

УДК 550.93(571.62)

О ВОЗРАСТЕ ДУНИТОВ КОНДЁРСКОГО МАССИВА (АЛДАНСКАЯ ПРОВИНЦИЯ, РОССИЯ): ПЕРВЫЕ U–Pb-ИЗОТОПНЫЕ ДАННЫЕ

© 2012 г. К. Н. Малич, А. А. Ефимов, И. Ю. Баданина

Представлено академиком В.А. Коротеевым 24.02.2012 г.

Поступило 01.03.2012 г.

Кондёрский массив и связанное с ним россыпное месторождение платины является предметом пристального внимания исследователей, начиная с середины 50-х годов XX в. [2, 4, 6, 10, 12 и др.]. Правильное концентрически-зональное строение Кондёрского массива, а также геологические взаимоотношения пород позволяют рассматривать его как эталонный среди подобных ему массивов Алданской провинции в юго-восточной части Сибирской платформы. Массив представляет округлое в плане тело диаметром около 6 км (рис. 1); сложен дунитами, занимающими центральные части массива (до 70–75%), метадунистами, верлитами, клинопироксенитами и меланократовыми габброидами нормального ряда щелочности, образующими кольцевую зону по его периферии мощностью до 500 м. В юго-западной части дунитового “ядра” залегает серия субпараллельных жилоподобных тел пегматоидных, крупно-, средне- и мелкозернистых апатит-биотит-магнетитовых клинопироксенитов и мелко-, тонкозернистых магнетитовых клинопироксенитов [6]. Жильные образования в дунитах представлены альбит-эгириновыми сиенитами и другими щелочными породами.

Породы Кондёрского массива прорывают и контактово метаморфизуют архейские образования фундамента платформы и рифейские породы ее чехла, образуя с ними куполовидную структуру, сформированную при внедрении мантийного диапира преимущественно ультраосновного состава [3, 6, 12 и др.].

Значительный разброс возрастов, полученный K–Ar-методом для широкого спектра пород массива (70–650 млн лет, табл. 1 в работе [5]), предопределил дискуссию о возрасте дунитового ядра. Датирование ультраосновных пород массива Sm–Nd-методом [9] также не привело к желаемому результату, так как изотопные данные не согласуются с изохронной моделью.

В настоящем сообщении обсуждаются результаты уран-свинцового датирования 24 зерен циркона (26 определений) из дунитов Кондёрского массива. Изученная проба дунитов (№ обр. 67-12) массой 1.5 кг была нами взята в южной наименее эродированной части массива (рис. 1).

Цирконы выделены в Центральной лаборатории ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) с применением изодинамического магнитного сепаратора и тяжелых жидкостей и смонтированы в эпоксидной смоле вместе с зернами цирконовых стандартов TEMORA и 91500. После полировки цирконы были исследованы под микроскопом в проходящем и отраженном свете, на электронном микроанализаторе SamScan MX2500S, с использованием комбинации изображений в обратно-рассеянных электронах и

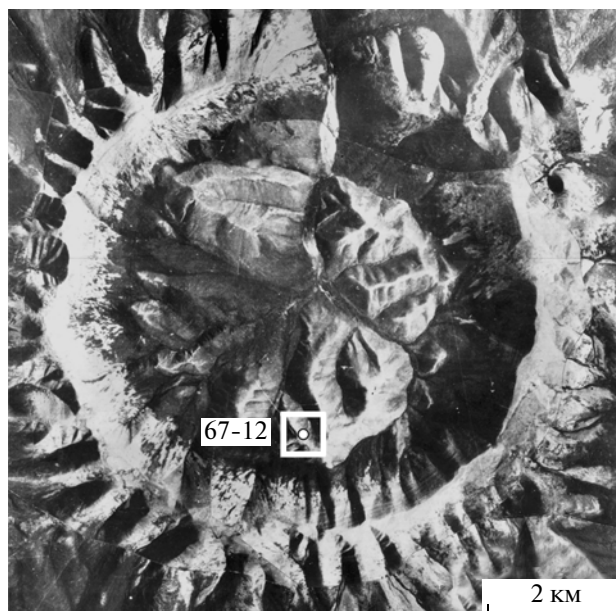


Рис. 1. Фотосхема эродированной куполовидной морфоструктуры, в центре которой расположен Кондёрский массив; в южной части массива указано место отбора пробы дунита (обр. 67-12) в пределах западного отрога г. Осьминог.

Таблица 1. U–Pb (SHRIMP-II)-изотопные анализы цирконов дунитов Кондёрского массива

| № п/п | Анализ | $^{206}\text{Pb}_c$, % | U, г/т | Th, г/т | $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возраст | \pm | Атомные отношения | | | | | | |
|-------|--------|-------------------------|--------|---------|----------------------------------|-------------------------------------------|-------|---------------------------------------|---------|------------------------------------|---------|------------------------------------|---------|------------|
| | | | | | | | | $^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ | \pm % | $^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ | \pm % | $^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ | \pm % | <i>Rho</i> |
| 1 | K14.1 | 0.14 | 118 | 2 | 0.02 | 2496.0 | 46.0 | 0.1640 | 1.0 | 10.6900 | 2.4 | 0.4730 | 2.2 | 0.910 |
| 2 | K41.1 | 0.00 | 94 | 1 | 0.01 | 2419.0 | 45.0 | 0.1652 | 1.6 | 10.3700 | 2.7 | 0.4550 | 2.2 | 0.820 |
| 3 | K45.1 | 0.05 | 98 | 1 | 0.02 | 2444.0 | 46.0 | 0.1555 | 1.6 | 9.8800 | 2.8 | 0.4610 | 2.2 | 0.812 |
| 4 | K17.1 | 0.53 | 70 | 1 | 0.02 | 2444.0 | 47.0 | 0.1628 | 1.5 | 10.3500 | 2.8 | 0.4610 | 2.3 | 0.833 |
| 5 | K29.1 | 0.16 | 103 | 2 | 0.02 | 2322.0 | 43.0 | 0.1623 | 1.0 | 9.7100 | 2.4 | 0.4337 | 2.2 | 0.907 |
| 6 | K30.1 | 0.21 | 128 | 2 | 0.02 | 2348.0 | 43.0 | 0.1579 | 1.1 | 9.5600 | 2.4 | 0.4394 | 2.2 | 0.900 |
| 7 | K59.1 | 0.13 | 110 | 3 | 0.02 | 2363.0 | 46.0 | 0.1585 | 1.2 | 9.6700 | 2.6 | 0.4430 | 2.3 | 0.885 |
| 8 | K67.1 | 0.21 | 113 | 3 | 0.03 | 2389.0 | 44.0 | 0.1608 | 1.1 | 9.9500 | 2.5 | 0.4485 | 2.2 | 0.898 |
| 9 | K14.2 | 0.15 | 474 | 128 | 0.28 | 1670.0 | 31.0 | 0.1457 | 0.7 | 5.9400 | 2.2 | 0.2958 | 2.1 | 0.957 |
| 10 | K10.1 | 0.05 | 337 | 84 | 0.26 | 2015.0 | 36.0 | 0.1530 | 0.8 | 7.7400 | 2.2 | 0.3669 | 2.1 | 0.939 |
| 11 | K36.1 | 0.47 | 93 | 2 | 0.02 | 1899.0 | 37.0 | 0.1145 | 2.0 | 5.4100 | 3.0 | 0.3425 | 2.3 | 0.751 |
| 12 | K3.1 | 1.30 | 95 | 26 | 0.28 | 176.1 | 4.8 | 0.0444 | 16.0 | 0.1700 | 16.0 | 0.0277 | 2.7 | 0.173 |
| 13 | K6.1 | 2.14 | 331 | 156 | 0.49 | 181.0 | 4.4 | 0.0503 | 16.0 | 0.1980 | 16.0 | 0.0285 | 2.4 | 0.150 |
| 14 | K8.1 | 0.00 | 263 | 123 | 0.48 | 183.0 | 4.4 | 0.0579 | 8.9 | 0.2300 | 9.2 | 0.0288 | 2.5 | 0.268 |
| 15 | K9.1 | 0.88 | 170 | 82 | 0.50 | 177.5 | 4.3 | 0.0534 | 9.2 | 0.2050 | 9.5 | 0.0279 | 2.5 | 0.259 |
| 16 | K28.1 | 0.99 | 698 | 736 | 1.09 | 177.7 | 3.8 | 0.0448 | 7.8 | 0.1730 | 8.1 | 0.0280 | 2.2 | 0.269 |
| 17 | K38.1 | 5.72 | 590 | 488 | 0.86 | 181.7 | 4.7 | 0.0430 | 29.0 | 0.1710 | 29.0 | 0.0286 | 2.6 | 0.090 |
| 18 | K38.2 | 0.32 | 385 | 282 | 0.76 | 179.6 | 3.9 | 0.0502 | 6.1 | 0.1960 | 6.5 | 0.0283 | 2.2 | 0.342 |
| 19 | K39.1 | 1.61 | 997 | 789 | 0.82 | 169.8 | 3.6 | 0.0449 | 10.0 | 0.1650 | 11.0 | 0.0267 | 2.2 | 0.207 |
| 20 | K64.1 | 4.31 | 182 | 45 | 0.25 | 174.5 | 4.9 | 0.0610 | 22.0 | 0.2310 | 23.0 | 0.0274 | 2.9 | 0.126 |
| 21 | K60.1 | 2.59 | 275 | 173 | 0.65 | 173.9 | 4.3 | 0.0397 | 23.0 | 0.1500 | 23.0 | 0.0274 | 2.5 | 0.108 |
| 22 | K7.1 | 1.98 | 454 | 378 | 0.86 | 172.6 | 3.9 | 0.0507 | 12.0 | 0.1900 | 12.0 | 0.0271 | 2.3 | 0.186 |
| 23 | K35.1 | 2.48 | 200 | 59 | 0.30 | 168.7 | 4.4 | 0.0458 | 20.0 | 0.1670 | 20.0 | 0.0265 | 2.6 | 0.128 |
| 24 | K47.1 | 0.57 | 277 | 104 | 0.39 | 144.8 | 3.3 | 0.0494 | 9.1 | 0.1550 | 9.4 | 0.0227 | 2.3 | 0.249 |
| 25 | K21.1 | 2.62 | 119 | 62 | 0.54 | 149.2 | 4.5 | 0.0600 | 23.0 | 0.1940 | 23.0 | 0.0234 | 3.0 | 0.134 |
| 26 | K61.1 | 1.36 | 414 | 197 | 0.49 | 138.3 | 3.2 | 0.0481 | 11.0 | 0.1440 | 11.0 | 0.0217 | 2.3 | 0.207 |

Примечание. Pb_c и Pb^* – обыкновенный и радиогенный свинец соответственно. Погрешности единичных анализов (отношений и возрастов) приводятся на уровне $\pm 1\sigma$. Ошибка калибровки стандарта составила 0.71%. Возраст вычислен в координатах $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, погрешность с учетом погрешностей определения константы распада. *Rho* – коэффициент корреляции отношений $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$.

катодоллюминесценции. U–Pb-анализы выполнены с помощью вторично-ионного масс-спектрометра SHRIMP-II в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ по методике, изложенной в работе [15].

Особенности внутреннего строения цирконов, U–Pb-изотопные результаты и характер распределения тория, урана и величины Th/U приведены на рис. 2–4 и в табл. 1.

Среди выделенных зерен цирконов доминируют прозрачные бесцветные индивиды с розовой или желтоватой окраской, реже непрозрачные

кристаллы с желтым оттенком. Изученная выборка цирконов характеризуется двумя морфологическими типами зерен, представленными: 1) индивидами овальной и округлой формы и 2) идеально ограниченными кристаллами или агрегатами кристаллов призматического габитуса. Длина крупных зерен составляет 140–200 мкм, мелких – 50–100 мкм, коэффициент удлинения варьируется от 1.2 до 3.0.

Цирконы типа I характеризуются “размытой” катодоллюминесценцией (рис. 2а–м; обр. 14, 41, 67, 59, 29, 36). Они часто состоят из темной пори-

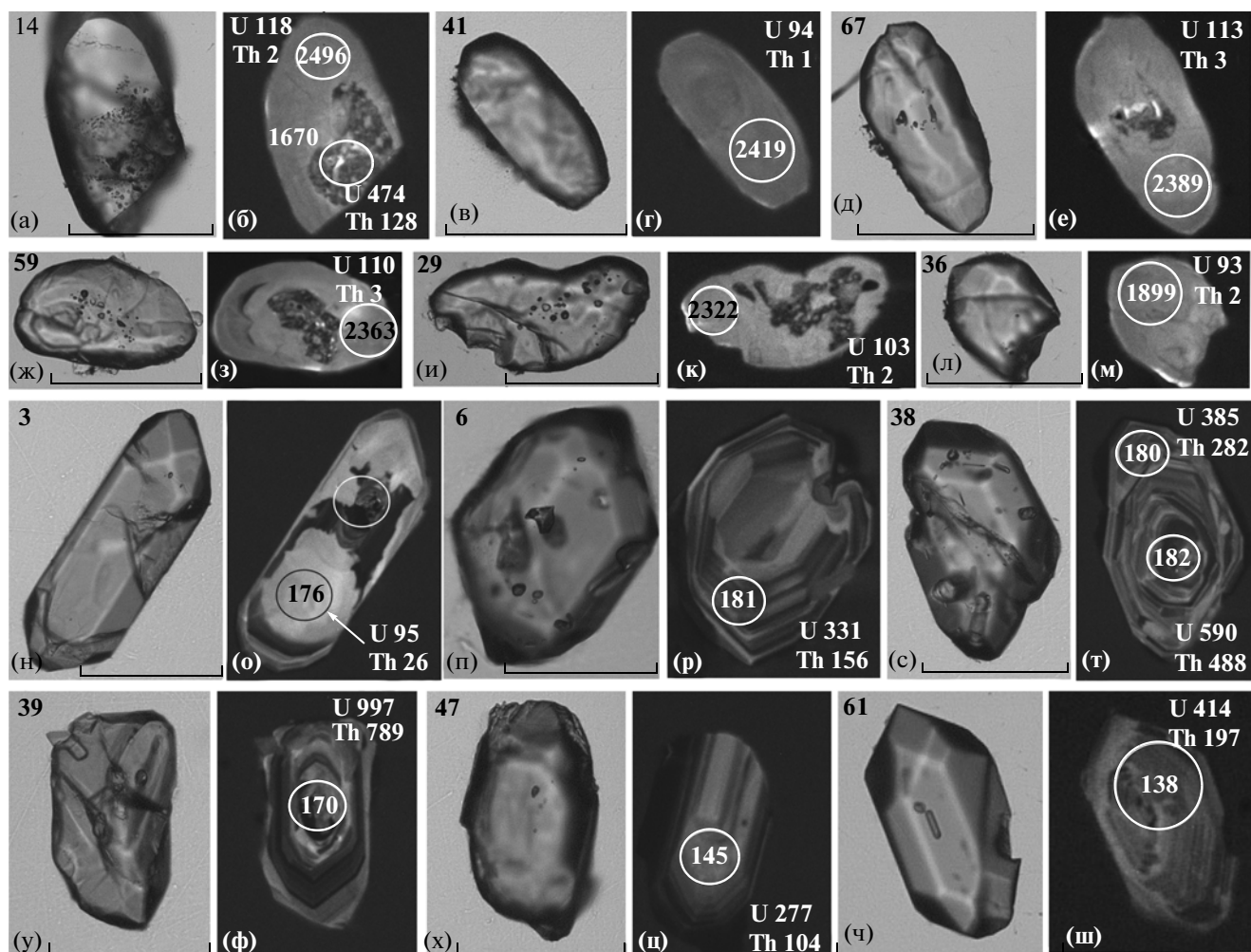


Рис. 2. Морфологические, вещественные и возрастные особенности цирконов, выделенных из дунитов (обр. 67–12) Кондёрского массива. Изображения в проходящем свете (а, в, д, ж, и, л, н, п, с, у, х, ч) и катодолюминесцентных лучах (б, г, е, з, к, м, о, р, т, ф, ц, ш). Места проведения U–Pb (SHRIMP)-анализов показаны кругами, в которых приведен изотопный возраст, в млн лет. Цифры у кристаллов соответствуют номерам анализов в табл. 1. Содержание Th и U приведено в г/т (ppm). Масштаб 100 мкм.

стой центральной части, представленной реликтом переработанного ядра, и более светлой однородной оболочкой, не претерпевшей изменений (рис. 2а, б, д–к; обр. 14, 67, 59, 29). Однородный (“дымчатый”) тип катодолюминесценции также характерен для неизмененных зерен (рис. 2в, г, л, м; обр. 41, 36). Для неизмененных частей цирконов типичны низкие концентрации Th, U и значение Th/U (1–3, 70–128, 0.01–0.03 соответственно, рис. 3, табл. 1, ан. 1–8). По данным параметрам изученные цирконы обладают особенностями, характерными для метаморфических цирконов [14 и др.]. Отличительной особенностью метамиктных (пористых ядерных частей) цирконов типа I являются (рис. 3, табл. 1, ан. 9, 10) более высокие содержания Th (128, 84 г/т), U (474, 337), а также Th/U (0.28, 0.26), что сближает их с цирконами магматического генезиса [11]. Для цирко-

нов типа II, представленных призматическими кристаллами (рис. 2 п–ш; обр. 6, 38, 39, 47, 61), характерны тонкозональная катодолюминесценция, более широкие вариации Th и U (26–789 и 95–997 г/т соответственно), что считается типичным для магматических цирконов [11]. Характерной особенностью данного типа цирконов является наличие в них “негативных” включений апатита и кварца.

Экспериментально полученные результаты демонстрируют наличие четырех возрастных кластеров (рис. 4). Два кластера древних возрастов характерны для овальных и округлых цирконов типа I. Наиболее представительный кластер (U–Pb-данные для 8 кристаллов из 9) образует тесное сообщество значений в верхней части дискордии (рис. 4а) с параметрами $T_0 = 2477 \pm 18$ и

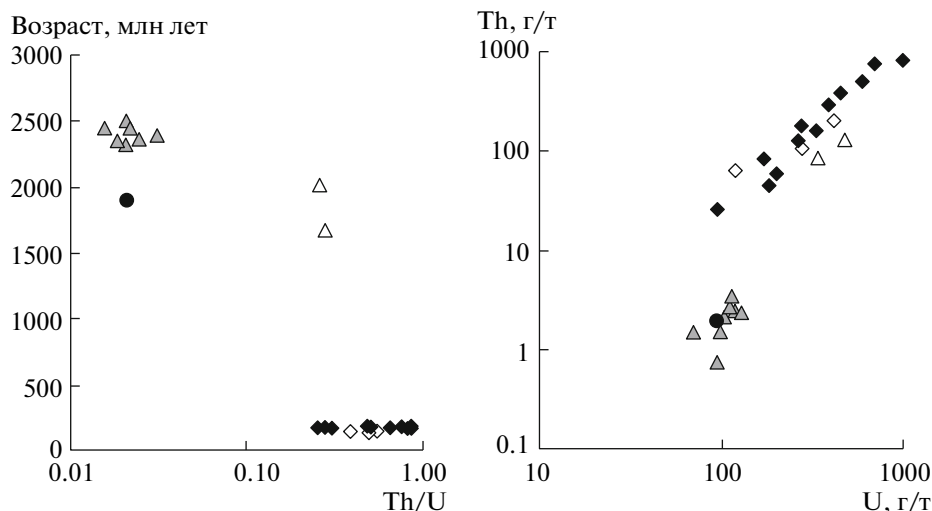


Рис. 3. Состав различных типов циркона дунитов Кондёрского массива в координатах: а – U–Pb-возраст–Th/U и б – Th–U. Символы: серые треугольники – неизменные цирконы возрастного кластера I; полые треугольники – измененные цирконы возрастного кластера I, черный кружок – циркон возрастного кластера II; черные ромбы – цирконы кластера III; полые ромбы – цирконы кластера IV.

$t = 640 \pm 97$ млн лет. Данная дискордия характеризует “метаморфические” (неизменные краевые) и метамиктные “магматические” (измененные ядерные) части зерен (рис. 2а–к; табл. 1, ан. 1–10). Конкордантный возраст, рассчитанный для неизменных частей цирконов из этого же кластера (рис. 2а–г, зерна 14, 17, 41, 45, рис. 4б), составляет $T_1 = 2473 \pm 21$ млн лет (среднеквадратичное отклонение (СКВО) = 1.6; вероятность соответствия (P) = 0.21), соответствующая времени регионального метаморфизма при тектонотермальной истории развития кристаллического фундамента платформы (около 2.5 млрд лет [1]). Второй возрастной кластер характеризуется единичным значением $T_2 = 1885 \pm 52$ млн лет, СКВО = 0.26; $P = 0.61$ (рис. 2л, м, обр. 36, рис. 4в). Сходные U–Pb-датировки получены для циркона дунитов уникального Гулинского массива на севере Сибирской платформы и Нижнетагильского массива на Среднем Урале [7, 13 и др.]. Такое сходство может быть обусловлено спецификой исходного мантийного субстрата и сходством процесса генерации дунита, механизм которого остается недостаточно ясным.

Третий и четвертый кластеры образованы идиоморфными цирконами типа II (рис. 2 н–ш) с конкордантными U–Pb-возрастами 176.0 ± 1.2 млн лет (СКВО = 0.20; $P = 0.65$; рис. 4г) и 143.0 ± 2.0 млн лет (СКВО = 0.03; $P = 0.86$; рис. 4г), соответственно. Данный временной интервал близок к таковому юрско-меловой (J_3 – K_1) тектоно-магматической активизации Алданского щита [4, 8 и др.]. Цирконы типа II могут быть связаны с образованием апатит-биотит-магнетитовых клинопироксенов в юго-западной части массива [2, 6 и др.].

Совокупность морфологических, геохимических и возрастных данных для цирконов дунитов позволяет сделать следующие выводы.

1. Цирконы типа I, представленные метамиктными “ядрами” и неизменными оторочками, свидетельствуют об их длительной эволюции. U–Pb-возраст метаморфического события на рубеже позднего архея и раннего протерозоя (около 2.5 млрд лет тому назад), фиксируемого по неизменным частям цирконов, свидетельствует в пользу более древнего возраста пористых “ядер” цирконов. Данные цирконы могут быть интерпретированы как реликтовые, отвечающие минимальному возрасту пород субстрата, или как близкие ко времени генерации платиноносного дунита в субконтинентальной мантии – исходной точке траектории мантийного диапира.

2. Цирконы типа II датируют ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возраст 143–176 млн лет) гораздо более позднее событие в истории формирования Кондёрского массива, которое можно соотносить с образованием апатит-биотит-магнетитовых клинопироксенов внутри дунитового “ядра” в эпоху тектоно-магматической активизации Алданского щита.

3. Новые геохронологические данные дополняют выявленную ранее вещественную идентичность платиноносных дунитов Урала и Алданской провинции [3] и поддерживают идею о генетическом единстве платиноносных дунитов складчатых областей и древних платформ.

Авторы выражают благодарность Е.Д. Милославской, Л.П. Федоровой за неоценимую помощь при обработке пробы дунитов и выделении цирконов. Мы признательны Н.Г. Бережной, А.А. Анто-

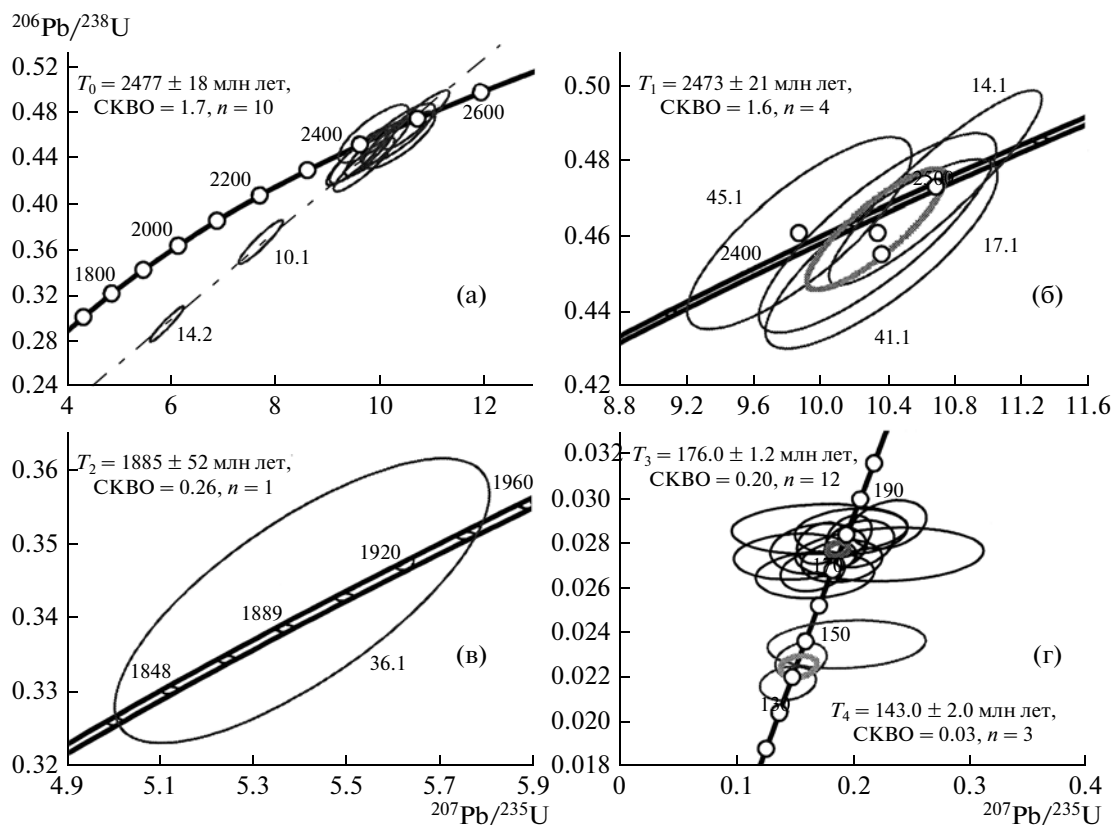


Рис. 4. Уран-свинцовый возраст различных морфологических типов циркона из дунитов Кондёрского массива. Аппроксимация всей совокупности аналитического материала для древних цирконов определяет дискордию, верхнее и нижнее пересечение которой с конкордией дает возрасты 2477 ± 18 и 640 ± 97 млн лет, характеризующаяся значением СКВО = 1.7.

нову и С.Л. Преснякову за содействие при подготовительных и аналитических работах.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки России (Гос. контракт 02.740.11.0726) и программы Президиума РАН № 27 (проект 12–П–5–2015 УрО РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологическое строение СССР и закономерности развития полезных ископаемых. Т. 4. Сибирская платформа / Под ред. Н.С. Малича, В.Л. Масайтиса, В.С. Суркова. Л.: Недра, 1987. 448 с.
2. Гурович В.Г., Землянухин В.Н., Емельяненко Е.П. и др. Геология, петрология и рудоносность Кондёрского массива. М.: Наука, 1994. 170 с.
3. Ефимов А.А., Таврин И.Ф. // ДАН. 1978. Т. 243. № 4. С. 991–994.
4. Ельянов А.А., Моралев В.М. // ДАН. 1961. Т. 141. № 3. С. 687–689.
5. Каретников К.С. // Тихоокеан. геология. 2005. Т. 24. № 4. С. 76–83.
6. Малич К.Н. Платиноиды клинопироксенит-дунитовых массивов Восточной Сибири (геохимия, минералогия, генезис). СПб.: СПб. картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 1999. 296 с.
7. Малич К.Н., Ефимов А.А., Ронкин Ю.Л. // ДАН. 2009. Т. 427. № 1. С. 101–105.
8. Орлова М.П., Авдеева О.И., Федорова И.В., Яковлева Л.В. // ДАН. 1978. Т. 240. № 3. С. 677–680.
9. Пушкарев Ю.Д., Костянов А.И., Орлова М.П., Богомолов Е.С. // Регион. геология и металлогения. 2002. № 16. С. 80–91.
10. Рожков И.С., Кицул В.И., Разин Л.В., Боршанская С.С. Платина Алданского щита. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 119 с.
11. Belousova E.A., Griffin W.L., O'Reilly S.Y., Fisher N.I. // Contribs Mineral. and Petrol. 2002. V. 143. P. 602–622.
12. Burg J.P., Bodinier J.-L., Gerya N., et al. // J. Petrol. 2009. V. 50. № 2. P. 289–321.
13. Malitch K.N., Badanina I.Yu., Efimov A.A., Ronkin Yu.L. In: Giant Ore Deposits Down-Under. Proc. XIII Quadrennial IAGOD Symp. Government South Australia. Adelaide: Univ. Adelaide. 2011. P. 232–233.
14. Rubatto D. // Chem. Geol. 2002. V. 184. P. 123–138.
15. Williams I.S. // Revs Econ. Geol. 1998. V. 7. P. 1–35.