

УДК 553.81:550.93 (571.56)

СВИДЕТЕЛЬСТВА МНОГОЭТАПНОСТИ И ПОЛИХРОННОСТИ ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНОГО МЕЗОЗОЙСКОГО МАГМАТИЗМА В РАЙОНЕ АЛМАЗОНОСНЫХ РОССЫПЕЙ БАСЕЙНА РЕКИ ЭБЕЛЯХ (ВОСТОЧНЫЙ СКЛОН АНАБАРСКОГО ЩИТА)

© 2021 г. В. Г. Мальковец^{1,2,3,*}, академик РАН В. С. Шацкий^{1,3}, А. И. Дак⁴, А. А. Гибшер^{1,2},
И. В. Яковлев¹, Е. А. Белоусова⁵, Т. Тсуджимори^{6,7}, академик РАН Н. В. Соболев^{1,3}

Поступило 04.06.2020 г.

После доработки 05.11.2020 г.

Принято к публикации 06.11.2020 г.

В работе приводятся новые данные минералогического и изотопно-геохимического исследований мегакристов цирконов ($n = 48$) из аллювия ручья Холомолох (приток реки Эбелях). С использованием геохимических классификационных схем было установлено наличие цирконов кимберлитового и карбонатитового генезиса. U–Pb-датирование цирконов показало наличие двух основных популяций: триасовой ($258\text{--}221$ млн лет; $n = 18$) и юрской ($192\text{--}154$ млн лет; $n = 30$). При анализе графиков средневзвешенных $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возрастов отчетливо выделяются следующие возрастные этапы: 155 ± 3 , 161 ± 2 , 177 ± 1.5 , 183 ± 1.5 , 190 ± 2 , 233 ± 2.5 и 252 ± 4 млн лет. Предполагается, что транспортером Эбеляхских алмазов с мантийных глубин могли быть не только кимберлиты, но и другие родственные кимберлитам породы – карбонатиты, лампрофиры, лампроиты, оливиновые мелилититы и т.п. Алмазы из россыпей Эбелях, вероятнее всего, имеют полигенные коренные источники и могут быть связаны с полихронным и многоэтапным среднепалеозойским и мезозойским кимберлитовым и щелочно-ультраосновным магматизмом в восточном обрамлении Анабарского щита (бассейн рек Эбелях, Маят и Биллях).

Ключевые слова: Эбеляхские россыпи, Холомолох, алмаз, циркон, U–Pb-датирование, Сибирский кратон

DOI: 10.31857/S268673972101014X

Вдоль восточного склона Анабарского щита отмечается несколько полей кимберлитового и щелочно-ультраосновного магматизма мезозой-

ского возраста – Лучаканское, Куранахское, Дюкенское, Биригиндинское, Ары-Мастахское, Старореченское, Орто-Ыаргинское и Эбеляхское. Все опробованные кимберлитовые тела либо не алмазоносны, либо имеют убогую алмазоносность. В то же время в пределах СВ-склона Анабарского щита находятся богатые россыпные месторождения алмазов в долинах рек Эбелях, Биллях и Маят [1]. Исследования минеральных включений в алмазах из ряда россыпей Анабарского района показали, что среди россыпных алмазов преобладают алмазы экологитового парагенезиса, доля которых может достигать 85% [2–4]. Включения экологитового парагенезиса обнаружены и в алмазах V-разновидности, не встречающихся в алмазоносных кимберлитовых трубках Якутии [5]. Помимо алмазов, для которых не установлен коренной источник (II-, V- и VII-разновидности по классификации Ю.Л. Орлова), в россыпях значительную долю составляют округлые алмазы “уральского” типа, ламинарные октаэдры и кристаллы переходной формы. Изучение включений в алмазах этих морфологических ти-

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

² Научно-исследовательское геологическое предприятие АК АЛРОСА (ПАО), Мирный, Республика Саха (Якутия), Россия

³ Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

⁴ АО “Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья”, Новосибирск, Россия

⁵ Australian Research Council Centre of Excellence for Core to Crust Fluid Systems/GEMOC, Department of Earth and Planetary Science, Macquarie University, Sydney, Australia

⁶ Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University, Aoba, Japan

⁷ Department of Earth Science, Tohoku University, Aoba, Japan

*E-mail: Vladimir.malkovets@igm.nsc.ru

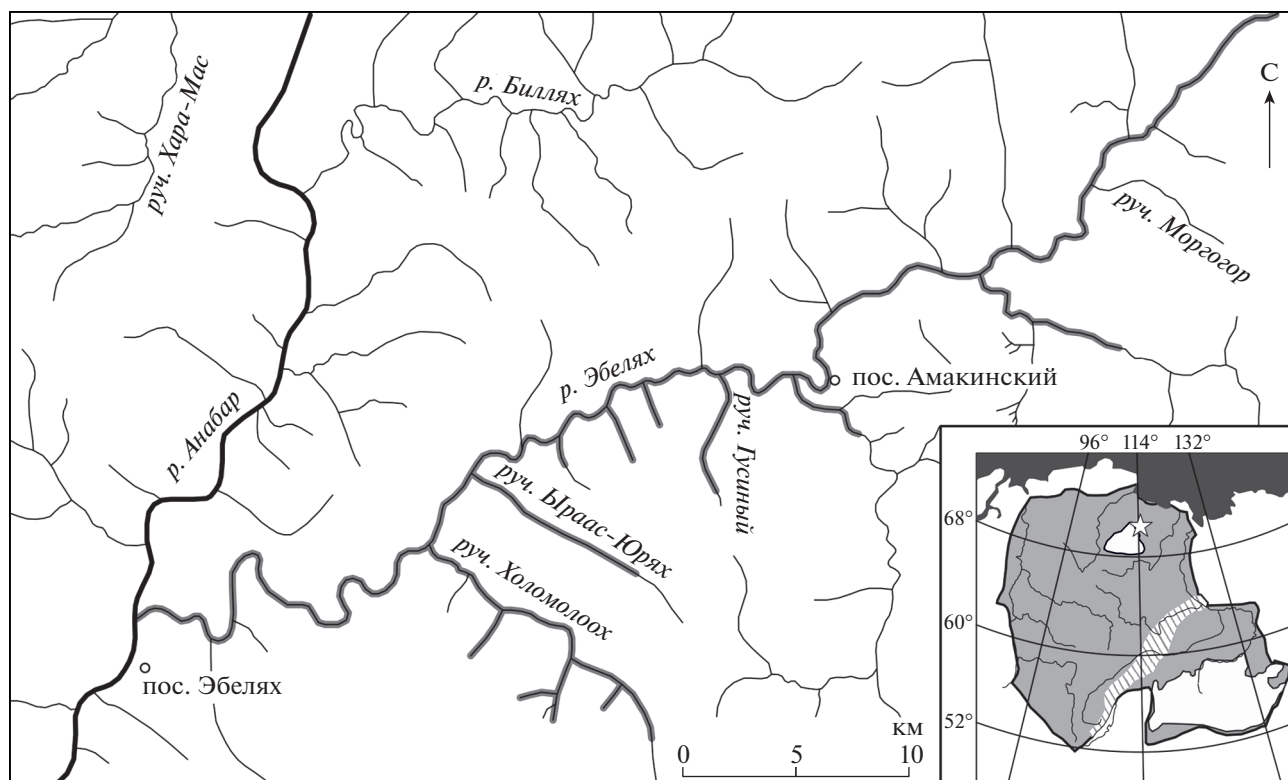


Рис. 1. Схема расположения алмазоносных россыпей бассейна реки Эбелях. На врезке показана схема Сибирского кратона с указанием расположения участка бассейна р. Эбелях.

пов и расположенных в этих районах кимберлитовых трубок мезозойского возраста показало, что они не могут быть источником россыпных алмазов [2].

Геохронологические данные по U–Pb-датированию цирконов из россыпи Эбелях показали их верхнетриасовый возраст 224 млн лет [6, 7]. В то же время Граханов и соавт. [8] показали, что в россыпных месторождениях алмазов бассейна реки Эбелях, помимо популяции цирконов триасового возраста (217–239 млн лет), также присутствует юрская популяция цирконов со значениями возраста 139–195 млн лет.

Для выяснения возможного возраста коренных источников алмазов бассейна ручья Холомолох проведены минералого-геохимические и изотопные исследования цирконов, извлеченных из концентрата тяжелой фракции при промышленной добыче алмазов.

В данном сообщении приводятся новые данные минералогического и изотопно-геохимического исследований мегакristов цирконов ($n = 48$) из аллювия ручья Холомолох (приток реки Эбелях) (рис. 1). Зерна имеют округлую форму, типичную для кимберлитовых мегакristов цирконов. Их размеры варьируют от 2 до 4 мм, зерна прозрачны и не содержат минеральных включений. Цвет цирконов варьирует от практически

бесцветных до слабо-желтых и желто-медовых. Цирконы имеют зонально-секториальное строение, типичное для мегакristов цирконов из кимберлитов.

Исследование минералогических и изотопно-геохимических характеристик цирконов проводилось в Центре GEMOC/CCFS, Университет Маккуори, Сидней. Химический состав цирконов определялся с использованием рентгеноспектрального микроанализатора CAMECA SX100 при стандартных условиях: ускоряющее напряжение 20 kV, сила тока 20 нА и диаметр пучка 2 мкм. Исследование геохимических характеристик и U–Pb–Th-изотопных систем проводилось с использованием квадрупольного масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (Agilent 7700cs) и лазерным пробоотборником (Photon Machines Excimer 193 nm). Диаметр пучка лазера составлял 80 мкм, частота лазера 5 Hz и энергия лазера 8 Дж/см².

Хондрит-нормализованные спектры редкоземельных элементов (REE) обнаруживают типичные для цирконов распределения с обеднением в области LREE и обогащением HREE и положительной Ce-аномалией. Для выяснения природы материнских магматических пород, из которых кристаллизовались цирконы, полученные данные были обработаны с использованием генети-

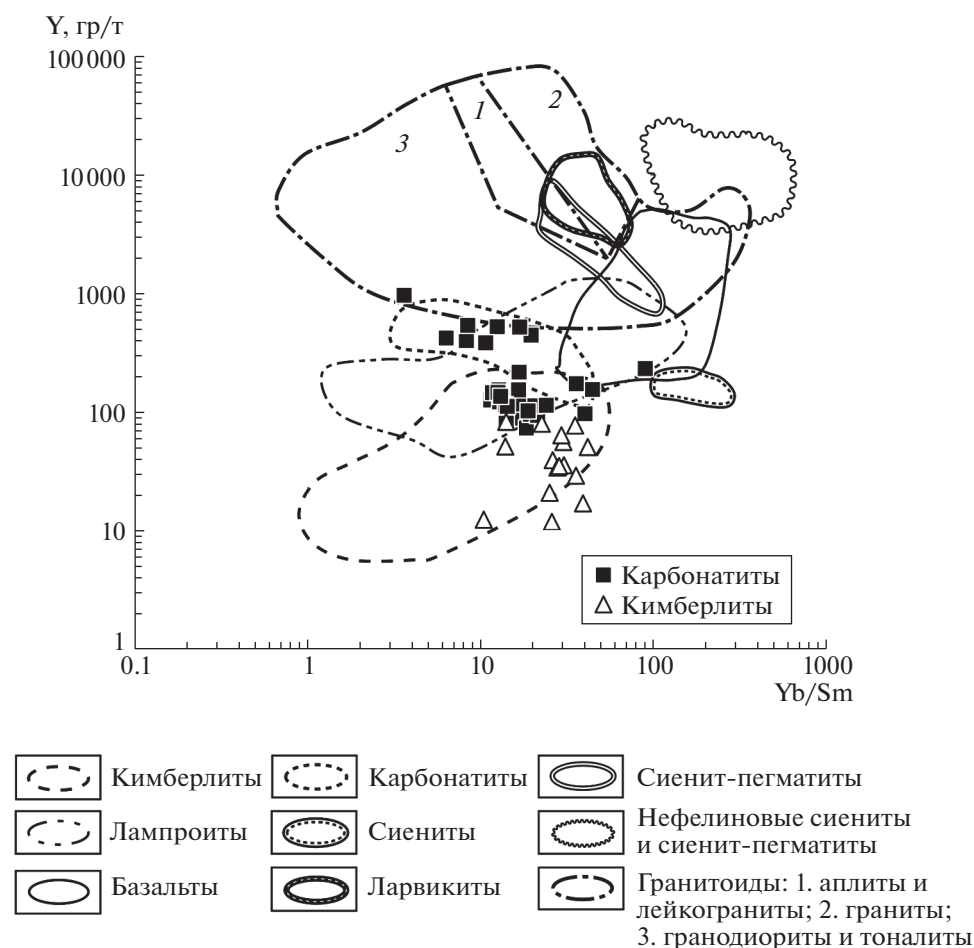


Рис. 2. Классификационная диаграмма Y–Yb/Sm для цирконов из разных типов магматических пород [9].

ческих классификационных схем, предложенных в работе [9]. Следуя диаграмме Y–Yb/Sm из этой классификации, 32 циркона генетически связаны с карбонатитами, а 16 цирконов – с кимберлитами (рис. 2). Наиболее заметное различие между карбонатитовыми и кимберлитовыми цирконами в содержаниях Th, U, Y и HREE. Содержания Th, U, Y и Yb в карбонатитовых цирконах варьируют в следующих пределах, г/г: Th 5–990 (среднее содержание $\bar{x} = 92$; медиана $m = 30$), U 0.1–329 ($\bar{x} = 59$, $m = 28$), Y 75–973 ($\bar{x} = 231$, $m = 143$) и Yb 19–119 ($\bar{x} = 46$, $m = 29$). Содержания Th, U, Y и Yb в кимберлитовых цирконах варьируют в следующих пределах, г/г: Th 1–21 ($\bar{x} = 6$, $m = 5$), U 5–44 ($\bar{x} = 14$, $m = 11$), Y 12–84 ($\bar{x} = 44$, $m = 38$) и Yb 2–16 ($\bar{x} = 9$, $m = 9$). Карбонатитовые цирконы по сравнению с кимберлитовыми в среднем имеют более высокие содержания Th (92 и 6 г/г), U (59 и 14 г/г), Y (231 и 44 г/г) и Yb (46 и 9 г/г) соответственно.

Результаты U–Pb-датирования цирконов представлены на диаграмме с конкордией (рис. 3а) и на диаграммах средневзвешенных значений

U–Pb-значений возрастов (рис. 3б–3г). Рассчитанные значения U–Pb-возраста образуют две основные популяции: триасовую (258–221 млн лет; $n = 18$) и юрскую (192–154 млн лет; $n = 30$). Для уточнения возрастных этапов для рассчитанных возрастов были построены графики средневзвешенных $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -значений возрастов (рис. 3б–3е). При анализе этих графиков отчетливо выделяются следующие возрастные этапы: 155 ± 3 , 161 ± 2 , 177 ± 1.5 , 183 ± 1.5 , 190 ± 2 , 233 ± 2.5 и 252 ± 4 млн лет (рис. 3б–3е). При сопоставлении геохимических и возрастных данных обнаруживается, что цирконы двух самых молодых популяций (155 ± 3 и 161 ± 2 млн лет) имеют генетическую связь с карбонатитами, тогда как в остальных, более древних популяциях, встречаются как карбонатитовые ($n = 25$), так и кимберлитовые цирконы ($n = 14$).

В пределах Сибирского кратона, с использованием локальных высокоточных аналитических методов определения абсолютного возраста, к настоящему времени надежно установлены четыре основных эпизода кимберлитового и родственно-

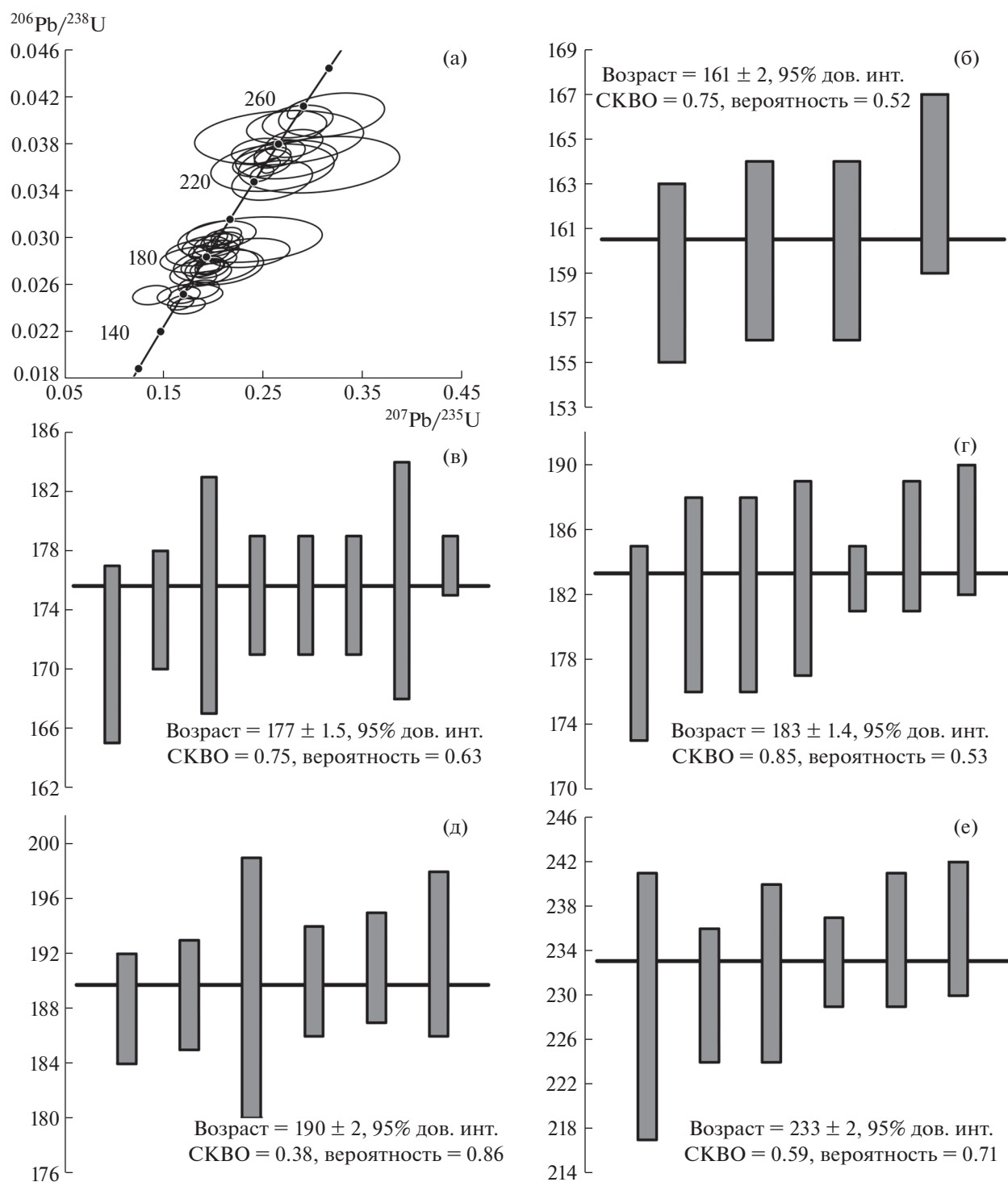


Рис. 3. Диаграмма с конкордией (а) и графики средневзвешенных значений U/Pb-возрастов (б–е) для изученных цирконов. Высота столбца соответствует 2σ .

го ему щелочно-ультраосновного магматизма: поздний силур-ранний девон (430–409 млн лет), поздний девон-ранний карбон (360–344 млн лет), поздний триас (235–218) и средняя-поздняя юра (161–144 млн лет) [6, 7, 10, 11]. Наиболее

древние силур-девонские кимберлиты установлены преимущественно в центральной части Сибирского кратона, тогда как триасовые и юрские кимберлиты обнаружены преимущественно в северной части кратона. В отличие от кимберлитов

вых полей центральной части ЯАП, поля магматитов восточного склона Анабарского щита представлены как собственно кимберлитами, так и разнообразными по составу щелочно-ультраосновными магматитами мезозойского возраста: карбонатитами, пикритами, оливиновыми мелилитами и другими разновидностями когерентных пород [1].

Наши новые геохронологические данные свидетельствуют о полихронности и многоэтапности мезозойского щелочно-ультраосновного магматизма источников алмазов россыпей бассейна реки Эбелях. Наряду с выявленными ранее триасовым (235 млн лет) и юрским (160–150 млн лет) возрастными этапами, надежно установлены этапы магматизма в 177 ± 1.5 , 183 ± 1.5 , 190 ± 2 и 252 ± 4 млн лет. В настоящее время предполагается, что образование кимберлитов связано с разогревом основания метасоматизированной кратонной литосферы либо поднимающимися мантийными плюмами, либо взаимодействием с поднимающейся астеносферой, вызванной крупномасштабными геологическими процессами. Образование триасовых кимберлитов в этап ~250 млн лет вызвано подъемом суперплюма, с которым связано внедрение колоссальных объемов Сибирских траппов – крупнейшей изверженной провинции на Земле. Внедрение кимберлитов в этап ~235 млн лет может быть связано с растеканием материала мантийного плюма под мощной кратонной литосферой Сибирского кратона и повторным разогревом основания литосферы.

Интересно, что внедрение кимберлитов и карбонатитов в юрский период происходило практически непрерывно со 190 до 155 млн лет. Одним из примеров подобного полихронного и многоэтапного, а также близкого по возрасту кимберлитового магматизма, являются кимберлиты восточно-Юрской провинции на Северо-Американском континенте [12]. СЗ–ЮВ-коридор кимберлитового магматизма прослеживается на более чем 2000 км с СЗ Ранкин Инлет (196 млн лет), через Аттавапискат (180 и 155 млн лет), озеро Киркланд (157–152 млн лет) и Тимискаминг (155–127 млн лет). Считается, что этот кимберлитовый коридор связан с движением горячей точки Большой Метеор под Северо-Американским континентом [12]. Мы считаем, что инициация полихронного и многоэтапного юрского щелочно-ультраосновного магматизма в бассейне реки Эбелях в этот период также может быть связана с прогревом кратонной литосферной мантии мантийным плюмом. Другим свидетельством наличия суперглубинного вещества в предполагаемых коренных источниках алмазоносных россыпей в бассейне реки Эбелях является наличие сублитосферных минеральных ассоциаций в виде включений в алмазах [2, 4]. В частности, среди

россыпных алмазов нами установлены алмазы с включениями мейджоритовых гранатов и ферропериклаза. Присутствие включений карбидов железа в алмазах из россыпей дало основание предположить их образование в процессе взаимодействия поднимающейся разогретой мантии с субдуцирующей океанической корой [13].

За более чем 50-летнюю историю поиски коренных источников Эбеляхских алмазов так и не увенчались успехом. Геохимическая классификация исследованных нами цирконов позволяет нам однозначно идентифицировать два типа их коренных источников – кимберлиты и карбонатиты. Однако необходимо отметить, что геохимические составы цирконов из родственных щелочно-ультраосновных пород в значительной степени перекрываются на дискриминационных диаграммах. Мы предполагаем, что транспортером Эбеляхских алмазов с мантийных глубин могли быть не только кимберлиты, но и другие родственные кимберлитам породы – карбонатиты, лампрофиты, лампроиты, оливиновые мелилиты и т.п. К примеру, алмазы были обнаружены в нетрадиционных породах, таких как известково-щелочные лампрофиты в районе Wawa (Канада), вулканокластические коматииты Французской Гвианы и др. [14]. Кроме того, предшествующими исследованиями было установлено, что в россыпях Эбелях присутствуют разные морфологические популяции алмазов, как не встречающиеся в известных кимберлитовых телах, так и алмазы, типичные для кимберлитовых тел Сибирского кратона. U–Pb-датирование рутила в алмазе V–VII-разновидности из Эбеляхских россыпей дало среднепалеозойский возраст (334 ± 64 млн лет), что, с нашей точки зрения, однозначно свидетельствует о среднепалеозойском возрасте их коренного источника [15].

Таким образом алмазы из россыпей Эбелях, вероятно всего, имеют полигенные коренные источники и могут быть связаны с полихронным и многоэтапным среднепалеозойским и мезозойским кимберлитовым и щелочно-ультраосновным магматизмом в восточном обрамлении Анабарского щита (бассейн рек Эбелях, Маят и Биллях).

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Минералогические и геохимические исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 18-17-00249. Геохронологические исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 18-05-70014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Граханов С.А. и др. Россыпи алмазов России. Новосибирск: СО РАН, филиал “Гео”, 2007. 457 с.
2. Sobolev N.V., Yefimova E.S., Koptil V.I. Mineral Inclusions in Diamonds in the Northeast of the Yakutian Di-

- amondiferous Province / In: Proc. of the VII Intern. Kimb. Conf. (eds. J.J. Gurney, J.L. Gurney, M.D. Pascoe, S.H. Richardson). Cape Town, Red Roof Design, 1999. V. 2. P. 816–822.
3. *Соболев Н.В. и др.* Перспективы поисков алмазоносных кимберлитов в северо-восточной части сибирской платформы // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. №. 10. С. 1701–1719.
 4. *Shatsky V.S., et al.* Diamondiferous Subcontinental Lithospheric Mantle of the Northeastern Siberian Craton: Evidence from Mineral Inclusions in Alluvial Diamonds // Gondwana Research. 2015. V. 28. P. 106–120.
 5. *Рагозин А.Л., Шацкий В.С., Зедгенизов Д.А.* Новые данные о составе среды кристаллизации алмазов V разновидности из россыпей северо-востока Сибирской платформы // ДАН. 2009. Т. 425. №. 4. С. 527–531.
 6. *Дэвис Г.Л., Соболев Н.В., Харьков А.Д.* Новые данные о возрасте кимберлитов Якутии, полученные U-Pb методом по цирконам // Доклады АН СССР. 1980. Т. 254. № 1. С. 175–179.
 7. *Sun J., et al.* Mantle Sources of Kimberlites through Time: A U-Pb and Lu-Hf Isotope Study of Zircon Megacrysts from the Siberian Diamond Fields // Chemical Geology. 2018. V. 479. P. 228–240.
 8. *Граханов С.А., Зинчук Н.Н., Соболев Н.В.* Возраст прогнозируемых коренных источников алмазов на северо-востоке Сибирской платформы // ДАН. 2015. Т. 465. № 6. С. 715–719.
 9. *Belousova E.A., et al.* Igneous Zircon: Trace Element Compositions as Indicators of Source Rock Type // Contribs Mineral. Petrol. 2002. V. 143. P. 602–622.
 10. *Агашев А.М. и др.* Новые данные о возрасте кимберлитов Якутской алмазоносной провинции // ДАН. 2004. Т. 399. № 1. С. 1142–1145.
 11. *Tretiakova I.G., et al.* Recurrent Magmatic Activity on a Lithosphere-scale Structure: Crystallization and Deformation in Kimberlitic Zircons // Gondwana Research. 2017. V. 42. P. 126–132.
 12. *Heaman L.M., Kjarsgaard B.A., Creaser R.A.* The Temporal Evolution of North American Kimberlites // Lithos. 2004. V. 76 (1–4). P. 377–397.
 13. *Shatsky V.S., et al.* Diamond Rich Placer Deposits from Iron-saturated Mantle beneath the Northeastern Margin of the Siberian Craton // Lithos. 2020. V. 365. P. 143–157.
 14. *Stachel T., et al.* Archean diamonds from Wawa (Canada): Samples from Deep Cratonic Roots Predating Cratonization of the Superior Province // Contribs Mineral. Petrol. 2006. V. 151(6). P. 737–750.
 15. *Афанасьев В.П. и др.* Палеозойский U-Pb возраст включения рутила в алмазе V-VII разновидности из россыпей северо-востока Сибирской платформы // ДАН. 2009. Т. 428. № 2. С. 228–232.

EVIDENCES FOR MULTISTAGE AND POLYCHRONOUS ALKALINE-ULTRABASIC MESOZOIC MAGMATISM IN AREA OF ALLUVIAL DIAMONDIFEROUS PLACERS OF THE ANABAR RIVER BASIN (EASTERN SLOPE OF THE ANABAR SHIELD)

**V. G. Malkovets^{a,b,c,#}, Academician of the RAS V. S. Shatsky^{a,c}, A. I. Dak^d, A. A. Gibsher^{a,b}, I. V. Yakovlev^a,
E. A. Belousova^e, T. Tsujimori^{f,g}, and Academician of the RAS N. V. Sobolev^{a,c}**

^a Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russian Federation

^b Geo-Scientific Research Enterprise PJSC “ALROSA”, Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation

^c Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

^d Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources – SNIIGiMS, Novosibirsk, Russian Federation

^e Australian Research Council Centre of Excellence for Core to Crust Fluid Systems / GEMOC,
Department of Earth and Planetary Science, Macquarie University, Sydney, NSW 2109, Australia

^f Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University, Aoba, Sendai 980-8576, Japan

^g Department of Earth Science, Tohoku University, Aoba, Sendai 980-8578, Japan

[#]E-mail: Vladimir.malkovets@igm.nsc.ru

We present new mineralogical and isotope-geochemical data for zircon megacrysts ($n = 48$) from the alluvium of Kholomolokh Creek (a tributary of the Ebelyakh River). Trace-element compositions of the studied zircons are consistent with a kimberlitic and carbonatitic genesis. U-Pb dating of zircons revealed two main age populations: the Triassic (258–221 Ma; $n = 18$) and the Jurassic (192–154 Ma; $n = 30$). The weighted average approach clearly distinguished the following sub-populations: 155 ± 3 , 161 ± 2 , 177 ± 1.5 , 183 ± 1.5 , 190 ± 2 , 233 ± 2.5 , and 252 ± 4 Ma. The results of this study suggest that the Ebelyakh diamonds could be transported from the mantle depths not only by kimberlites, but also by other rocks related to kimberlites – carbonatites, lamprophyres, lamproites, olivine melilitites, etc. Diamonds from the Ebelyakh placers most likely have polygenic source rocks associated with multi-stage Middle Paleozoic and Mesozoic kimberlite- and alkaline-ultrabasic magmatism in the eastern margin of the Anabar shield (the Ebelyakh, Mayat and Billyakh River basins).

Keywords: Ebelyakh placers, Kholomolokh, diamond, zircon, U–Pb dating, Siberian craton