

Перспективы алмазоносности Чаро-Синской зоны разломов

Prospects for diamond potential of the Charo-Sinskaya fault zone

**Толстов А. В., Максимкина Л. В.,
Колесник А. Ю., Абрамов В. Ю.,
Антонова Н. В.**

**Tolstov A. V., Maksimkina L. V.,
Kolesnik A. Yu., Abramov V. Yu.,
Antonova N. V.**

Приведены новые данные о геологическом строении Чаро-Синской зоны глубинных разломов, расположенной на южном борту Вилуйской синеклизы. На основе обработки результатов сейсморазведки проанализировано глубинное строение территории, выявлены грабенообразные структуры, аналогичные имеющимся вблизи известных кимберлитовых полей Якутии. С учётом результатов по минералогии индикаторных минералов кимберлита прогнозируется новое кимберлитовое поле и обозначено его местоположение.

Ключевые слова: Чаро-Синская зона, грабен, кимберлитовое поле, Вилуйская синеклиза.

New data on the geological structure of the Charo-Sinskaya zone of deep faults located on the southern side of the Vilyui syncline are presented. Based on the processing of the seismic survey results, the deep structure of the territory has been analyzed, and graben-like structures similar to those found near the known kimberlite fields of Yakutia have been identified. Taking into account the results on the mineralogy of the indicator minerals of kimberlite, a new kimberlite field location is predicted.

Key words: Charo-Sinskaya zone, graben, kimberlite field, Vilyui syncline.

Для цитирования: Толстов А. В., Максимкина Л. В., Колесник А. Ю., Абрамов В. Ю., Антонова Н. В. Перспективы алмазоносности Чаро-Синской зоны разломов. Руды и металлы. 2021. № 3. 46–58. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10017.

For citation: Tolstov A. V., Maksimkina L. V., Kolesnik A. Yu., Abramov V. Yu., Antonova N. V. Prospects for diamond potential of the Charo-Sinskaya fault zone. Ores and metals, 2021, № 3, 46–58. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10017.



Введение. Актуальность выделения новых перспективных площадей для поисков месторождений алмазов комплексом современных геолого-геофизических работ определяется необходимостью восполнения сырьевой базы за счёт вовлечения в опойсывание новых, малоизученных в отношении алмазности территорий южного борта Вилуйской синеклизы. Чаро-Синская зона глубинных разломов, расположенная в этой зоне, по нашему мнению, прямой геологический аналог Вилуйско-Мархинской зоны (рис. 1), контролирующей местоположение богатейших алмазоносных кимберлитовых полей Западной Якутии. Как и Вилуйско-Мархинская, Чаро-Синская зона глубинных разломов представлена среднепалеозойским дайковым поясом базитов [4, 6, 7, 8, 9, 11]. При этом степень её геолого-геофизической изученности остаётся крайне низкой, поскольку полноценные площадные алмазопойсковые работы на данной территории фактически не проводились с 60-х гг. XX века, а её изученность ограничивается региональными исследованиями мелкого масштаба.

Для исследуемой территории (листы Р-50 и Р-51) степень геофизической изученности соответствует мелкомасштабной (1 : 1 000 000 – 1 : 500 000), реже среднемасштабной (1 : 200 000 – 1 : 100 000) стадиям геологоразведочных работ. Основные объёмы геофизических исследований выполнены в 50–60-е гг. прошлого столетия. За эти годы вся территория была покрыта аэромагнитными и гравиметрическими съёмками масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000. Крупномасштабные работы (1 : 50 000 – 1 : 25 000) выполнены лишь на крайне ограниченных локальных периферийных участках в незначительных объёмах и существенного вклада в геологическую изученность территории не внесли. За последние десятилетия на территории Чаро-Синской зоны выполнен внушительный объём современных сейсморазведочных работ высокой кратности, нацеленных на поиски нефтегазовых месторождений. В данной статье результаты сейсмических данных, выполненных в пределах Чаро-Синской зоны, обработанные и проанализированные с позиций прогноза коренной алмазности [5, 6, 12, 13].

Площадное шлиховое опробование современного аллювия на всей территории Чаро-Синской зоны разломов также выполнено в 50–60-е гг. прошлого века преимущественно с отбором рядовых шлиховых проб, взятых в соответствии с масштабом съёмок, что полностью отражает качество и количество имеющихся результатов. Лишь после 2000 г. в междуречье Наманы и Синей при участии АК «АЛРОСА» (ПАО), ИГАБМ СО РАН, ИГМ СО РАН и ВСЕГЕИ начали проводиться единичные незначительные по объёму специализированные работы на алмазы на ключевых участках, направленные на выявление перспектив коренной алмазности, в ходе которых были получены новые данные о минералогии индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) и сделаны выводы об их возможных источниках. Однако геологическая интерпретация геофизических (сейсморазведочных) съёмок, выполненных для повышения нефтегазовых перспектив с позиций прогноза коренной алмазности приводится здесь впервые.

Предпосылки проявления кимберлитового магматизма в пределах Чаро-Синской зоны глубинных разломов. Региональные (глубинные) предпосылки.

Выделение локальных площадей, перспективных на обнаружение кимберлитового магматизма, базируется на комплексе благоприятных предпосылок и признаков. Их надёжность и достоверность определяется уровнем и качеством имеющейся геолого-геофизической информации. В результате анализа существующих на сегодняшний день геофизических данных на Чаро-Синской площади выделены элементы глубинного строения и геофизические параметры, имеющие прогнозное значение. К основополагающим (на примере Якутской алмазоносной провинции) относятся:

- повышенная мощность литосферы,
- депрессии и их склоны в рельефе поверхности Мохоровичича,
- низкий тепловой поток ($< 30 \text{ мВт/м}^2$),
- области регионального разуплотнения земной коры.

Геологическое строение Чаро-Синской площади в системе региональных прогнозных кри-

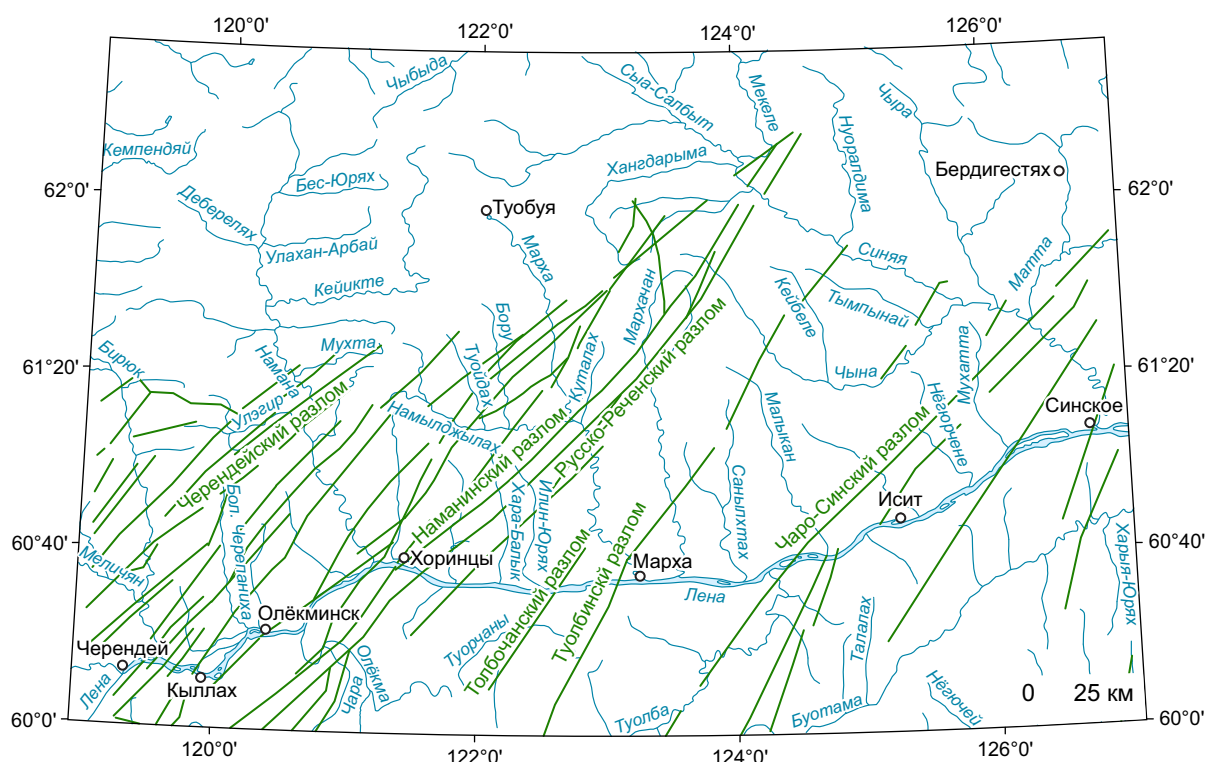


Рис. 1. Тектоническая схема Чаро-Синской площади (по данным АМС):

тектонические нарушения по данным аэромагнитной съёмки: зелёные линии – линейные протяжённые магнитные аномалии различной интенсивности, связываемые с дайками долеритов среднепалеозойского возраста

Fig. 1. Tectonic scheme of the Charo-Sinskaya area (based on aeromagnetic survey data):

tectonic faults indicated based on aeromagnetic survey data: green lines are linear extended magnetic anomalies of varying intensity associated with the Middle Paleozoic dolerite dikes

териев говорит о благоприятных условиях для локализации алмазоносных кимберлитов среднепалеозойского возраста, поскольку площадь располагается в пределах Алданского гранулит-гнейсового террейна архейского возраста [10, 12, 13]. Мощность кратонной литосферы террейна составляет 140–150 км (рис. 2), что немного меньше, чем на большей части территории Якутской алмазоносной провинции (ЯАП), где локализованы продуктивные кимберлитовые поля. Однако в данном случае речь идёт о мощности литосферы на современном временном уровне. При этом нельзя исключать, что она могла частично деляминировать (деградировать) на рубеже пермского – триасо-

вого периодов или позже, на рубеже юрского и каменноугольного, когда в пределах Сибирской платформы проявилась мощнейшая тектоно-магматическая активизация, сопровождавшая формирование Предверхоанского краевого прогиба. Свидетельство существования в среднем палеозое (на момент становления продуктивных кимберлитов) более мощной литосферы – её корреляционная связь с мощностью земной коры, установленная в ЯАП, где глубинным литосферным корням соответствуют области максимального прогибания поверхности Мохоровичича [11, 12, 13].

В пределах ЯАП кимберлитоносным зонам с мощностью литосферы более 200 км со-

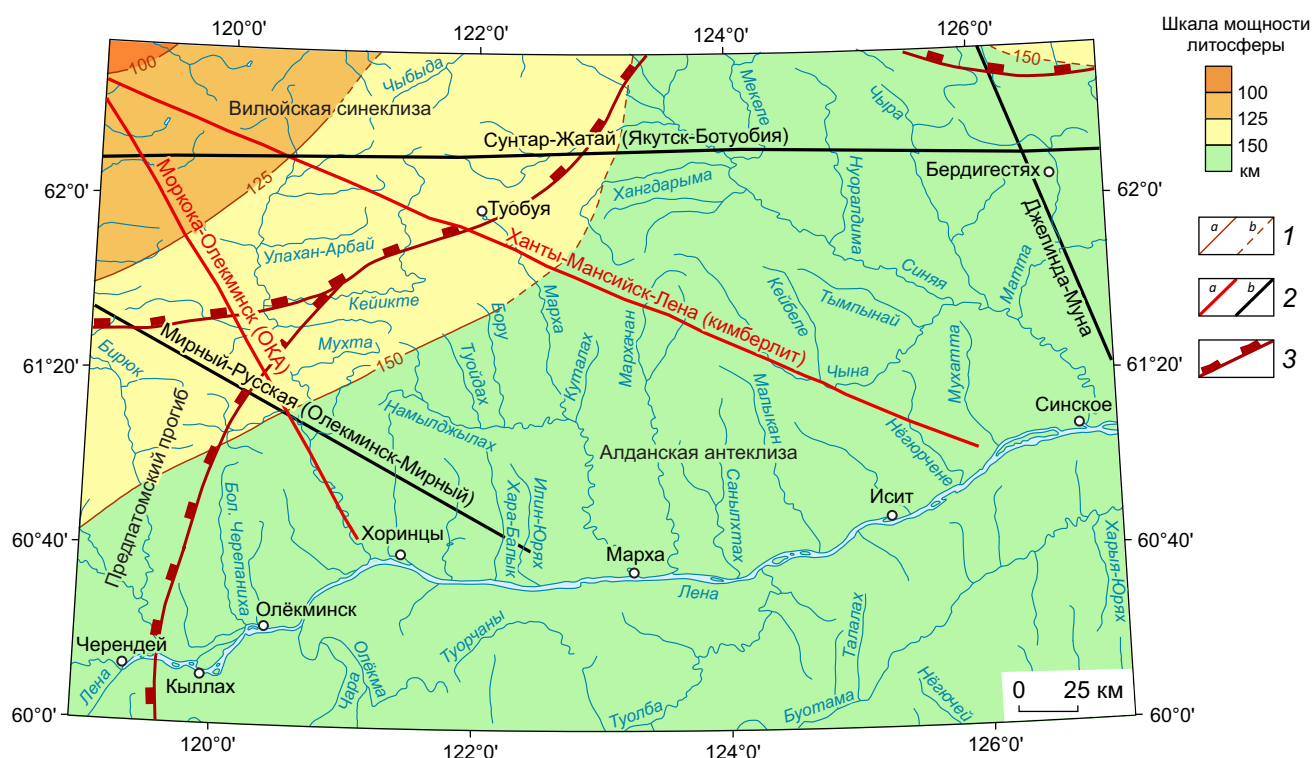


Рис. 2. Схема глубины залегания границы Мохоровичича Чаро-Синской площади:

1 – изогипсы поверхности Мохоровичича; 2 – глубинные профили: *a* – глубинное сейсмическое зондирование (ГСЗ), *b* – точечное сейсмическое зондирование (ТСЗ); 3 – границы надпорядковых структур и их названия

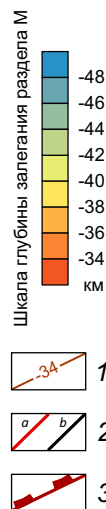
Fig. 2. Depth diagram of the Moho discontinuity within the Charo-Sinskaya area:

1 – isohypses of the Moho discontinuity; 2 – depth profiles: *a* – structural zones boundaries, *b* – structural zones areas; 3 – boundaries of superorder structures and their names

ответствуют участки с мощной земной корой – более 40–42 км. На рассматриваемой Чаро-Синской площади по результатам региональных глубинных сейсмических исследований соотнесены участки с мощностью литосферы 140–150 км (см. рис. 2) и области максимального погружения поверхности Мохоровичича, то есть 44–46 км (рис. 3). Кроме того, рассматриваемая территория находится в пределах приповерхностной геотермы 30 мВт/м², которая аппроксимируется со всеми известными алмазоносными кимберлитовыми полями Сибирской платформы (рис. 4). К положительным прогнозным региональным предпосылкам относятся также зоны разуплотнения и размагничивания консолидированной земной коры, вы-

деляемые в магнитном поле и поле силы тяжести, что свидетельствует о её повышенной проницаемости. Для алмазоносных кимберлитовых полей ЯАП эти зоны фиксируются низкоградиентными локальными магнитными и гравитационными минимумами. Таким образом, Чаро-Синская площадь характеризуется аномальными геофизическими свойствами, как на территориях, расположенных внутри ЯАП и характеризующихся известными кимберлитопоявлениями.

Среднемасштабные предпосылки. С учётом установленных на сегодняшний день минералогических признаков и выявленных нами в ходе настоящих исследований геолого-геофизических особенностей строения территории



1 – изолинии мощности литосферы: *а* – уверенные, *б* – неуверенные; *2* – глубинные профили: *а* – ГСЗ, *б* – ТСЗ; *3* – границы надпорядковых структур и их названия

1 – lithosphere thickness isolines: *a* – reliable, *b* – uncertain; *2* – depth profiles: *a* – structural zones boundaries, *b* – structural zones areas; *3* – boundaries of superorder structures and their names

ние территории соответствует комплексу алмазописковых критериев.

Анализ результатов свидетельствует, что основной вклад в аномальное поведение геофизических полей вносят глубинные разломы Чаро-Синской системы среднепалеозойского возраста и зоны их геодинамического влияния, поскольку именно они играют определяющую роль в формировании современного структурно-тектонического облика исследуемой территории. Основные представления о тектономагматическом строении площади получены по результатам аэромагнитных съёмок (АМС) масштаба 1:200 000. По данным АМС установлен характер поведения аномального магнитного поля: в пределах рассматриваемой территории оно закономерно изменяется с юга на се-

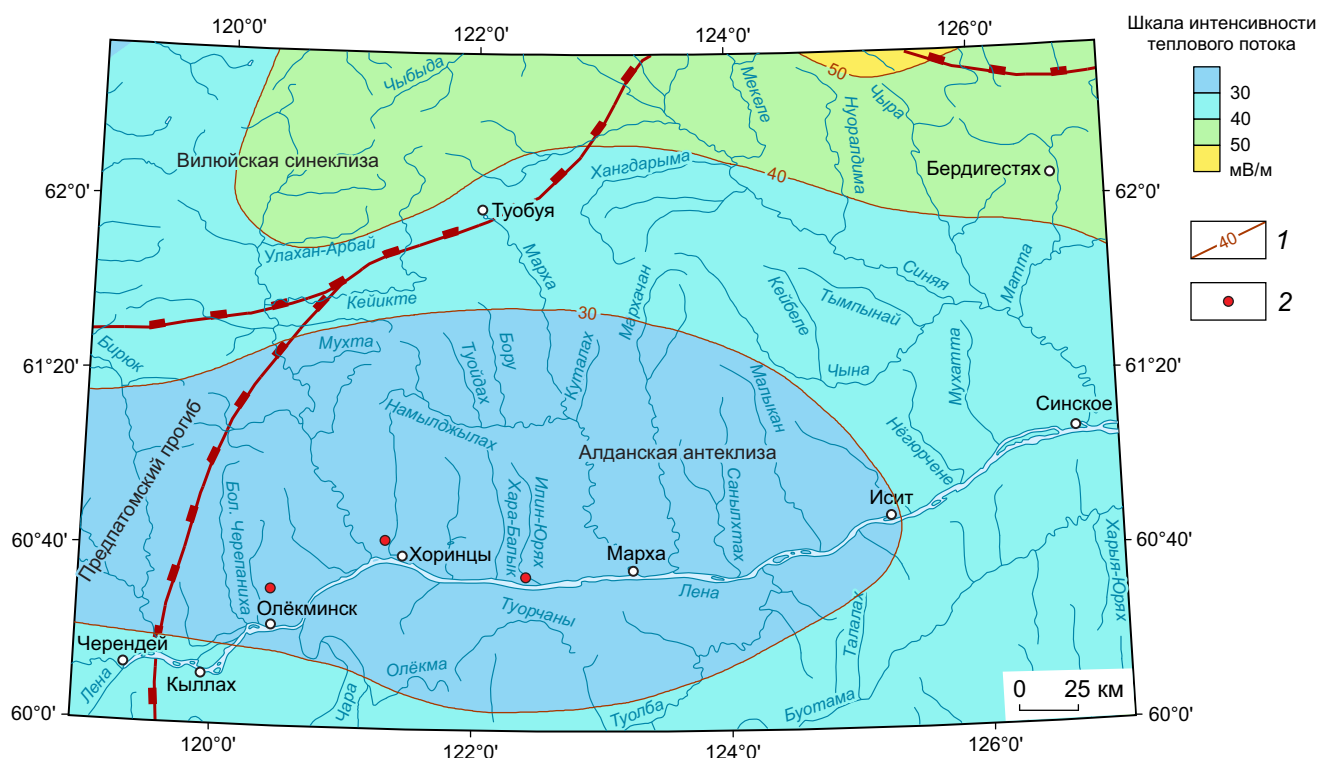


Рис. 4. Схема теплового потока Чаро-Синской площади:

1 – изотермы теплового потока; 2 – точки наблюдений; остальные усл. обозн. см. рис. 2

Fig. 4. Heat flow diagram of the Charo-Sinskaya area:

1 – heat flow isotherms; 2 – observation points. See Fig. 2 for other legend

вер по мере увеличения мощности осадочного чехла.

Северная часть (южное обрамление Вилуйской синеклизы) характеризуется слабодифференцированным магнитным полем с чередованием обширных по площади и слабых по интенсивности положительных и отрицательных аномалий, оси которых преимущественно северо-северо-западного простирания. Эти аномалии отражают структуру архейского фундамента и свидетельствуют о присутствии в его составе магнитосодержащих комплексов.

Южная часть площади (Алданская антеклиза) характеризуется более высокой интенсивностью аномального магнитного поля и меньшими размерами вытянутых на северо-запад или в субмеридиональном направлении аномалий.

На юго-западе и в центре площади цепочками протяжённых и дискретных положительных высокочастотных магнитных аномалий прослежена серия даек основного, субщелочного и ультраосновного составов, обладающих повышенной магнитностью и трассирующих глубинные разломы. Протяжённость отдельных даек до 300 км, мощность их изменяется от нескольких метров до 100 м (Туолбинская, Чаро-Синская). Преобладают нарушения восточно-северо-восточного направления (азимут 30–45°) (см. рис. 1). Наиболее отчётливо дайки Чаро-Синской зоны прослеживаются в локальной составляющей магнитного поля. Возраст даек по данным U-Pb исследований цирконов, проведённых в центре изотопных исследований (ЦИИ) ФГБУ «ВСЕГЕИ» позднедевонский, составляет 371–364 млн [16, 17], что согласует-

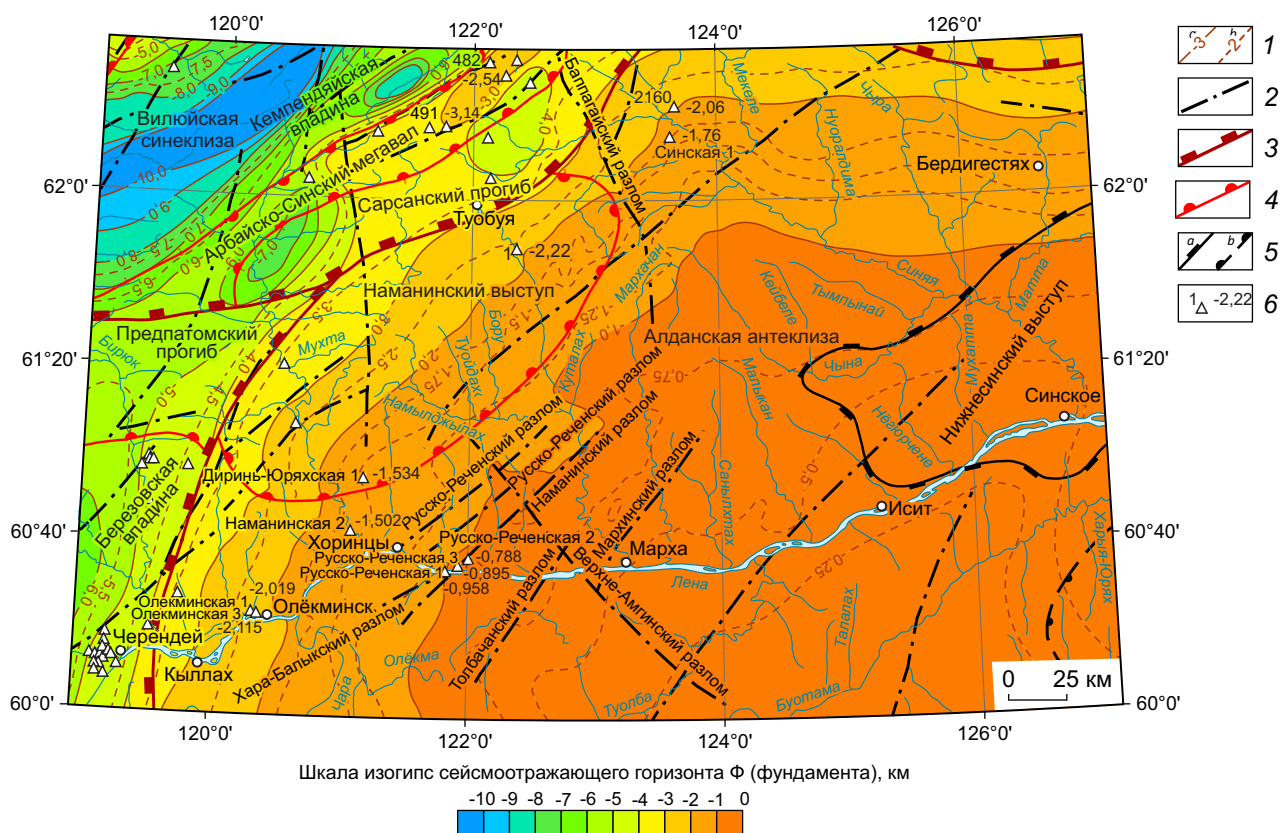


Рис. 5. Структуро-тектоническая схема фундамента (по материалам АО «Якутскгеофизика», НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО)):

1 – изогипсы кровли фундамента (сейсмоотражающий горизонт Φ): а – уверенные, б – неуверенные; 2 – разломы, выделяемые по данным сейсморазведки; границы: 3 – надпорядковых структур, 4 – структур 1–2 порядков; 5 – структуры 3–4 порядков: а – положительные, б – отрицательные; 6 – скважины глубокого бурения

Fig. 5. Structural-tectonic basement diagram (based on research materials from Yakutskgeophysics, JSC ALROSA):

1 – isohypses of seismic reflective horizon Φ : а – reliable, b – uncertain; 2 – faults identified from seismic data; boundaries: 3 – superorder structures, 4 – 1st–2nd order structures; 5 – 3rd–4th order structures: а – positive, b – negative; 6 – deep wells

ся с возрастом подобных образований северного борта Вилуйской синеклизы.

По современным представлениям, в Мало-ботуобинском и Среднемархинском алмазодобывающих районах Вилуйско-Мархинской зоны дайки базитов формируют «раму», нормирующую размещение полей и кустов кимберлитовых тел. Это важная составляющая прогнозно-поисковых магматических предпосылок (рудоконтролирующих факторов), установленных на территории ЯАП. Потенциально кимберлитоконтролирующая Чаро-Синская зона разло-

мов сложена широким спектром тектонических нарушений, различающихся объёмом магматизма, морфологией и другими характеристиками. В целом же она симметрична рудоконтролирующей системе Вилуйско-Мархинской зоны глубинных разломов, трассирующих Накыньское кимберлитовое поле. Ось симметрии совпадает с осью Вилуйской синеклизы. Глубинные разломы Чаро-Синской зоны, по аналогии с Накыньским кимберлитовым полем, имеют первостепенное значение для возможного обнаружения кимберлитопоявлений.

Глубинные разломы Чаро-Синской зоны находят отражения и в волновом сейсмическом поле. Анализ результатов сейсморазведочных работ свидетельствует о высокой насыщенности осадочного чехла и фундамента разнородными тектоническими нарушениями, в том числе не связываемыми с дайками долеритов (так называемые сухие трещины). Дайки Чаро-Синской системы разломов, как и Вилюйско-Мархинской, на временных разрезах фиксируются зонами потери корреляции отражающих горизонтов [11, 13]. Насыщенность верхней части осадочного чехла Чаро-Синской площади тектоническими нарушениями пликативного и дизъюнктивного характера указывает на их повышенную проницаемость, что связано в том числе с проявлениями среднепалеозойской тектоно-магматической активизации [12, 13, 16].

Современное состояние поверхности кристаллического фундамента отражено на структурно-тектонической схеме, построенной по сейсмоотражающему горизонту Ф (рис. 5). Большая часть рассматриваемой площади приурочена к северо-западному крылу Алданской антеклизы, в рельефе фундамента фиксируется в виде полого погружающейся в сторону Патомско-Вилюйского авлакогена моноклинали. Осложняющие элементы – выступы и впадины более высоких порядков (Наманинский выступ, Сарсанский прогиб, Кемпендяйская, Берёзовская впадины, Арбайско-Синский мегавал). Глубина залегания фундамента изменяется от первых сотен метров (Алданская антеклиза) до первых десятков километров (Вилюйская синеклиза). Разломы, наиболее ярко выраженные на уровне горизонта Ф, направлены в верхнюю часть осадочного чехла.

К положительным структурно-тектоническим факторам, выделяемым на основе анализа структурных построений по фундаменту, относится наличие ступени (флексуры) в теле фундамента с гипсометрическим уровнем 2–3 км. К разряду гипотез о контроле кимберлитового магматизма тектоническими линейными зонами принадлежит точка зрения на то, что некоторые группы кимберлитовых полей приурочены к линейным грабенам осадочного чехла шириной в первые километры и про-

тяжённостью на многие десятки и даже первые сотни километров [6, 9, 11, 13].

Линейные грабенообразные структуры картируются в пределах известных (Мирнинское, Накынское) кимберлитовых полей, в плане совпадают с разломами Вилюйско-Мархинской зоны. Характерная особенность этих структур – их сложная морфология. Разломы, ограничивающие грабены, как правило, не имеют одного сместителя и фиксируются довольно широкой полосой (до 2 км и более). Основные грабены часто осложнены более мелкими горстами и гребневидными складками. Разломы в большинстве случаев представлены серией разрывных нарушений, зонами трещиноватости.

Грабенообразная структура, подобная Западному, Параллельному, Центральному грабенам Вилюйско-Мархинской зоны глубинных разломов в пределах Малоботуобинского алмазоносного района, фиксируется и на временных разрезах Чаро-Синской площади (рис. 6). Выявленный грабен в плане совпадает с разломами Чаро-Синской зоны (серия безымянных разломов севернее Наманинского разлома, в междуречье Наманы и Мархи). Положение осевой линии зафиксированной депрессии подчиняется общему структурному плану, а её ориентировка отвечает юго-западным и северо-восточным румбам. Грабен имеет сложную морфологию с разветвлениями и изгибами, наиболее ярко проявленной мощной погружённой зоной с множественными смещениями и разрывами в полосе шириной около 2 км, суммарная вертикальная амплитуда структуры составляет 150–170 м, на отдельных локальных участках около 200 м.

Геохимические предпосылки. Имеющиеся результаты геохимических исследований по долеритам Чаро-Синской зоны показывают в них концентрации TiO_2 , типичные для среднепалеозойских пород данной серии, то есть варьирующиеся в пределах 1,3–3 % [9]. Однако при массовом опробовании базитов, предпринятом в разные годы исследователями, выявлены отдельные пробы, в которых концентрация TiO_2 увеличивается аномально до 3,5–4,5 % (по данным исследований НИГП, ФГБУ «ВСЕГЕИ» и ИГАБМ) [9, 13].

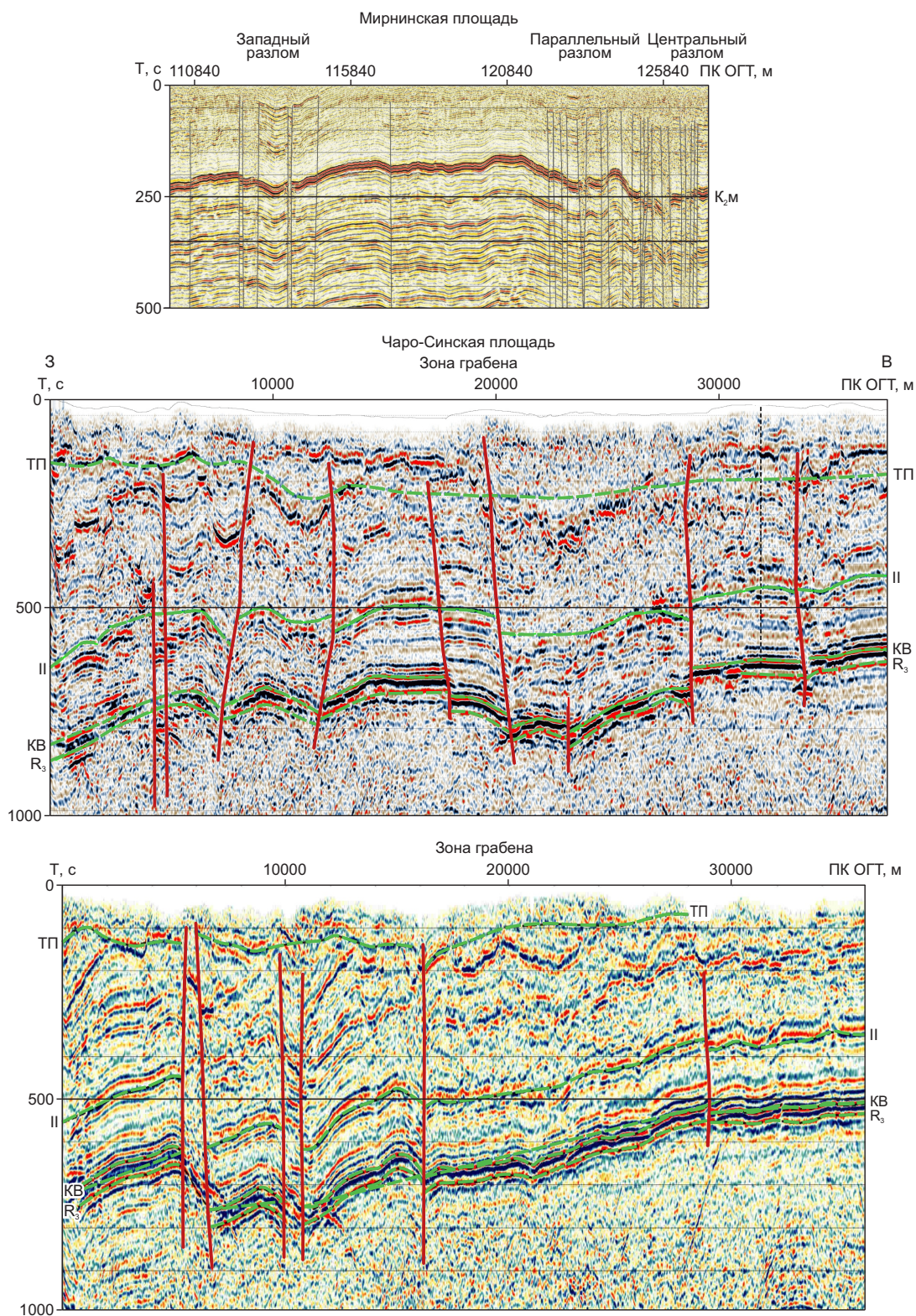
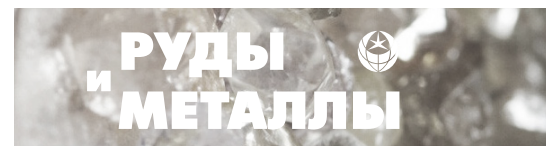


Рис. 6. Временные разрезы Мирнинского кимберлитового поля и Чаро-Синской площади

Fig. 6. Temporal sections of the Mirny kimberlite field and Charo-Sinskaya area



Подобные аномально высокие концентрации TiO_2 соответствуют анализам проб, отобранных из даек базитов Вилуйско-Мархинской зоны глубинных разломов, расположенных в непосредственной близости (первые километры) или внутри кимберлитовых полей. По нашему убеждению, это также надёжная геохимическая предпосылка прогнозирования новых кимберлитовых полей в пределах Чаро-Синской зоны [17]. Кроме того, при поисках кимберлитов в сложных геологических обстановках, к которым, несомненно, относятся закрытые территории Чаро-Синской зоны, необходима разработка новых принципов и подходов геохимических исследований [14, 15].

Минералогические предпосылки. Данные о распространённости, степени механического износа и химизме ИМК, полученные за последние 20 лет, свидетельствуют о том, что максимальные концентрации слабоизношенных ИМК с типичными для кимберлитов химическими составами наблюдаются в современном аллювии в верховьях рек Намана, Намыджылах и Марха [12, 15, 16]. При этом их количество увеличивается по мере приближения к выявленному нами грабену, что локализует площадь, перспективную на выявление нового кимберлитового поля [10, 12, 16].

Выявленные ИМК представлены преимущественно пикроильменитами, находки пиропов крайне редки, но, тем не менее, они обнаружены в достаточном количестве [1, 3]. Хромшпинелиды относятся к так называемому ку-

рунговскому типу, и их связь с кимберлитовым магматизмом достоверно не установлена [2]. Однако все пиропы имеют «признаки древности», подтверждающие их среднепалеозойский возраст. Таким образом, внешний облик и химические составы ИМК Чаро-Синской зоны свидетельствуют о потенциальной алмазоносности прогнозируемых кимберлитов [1, 3].

Заключение. Наличие поисковых критериев, выявленных по геофизическим, геохимическим и минералогическим данным, – убедительное основание высоко оценивать перспективы выявления коренных источников алмазов кимберлитовой природы средней алмазоносности в пределах Чаро-Синской зоны глубинных разломов.

По совокупности установленных геолого-геофизических предпосылок с учётом минералогических признаков на левобережье Лены (междуречье Наманы и Мархи) нами выделена перспективная площадь в ранге «кимберлитовый район», расположенная на правом берегу реки Намыджылах на отрезке субширотного течения, в непосредственной зоне влияния Наманинского разлома.

Выделенная перспективная площадь нуждается в первоочерёдной постановке специализированных геолого-геофизических работ с минерагеническим картированием и выделением перспективных локальных участков в ранге кимберлитового поля для последующего опосредованного и оценки прогнозных ресурсов алмазов.

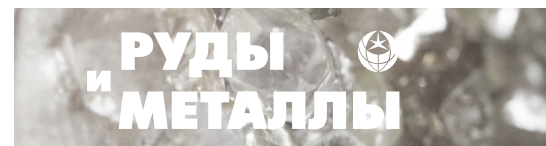
Список литературы

1. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Избеков Э. Д., Подъячев Б. П. Перспективы алмазоносности южного борта Вилуйской синеклизы // Отечественная геология. – 2007. – № 1. – С. 119–122.
2. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похилёнок Н. П. Поисковая минералогия алмаза. – Новосибирск: СО РАН, Гео, 2010. – 650 с.
3. Афанасьев В. П., Похилёнок Н. П., Кулигин С. С., Самданов Д. А. О перспективах алмазоносности южного борта Вилуйской синеклизы // Геология рудных месторождений. – 2020. – Т. 62, № 6. – С. 561–567. – DOI 10.31857/S0016777020040024.
4. Горев Н. И., Герасимчук А. В., Проценко Е. В., Толстов А. В. Тектонические аспекты строения Вилуйско-Мархинской зоны, их использование при прогнозировании кимберлитовых полей // Наука и образование. – 2011. – № 3. – С. 5–10.
5. Емельянов В. С., Толстов А. В., Борис Е. И. Новые данные о перспективах коренной алмазоносности о перспективах коренной алмазоносности Вилуйско-Мархинской зоны разломов // Вопросы методики прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых (применительно к объектам геологоразведочных работ

- АК «АЛРОСА»). – Якутск : АЛРОСА ЯНИГП ЦНИГРИ, 2004. – С. 115–123.
6. Игнатов П. А., Новиков К. В., Шмонов А. М., Еремеев Р. В., Лисковская Л. В., Ковальчук О. Е., Толстов А. В. Оценка перспектив и локальное прогнозирование кимберлитов с помощью ГИС-технологий на закрытых территориях Накынского кимберлитового поля, Западная Якутия // Руды и металлы. – 2012. – № 4. – С. 54–60.
 7. Избеков Э. Д., Подъячев Б. П., Афанасьев В. П. Признаки симметричной алмазности восточной части Сибирской платформы (относительно оси Вилюйской синеклизы) // Доклады Академии наук. – 2006. – Т. 411, № 3. – С. 352–353.
 8. Колодезников И. И., Левашов К. К., Мокшанцев В. К., Мишин В. М., Шкодинский В. С. Геология и перспективы алмазности юго-восточной окраины Сибирской платформы и Сетте-Дабана / под ред. К. К. Левашова. – М. : Недра, 1996. – 160 с.
 9. Киселёв А. И., Константинов К. М., Ярмолюк В. В., Иванов А. В. Чаро-Синский дайковый рой в структуре среднепалеозойской Вилюйской рифтовой системы (Сибирский кратон) // Доклады Академии наук. – 2016. – Т. 471, № 2. – С. 209–213. – DOI 10.7868/S0869565216320220.
 10. Мальцев М. В., Толстов А. В. Критерии и проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов в новых районах // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции. Т. 1. – Якутск : СВФУ ; ИГАБМ. – 2018. – С. 210–213.
 11. Проценко Е. В., Горев Н. И. Тектонические особенности размещения кимберлитовых тел и их использование при прогнозировании (на примере кимберлитовых полей Западной Якутии) // Руды и металлы. – 2017. – № 4. – С. 62–69.
 12. Проценко Е. В., Толстов А. В., Горев Н. И. Критерии поисков кимберлитов и новые перспективы коренной алмазности Якутии // Руды и металлы. – 2018. – № 4. – С. 14–23.
 13. Розен О. М., Манаков А. В., Зинчук Н. Н. Сибирский кратон: формирование, алмазность / АК «АЛРОСА» ; ЯНИГП ЦНИГРИ ; ГИН РАН. – М., 2006. – 212 с.
 14. Симоненко В. И., Толстов А. В., Васильева В. И. Новый подход к геохимическим поискам кимберлитов на закрытых территориях // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 4–5. – С. 108–112.
 15. Толстов А. В., Фомин В. М., Разумов А. Н., Гончаров Е. М. Новые подходы к поискам месторождений алмазов в Якутской алмазной провинции // Збірник наукових праць Українського державного геологорозвідувального інституту. – 2013. – № 1. – С. 154–160.
 16. Толстов А. В., Горев Н. И., Проценко Е. В. Новые перспективы коренной алмазности Чаро-Синской зоны глубинных разломов (Южная Якутия) // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов : сборник докладов VIII Международной научно-практической конференции (Москва, 16–18 апреля 2018 г.). – М. : ЦНИГРИ, 2018. – С. 21–22.
 17. Tomshin M. D., Gogoleva S. S. Behavior of TiO_2 in Dolerites as a Possible Search Sign for Kimberlites // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Prague, Czech Republic, September 07–11, 2020). – Prague : IOP Publishing, 2020. – P. 012073. – DOI 10.1088/1755-1315/609/1/012073.

References

1. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Izbekov E. D., Pod'yachev B. P. Perspektivy almazonosnosti yuzhnogo borta Vilyuiskoi sineklizy [Prospects for diamond content of the southern flank of the Vilyui syncline], *Otechestvennaya geologiya* [National Geology], 2007, No 1, pp. 119–122. (In Russ.).
2. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Pokhilenko N. P. Poiskovaya mineralogiya almaza [Prospecting mineralogy of diamond], Novosibirsk, SO RAN, Geo Publ., 2010, 650 p.
3. Afanas'ev V. P., Pokhilenko N. P., Kuligin S. S., Samdanov D. A. O perspektivakh almazonosnosti yuzhno-go borta Vilyuiskoi sineklizy [On the prospects for diamond content of the southern flank of the Vilyui syncline], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 2020, V. 62, No 6, pp. 561–567, DOI 10.31857/S0016777020040024. (In Russ.).
4. Gorev N. I., Gerasimchuk A. V., Protsenko E. V., Tolstov A. V. Tektonicheskie aspekty stroeniya Vilyuisko-Markhinskoi zony, ikh ispol'zovanie pri prognozirovanii kimmerlitovykh polei [Tectonic aspects of the structure of the Vilyui-Markha zone, their use in predicting kimberlite fields], *Nauka i obrazovanie* [Science and Education], 2011, No 3, pp. 5–10. (In Russ.).



5. Emel'yanov V. S., Tolstov A. V., Boris E. I. Novye dannye o perspektivakh korennoi almazonosnosti o perspektivakh korennoi almazonosnosti Vilyuiskoi-Markhinskoi zony razlomov [New data on the prospects of primary diamond content on the prospects of primary diamond content in the Vilyui-Markhinskaya fault zone], *Voprosy metodiki prognozirovaniya i poiskov mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh. (primenitel'no k ob'ektam geologorazvedochnykh rabot AK "ALROSA")* [Problems of methods of forecasting and prospecting for mineral deposits. (in relation to the objects of geological exploration of AK ALROSA)], Yakutsk, ALROSA YaNIGP TsNIGRI Publ., 2004, pp. 115–123.
6. Ignatov P. A., Novikov K. V., Shmonov A. M., Ereemeev R. V., Liskovaya L. V., Koval'chuk O. E., Tolstov A. V. Otsenka perspektiv i lokal'noe prognozirovanie kimberlitov s pomoshch'yu GIS-tekhnologii na zakrytykh territoriyakh Nakynskogo kimberlitovogo polya, Zapadnaya Yakutiya [Assessment of prospects and local forecasting of kimberlites using GIS technologies in the closed areas of the Nakyn kimberlite field, Western Yakutia], *Rudy i metallurgy* [Ores and Metals], 2012, No 4, pp. 54–60. (In Russ.).
7. Izbekov E. D., Pod'yachev B. P., Afanas'ev V. P. Priznaki simmetrichnoi almazonosnosti vostochnoi chasti Sibirskoi platformy (otnositel'no osi Vilyuiskoi sineklizy) [Symmetric diamond content in the eastern part of the Siberian platform (relative to the axis of the Vilyui syncline)], *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 2006, V. 411, No 3, pp. 352–353. (In Russ.).
8. Kolodeznikov I. I., Levashov K. K., Mokshantsev V. K., Mishnin V. M., Shkodzinskii V. S. Geologiya i perspektivy almazonosnosti yugo-vostochnoi okrainy Sibirskoi platformy i Sette-Dabana [Geology and prospects of diamond content in the southeastern margin of the Siberian platform and Sette-Daban], Moscow, Nedra Publ., 1996, 160 p.
9. Kiselev A. I., Konstantinov K. M., Yarmolyuk V. V., Ivanov A. V. Charo-Cinskii daikovyj roi v strukture srednepaleozoiskoi Vilyuiskoi riftovoi sistemy (Sibirskii kraton) [Charo-Sin dike swarm in the structure of the Middle Paleozoic Vilyui rift system (Siberian craton)], *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 2016, V. 471, No 2, pp. 209–213, DOI 10.7868/S0869565216320220. (In Russ.).
10. Mal'tsev M. V., Tolstov A. V. Kriterii i problemy prognozirovaniya i poiskov mestorozhdenii almazov v novykh raionakh [Criteria and problems of forecasting and prospecting for diamond deposits in new regions], *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii. Materialy VIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Tom 1.* [Geology and mineral resources of the North-East of Russia. Materials of the VIII All-Russian Scientific and Practical conferences. Volume 1], Yakutsk, SVFU, IGABM Publ., 2018, pp. 210–213.
11. Protsenko E. V., Gorev N. I. Tektonicheskie osobennosti razmeshcheniya kimberlitovykh tel i ikh ispol'zovanie pri prognozirovanii (na primere kimberlitovykh polei Zapadnoi Yakutii) [Tectonic features of the distribution of kimberlite bodies and their use in forecasting (on the example of kimberlite fields in Western Yakutia)], *Rudy i metallurgy* [Ores and Metals], 2017, No 4, pp. 62–69. (In Russ.).
12. Protsenko E. V., Tolstov A. V., Gorev N. I. Kriterii poiskov kimberlitov i novye perspektivy korennoi almazonosnosti Yakutii [Criteria for prospecting for kimberlites and new prospects for primary diamond content in Yakutia], *Rudy i metallurgy* [Ores and Metals], 2018, No 4, pp. 14–23. (In Russ.).
13. Rozen O. M., Manakov A. V., Zinchuk N. N. Sibirskii kraton: formirovanie, almazonosnost' [Siberian craton: formation, diamond content], Moscow, AK "ALROSA", YaNIGP, TsNIGRI, GIN RAN Publ., 2006, 212 p.
14. Simonenko V. I., Tolstov A. V., Vasil'eva V. I. Novyi podkhod k geokhimicheskim poiskam kimberlitov na zakrytykh territoriyakh [A new approach to geochemical prospecting for kimberlites in closed areas], *Razvedka i okhrana neдр* [Prospect and protection of mineral resources], 2008, No 4–5, pp. 108–112. (In Russ.).
15. Tolstov A. V., Fomin V. M., Razumov A. N., Goncharov E. M. Novye podkhody k poiskam mestorozhdenii almazov v Yakutskoi almazonosnoi provintsii [New approaches to prospecting for diamond deposits in the Yakutsk diamond province], *Zbirnik naukovikh prats' Ukrain's'kogo derzhavnogo geologorozviduval'nogo institutu* [Collection of Science Geological Practices of the Ukrainian State Geological and Exploration Institute], 2013, No 1, pp. 154–160.
16. Tolstov A. V., Gorev N. I., Protsenko E. V. Novye perspektivy korennoi almazonosnosti Charo-Sinskoi zony glubinykh razlomov (Yuzhnaya Yakutiya) [New perspectives of the primary diamond content of the Charo-Sinskaya deep fault zone (South Yakutia)], *Nauchno-metodicheskie osnovy prognoza, poiskov, otsenki mestorozhdenii almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov: sbornik dokladov VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Moskva, 16–18 aprelya 2018 g.)* [Scientific and methodo-

logical foundations for forecasting, prospecting, evaluating deposits of diamonds, noble and non-ferrous metals: a collection of reports of the VIII International Scientific and Practical Conference (Moscow, April 16–18, 2018)], Moscow, TsNIGRI Publ., 2018, pp. 21–22.

17. Tomshin M. D., Gogoleva S. S. Behavior of TiO_2 in Dolerites as a Possible Search Sign for Kimberlites, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Prague, Czech Republic, September 07–11, 2020)*, Prague, IOP Publishing, 2020, pp. 012073, DOI 10.1088/1755-1315/609/1/012073.

Авторы

Толстов Александр Васильевич

доктор геолого-минералогических наук
директор¹
TolstovAV@alrosa.ru

Максимкина Лидия Викторовна

инженер-геолог I категории²
MaksimkinaLV@alrosa.ru

Колесник Александр Юрьевич

заведующий лабораторией¹
прогнозно-методического сопровождения ГРП
KolesnikAYu@alrosa.ru

Абрамов Вадим Юрьевич

старший научный сотрудник²
AbramovVY@alrosa.ru

Антонова Наталья Владимировна

ведущий инженер-геолог²
AntonovaNV@alrosa.ru

¹ Научно-исследовательское геологическое предприятие
АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный

² Научно-исследовательское геологическое предприятие
АК «АЛРОСА» (ПАО), Санкт-Петербург

Authors

Tolstov Alexander Vasil'evich

Dr Sci
Director¹
TolstovAV@alrosa.ru

Maksimkina Lidiya Viktorovna

engineer/geologist²
MaksimkinaLV@alrosa.ru

Kolesnik Alexander Yur'evich

Head of geological¹
prospection laboratory
KolesnikAYu@alrosa.ru

Abramov Vadim Yur'evich

Senior researcher²
AbramovVY@alrosa.ru

Antonova Natal'ya Vladimirovna

Leading engineer/geologist²
AntonovaNV@alrosa.ru

¹ JSC ALROSA (PJSC)
Mirny, Russia

² JSC ALROSA (PJSC)
Saint-Peterburg, Russia