DOI: 10.24411/0869-7175-2019-10043

УДК 552.323.6:549.211:551.3.051
© Коллектив авторов, 2019

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

В.П.АФАНАСЬЕВ[1], Н.П.ПОХИЛЕНКО[1], М.А.ВАВИЛОВ[1], Р.Ю.ЖЕЛОНКИН[2], А.Л.ЗЕМНУХОВ[2], Е.О.БАРАБАШ[1], Д.А.САМДАНОВ[1, 3], Е.И.ФЕДОРОВА[1], Е.В.МАЛЫГИНА[1]
[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 алмазоносных 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.AFANASIEV[1], N.P.POKHILENKO[1], M.A.VAVILOV[1], R.Yu.ZHELONKIN[2], A.L.ZEMNUKHOV[2], E.O.BARABASH[1], D.A.SAMDANOV[1, 3], E.I.FEDOROVA[1], E.V.MALYGINA[1]
[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-Udzha interfluve 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 широкомасштабных 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 Кютюнгдинского 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 додекаэдроиды, 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 просмотрены 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, имеющихся 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 км$^2$ (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 отложниях по мере их погружения в Лено-Анабарский прогиб залегают верхнепалео-

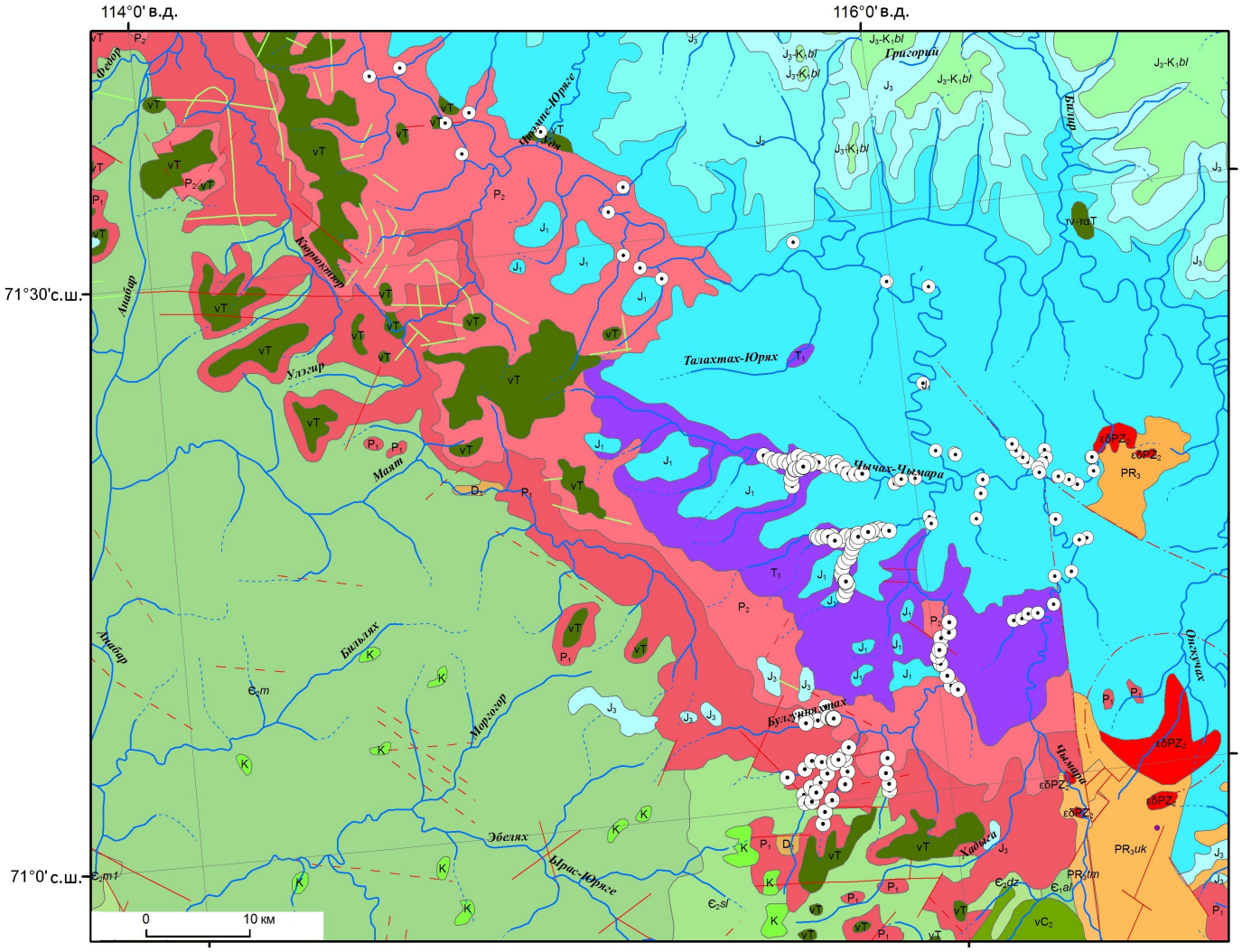



**Рис. 1. Геологическая схема района работ с точками отбора шлиховых проб**

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 алмазоносности 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.

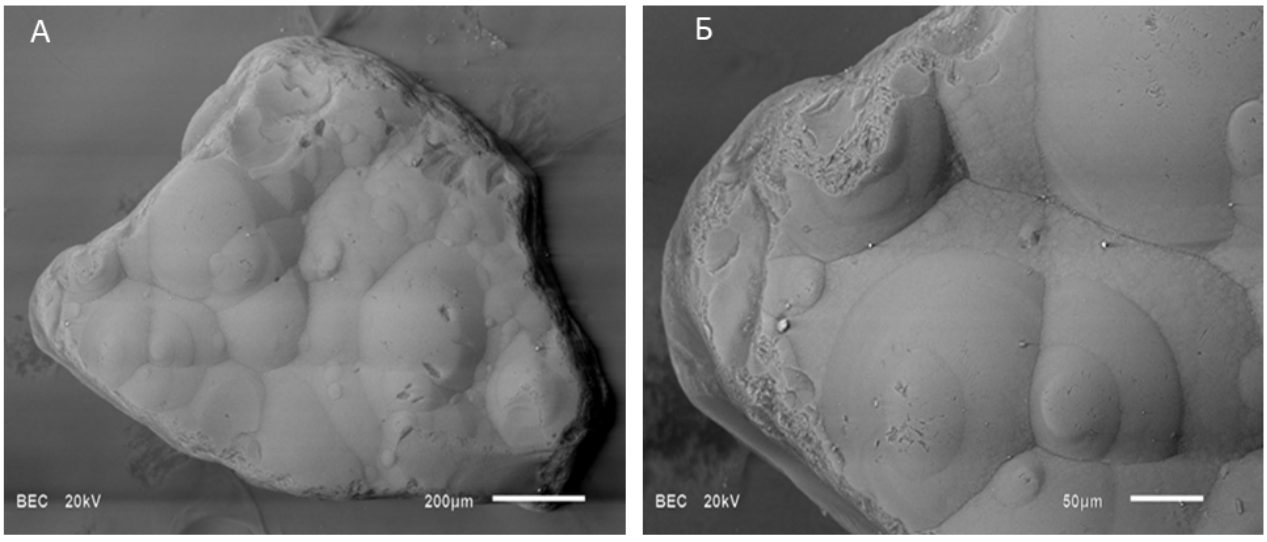



**Рис. 2. Рельеф гипергенного растворения (каплевидные холмики) на пиропе:**

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 пиропах 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 переотложением 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 фамена 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 пенеплен, 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 пиропах 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 пиропы переотложены из более ранних коллекторов.

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

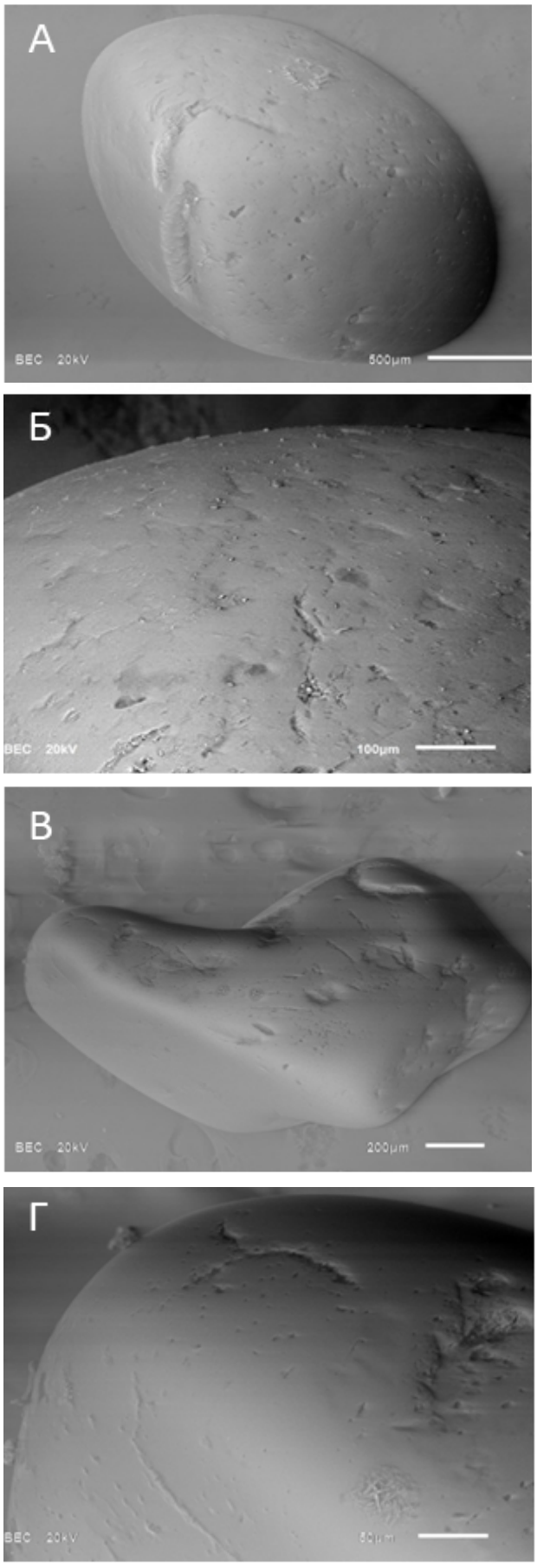



**Рис. 3. Признаки механического износа на пиропе:**

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 пиропа с полировкой на втором этапе износа; р. Булгунняхтах

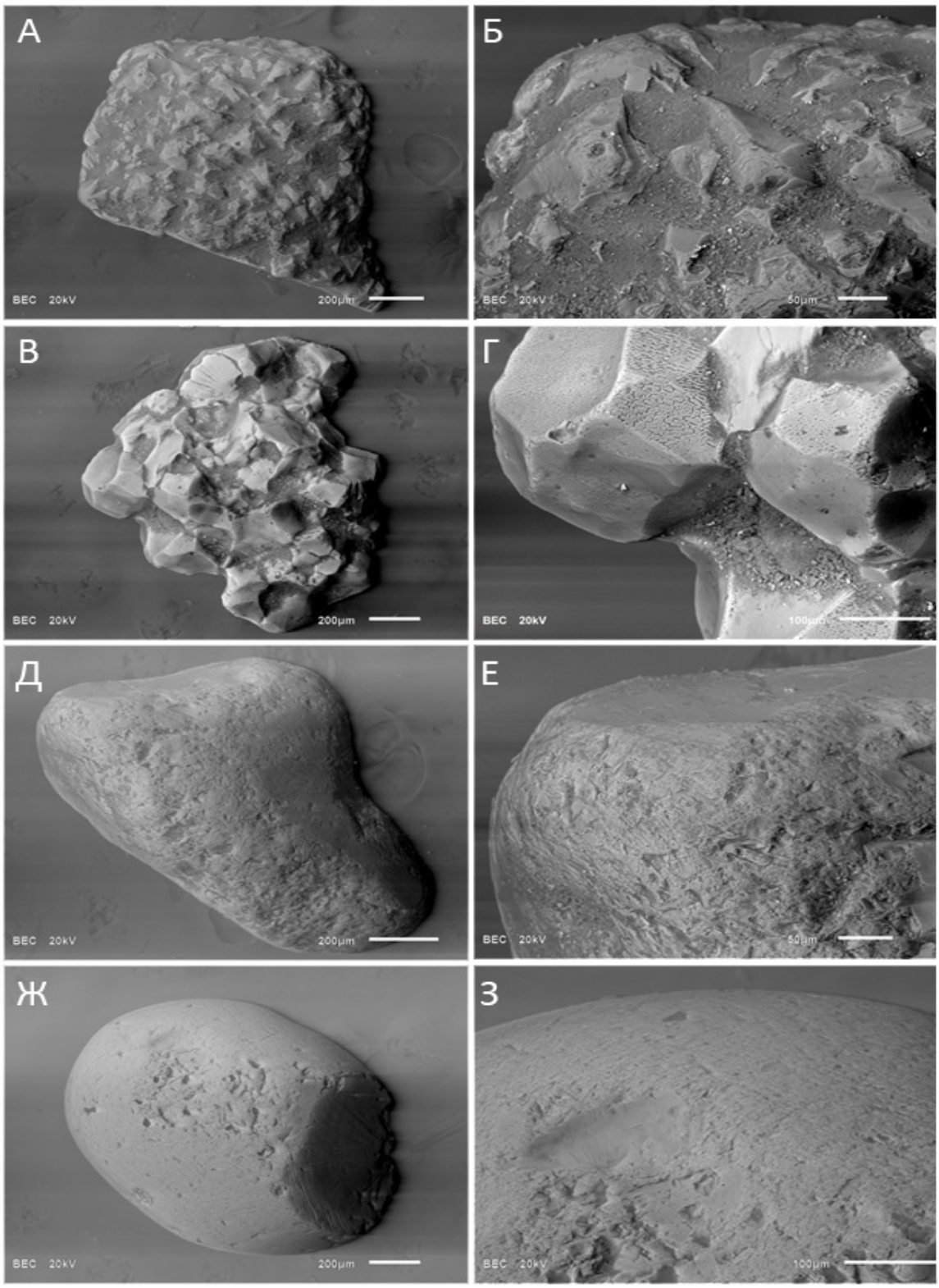



**Рис. 4. Морфологические особенности пикроильменитов:**

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

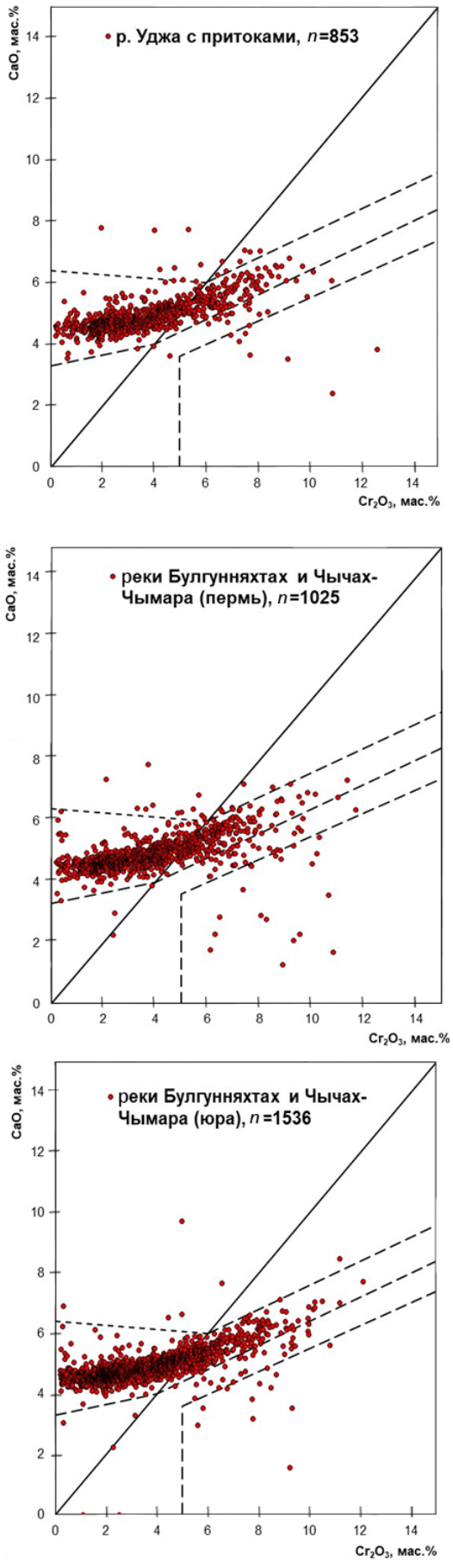



**Рис. 5. Сводные диаграммы составов пиропов из руслового аллювия на пермских и юрских отложениях рек Уджа, Чымара, Булгунняхтах и Чычах-Чымара**

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 микропирамид. 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 алмазоносности 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 алмазоносных 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. Второй (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 пикороильмениты 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 додекаэдроидов (рис. 8).

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

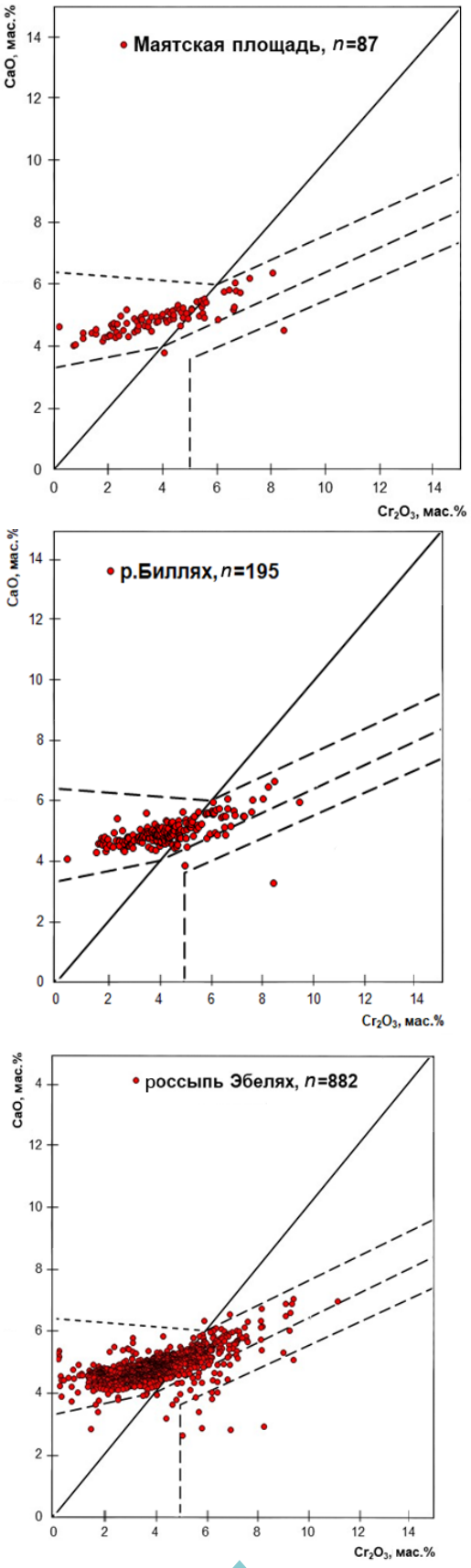



**Рис. 6. Составы гранатов по рекам Маят, Биллях, Эбелях**

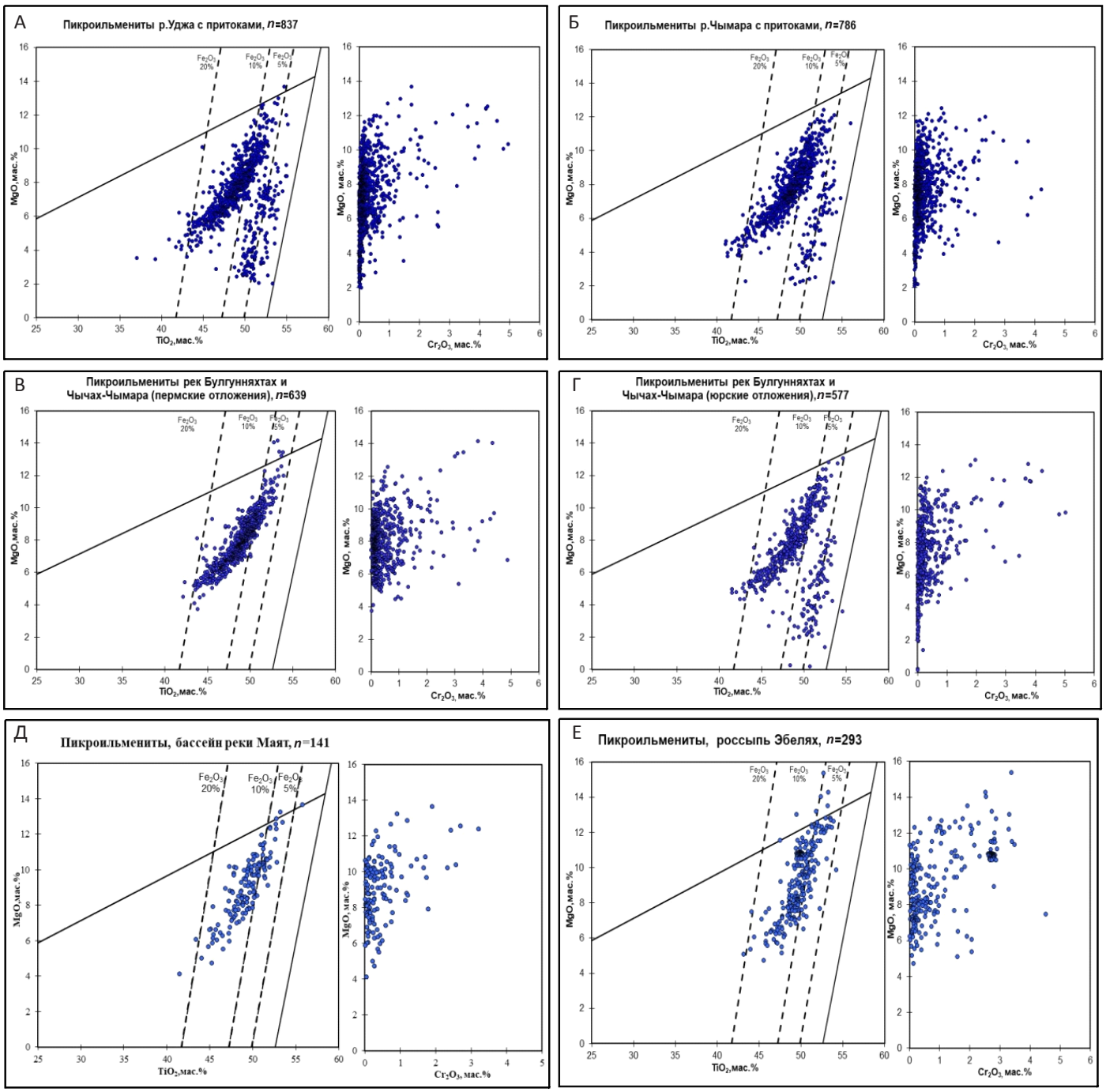



**Рис. 7. Диаграммы составов пикроильменитов:**

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 додекаэдроидов 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

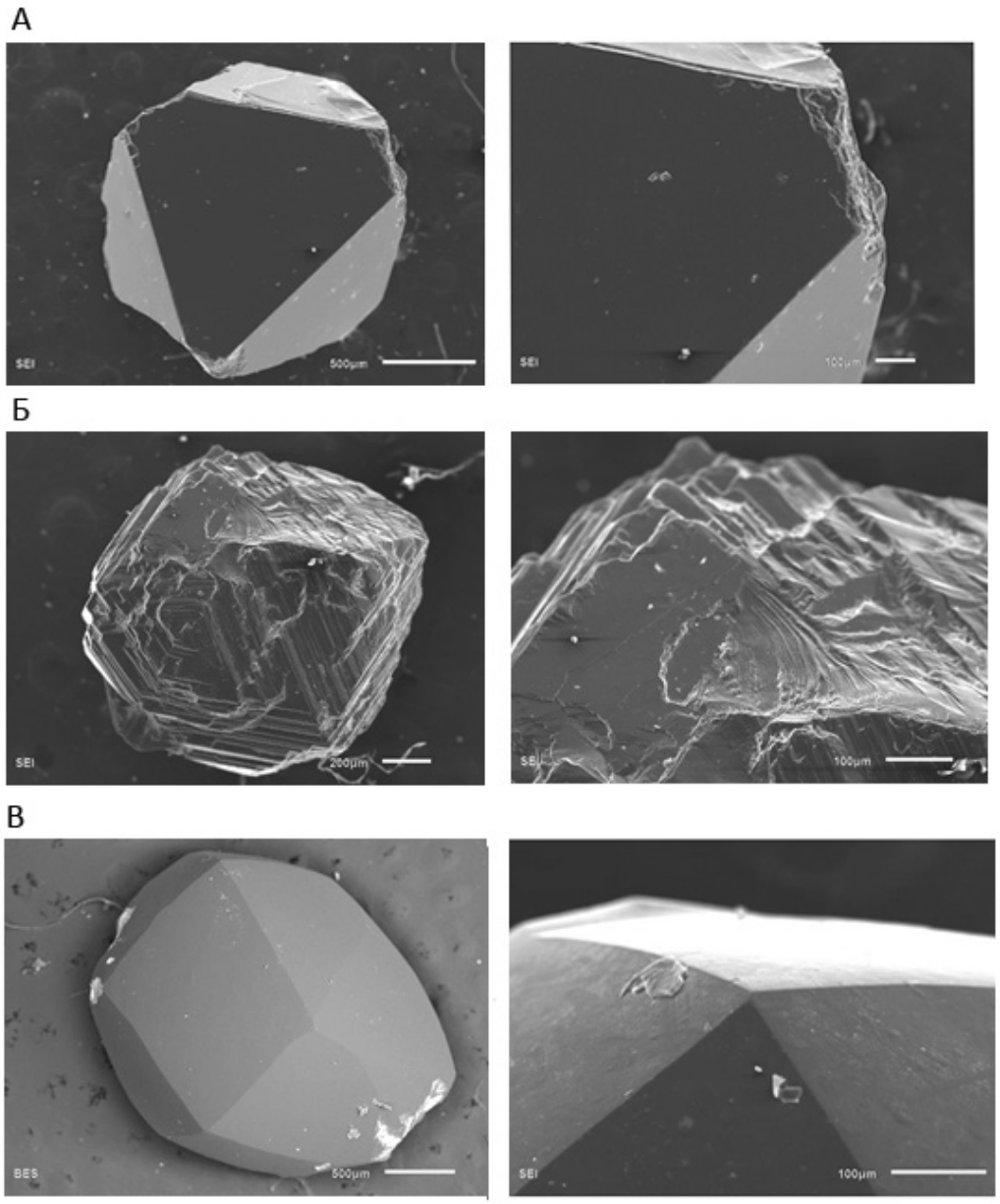



**Рис. 8. Алмазы из шлиховых проб:**

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

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 шрамов 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 В1-центров. На рис. 9, Б представлено распределение алмазов по степени агрегирования азота в сравнении с алмазами из аллювия р. Куойка и из раннекарбоновых прибрежно-морских гравелитов бассейна р. Кютюнгдэ. Алмазы р. Куойка выбраны как пример северной ассоциации алмазов с доминированием додекаэдроидов, алмазы из раннекарбоновых гравелитов Кютюнгдэ 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 кютюнгдинским, но резко отличаются от куойкских. Лишь максимум в области высокой степени агрегированности совпадает с куойкскими, тогда как у кютюнгдинских он отсутствует. Из этого можно предположить, что часть додекаэдроидов 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.

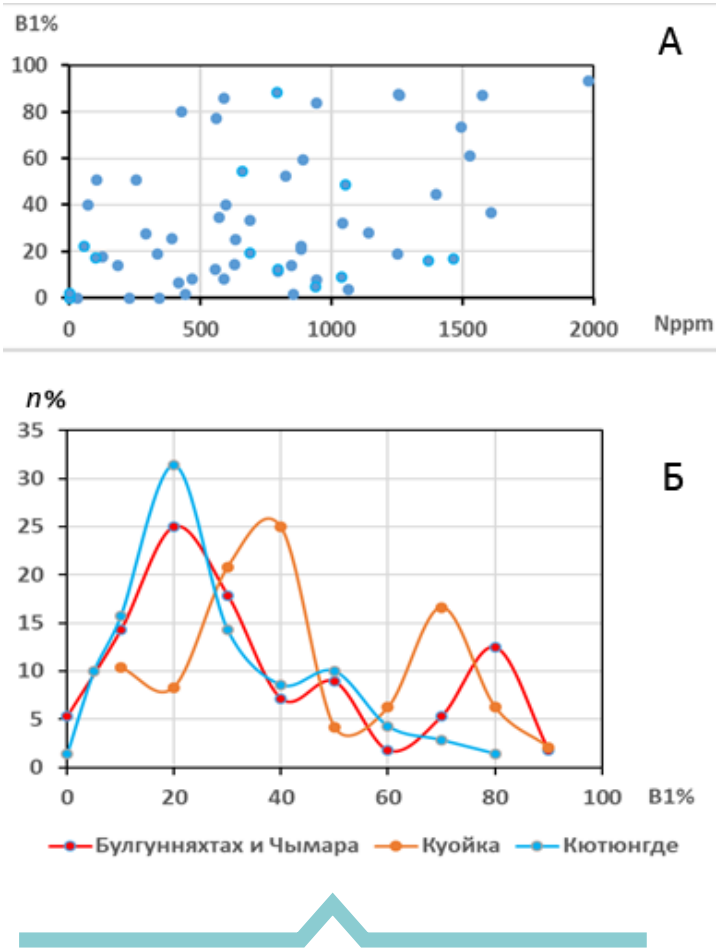



**Рис. 9. Распределение алмазов изученной выборки (48 кристаллов):**

А – по общему содержанию азота и степени его агрегирования, оцениваемой по содержанию В1-центров и Б – по степени агрегирования азота в сравнении с алмазами из аллювия р. Куойка и из раннекарбоновых гравелитов бассейна р. Кютюнгдэ

Первичных ореолов девонского возраста, как и в других районах, не сохранилось, они были полностью размыты в более поздние этапы седиментогенеза. Однако изучение онтогенических 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-Ботуобинском районе: Мирнинское поле, находившееся в апикальной части Непско-Ботуобинской 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 альмандина 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 средне-позднекарбоновые отложения, а те, в свою очередь, при размыве питали пермские осадки. Карбоновые отложения 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-Ботуобинском районе: на западном склоне Непско-Ботуобинской 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 Вилюйской синеклизы, питая более молодые осадки. В результате в районе Накынского поля, в бассейне р. Кончан в юрских и меловых осадках присутствуют минералы нижней юры, размытой на северо-западе, перенесённые в Вилюйскую 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 тяжёлой 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

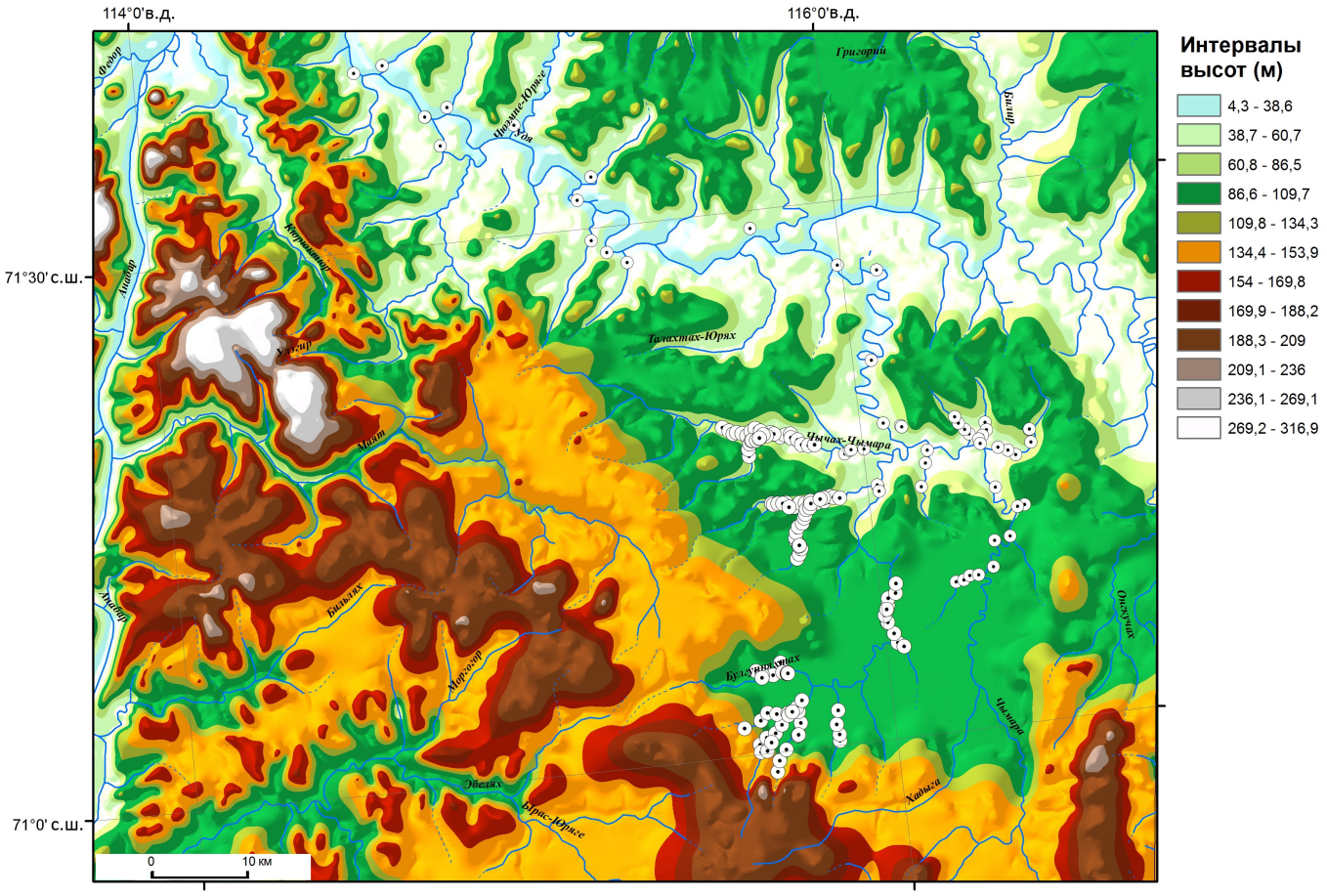



**Рис. 10. Цифровая модель рельефа изученной площади с точками опробования**

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 Кютюнгдинского грабена территорией, на которой на большом фактическом материале надёжно обосновано присутствие алмазоносных среднепалеозойских кимберлитов. Однако, в отличие от Кютюнгдинского 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 геофизизика. 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.Угапьева, 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 VII$^{th}$ International Kimberlite Conference. Vol. II. Cape Town. 1999. P. 689–698.