

Дополнительные структурно-тектонические факторы локализации кимберлитов в пределах Вилуйско-Мархинской зоны разломов

Tectonic setting of kimberlites in the Vilyui-Markhinsky fault zone according to modern data

Проценко Е. В., Шахурдина Н. К.

Protsenko E. V., Shakhurdina N. K.

Латеральная зональность Вилуйско-Мархинской зоны (ВМЗ) разломов установлена посредством анализа структурно-тектонических построений, на общем фоне моноклиального залегания нижнепалеозойских пород были выявлены области усложнённого структурного плана, выделенные в качестве подзон ВМЗ – центральной и западной; они охарактеризованы. Отмечено, что высокоалмазоносные поля Мирнинское и Накыньское приурочены к центральной, а среднеалмазоносное Сюльдюкарское поле – к западной подзоне Вилуйско-Мархинской зоны. Выполнен анализ плотности дизъюнктивных дислокаций на территории исследований. Показано, что в пределах подзон увеличена плотность разрывных нарушений, что характеризует их как области повышенной проницаемости, благоприятные для внедрения кимберлитовых расплавов. Данный факт может служить дополнительным структурно-тектоническим критерием при выделении площадей для постановки алмазопромышленных работ.

Ключевые слова: структурно-тектонический анализ, Вилуйско-Мархинская зона, плотность разрывных нарушений, кимберлитовое поле.

The lateral heterogeneity of the Vilyui-Markha fault zone was determined, the central and western subzones were identified. The high-grade diamondiferous Mir and Nakyn kimberlite fields are confined to the central subzone. The low-grade diamondiferous Syuldyukar kimberlite field is confined to the western subzone of the Vilyui-Markha zone. The analysis of the fault network density in the research area was carried out. It was found that the fault network density increases within the subzones, which characterizes them as increased permeability areas favorable for kimberlite melts uprising. This fact can be another tectonic criterion for setting up diamond prospecting operations.

Keywords: tectonic analysis, Vilyui-Markha zone, faults, kimberlite field.

Для цитирования: © Проценко Е. В., Шахурдина Н. К. Дополнительные структурно-тектонические факторы локализации кимберлитов в пределах Вилуйско-Мархинской зоны разломов. Руды и металлы. 2021. № 3. с. 14–21. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10015.

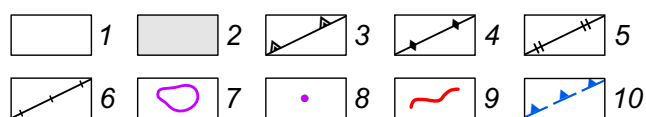
For citation: © Protsenko E. V., Shakhurdina N. K. Tectonic setting of kimberlites in the Vilyui-Markhinsky fault zone according to modern data. Ores and metals, 2021, № 3, pp. 14–21. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10015.

Таким образом, Вилуйско-Мархинская зона – один из наиболее перспективных участков Западной Якутии на обнаружение новых

Большая часть территории ВМЗ перекрыта терригенными и, в меньшей мере, вулканогенными и магматическими породами верхнего палеозоя и мезозоя, экранирующими среднепалеозойские коренные источники алмазов (см. рис. 1). Эти закрытые площади изучены по-разному, но преимущественно слабо, то есть

типы поисковых площадей: 1 – открытые для поисков, 2 – закрытые для поисков; границы разноранговых алмазонасных таксонов: 3 – Якутской алмазонасной провинции, 4 – субпровинций (ЦСС – Центрально-Сибирская, ЛАС – Лено-Анабарская), 5 – алмазонасных областей (1 – Вилуйско-Мархинская, 2 – Верхневилуйская), 6 – алмазонасных районов (и их названия), 7 – алмазонасных кимберлитовых полей (и их названия); 8 – кимберлитовые тела; 9 – россыпи и россыпепроявления алмазов; 10 – граница Вилуйско-Мархинской зоны разломов

types of prospecting areas: 1 – accessible for prospecting, 2 – inaccessible for prospecting; boundaries of different-scale diamondiferous taxa: 3 – Yakutsk diamond province, 4 – subprovinces (ЦСР – Central Siberian, ЛАК – Lena-Anabar), 5 – diamond areas (1 – Vilyui-Markhinskaya, 2 – Verkhnevilyuiskaya), 6 – diamond regions (and their names), 7 – diamondiferous kimberlite fields (and their names); 8 – kimberlite bodies; 9 – diamond placers; 10 – Vilyui-Markha fault zone



алмазоносный потенциал закрытой части зоны не исчерпан, поэтому она представляет основной интерес для постановки ГРП на алмазы.

В условиях закрытых площадей первостепенное значение приобретает научно обоснованный выбор участков для постановки ГРП, базирующийся на использовании комплекса надёжных прогнозно-поисковых признаков и достоверных предпосылок.

Немаловажное место в их ряду занимают структурно-тектонические критерии. Для алмазоносных таксонов среднего масштаба к ним относятся тектонические элементы, отвечающие за контроль кимберлитовых полей.

Многочисленными исследованиями установлено, что кимберлитовые поля тяготеют к краевым частям стабильных блоков и располагаются в узлах пересечения разнонаправленных разломных зон (линеаментов) [1, 2, 3, 9].

Ширина ВМЗ, занимающей краевую часть Анабаро-Мирнинского стабильного блока, варьируется в широких пределах – от 30–50 км на юге до 150 км на северо-востоке, а в центральной части составляет около 130 км.

Границы секущих зон, трассирующихся со стороны Палеовилуйского авлакогена, выделяются с определённой долей условности, так как сами зоны в осадочном чехле проявлены отдельными опущенными блоками либо фрагментарно прослеженными линейными прогибами (депрессиями), а большинство входящих в них разрывных нарушений выделяются в ранге предполагаемых. При значительной ширине ВМЗ и неуверенном прослеживании секущих зон узлы пересечения этих структур, во-первых, имеют площадь в десятки тысяч км², что намного превышает площадь кимберлитового поля, и, во-вторых, выделяются недостаточно надёжно.

Ранее [4] на северо-восточном фланге ВМЗ была закартирована область повышенной проницаемости осадочного чехла, названная авторами центральной (осевой) ветвью ВМЗ, которая была прослежена в виде полосы шириной 20–25 км от долины р. Марха на юго-западе до р. Тюнг на северо-востоке. Было установлено, что дислоцированность верхней части нижнепалеозойского разреза вызвана ши-

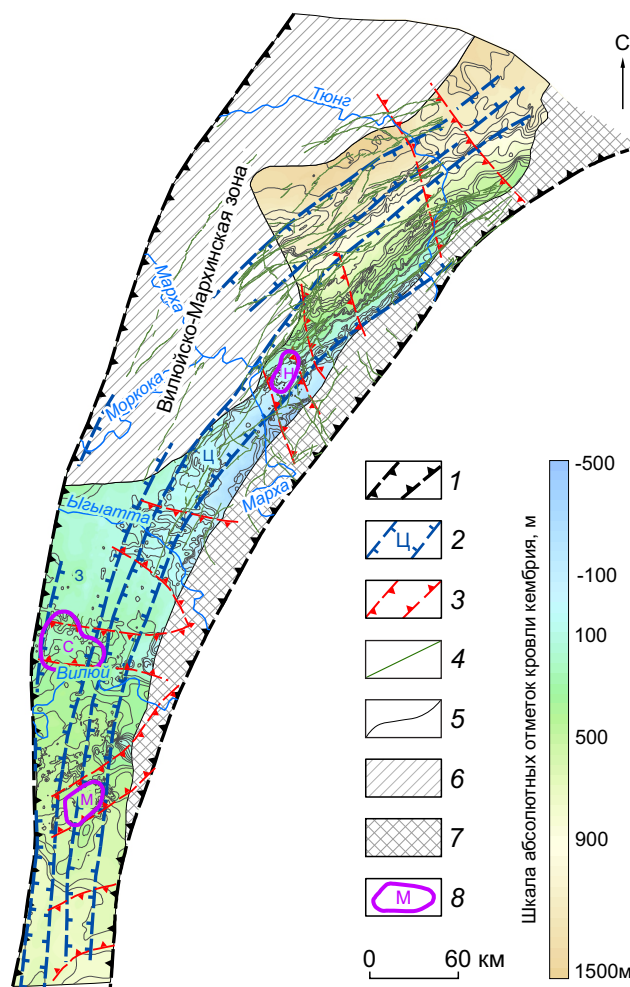


Рис. 2. Структурно-тектоническая схема ВМЗ:

1 – граница ВМЗ; 2 – подзоны ВМЗ (3 – западная, Ц – центральная); 3 – границы секущих зон разломов; 4 – дайки долеритов; 5 – изогипсы кровли кембрия; области ВМЗ, слабоизученные для структурных построений: 6 – открытые, 7 – закрытые; 8 – алмазоносные кимберлитовые поля (Н – Накынское, М – Мирнинское, С – Слюдякарское)

Fig. 2. Structural-tectonic scheme of the VMZ

1 – Vilyui-Markha fault zone; 2 – VMZ subzones (3 – western, Ц – central); 3 – crosscutting zones; 4 – Cambrian roof isohypses; 5–6 – VMZ areas poorly studied for structural constructions: 5 – accessible, 6 – inaccessible; 7 – diamondiferous kimberlite fields (Н – Nakynskoe, М – Mirninskoe, С – Syuldyukarskoe)

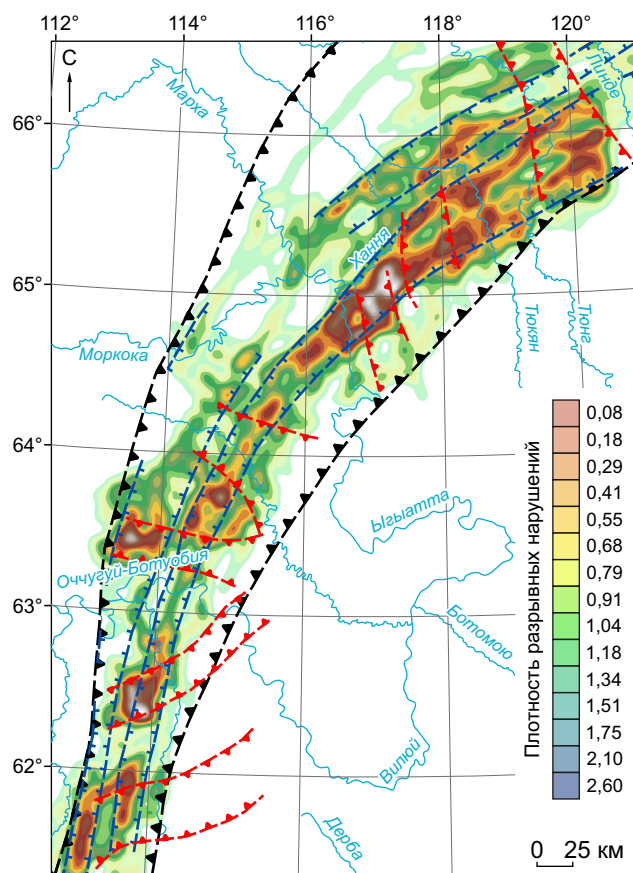


Рис. 3. Схема плотности разрывных нарушений ВМЗ:

усл. обозн. см. рис. 2

Fig. 3. Fault density diagram of the Vilyui-Markha fault zone
see Fig. 2 for legend

роким развитием складчатых деформаций, а также значительным количеством разломных нарушений (до десяти на одно пересечение).

Цель настоящих исследований – изучение строения верхней части кимберлитовмещающих отложений на всём протяжении ВМЗ, а также выделение в её пределах тектонически ослабленных областей, наиболее благоприятных для внедрения магматических расплавов.

Для этого в программной среде ArcGIS был составлен комплект структурно-тектонических карт, с помощью которых была проанализирована пликативная тектоника изучаемой территории. Кроме того, на базе модуля Spati-

al Analyst Density была построена схема плотности разрывных нарушений в пределах ВМЗ. Фактическим материалом для построений послужили результаты детального стратиграфического расчленения нижнепалеозойских отложений по данным бурения колонковых скважин в комплексе с геофизическим исследованием скважин, а также результаты геологических и геофизических съёмок, проведённых на площади ВМЗ различными организациями.

Анализ пликативной тектоники верхней части нижнепалеозойского разреза показал, что строение зоны неоднородно: области моноклиналиного залегания пород перемежаются участками со сложным структурным планом, в пределах которых широко развиты складчатые деформации, представленные преимущественно линейными прогибами (грабенами), а также изометрическими, брахиформными синклинальными и антиклинальными складками, структурными мысами, желобами, часто осложнёнными разрывными нарушениями. Эти участки усложнённого строения, как и отмечалось ранее, прослеживаются в виде широкой, практически непрерывной полосы в центральной части ВМЗ, но, кроме того, фрагментарно фиксируются на её западном фланге. В связи с этим в пределах ВМЗ кроме центральной ветви выделена ещё одна ветвь (подзона) – западная (рис. 2). Именно к ней приурочено Слюдякарское кимберлитовое поле. Ретроспективные реконструкции, выполненные как для отдельных кимберлитовых полей [5, 6], так и для всей территории ВМЗ [8], показали, что большая часть как дизъюнктивных, так и пликативных структур имеет доюрский, вероятнее всего среднепалеозойский возраст, синхронный внедрению кимберлитов.

Внутренние (примыкающие к авлакогену) области ВМЗ слабо изучены поисковым бурением, данных для структурных построений в этой части зоны недостаточно. Однако по отдельным буровым профилям здесь зафиксировано резкое погружение стратиграфических горизонтов осадочного чехла в юго-восточном направлении, а также сильная тектоническая нарушенность, что свидетельствует об участ-

ках усложнённого строения и на юго-восточном фланге ВМЗ. Предшествующими исследованиями было установлено, что на границе с Вилуйской подвижной областью амплитуды разломных нарушений достигают 100–200 м и более [2]. А по результатам сейсморазведочных работ в краевой части Палеовилуйского авлакогена (ВМЗ) была выделена флексуобразная сложнопостроенная зона шириной 20–26 км, характеризующаяся как область повышенных дислокаций осадочного чехла [7], являющаяся зоной перехода от плавного к резкому погружению кристаллического фундамента в Вилуйскую синеклизу. Это позволяет предположить существование ещё одной подзоны усложнённого строения ВМЗ – восточной, характеризующейся наличием контрастных тектонических структур, как пликативных, так и разрывных. Сильная раздробленность вмещающих пород в пределах восточной подзоны, по нашему мнению, не способствует обеспечению термодинамической устойчивости рудообразующей системы, которая необходима для сохранения алмазов, и это делает обнаружение алмазоносных кимберлитовых проявлений в пределах восточной подзоны маловероятным.

Каждая из выделенных ветвей (подзон) характеризуется своими структурными особенностями. Центральная подзона в структуре нижнепалеозойских отложений выделяется уверенно. Ширина в центральной и северо-восточной частях – 30 км, на южном фланге – 20–25 км. В её пределах по всей длине фиксируется серия сближенных грабенообразных прогибов, сопровождающих разломы ВМЗ, широкое развитие пликативных дислокаций в виде изометрических либо удлинённых синклиналий и антиклиналий складок. Амплитуды пликативных структур варьируются от 10–30 до 50–70 м, редко больше, поперечные размеры изометрических складок в основном 2–7 км. Центральная подзона ВМЗ наиболее насыщена разломами и дайками. Подавляющая часть разломов благодаря интрузирующим их траппам уверенно фиксируется в наблюдаемом магнитном поле чёткими линейными протяжёнными аномалиями высокой ин-

тенсивности. В пределах центральной подзоны ВМЗ локализованы алмазоносные кимберлитовые поля Мирнинское и Накынское.

Западная подзона (ветвь) ВМЗ (шириной до 35 км) выделяется не столь уверенно, фрагментарно. Она представлена отдельными участками со сложным структурным планом кимберлитовмещающих отложений, обусловленным либо серией сближенных грабенообразных прогибов, как в центральных областях ВМЗ, либо широким развитием складчатых дислокаций, как на северо-восточном фланге зоны. На южном фланге, при значительно меньшей ширине самой ВМЗ, западная подзона выделена весьма условно. По сравнению с центральной подзоной амплитуды пликативных структур в пределах западной значительно ниже. Даечные тела, интрузирующие разломы, как правило, имеют меньшую протяжённость, часто прослежены фрагментарно. Многие из них в наблюдаемом магнитном поле не фиксируются, а выделены в трансформантах аномального магнитного поля. Открытое в 2015 г. Сюльдюкарское кимберлитовое поле приурочено к западной подзоне ВМЗ.

Кроме выполненных структурных построений на территорию ВМЗ была составлена схема плотности разрывных нарушений (рис. 3). Ранее подобные построения проводились только для отдельных кимберлитовых полей [10, 11]. В рамках настоящих исследований было установлено, что плотность дизъюнктивов в пределах ВМЗ варьируется от 0,05 до 2,5 км/км², причём разломы на исследуемой территории распределены неравномерно. Из представленной схемы видно, что именно в границах ветвей ВМЗ сконцентрировано и большинство разрывных нарушений (плотность разломов от 0,6 до 2,5 км/км²). Наибольших значений (1,3–2,5 км/км²) данная величина достигает в пределах известных кимберлитовых полей. Также повышенная плотность разломных нарушений характерна для ряда площадей, преимущественно совмещённых с центральной ветвью зоны, расположенных на междуречье Большой и Малой Ботубий (южная оконечность ВМЗ), правобережье р. Ыгыатта (центр зоны), долине р. Тюкян, на левобережье р. Тюнг.



Довольно выдержанное простираие ветвей ВМЗ, широко развитые в них складчатые дислокации, значительная концентрация разломов, зачастую залеченных протяжёнными дайками долеритов, свидетельствуют, по-видимому, о том, что подзоны отражают в верхней части осадочного чехла крупные долгоживущие разломы фундамента. Именно подзоны по физико-механическим особенностям представляют собой, с одной стороны, проницаемые участки земной коры, благоприятные для проникновения (продвижения) кимберлитовой магмы к дневной поверхности, а с другой – относительно закрытую тектономагматическую систему, способную сохранять термодинамические параметры в области стабильности алмаза.

Таким образом, анализом региональных построений была установлена латеральная зональность ВМЗ, в которой выделены центральная (шириной до 30 км) и западная (до 35 км) подзоны, характеризующиеся усложнением моноклинального залегания нижнепалеозой-

ского (кимберлитовмещающего) комплекса пород. При этом высокоалмазоносные поля Мирнинское и Накынское приурочены к центральной, а среднеалмазоносное Сюльдюкарское – к западной подзоне ВМЗ. Выделенные подзоны характеризуются повышенной плотностью разрывных нарушений, наибольших значений данная величина достигает в пределах известных кимберлитовых полей.

Данный факт может служить дополнительным структурно-тектоническим критерием при выделении площадей для постановки поисковых работ. Участки повышенной плотности разрывных нарушений, особенно совмещённые с областями усложнённого структурного плана нижнепалеозойских пород (подзонами), требуют особо пристального внимания и более детального изучения. Именно такие площади, характеризующиеся повышенной дислоцированностью осадочного чехла, по нашему мнению, наиболее благоприятны для продвижения к поверхности магматических расплавов, в том числе и кимберлитовых.

Список литературы

1. Антипин И. Ин., Антипин И. И. Среднемасштабное алмазопрогнозирование на примере Центрально-Сибирской субпровинции // Руды и металлы. – 2018. – № 1. – С. 4–10.
2. Горев Н. И. Тектонические исследования при прогнозировании коренных источников алмазов // Алмазная геология в АК «АЛРОСА» – настоящее и будущее (геологи АК «АЛРОСА» к 50-летию юбилею алмазодобывающей промышленности России). – Воронеж : ВГУ, 2005. – С. 1175–1202.
3. Горев Н. И., Герасимчук А. В. Специализированные тектонические карты при прогнозировании коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе: методика составления и анализа // Руды и металлы. – 2017. – № 4. – С. 25–41.
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. Горев Н. И., Манаков А. В., Эринчек Ю. М., Гарат М. Н. Особенности строения осадочного чехла Малоботуобинского алмазоносного района Якутии по данным палеоструктурного анализа // Региональная геология и металлогения. – 1994. – № 2 – С. 132–144.
6. Кондратьев А. А., Горев Н. И. Тектоническое строение и история развития Средне-Мархинского алмазоносного района Западной Якутии // Геология алмаза – настоящее и будущее. – Воронеж : ВГУ, 2005. – С. 95–105.
7. Манаков А. В., Оськин И. В., Антонов Ю. В., Слюсарев А. В. Новые данные о строении Вилуйско-Мархинской системы разломов // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов. – Мирный, 1998. – С. 270–272.
8. Проценко Е. В. Структурно-тектонические закономерности локализации алмазоносных кимберлитовых полей в пределах Вилуйско-Мархинской минерагенической зоны (Западная Якутия) : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Проценко Елена Викторовна. – М., 2020. – 149 с.

9. Харькив А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов мира. – М. : Недра, 1998. – 555 с.
10. Шахурдина Н. К. Применение информационных методов при локальном прогнозе Мирнинского кимберлитового поля // Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии : материалы IV Региональной научно-практической конференции. – Мирный, 2014. – С. 245–247.
11. Шахурдина Н. К., Проценко Е. В. Использование программной среды ARCGIS для анализа разломной тектоники кимберлитоперспективных территорий на примере Накынского кимберлитового поля (Западная Якутия) // Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов АК «АЛРОСА»: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии. Ай-хал : материалы V полевого научно-практического семинара. – 2015. – С. 225–227.

References

1. Antipin I. In., Antipin I. I. Srednemashtabnoe almazoprognostirovanie na primere Tsentral'no-Sibirskoi subprovintsi [Medium-scale diamond forecasting on the example of the Central Siberian subprovince], *Rudy i metally [Ores and Metals]*, 2018, No 1, pp. 4–10. (In Russ.).
2. Gorev N. I. Tektonicheskie issledovaniya pri prognozirovani korenykh istochnikov almazov [Tectonic research in predicting the primary sources of diamonds], *Almaznaya geologiya v AK "ALROSA" – nastoyashchee i budushchee (geologi AK "ALROSA" k 50-letnemu yubileyu almazodobyvayushchei promyshlennosti Rossii)* [Diamond Geology at AK ALROSA – the present and the future (geologists of AK ALROSA to the 50th anniversary of the diamond mining industry in Russia)], Voronezh, VGU Publ., 2005, pp. 1175–1202.
3. Gorev N. I., Gerasimchuk A. V. Spetsializirovannye tektonicheskie karty pri prognozirovani korenykh mestorozhdenii almazov na Sibirskoi platforme: metodika sostavleniya i analiza [Specialized tectonic maps for forecasting primary diamond deposits on the Siberian platform: compilation and analysis methods], *Rudy i metally [Ores and Metals]*, 2017, No 4, pp. 25–41. (In Russ.).
4. Gorev N. I., Gerasimchuk A. V., Protsenko E. V., Tolstov A. V. Tektonicheskie aspekty stroeniya Vilyuisk-Markhinskoi zony, ikh ispol'zovanie pri prognozirovani kimbberlitovykh 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. Gorev N. I., Manakov A. V., Erinchek Yu. M., Garat M. N. Osobennosti stroeniya osadochnogo chekhla Malobotuobinskogo almazonosnogo raiona Yakutii po dannym paleostruktural'nogo analiza [Features of the structure of the sedimentary cover of the Malobotuobinsky diamondiferous region of Yakutia according to paleostructural analysis], *Regional'naya geologiya i metallogeniya [Regional Geology and Metallogeny]*, 1994, No 2, pp. 132–144. (In Russ.).
6. Kondrat'ev A. A., Gorev N. I. Tektonicheskoe stroenie i istoriya razvitiya Sredne-Markhinskogo almazonosnogo raiona Zapadnoi Yakutii [Tectonic structure and history of development of the Sredne-Markhinsky diamondiferous region of Western Yakutia], *Geologiya almaza – nastoyashchee i budushchee [Geology of diamond – present and future]*, Voronezh, VGU Publ., 2005, pp. 95–105.
7. Manakov A. V., Os'kin I. V., Antonov Yu. V., Slyusarev A. V. Novye dannye o stroenii Vilyuisk-Markhinskoi sistemy razlomov [New data on the structure of the Vilyui-Markha system of faults], *Geologiya, zakonomernosti razmeshcheniya, metody prognozirovaniya i poiskov mestorozhdenii almazov [Geology, distribution patterns, methods of forecasting and prospecting for diamond deposits]*, Mirnyy, 1998, pp. 270–272.
8. Protsenko E. V. Strukturno-tektonicheskie zakonomernosti lokalizatsii almazonosnykh kimberlitovykh polei v predelakh Vilyuisk-Markhinskoi mineragenicheskoi zony (Zapadnaya Yakutiya) [Structural and tectonic patterns of localization of diamondiferous kimberlite fields within the Vilyui-Markha mineragenic zone (Western Yakutia): candidate's thesis], Moscow, 2020, 149 p.
9. Khar'kiv A. D., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I. Korennye mestorozhdeniya almazov mira [Primary diamond deposits of the world], Moscow, Nedra Publ., 1998, 555 p.



10. Shakhurdina N. K. *Primenenie informatsionnykh metodov pri lokal'nom prognoze Mirninskogo kimberlitovogo polya* [Application of information methods for local forecasting of the Mirny kimberlite field], *Geologicheskoe obespechenie mineral'nosyr'evoi bazy almazov: problemy, puti resheniya, innovatsionnye razrabotki i tekhnologii: materialy IV Regional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Geological support of the mineral resource base of diamonds: problems, solutions, innovative developments and technologies: materials of the IV Regional Scientific and Practical Conference], Mirny, 2014, pp. 245–247.
11. Shakhurdina N. K., Protsenko E. V. *Ispol'zovanie programnoi sredy ARCGIS dlya analiza razlomnoi tek-*

toniki kimberlitoperspektivnykh territorii na primere Nakynskogo kimberlitovogo polya (Zapadnaya Yakutiya) [Using the ARCGIS software environment for the analysis of fault tectonics of promising kimberlite territories on the example of the Nakyn kimberlite field (Western Yakutia)], *Geologicheskoe obespechenie mineral'no-syr'evoi bazy almazov AK "ALROSA": problemy, puti resheniya, innovatsionnye razrabotki i tekhnologii. Aikhal: materialy V polevogo nauchno-prakticheskogo seminara* [Geological support of the ALROSA mineral resource base of diamonds: problems, solutions, innovative developments and technologies. Aikhal: materials of the V field scientific-practical seminar], 2015, pp. 225–227.

Авторы

Проценко Елена Викторовна

кандидат геолого-минералогических наук
заведующий прогнозно-методологическим отделом
ProtsenkoEV@alrosa.ru

Шахурдина Надежда Константиновна

старший научный сотрудник
ShakhurdinaNK@alrosa.ru

Научно-исследовательское геологическое предприятие
(НИГП) АК «АЛРОСА» (ПАО),
г. Мирный

Authors

Protsenko Elena Viktorovna

PhD
Head of Department of Forecasting and Methodology
ProtsenkoEV@alrosa.ru

Shakhurdina Nadezhda Konstantinovna

Senior Researcher
ShakhurdinaNK@alrosa.ru

JSC ALROSA (PJSC)
Mirny, Russia