса полосчатого комплекса офиолитовой формации на примере уральских ультрабазитовых массивов. № 4. С. 47.

Афанасьев В.П., Похиленко Н.П. Докембрийская алмазоносность Сибирской платформы: признаки и масштабы. № 4. С. 54.

Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Типоморфные особенности алмазов как отражение их экзогенной истории. № 4. С. 66.

Малов А.И. Геохимические индикаторы формирования подземных вод Юго-Восточного Беломорья. № 4. С. 75.

Кориневский В.Г., Кориневский Е.В. Металлические микросферулы в трахибазальтах Южного Урала. № 5. С. 66.

Петроченков Д.А., Радько В.А., Барабошкин Е.Ю. Верхнемеловые коллекционно-поделочные аммониты севера Красноярского края. № 5. С. 76.

Опарин Н.А., Олейников О.Б. Макрокристаллы пикроильменита кимберлитовых трубок Хомпу-Майского кимберлитового поля (Центральная Якутия). № 6. С.43.

Окулов А.В., Кузина И.Н. Аметисты Терского берега из археологических раскопок в Великом Новгороде. № 6. С.50.

Лось В.Л., Гольдберг И.С. Базовая модель, методика, результаты и программа прогнозно-поисковых работ на основе технологии Ionex в Казахстане. № 6. С.64.

ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО
СЫРЬЯ

Магомедов Д.Р., Койжанова А.К., Ерденова М.Б., Абдылдаев Н.Н. Извлечение золота из сульфидных руд и концентратов обогащения. № 5. С. 85.

Анашкина Н.Е., Бунин И.Ж., Хачатрян Г.К. Возможности метода электромагнитной импульсной обработки алмазоносных кимберлитовых руд при их обогащении. № 6. С.78.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Филатов Е.И., Филатова Л.К. Краткий очерк основ металлогении. № 3. С. 90.

ИНФОРМАЦИЯ

Информация о IX международной научно-практической конференции. № 1. С. 89.

Информация о конференциях ФГБУ «ЦНИГРИ». № 5. С. 92. 96.

Итоги IX Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». № 3. С. 7.

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

90-летие Евгения Александровича Козловского. № 3. С. 5.

75-летие Евгения Гатовича Фаррахова. № 5. С. 93.

Юбилей Светланы Степановны Двуреченской. № 6. С.84.

Памяти Виктора Борисовича Чекваидзе. № 5. С. 94.

Памяти Василия Александровича Прокина. № 5. С. 95.

Х международная научно-практическая конференция
**«Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов,
благородных и цветных металлов»**
14–17 апреля 2020 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»

Цель конференции:

развитие научно-методических основ прогноза, поисков и оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов (АБЦМ), определение направлений работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы АБЦМ.

Тематика конференции:

- минерагения АБЦМ;
- приоритетные направления прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ на АБЦМ;
- перспективные объекты для постановки геологоразведочных работ на АБЦМ различных стадий;
- опыт проведения и результаты геологоразведочных работ на АБЦМ объектов распределённого и нераспределённого фондов недр;
- научно-методические основы комплексирования геологических, геохимических, геофизических методов прогноза, поисков и оценки месторождений АБЦМ;
- использование комплексных моделей месторождений для целей прогноза, поисков, оценки и разведки АБЦМ;
- разработка и реализация инновационных методов, методик и технологий ГРР на АБЦМ;

Место проведения:

117545, Москва, Варшавское шоссе, дом 129, корп. 1

ФГБУ «ЦНИГРИ»

Первое информационное письмо

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ») проводит 14–17 апреля 2020 г. X Международную научно-практическую конференцию «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». Конференция проводится при поддержке Федерального агентства по недропользованию, Российской академии наук, Российского геологического общества, Ассоциации геологических организаций.

К сведению участников:

Для участия в конференции приглашаются представители территориальных органов Роснедр, геологоразведочных предприятий, компаний недропользователей, научно-исследовательских отраслевых, академических институтов и ВУЗов

Программа конференции включает пленарное заседание, устные и стендовые доклады на тематических секциях, а также геологические экскурсии на золоторудные или полиметаллические месторождения России (участие в экскурсиях платное).

Официальный язык конференции – русский и английский.

Тезисы докладов не редактируются и публикуются в авторском варианте. Сборник тезисов докладов будет издан к началу конференции. Базовые доклады планируется опубликовать в журналах «Отечественная геология» и «Руды и металлы».

Программа конференции будет разослана в электронном виде зарегистрированным участникам.

Регистрация участников и приём тезисов будет проводиться на сайте Института с 1 августа до 01 марта 2020 года

Контакты:

Котельников Евгений Евгеньевич Антонец Анастасия Владимировна
(495)315-28-10 (495)315-26-01

e-mail: conference@tsnigri.ru

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЕГИ!

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ») приглашает вас принять участие в работе I молодёжной научно-образовательной геологической конференции: «МСБ алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче».

Принимаются заявки от студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов в возрасте до 35 лет.

Научные направления конференции:

- Металлогения, минерагения и рудогенез;
- Прогноз, поиски, оценка и разведка месторождений полезных ископаемых;
- Разработка прогнозно-поисковых и геолого-генетических моделей месторождений твёрдых полезных ископаемых;
- Методы изучения вещественного состава пород и руд;
- Физико-химические условия минералообразования;
- Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых и участков недр;
- Использование геоинформационных технологий и пространственных данных в геологической отрасли;
- Современные технологии добычи и переработки минерального сырья.

На конференции планируется проведение кратких лекционных курсов и семинаров ведущими специалистами по разным направлениям геологических наук. Предварительный список лекций будет приведен во втором циркуляре. Предусматривается выдача сертификатов для участников конференции. Выступления молодых ученых будут проходить как в устном, так и в стендовом формате.

К началу конференции планируется опубликовать сборник тезисов в электронном виде. Сборник будет включен в базу данных РИНЦ. Лучшие доклады в виде статей будут опубликованы в журналах «Отечественная геология» и «Руды и металлы»

Важные даты

- 01 июля 2019 г. – рассылка первого циркуляра;
- 02 сентября 2019 г. – рассылка второго циркуляра начало регистрации и приёма тезисов;
- 02 декабря 2019 г. – окончание приема тезисов;
- 23 января 2020 г. – рассылка третьего циркуляра с программой конференции;
- 15 января 2020 г. – окончание регистрации;
- 23 декабря 2019 г. – объявление о приеме/отмене тезисов, рассылка предварительной программы;
- 19–21 февраля 2020 г. – работа конференции



Конференция будет проходить по адресу:
г. Москва, Варшавское шоссе, 129, кор. 1.



Приём тезисов и регистрация продлены до 31.12.2019 г. на официальном сайте ФГБУ «ЦНИГРИ» <http://www.young.tsnigri.ru>.