

## Сопчеозерское хромовое месторождение Мончеплутона: геохимия и U-Pb возраст

Чашин В.В., Баянова Т.Б.

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, chashchin@geoksc.apatity.ru, bayanova@geoksc.apatity.ru

**Аннотация.** Определен химический состав и U-Pb возраст дунитов и хромовых руд Сопчеозерского хромового месторождения (СХМ), приуроченного к Дунитовому блоку Мончегорского плутона (Мончеплутон). Составы дунитов и хромовых руд укладываются в общие эволюционные тренды петрогенных элементов, при этом, между содержаниями MgO и SiO<sub>2</sub> существует тесная положительная корреляционная связь и резко отрицательная между MgO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и FeOtot. Суммарные содержания РЗЭ в дунитах не превышают 2 г/т и возрастают до 5 г/т в хромовых рудах. Для спектра РЗЭ в дунитах и рудах характерен отрицательный наклон за счет фракционирования ЛРЗЭ. Распределение элементов-примесей в дунитах и хромовых рудах характеризуется наличием повышенных содержаний U, Th, Nb и Ta, положительными аномалиями Ti, Sr и Y, отрицательными аномалиями Hf и Zr. Возраст дунитов СХМ U-Pb методом по циркону определен в 2500 ± 10 млн. лет, а богатой хромовой руды в 2500 ± 2 млн. лет, что свидетельствует о синхронности их образования.

**Ключевые слова:** дуниты, хромовая руда, геохимия, U-Pb возраст, Сопчеозерское месторождение, Дунитовый блок, Мончеплутон.

## Sopchezero chromite deposit: geochemistry and U-Pb age

Chashchin V.V., Bayanova T.B.

Geological Institute, Kola Research Center, Russian Academy of Sciences, Apatity, chashchin@geoksc.apatity.ru, bayanova@geoksc.apatity.ru

**Abstract.** A chemical composition and U-Pb age of dunite and chrome ores of the Sopchezero chromium deposit (SCD) confined to the Dunite block of the Monchegorsk pluton (Monchepluton) have been determined. The dunite and chromium ore compositions are within the general evolutionary trends of petrogenic elements, wherein, there is a close positive correlation relationship between MgO and SiO<sub>2</sub> contents and a significantly negative one between MgO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and FeOtot contents. The REE total in the dunite does not exceed 2 ppm, and increases to 5 ppm in the chromium ores. A negative slope due to LREE fractionation is typical of the REE spectrum in the dunite and ores. The trace elements distribution in the dunite and chromium ores is characterised by increased U, Th, Nb, and Ta contents, positive Ti, Sr, and Y anomalies, negative Hf and Zr ones. Using the U-Pb dating of zircon, age of the SCD dunite has been defined as 2500 ± 10 Ma, as well as 2500 ± 2 Ma for the high-grade chromium ore. This indicates that they formed synchronously.

**Key words:** dunite, chromium ore, geochemistry, U-Pb age, Sopchezero deposit, Dunite block, Monchepluton.

### Введение

Сопчеозерское хромовое месторождение (СХМ) открыто в 1996 г. в результате проведения поисковых работ Центрально-Кольской экспедицией (Шолохнев В.В.). В дальнейшем, в 2005 г. комбинатом «Североникель» на месторождении были выполнены оценочные и разведочные работы с подсчетом запасов хромовых руд (Дедюхин А.Н.). Ранее было охарактеризовано геологическое строение СХМ, типы хромовых руд, их вещественный состав, минералогия и платиноносность (Чашин и др., 1999; Расслоенные..., 2004), определен изотопный состав Os, Nd и Sr (Yang et al., 2016). В тоже время, некоторые аспекты, касающиеся геохимии рудоносных пород и их U-Pb возраста, остались не изучены. В этой работе сделана попытка восполнить этот пробел, представив результаты изучения петро-геохимических особенностей хромовой руды и вмещающих дунитов, а также их возрастов, определенных U-Pb методом по единичным цирконам. Следует отметить, что определение элементов-примесей в таких тугоплавких образованиях, как хромовые руды сопряжено с существенными трудностями полного разложения проб. Поэтому пробоподготовка хромовых руд выполнялась путем сплавления их с Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub> при 700-800 °С и последующим определением элементного

состава ICP-MS анализом на квадрупольном масс-спектрометре iCAP Ос (Thermo Fisher Scientific, США) в ООО «Институт Гипроникель» (г. Санкт-Петербург).

### Геологическое строение

СХМ приурочено к Дунитовому блоку, расположенному на сочленении северо-восточной и широтной ветвей палеопротерозойского Мончегорского плутона (рис. 1). Этот блок имеет сложную форму неправильной конфигурации с размером в плане около 1.5 × 3.0 км (рис. 1). На севере и

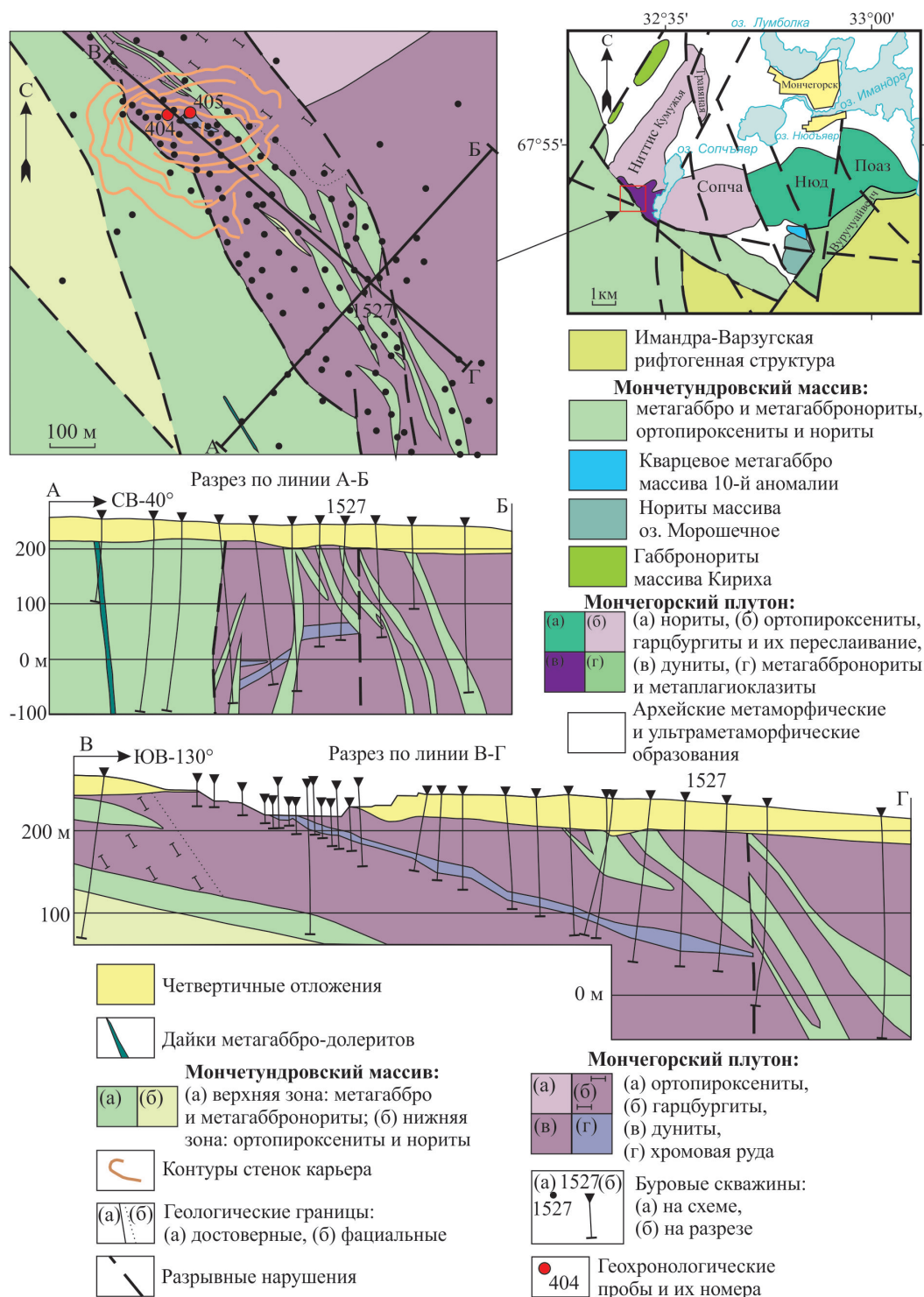


Рис. 1. Схема геологического строения СХМ с продольным и поперечным разрезами.

Fig. 1. SCD geological map with longitudinal and cross sections.

востоке Дунитовый блок граничит с ортопироксенитами массива Ниттис Мончеплутона, а на юго-западе – с основными породами Мончетундровской интрузии и отделен от них крупной тектонической зоной. Дунитовый блок сложен преимущественно дунитами, реже гарцбургитами, развитыми на его северо-западном и юго-восточном флангах. Вертикальная мощность блока варьирует от 100 до 700 и более метров, увеличиваясь с северо-запада на юго-восток. Его нижний контакт в большинстве случаев имеет тектонический характер и маркируется зонами рассланцевания и катаклаза. Отдельными скважинами (С-1641, М-20; Расслоенные..., 2004) вскрыт нормальный нижний контакт дунитов Дунитового блока с нижележащими породами массива Ниттис – ортопироксенитами, гарцбургитами и зонами их переслаивания. В зоне шириной 150-300 м, примыкающей к контакту с породами Мончетундровского массива, породы Дунитового блока интродуцированы многочисленными секущими дайками крупнозернистых метагаббро и, реже, плагиоортопироксенитов-меланоноритов (рис. 1), которые сходны с аналогичными породами, соответственно, верхней и нижней зон Мончетундровского массива. При этом, в дайках габброидов иногда присутствуют ксенолиты как дунитов, так и хромовой руды.

Месторождение сложено главной рудной залежью, которая имеет форму узкой ленты, полого, под углом 14-20°, погружающейся на юго-восток с падением на юго-запад, где она срезается дайками габброидов (рис. 1). В юго-восточном окончании она расщепляется на серию линзовидных тел. Длина рудной залежи составляет 1.2 км, ширина от 80 до 225 м, средняя мощность около 15 м. В составе СХМ выделено три типа хромовых руд: бедные с содержанием  $Cr_2O_3$  от 5 до 15 мас. %, рядовые – 15-30 мас. %  $Cr_2O_3$  и богатые с содержанием  $Cr_2O_3 > 30$  мас. %.

### **Химический состав**

Распределение химических элементов изучено по рудным пересечениям скважин С-1527 и С-1575. Дуниты СХМ характеризуются высокой магнезиальностью ( $MgO = 41.3-48.5$  мас. %,  $Mg\# = 0.79-0.87$ ), повышенным содержанием хрома ( $Cr_2O_3 = 0.5-4.7$  мас. %), умеренным – железа ( $FeO_{tot} = 7.1-11.8$  мас. %), низкими содержаниями кремнезема ( $SiO_2 = 35.0-39.4$  мас. %), титана и щелочей (не более 0.10 мас. %). Хромовая руда СХМ отличается от дунитов пониженным содержанием  $SiO_2$  и  $MgO$ , но более высокими содержаниями  $FeO_{tot}$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $Ni$  и суммы РЗЭ (рис. 2).

Соответственно, между содержаниями  $MgO$  и  $SiO_2$  существует тесная положительная корреляционная связь, тогда как между  $MgO$  и  $Cr_2O_3$  с  $FeO_{tot}$  эта связь резко отрицательная (рис. 3). Причем, как пробы дунитов, так и хромовых руд укладываются в общие эволюционные тренды (рис. 3), что свидетельствует о сингенетическом характере дунитов и хромового оруденения.

Для дунитов СХМ свойственно низкое суммарное содержание РЗЭ, в среднем 1.2 г/т ( $n = 5$ ), что более чем на порядок меньше хондритового уровня (рис. 4а). При этом, график РЗЭ имеет отрицательный наклон за счет фракционирования ЛРЗЭ:  $(Ce/Sm)_N = 2.4$  при слабом положительном наклоне в области ТРЗЭ (рис. 4а). Хромовые руды СХМ характеризуются более высокими по сравнению с дунитами средними суммарными содержаниями РЗЭ: в бедных рудах – 2.8 г/т ( $n = 7$ ), рядовых – 1.9 г/т ( $n = 5$ ) и богатых – 3.5 г/т ( $n = 4$ ). Все типы хромовых руд характеризуются одинаковой формой графиков РЗЭ (рис. 4а) с резким фракционированием ЛРЗЭ: от  $(Ce/Sm)_N = 3.5$  в бедных и рядовых рудах до  $(Ce/Sm)_N = 4.2$  в богатых рудах. Кроме того, хромовые руды отличаются резко повышенным уровнем содержания РЗЭ в диапазоне от  $Eu$  до  $Tb$  при отрицательных аномалиях  $Sm$  (рис. 4а).

Распределение элементов-примесей в дунитах характеризуется наличием повышенных содержаний  $U$ ,  $Th$ ,  $Nb$  и  $Ta$ , слабыми положительными аномалиями  $Sr$  и  $Y$ , отрицательными аномалиями  $Hf$  и  $Zr$ , менее интенсивными –  $Ba$  (рис. 4б). В различных типах хромовых руд этот стиль распределения элементов-примесей сохраняется, при этом положительные аномалии  $Ti$  приобретают более ярко выраженный характер, а  $Sr$ , наоборот, снижаются (рис. 4б). Такие особенности распределения РЗЭ и других элементов-примесей свидетельствуют о вкладе коровой контаминации в петро- и рудогенез СХМ, что соответствует полученным ранее выводам на основе изотопного состава  $Nd$  и  $Os$  (Yang et al., 2016).

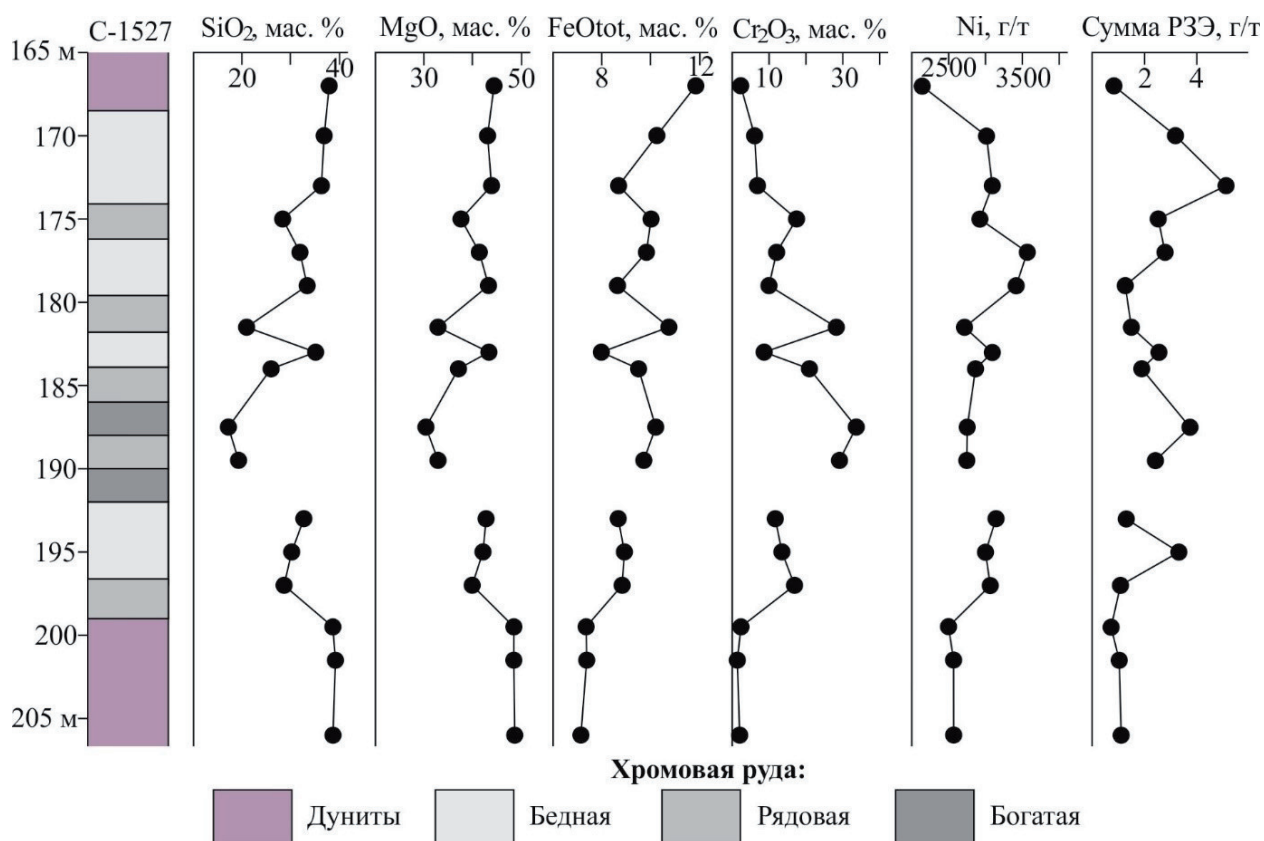


Рис. 2. Колонка по скважине С-1527 и распределение по разрезу содержаний SiO<sub>2</sub>, MgO, FeO<sub>tot</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ni и суммы РЗЭ.

Fig. 2. Borehole 1527 column and the distribution along the section SiO<sub>2</sub>, MgO, FeO<sub>tot</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ni and the REE total contents.

### Изотопное U-Pb датирование

На изотопное U-Pb датирование отобрано 2 пробы: из дунитов в борту карьера месторождения проба 404 весом 72 кг и из богатой хромовой руды, вскрытой в полотне карьера, проба 405 весом 89 кг. Из них выделены редкие зерна циркона, использованные для изотопного анализа. Из пробы 404 выделено 4 зерна циркона весом от 0.011 до 0.26 мг. Эти цирконы представлены одной генерацией, которая включает обломки полупрозрачных сильно корродированных зерен светло- и темно-желтого цвета размером от 80×140 до 300×520 мкм. По ним получен конкордантный U-Pb возраст 2500 ± 10 млн. лет (рис. 5), который интерпретируется как время магматической кристалли-

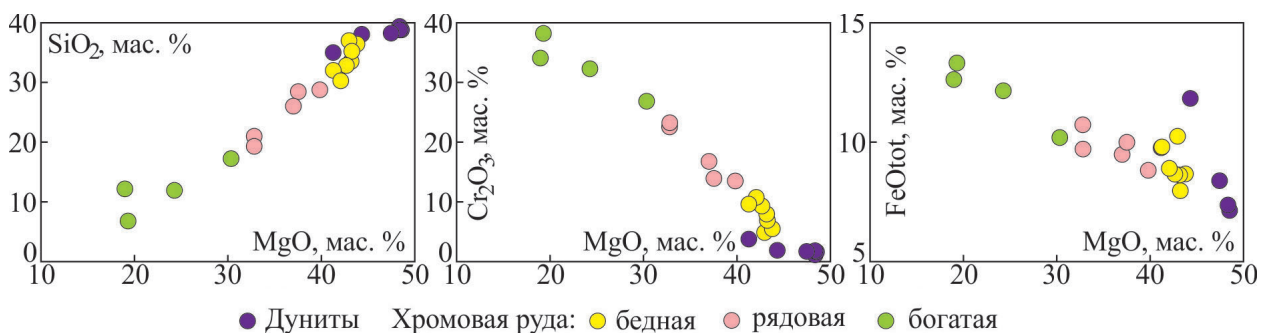


Рис. 3. Диаграммы содержаний SiO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и FeO<sub>tot</sub> относительно MgO для дунитов и хромовых руд СХМ.

Fig. 3. SiO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and FeO<sub>tot</sub> vs, MgO plots for SCD dunite and chromium ores.



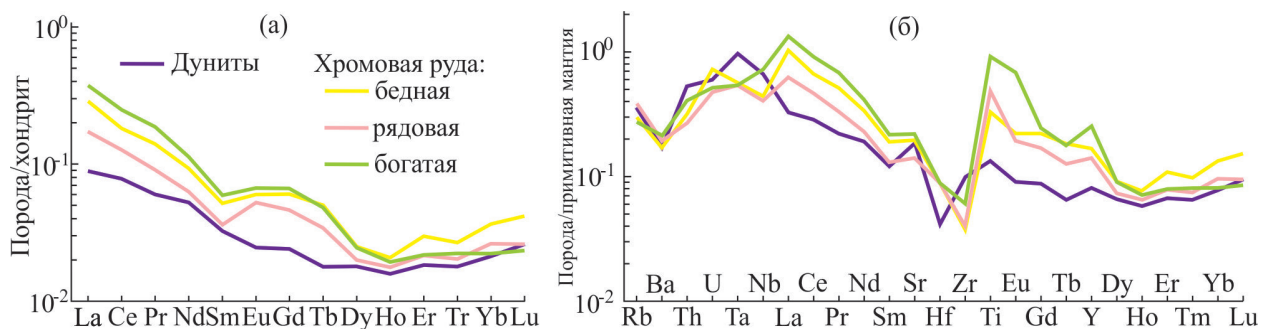


Рис. 4. Средние спектры распределения хондрит-нормализованных редкоземельных элементов в дунитах и хромовых рудах СХМ (а); средние спектры распределения элементов-примесей, нормированных на примитивную мантию, в дунитах и хромовых рудах СХМ (б).

Fig. 4. Chondrite-normalized REE average distribution spectra in SCD dunite and chromium ores (a); Trace elements average distribution spectra in SCD dunite and chromium ores, normalized to primitive mantle (b).

зации циркона и, соответственно, дунитов СХМ. Из пробы 405 выделено 2 зерна циркона. При изображении в обратно отраженных электронах первый циркон представлен обломком неправильной формы размером 80 × 120 мкм светло-розового цвета весом 0.035 мг. Второй циркон – это изометричное зерно размером 60 × 70 мкм розовато-коричневого цвета весом 0.02 мг. По этим цирконам получен конкордантный U-Pb возраст 2500 ± 2 млн. лет (рис. 5), который свидетельствует об одно-возрастности хромовой руды с вмещающими дунитами.

### Благодарности

Авторы благодарны Л.И. Коваль (ГИ КНЦ РАН, г. Апатиты) за дробление пород и выделение цирконов, Л.М. Лялиной (ГИ КНЦ РАН, г. Апатиты) за описание цирконов и получение их изображений в спирте и обратно отраженных электронах и Семенову Е.Н. (Мурманский филиал ФБУ «ТФГИ по СЗФО», г. Апатиты) за помощь в расстановке керн скважин.

Работа выполнена в рамках темы НИР 0226-2019-0053 при частичной финансовой поддержке РФФИ из средств гранта 18-05-70082.

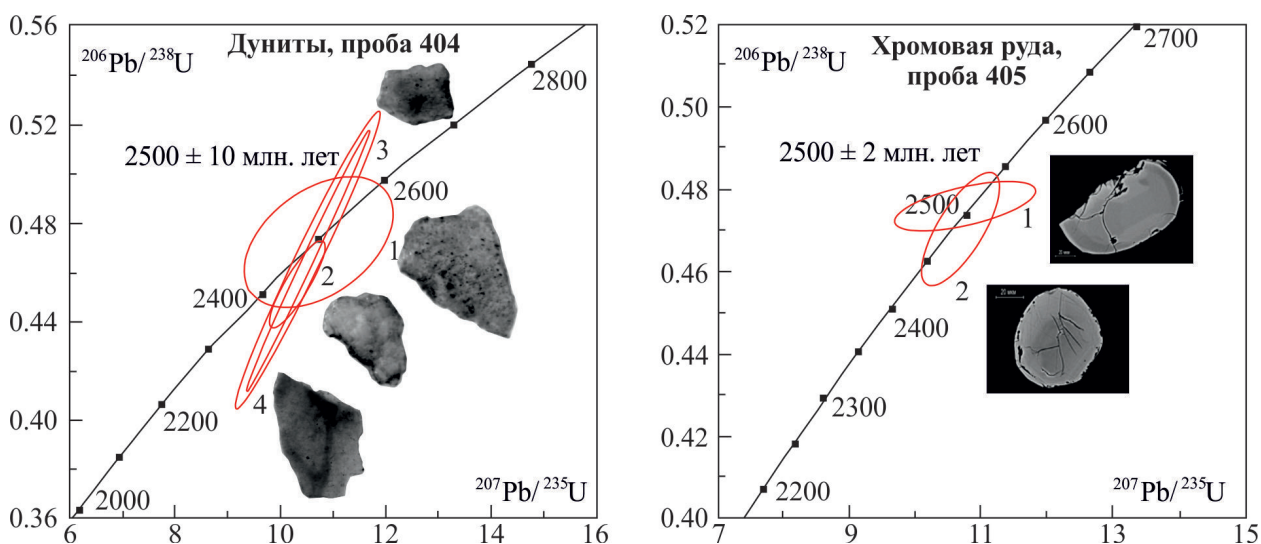


Рис. 5. U-Pb диаграммы с конкордией для единичных зерен магматических цирконов из дунитов (проба 404) и богатой хромовой руды (проба 405) СХМ.

Fig. 5. U-Pb plots with concordia for single grains of magmatic zircons from SCD dunite (sample 404) and high-grade chromium ore (sample 405).

## Литература

1. Расслоенные интрузии Мончегорского рудного района: петрология, оруденение, изотопия, глубинное строение. Ч. 2. (ред. Митрофанов Ф.П., Смолькин В.Ф.). Апатиты. Изд-во: КНЦ РАН. 2004. 177 с.
2. Чашин В.В., Галкин А.С., Озерянский В.В., Дедюхин А.Н. Сопчеозерское месторождение хромитов и его платиноносность, Мончегорский плутон (Кольский полуостров) // Геология рудных месторождений. 1999. Т. 41. № 6. С. 507–515.
3. Yang S.-H., Hanski E., Chao L., Maier W.D., Huhma H., Mokrushin A.V., Latypov R., Lahaye Y., O'Brien H., Qu W.-J. Mantle source of the 2.44-2.50-Ga mantle plume-related magmatism in the Fennoscandian Shield: evidence from Os, Nd, and Sr isotope compositions of the Monchepluton and Kemi intrusions // Mineralium Deposita. 2016. 51. P. 1055–1073. DOI: 10.1007/s00126-016-0673-9.