Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014). Vienna : International Atomic Energy Agency, 2014. p. 178.

- Gandhi S. M., Sarkar B. C. Essentials of Mineral Exploration and Evaluation. Amsterdam : Elsevier, 2016. 406 p.
- Early Days at PLS. 121 Mining Investment Conference. Hong Kong : Fission Uranium Corp., 2017. 20 p.
- Uranium 2016: Resources, Production and Demand : A Joint Report by the NEA and IAEA. OECD, 2016. 550 p.
- Zhivov V. L., Boytsov A. V., Shumilin M. V. Uranium: geology, mining, economics. Moscow : Atomredmetzoloto, 2012. 301 p.
- The Nuclear Fuel Report: Global Scenarios for Demand and Supply Availability 2017–2035. World Nuclear Association, 2017.
- Mashkovtsev G. A., Konstantinov A. K., Miguta A. K., Shumilin M. V., Shchetochkin V. N. Uranium Wealth of Russia. Moscow : VIMS, 2010. 850 p.
- Kovalev L. N., Burkova N. V., Sychevskiy A. V., Kuznetsov V. V. Mineral reserves and resources of the Republic of Sakha (Yakutia). *Gornyi Zhurnal*. 2016. No. 7. pp. 83–88. DOI: 10.17580/ gzh.2016.07.18
- Svyatetskiy V. S., Polonyankina S. V., Ermakov A. G. Uranium-mining industry of Russia: the state and prospects of development. *Prospect and protection of mineral resources*. 2017. No. 11. pp. 22–26.

- Boitsov V. E., Pilipenko G. N., Dorozhkina L. A. Gold and uranium deposits in Central Aldan. Large and Super-Large Ore Fields. Moscow : IGEM RAN, 2006. Vol. 2: Strategic Ore Reserves. pp. 215–240.
- Goleva R. V. Ecological supervision of the Elkon Mining and Metallurgical Project. *Ratsionalnoe osvoenie nedr.* 2011. No. 1. pp. 61–65.
- Tarkhanov A. V., Bugrieva E. P. Value and Prospects of Commercial Uranium Deposits. Moscow : VIMS, 2017. 106 p.
- Demoura G. V., Zinovkin S. V., Petrov A. V. An Express Method of gravi-magnetic Tomography for Estimating Reserves of Ore Occurrences Ferrous and Non-ferrous Metals. *Nedropolzovanie-XXI vek*. 2018. No. 2, pp. 43–50.
- Pilipenko G. N., Vercheba A. A. Relevant exploration trends in the Elkon ore region (Central Aldan). Materialy po geologii mestorozhdenii urana, redkikh i redkozemelnykh metallov. 2012. No. 158. pp. 38–51.
- Miguta A. K. Uranium Deposits of the El'kon Ore District in the Aldan Shield. *Geology of Ore Deposits*. 2001. Vol. 43, Iss. 2. pp. 117–135.
- Pilipenko G. N., Vercheba A. A. A package of innovative solutions towards efficient mining of the larges gold and uranium ore bodies in the Elkon region, Yakutia. Uranium Geology, Reserves and Production III International Symposium Proceedings. Moscow : VIMS, 2013. pp. 218–235.
- Larichkin F. D., Voitekhovsky Yu. L., Vorobev A. G., Goncharova L. I. Features of substantiation of quality requirements for extraction of valuable rare earth components from multicomponent mineral raw material. *Gornyi Zhurnal*. 2016. No. 1. pp. 49–53. DOI: 10.17580/gzh.2016.01.10

УДК 550.8:552:552.323.6

# ПРИЗНАКИ СКРЫТЫХ СТРУКТУР В ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩАХ, ВМЕЩАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ НАКЫНСКОГО ПОЛЯ ЯКУТИИ

**П. А. ИГНАТОВ**<sup>1</sup>, проф., д-р геол.-минерал. наук, petrignatov@gmail.com **С. Г. КРЯЖЕВ**<sup>2</sup>, ведущий научный сотрудник, д-р геол.-минерал. наук **А. В. ТОЛСТОВ**<sup>3</sup>, директор Научно-исследовательского геологоразведочного предприятия, д-р геол.-минерал. наук

**М. В. МАЛЬЦЕВ**<sup>3</sup>, начальник партии геологоразведочной экспедиции

 Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Москва, Россия
 ФГБУ «ЦНИГРИ», Москва Россия
 АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный, Россия

### Введение

В настоящее время поиски месторождений алмазов в Якутии проводят на закрытых территориях, где поисковые объекты находятся в осадочных толщах нижнепалеозойского платформенного чехла и перекрыты осадочными или вулканогенными отложениями мощностью в десятки и сотни метров. Традиционно анализируют электромагнитные свойства кимберлитов и сопровождающие их шлихоминералогические ореолы, устанавливаемые по опробованию керна скважин. Помимо этого, целесообразно использовать тектонические, флюидоразрывные и минералого-геохимические признаки структур, вмещающих кимберлиты, которые устанавливаются при исследовании керна [1–4].

Фактическая основа разработок получена в процессе поисков, оценки и разведки алмазных месторождений трубок «Ботуобинская» и «Нюрбинская», дайкового тела Майского и других рудных объектов, проводимых в осваиваемом промышленностью Накынском поле Средне-Мархинского района Западно-Якутской алмазоносной провинции. Комплекс признаков установлен главНа закрытых территориях предлагается использовать дополнительный комплекс тектонических, флюидоразрывных и минералогогеохимических признаков коренных месторождений алмазов. Накынское поле Якутии маркируется ареалами палеосейсмогенных деформаций слоев, эруптивных брекчий базитов, флиюдоразрывных карбонатных брекчий, скарнов и гидротермальной минерализацией.

**Ключевые слова:** кимберлит, рудовмещающие, палеосейсмогенные дислокации, тектонические, флюидоразрывные признаки, изотопы углерода, кислорода и серы, газогеохимические ореолы. **DOI:** 10.17580/gzh.2018.11.02

ным образом в результате изучения керна и аналитических данных многих тысяч поисковых и разведочных скважин, пройденных по сети, начиная от 400×400 до 40×50 м и плотнее.

## Результаты исследования геологических признаков разноранговых кимберлитовых объектов

Для эффективного использования признаков необходимо ранжировать поисковые объекты на кимберлитовые поля, группы или кусты кимберлитовых тел и кимберлитовые тела (трубка, дайка, жила). Каждому рангу соответствует блок вмещающих кимберлиты осадочных пород разного объема, в котором проявлены геологические образования, сопровождающие кимберлиты (см. **таблицу**).

Накынское кимберлитовое поле локализовано в узле пересечения региональных Вилюйско-Мархинской и Средне-Мархинской зон разломов, каждая из которых выражена поясами даек и силлов среднепалеозойских траппов. Они отчетливо установлены по данным аэромагнитной съемки и заверены бурением. Кусты алмазоносных тел кимберлитов расположены вдоль линии рудоконтролирующего разлома, названного Диагональным.

Яркими признаками кимберлитовых полей являются эруптивные брекчии базитового состава. Они отличаются повышенным содержанием щелочей, брекчиевой и брекчиевидной текстурами, присутствием в составе обломков долеритов и карбонатных пород нижнего палеозоя, каймами закаливания, гематитизации, хлорита и карбонатизации вокруг обломков основных пород, наличием в хлорит-карбонатном цементе и среди остроугольных обломков плохо раскристаллизованного стекла гиалопилитовой структуры [5]. По имеющимся признакам брекчии базитов соответствуют магматическим взрывным образованиям [6]. В Накынском поле брекчии базитов группируются в эллипсовидный ареал [7] с параметрами 20×8 км с длинной осью, вытянутой на северо-восток вдоль Диагонального разлома, контролирующего положение всех известных тел кимберлитов (**рис. 1**).

Признаком поля и кустов кимберлитов являются флюидоразрывные брекчии карбонатных пород. Макроскопически они имеют сходство с кимберлитовыми брекчиями, содержащими 1-5 % минералов кимберлитов [5, 8–10]. Ряд признаков подтверждает их флюидоразрывное происхождение: неоднородный состав обломков. включающий различные известняки. доломиты и мергели; присутствие не только угловатых, но и угловато-округлых и округлых обломков разного размера от 10-12 см до мелкого гравия, что указывает на их механическую обработку в процессе газового воздействия; наличие в цементе неравномерной примеси песчаных зерен кварцевого состава с примесью калиевого полевого шпата, светлой слюды в количестве до первых процентов; каемки осветления вокруг обломков, что может указывать на воздействие флюидов; наличие в цементе и реже – в песчаных зернах рентгеноаморфного, вероятно, пирокластического материала. Приведенные признаки позволяют отнести карбонатные брекчии к флюидоразрывным фреатомагматическим образованиям [11, 12]. Такие карбонатные брекчии вместе с эруптивными брекчиями базитов слагают в центральной части Накынского поля ареал, в центре которого локализованы кимберлиты (см. рис. 1).



### Рис. 1. Ареал распространения

брекчий щелочных базитов и карбонатных брекчий Накынского поля:

1 – кимберлитовые тела;

2 – проявления карбонатных брекчий; 3 – проявления брекчий щелочных базитов; 4 – осевые зоны разломов, выделенные по геофизическим и геологическим данным; 5 – контур Накынского поля по [7]

Большинство эруптивных брекчий базитов и флюидоразрывных карбонатных брекчий локализовано в разломах Вилюйско-Мархинской зоны нарушений востокчно-северо-восточного простирания.

Флюидизитовые прожилки встречаются чаще, чем брекчии карбонатного состава. Они сложены мелкозернистым агрегатом непрозрачного кальцита и (или) доломита с примесью до 7–10 % песчаного материала, представленного кварцем, кварцитами, полевыми шпатами, в меньшей мере дисперсной рентгеноаморфной фазой, хлоритом и серпентином. Прожилки мощностью до первых сантиметров, как правило, субвертикальные и выполняют трещины отрыва, реже – скола. Об эндогенных условиях образования флюидизитовых прожилков свидетельствуют: агрессивность к зернам кварца и полевых шпатов доломита и кальцита; директивное вдоль границ прожилка распределение песчаных зерен; планарные микротрешины зерен кварца: часто их оскольчатая форма. напоминающая кристаллокласты туфов; микровыделения дисперсной, вероятно, пирокластической, рентгеноаморфной фазы. Флюидизитовые прожилки пространственно ассоциируют с брекчиями карбонатных пород, эруптивными брекчиями базитов и кимберлитами. В Накынском поле они занимают обширный ареал, маркируя по сгущениям основные тектонические нарушения.

Палеосейсмогенные дислокации обнаружены в породах кембрия Средне-Мархинского района Якутии. Они выражены стратифицированными слоями брекчиевидных пород, содержащих обломки

Ранг объекта	Тектонические	Магматические	Гидротермальные изменения и новообразования
Поле	Узлы пересечения зон разломов I–II порядка, в том числе поясов даек траппов до 100 км <sup>2</sup>	Ареалы эруптивных брекчий базитов, флиюдоразрывных брекчий, флюидизитовых прожилков диаметром 20–40 км	Ареалы развития скарнов и вторичной минерализации
	Структуры центрального типа. Палеосейсмогенные дислокации		
Куст	Узлы пересечения сдвигов III—IV порядка площадью первые квадратные километры	Центральная часть ареала эруптивных брекчий базитов и других флюидизитовых образований	Очаги разгрузки высокотемпературных вод в виде проявлений гидротермальной минерализации барита, сфалерита, пирита, кальцита с красной и голубой фотолюминесценцией, легким изотопным составом углерода и кислорода
Тело	Участки присдвигового растяжения площадью до 1 км <sup>2</sup>	Участки интенсивного проявления флюидоразрывных образований; проявления ореолов импрегнированных газов во вмещающих породах	Локальные очаги разгрузки высокотемпературных вод внутри рудоконтролирующих структур, выраженные в минералого-
	Взрывные деформации вмещающих пород, фиксируемые по структурно- петрофизическим данным		пераметрах

### Геологические признаки разноранговых кимберлитовых объектов

с вязкопластическими деформациями, которые не обусловлены литогенетическим рядом отложений; оползневыми текстурами; крупными текстурами взмучивания древних осадков (**рис. 2**).

Такие текстуры являются характерными для нарушений современных осадков в областях влияния сейсмоактивных разломов [13]. Их следует считать признаками кимберлитовых районов и полей.

Кусты с алмазоносными телами кимберлитов локализованы в отдельных швах скрытого Диагонального разлома сдвигового типа (**рис. 3**). Это нарушение плохо выделяется в геофизических полях и откартировано по результатам специальной документации керна поисковых скважин. При этом фиксировали признаки *микродеформаций сдвигового происхождения* [1, 14].

Кусты кимберлитов отличает сосредоточение всех взрывных образований, включающих многофазные кимберлиты, сопровождающие их флюидоразрывные карбонатные брекчии и прожилки и посткимберлиовые эруптивные брекчии базитов. В пределах таких участков некимберлитовые проявления древних взрывов выходят за пределы разломов Вилюйско-Мархинской зоны, что отражает телескопированное унаследованное развитие разновозрастных локальных флюидоносных структур.

Кусты кимберлитов также отражаются по распределению *признаков древних очагов разгрузки высокотемпературных вод*. Так, в центральной части Накынского поля относительно высокотемпературные прожилковые кальциты, маркирующие кимберлитовые кусты, отличаются пониженными значениями  $\delta^{18}$ О и  $\delta^{13}$ С, красной и голубой, реже — белой с высокоэнергетическим спектром фотолюминесценцией [2, 3]. Кроме того, вблизи кимберлитовых кустов отмечается более интенсивное проявление прожилков барита и метазернистого пирита.

Наиболее важной и сложной задачей при поисках коренных алмазных месторождений на закрытых территориях является обнаружение кимберлитовых тел — трубок или даек. Она решается только с использованием бурения.

Тектонические признаки кимберлитовмещающих структур включают микродеформации сдвиговой природы: микровзбросы; зеркала скольжения с горизонтальными бороздами; рассланцевание; микроскладки волочения; S- или Z-формы прожилковой минерализации; микротекстуры развальцевания оолитов; милониты и др. [2, 4, 14]. Они отражают условия регионального сжатия на этапе внедрения кимберлитов и сопровождающих их других флюидоразрывных образований. Комплекс признаков сжатия и растяжения установлен во фрагментах Диагонального рудоконтролирующего разлома, вмещающих тела кимберлитов.

В породах нижнего палеозоя часто фиксируются признаки растяжения в виде микросбросов, зеркал скольжения с крутопадающими, реже — пологими бороздами скольжения, тектонических брекчий, кальцитовых и кальцит-пиритовых, баритовых и целестиновых прожилков, выполняющих трещины отрыва, интенсивного тектоно-эрозионного карста и др. В большинстве случаев эти признаки маркируют разломы докимберлитового этапа регионального растяжения, когда внедрялись силлы и дайки траппов. Вместе с тем такие признаки отвечают локальным зонам растяжения внутри сдвигов, благоприятным для внедрения кимберлитов.



Рис. 2. Палеосейсмогенные брекчии в кембрийских доломитистых алевролитах Накынского поля Якутии. Скважина СР-39-19 глубиной 370 м

Сдвиговая природа разломов, вмещающих кимберлитовые тела, позволила выделить три варианта локальных зон растяжения: pull apart; кулисных окончаний разломов (аккомодации) и узлы пересечения разнонаправленных и разновозрастных разломов. Для каждого из них характерен свой ансамбль микродеформаций. Такие зоны локального растяжения являются типичными для разломов сдвигового типа [1, 2].

Отмеченные структурные позиции установлены по детальному картированию участков кимберлитовых тел в Накынском поле. Хорошим примером в этом отношении является локализация алмазоносной дайки Майского месторождения, которая приурочена к узлу пересечения разных разломов сдвиговой природы (**рис. 4**). На данном участке с учетом сети наблюдений проведена количественная оценка зон растяжения-сжатия [1].

Близкие результаты получены по данным тектонодинамических палеореконструкций на Нюрбинской кимберлитовой трубке [15].

С такой тектонодинамической позицией кимберлитов совмещаются участки флюидоразрывных образований в виде скоплений эруптивных брекчий базитов, карбонатных брекчий и флюидизитовых прожилков.

В околокимберлитовом пространстве имеются и *структурнопетрофизические признаки древних взрывов*. Согласно методике ультразвукового структурно-петрофизического анализа, разработанной профессором МГУ им. М. В. Ломоносова В. И. Старостиным, исследована серия образцов осадочных пород нижнего палеозоя, вмещающих кимберлитовые трубки [4]. Ориентированные образцы были взяты из шахты по месторождению алмазов трубки «Ботуобинская» и из карьера трубки «Нюрбинская». Другие штуфы были выпилены из керна вертикальных скважин, они ориентированы лишь по вертикали и глубине. В последнем случае структурно-петрофизический анализ возможен при условии горизонтального залегания осадочных пород раннепалеозойского платформенного чехла, вмещающих позднедевонские кимберлиты.

На сферических диаграммах нашли отражение структуры центрального типа, связываемые с ударным воздействием флюидизированных кимберлитовых магм. Они представляют собой полюсные концентрические окружности, максимумы и минимумы которых последовательно чередуются друг с другом. Вектор напряжения, вызвавший данную деформацию, является вертикальным или отклоняется на 10–20° от вертикали в зависимо-



Рис. 3. Тектонодинамическая схема центральной части Накынского поля:

1 – дайки траппов Вилюйско-Мархинской зоны разломов; 2 – поперечные кимберлитоконтролирующие сдвиги;
3 – продольные кимберлитоконтролирующие левые сдвиги;
4 – Диагональный рудовмещающий правый сдвиг;
5 – кимберлитовые тела (для даек показаны их центры);
6 – зруптивные брекчии щелочных базитов;
7 – предполагаемое положение осей сжатия (А) и растяжения (Б) в проекции на горизонтальную плоскость;
8 – предполагаемое смещение берегов разрывов



Рис. 4. Позиция кимберлитов Майского месторождения в узле пересечения разных Диагонального и Поперечного сдвигов и раннего Дъяхтарского сброса:

 сечение кимберлитовой дайки
 Майского месторождения по кровле нижнепалеозойских пород;

- 2-4 проекции основных швов:
- 2 Дъяхтарского раннего сброса;
- 3 Диагонального правого сдвига
- с флексурным изгибом (pull apart zone);
- 4 Поперечного левого сдвига;

5 – мелкого нарушения. Цветовой шкалой показана плотность тектонических трещин на 1 м керна буровых скважин. Стрелками показаны направления смещений вдоль плоскости сдвигов

терны для северо-восточного, наиболее продуктивного участка.

О разгрузке флюидов также свидетельствуют данные по изотопному составу кислорода и углерода вторичных кальцитов, полученные, например, на Майском месторождении (**рис. 5**). Анализы выполнены в лаборатории ФГУП «ЦНИГРИ» по общепринятой методике [16].

Видно существенное облегчение изотопного состава углерода и кислорода кальцитовых прожилков и друз относительно состава осадочных карбонатных пород Олдондинской свиты ордовика, характерного для морских отложений. Небольшие колебания изотопного состава кислорода вторичных кальцитов в большей части проб свидетельствует о том, что кристаллизация этого минерала происходила при близкой температуре из одного минералообразующего раствора. Резкие локальные вариации изотопного состава углерода и аномально низкие значения δ<sup>13</sup>С (до -45,7 ‰), указывают на то, что в процессе минералообразования происходило локальное окисление метана. Полученные данные указывают на вероятное прохождение потока нагретых водно-углеводородных растворов через горизонты, обогащенные гипсом и галитом. Также возможно прохожде-

сти от глубины отбора образца. Это объясняется конусным типом распространения снизу вверх ударных волн, сопровождавших формирование кимберлитовых брекчий.

На таких участках также имеются проявления локальных очагов разгрузки палеогидротерм. Они выражены ореолами прожилков с друзами барита и целестина; большими интервалами экстенсивной пиритизации; прожилками сфалерита; совмещенными ореолами прожилков кальцита с красной и голубой фотолюминесценцией; пониженными значениями δ<sup>18</sup>O и δ<sup>13</sup>C кальцитов; присутствием в кальцитах микровключений высокотемпературных опресненных флюидов; прожилково-метазернистым осветлением первично-красноцветных пород; концентрационными ореолами высокотемпературного углекислого газа [2, 3]. Надо отметить, что красная и голубая фотолюминесценция кальцитов обусловлена примесью, соответственно, марганца и редких земель и, вероятно, отражает участие глубинных флюидов в образовании кальцитов [2].

Это находит подтверждение в распределении во вмещающих кимберлиты осадочных породах импрегнированного высокотемпературного углекислого газа [2, 3]. Например, концентрации такого CO<sub>2</sub> повторяют контур кимберлитовой дайки Майского месторождения. При этом более высокие содержания CO<sub>2</sub> харакние хлоридно-сульфатных вод через нефтегазоносные залежи, на наличие которых указывает ряд предпосылок, например проявления вторичных битумов в прожилках и сутуростилолитовых швах, аномальные концентрации импрегнированных углеводородных газов в породах нижнего палеозоя.

О разгрузке захороненных подземных вод указывает большой разброс значений изотопного состава серы вторичных пиритов, распространенных в карбонатных породах ордовика. По 21 пробе  $\delta S^{34}$  составила от 10,5 до 85,5 ‰ (по данным лаборатории ФГУП «ЦНИГРИ»). Это, во-первых, указывает на происхождение пиритов в результате восстановления сульфат-иона из древних захороненных рассолов и, во-вторых, является показателем низкотемпературного гидротермального происхождения. Для обоих генетических типов пиритов, согласно справочным данным, характерна большая дисперсия значений  $\delta S^{34}$  [16].

О проявлении газовых ореолов указывают газогеохимические данные по *вторичному прожилково-метасоматическому осветлению* красноцветных пород кембрия, вмещающих кимберлиты Накынского поля. Вторичное осветление представлено ассоциацией субпослойных и прожилково-метасоматических образований. Они картируются в виде ореолов околокимберлитовых



## Рис. 5. Соотношение изотопного состава углерода и кислорода кальцитовых прожилков и вмещающих пород в околокимберлитовом пространстве Майского месторождения

даек, даек траппов, тел эруптивных брекчий щелочных базитов и разломов, контролирующих локализацию кимберлитов [2].

Газохроматографический анализ проводился в лаборатории ФГУП «ЦНИГРИ» по серии образцов неизмененных красноцветных пород и непосредственно примыкающим к ним осветленным породам. Установлен скачкообразный рост газовыделений при температуре выше 350 °С, что указывает на выделения газов

### Библиографический список

- Игнатов П. А., Новиков К. В., Шмонов А. М., Разумов А. Н., Килижиков О. К. Сравнительный анализ рудовмещающих структур Майского, Мархинского и Озерного кимберлитовых тел Накынского поля Якутии // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57. № 2. С. 125–131.
- Игнатов П. А., Новиков К. В., Зарипов Н. Р., Ходня М. С., Шмонов А. М. и др. Комплекс нетрадиционных поисковых признаков коренных месторождений алмазов, используемый на закрытых территориях // Проблемы минерагении, экономической геологии и минеральных ресурсов (Смирновский сборник-2017) : науч.-лит. альманах. М.: МАКС Пресс, 2017. С. 207–228.
- Шмонов А. М. Геолого-структурные и минералого-геохимические признаки, присущие алмазоносным телам дайково-жильного типа (на примере Накынского кимберлитового поля Якутии) : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – М., 2014. – 23 с.
- Штейн Я. И. Геологические особенности околотрубочного пространства кимберлитов Якутии как критерии оценки локальных площадей на коренные месторождения алмазов : дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – М., 1997. – 138 с.
- 5. Киселев А. И., Егоров К. Н., Чернышов Р. А., Чащухин А. В., Яныгин Ю. Т. Проявления флюидно-взрывной дезинтеграции базитов в Накынском кимберлитовом поле (Якутская алмазоносная провинция) // Тихоокеанская геология. 2004. Т. 23. № 1. С. 97–104.
- Giuliani A. Insights into kimberlite petrogenesis and mantle metasomatism from a review of the compositional zoning of olivine in kimberlites worldwide // Lithos. 2018. Vol. 312-313. P. 322–342.
- Костровицкий С. И., Специус З. В., Яковлев Д. А., Фон-дер-Флаас Г. С., Суворова Л. Ф., Богуш И. Н. Атлас коренных месторождений алмазов Якутской кимберлитовой провинции. – Мирный : ООО «МГТ», 2015. – 480 с.

## «GORNYI ZHURNAL», 2018, № 11, pp. 18–23 DOI: 10.17580/gzh.2018.11.02

## Features of hidden structures in sedimentary strata hosting diamond deposits of the Nakyn field, Yakutia

## Information about authors

P. A. Ignatov<sup>1</sup>, Professor, Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences, petrignatov@gmail.com

S. G. Kryazhev<sup>2</sup>, Leading Researcher, Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences

A. V. Tolstov<sup>3</sup>, Director of Research and Exploration Operations, Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences

M. V. Maltsev<sup>3</sup>, Head of Geological Exploration Field Party

<sup>1</sup>Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, Moscow, Russia
<sup>2</sup>Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow, Russia
<sup>3</sup>ALROSA, Mirny, Russia

в результате декрепитации флюидных микровключений. Выявлено, что в осветлении повышены содержания этана, пропана, бутана, изобутана, бутилена, при этом чем тяжелее углеводород, тем контрастнее соотношения концентраций газов между исходной красноцветной и осветленной породой. Полученные данные указывают на поток газов с глубины и вероятное экранируюшее значение пластов плотных известняков и доломитов.

## Заключение

Кратко охарактеризованные выше признаки вмещающих кимберлиты структур подробно рассмотрены в серии публикаций и кандидатских диссертациях, защищенных в последние десятилетия аспирантами МГРИ – РГГРУ [3, 4, 14] и учитываются в процессе детальных поисковых работ.

Таким образом, получен комплекс признаков разноранговых структур, контролирующих и вмещающих алмазоносные кимберлитовые дайки и трубки. В совокупности с результатами традиционных шлихоминералогических и геофизических работ рассмотренные признаки позволяют последовательно локализовывать перспективные участки до площадей 100×100 м.

- Soltys A., Giuliani A., Phillips D. A new approach to reconstructing the composition and evolution of kimberlite melts: A case study of the archetypal Bultfontein kimberlite (Kimberley, South Africa) // Lithos. 2018. Vol. 304-307. P. 1–15.
- Shaikh A. M., Patel S. C., Ravi S., Behera D., Pruseth K. L. Mineralogy of the TK1 and TK4 'kimberlites' in the Timmasamudram cluster, Wajrakarur Kimberlite Field, India: Implications for lamproite magmatism in a field of kimberlites and ultramafic Iamprophyres // Chemical Geology. 2017. Vol. 455. P. 208–230.
- Smith C. B., Haggerty S. E., Chatterjee B., Beard A., Townend R. Kimberlite, lamproite, ultramafic lamprophyre, and carbonatite relationships on the Dharwar Craton, India; an example from the Khaderpet pipe, a diamondiferous ultramafic with associated carbonatite intrusion // Lithos. 2013. Vol. 182-183. P. 102–113.
- Sibson R. H., Scott J. Stress/fault controls on the containment and release of overpressured fluids: Examples from gold-quartz vein systems in Juneau, Alaska; Victoria, Australia and Otago, New Zealand // Ore Geology Reviews. 1998. Vol. 13. Iss. 1-5. P. 293–306.
- 12. *Sillitoe R. H.* Ore-Related Breccias in Volcanoplutonic Arcs // Economic Geology. 1985. Vol. 80. No. 6. P. 1467–1514.
- Палеосейсмология : в 2 т. / под ред. Дж. П. Мак-Калпина. 2-е изд. : пер. с англ. М. : Научный мир, 2011. Т. 2. – 387 с.
- Бушков К. Ю. Структура Накынского кимберлитового поля и признаки скрытых сдвиговых кимберлитоконтролирующих структур : автореф. дис. ... канд. геол.минерал. наук. – М., 2006. – 21 с.
- 15. Гладков А. С., Кошкарев Д. А. Строение разломного узла как поисковый признак коренных месторождений алмазов // Геологическое обеспечение минеральносырьевой базы алмазов: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии: матер. IV Региональной науч.-практ. конф. – Мирный, 2014. С. 44–48.
- 16. *Фор Г*. Основы изотопной геологии : пер. с англ. М : Мир, 1989. 590 с. 🗰

## Abstract

In addition to classical data of magnetic and electrical geophysical surveys and heavy mineral sampling, it is proposed to use a complex of tectonic, fluid-fracturing and mineralogical-geochemical features during prospecting for diamond deposits on covered areas. They are examined on the basis of core and analytical data study in the Nakyn ore field of Yakutia in which Nyurba and Botuobin kimberlite pipes are mined. They intrude through the sedimentary rocks of the Lower Paleozoic and are overlaid by the Jurassic terrigenous strata. The features are studied by the ranks of the field, clusters and kimberlite bodies. The tectonic position of the Nakyn field (~100 km<sup>2</sup>) is determined by the structural node formed by faults intersections of I - II orders represented by the trappean dyke belts and the manifestation of paleo seismogenic dislocations of Cambrian and Ordovician sediments. The field is marked by the areas of eruptive breccias of basites, fluid-fracturing carbonate breccias and fluidizite veins, manifestations of skarns and hydrothermal mineralization (pyrite, sphalerite, celestite, barite, calcite, dolomite). Kimberlite clusters represented by pipes and dykes are within areas of first km<sup>2</sup>. They are in the central part of the marked area and are localized at the structural nodes of III-IV order strike-slips intersections. They are concentrated vein and meta-grained manifestations of barite, sphalerite, pyrite and calcite with red and blue photoluminescence, light isotope composition of carbon and oxygen that indicate discharge sites of high temperature waters. Kimberlite pipes and dykes occupy areas of up to 1 km<sup>2</sup> and are located in the local extension zones of diagonal ore-hosted strike-slip (pull apart, accommodation, intersection of strike-slips) which are established by the micro deformations mapping of the Lower Paleozoic layers. In such areas there are explosive deformations of the host rocks fixed by structural-petrophysical data, manifestations of fluid-fracturing formations, halos of impregnated high-temperature gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, etc.). The areas are characterized by mineralogical-geochemical, gas-geochemical and isotope geochemical parameters that reflect local sites of high-temperature waters discharge.

Keywords: kimberlite, ore-enclosing rocks, paleo-seismogenic dislocations, tectonics, fluid-fracturing, carbon isotopes, oxygen and sulfur isotopes, gas-geochemical halos.

#### References

- Ignatov P. A., Novikov K. V., Shmonov A. M., Razumov A. N., Kilizhikov O. K. Comparative analysis of ore-bearing structures in Maiskoe, Markha, and Ozernoe kimberlite bodies at the Nakyn field, Yakutia. *Geology of Ore Deposits*. 2015. Vol. 57, No. 2. pp. 111–117.
- Ignatov P. A., Novikov K. V., Zaripov N. R., Khodnya M. S., Shmonov A. M. Et al. Set of unconventional signs for prospecting primary diamond deposits in restricted areas. *Problems of Minerageny, Economic Geology and Mineral Reserves (Smirnov's Collection–2017)*: Scientific Literature Almanac. Moscow : MAKS Press, 2017. pp. 207–228.
- Shmonov A. M. Structural, geological, mineralogical and geochemical features intrinsic to diamond dykes and veins (in terms of the Nakyn kimberlite field in Yakutia) : thesis of inauguration of Dissertation ... of Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences. Moscow, 2014. 23 p.
- Shtein Ya. I. Geological features the adjacent rock mass of kimberlite pipes in Yakutia as the primary diamond deposit criterion in local areas : Dissertation ... of Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences. Moscow, 1997. 138 p.
- Kiselev A.I., Yegorov K.N., Chernyshov R.A., Chashchukhin A.V., Yanygin Yu.T. The nature of basic explosive breccias within the Nakyn kimberlitic field (Yakutian diamondiferous province). *Russian Journal of Pacific Geology*. 2004. Vol. 23, No. 1. pp. 97–104.
- 6. Giuliani A. Insights into kimberlite petrogenesis and mantle metasomatism from a review of the

compositional zoning of olivine in kimberlites worldwide. *Lithos*. 2018. Vol. 312–313. pp. 322–342.

- Kostrovitsky S. I., Spetsius Z. V., Yakovlev D. A., Von-der-Flaas G. S., Suvorova L. F., Bogush I. N. Atlas of Primary Diamond Deposits in the Yakutia Kimberlite Province. Mirny : MGT, 2015. 480 p.
- Soltys A., Giuliani A., Phillips D. A new approach to reconstructing the composition and evolution of kimberlite melts: A case study of the archetypal Bultfontein kimberlite (Kimberley, South Africa). *Lithos.* 2018. Vol. 304–307. pp. 1–15.
- Shaikh A. M., Patel S. C., Ravi S., Behera D., Pruseth K. L. Mineralogy of the TK1 and TK4 'kimberlites' in the Timmasamudram cluster, Wajrakarur Kimberlite Field, India: Implications for lamproite magmatism in a field of kimberlites and ultramafic lamprophyres. *Chemical Geology*. 2017. Vol. 455. pp. 208–230.
- Smith C. B., Haggerty S. E., Chatterjee B., Beard A., Townend R. Kimberlite, lamproite, ultramafic lamprophyre, and carbonatite relationships on the Dharwar Craton, India; an example from the Khaderpet pipe, a diamondiferous ultramafic with associated carbonatite intrusion. *Lithos.* 2013. Vol. 182–183. pp. 102–113.
- Sibson R. H., Scott J. Stress/fault controls on the containment and release of overpressured fluids: Examples from gold-quartz vein systems in Juneau, Alaska; Victoria, Australia and Otago, New Zealand. Ore Geology Reviews. 1998. Vol. 13, Iss. 1–5. pp. 293–306.
- Sillitoe R. H. Ore-Related Breccias in Volcanoplutonic Arcs. *Economic Geology*. 1985. Vol. 80, No. 6. pp. 1467–1514.
- 13. McCalpin J. (Ed). Paleoseismology. New York : Academic Press, 2009. 629 p.
- 14. Bushkov K. Yu. Structure of the Nakyn kimberlite field and signs of hidden strike-slip kimberlitecontrol structures : thesis of inauguration of Dissertation ... of Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences. Moscow, 2006. 21 p.
- Gladkov A. S., Koshkarev D. A. Fault zone structure as a sign for prospecting primary diamond deposits. Geological Support of Diamond Reserves Supply (Problems, Solutions, Innovations and Technologies) : IV Regional Scientific–Practical Conference Proceedings. Mirny, 2014. pp. 44–48.
- 16. Faure G. Principles of Isotope Geology. New York : John Willey & Sons, 1987. 606 p.

### УДК 551.2

# ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ КАСПИЙСКО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

**В. Ю. КЕРИМОВ**<sup>1</sup>, проректор по научной работе, проф., д-р геол.-минерал. наук **Р. Н. МУСТАЕВ**<sup>1</sup>, начальник Управления фундаментальных и прикладных научных исследований, канд. геол-минерал. наук,

mustaevrn@mgri-rggru.ru

**У. С. СЕРИКОВА**<sup>1</sup>, доцент, канд. техн. наук

К. И. ДАНЦОВА<sup>2</sup>, ассистент

<sup>1</sup> Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Москва, Россия

<sup>2</sup> Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина, Москва, Россия

### Введение

Важнейшая особенность структуры Каспийско-Черноморского региона — напряженное состояние ее недр, высокая и разнообразная геодинамическая, вулканическая, сейсмическая и геофлюидодинамическая активность. С геодинамической активностью связаны различные виды разрядки флюидодинамической напряженности недр, прежде всего интенсивные восходящие разгрузки разнообразных подвижных флюидов и их компонентов и проявление термобарических аномалий. Ярким проявлением геодинамической активности является ее взрывная разновидность — «осаДетально освещены результаты исследований, позволяющие повысить точность определяемых геодинамических механизмов.

**Ключевые слова:** Каспийско-Черноморский регион, геофлюидодинамика, сейсмическая активность, напряженность недр, геомеханическая модель, дилатансия.

DOI: 10.17580/gzh.2018.11.03

дочный» вулканизм: грязевой, газовый и нефтяной и смешанный, которые, в свою очередь, определяют интенсивность геофлюидодинамических процессов.

Геодинамические механизмы формирования и эволюции структуры Каспийско-Черноморского региона, процессы возникновения и развития дизъюнктивов, региональных и локальных структурных форм, генетические связи и пространственные взаимоотношения последних в различных по геологической истории и геотектонической принадлежности регионах определяются, регулируются и контролируются рядом факторов, отдельные из которых в тех или иных конкретных ситуациях приобретают доминирующий характер. Представляется возможным полагать,