

Состав детритового рутила из современного аллювия рек Лабино-Малкинской зоны Большого Кавказа

Чефранова А. В., Борисовский С. Е.

ИГЕМ РАН, Москва, achefra@mail.ru

Аннотация. Протестированы индикаторные особенности химического состава рутила, обычно применяющиеся при поисках источников сноса осадочных пород. Методом рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) исследован состав детритового рутила из современного аллювия верхнего течения рек Кубань и Эшкакон центральной части Лабино-Малкинской зоны Большого Кавказа. В зависимости от концентрации Cr и Nb, а также Fe, W, Ta, Sb, Sn с учетом температуры кристаллизации, рассчитанной при помощи Zr-in-Rutile геотермометра, установлены контрастные различия в составе рутила из аллювия рр. Кубань и Эшкакон. В аллювии р. Кубань преобладает обогащенный хромом рутил, образованный за счет метаморфизации осадка различной степени зрелости с приблизительно равным соотношением метабазитов (47 %) и метапелитов (53 %), присутствует рутил метагаббро (750–800 °C), а также обогащение зерен W и Ta (600–700 °C) без четкой зависимости от концентрации Nb и Cr. В аллювии р. Эшкакон состав рутила указывает на питающую провинцию, сложенную обогащенными железом метаосадочными породами с преобладанием метапелитов (61 %) над метабазитами (39 %). Также в аллювии р. Эшкакон фиксируется присутствие высоконибоиевого рутила с сопутствующим обогащением W, Ta, Sb и Sn (650–750 °C). Обогащение рутила ниобием и рудными элементами скорее всего связано с высокотемпературными метасоматическими процессами, сопровождавшими формирование магматических комплексов пород в пределах исследуемых тектонических структур. Полученные результаты сопоставимы с реальным геологическим строением центральной части Лабино-Малкинской зоны и Кубанского тектонического блока Большого Кавказа.

Ключевые слова: детритовый рутил, питающие провинции, Zr-in-Rutile геотермометр, р. Кубань, р. Эшкакон

Composition of detrital rutile from modern alluvium of rivers in the Labino-Malkin zone of the Greater Caucasus

Chefranova A. V., Borisovskiy S. E.

IGEM RAS, Moscow, achefra@mail.ru

Abstract. The indicator features of the chemical composition of rutile, which are usually used when searching for sources of sedimentary rocks, were tested. The composition of detrital rutile from the modern alluvium of the upper reaches of the river was studied using X-ray spectral microanalysis. The composition of detrital rutile from the modern alluvium of the upper reaches of the river was studied using X-ray spectral microanalysis. Depending on the concentration of Cr and Nb, as well as Fe, W, Ta, Sb, Sn, taking into account the crystallization temperature calculated using a Zr-in-Rutile geothermometer, contrasting differences in the composition of rutile from alluvium were established. In the alluvium of the r. Kuban is dominated by chromium-enriched rutile, formed due to the metamorphization of sediment of varying degrees of maturity with an approximately equal ratio of metabasites (47 %) and metapelites (53 %), rutile metagabbro (750–800 °C) is present, as well as enrichment of grains with W and Ta (600–700 °C) without a clear dependence on the concentration of Nb and Cr. In the alluvium of the r. Eshkakon composition of rutile indicates a feeding province composed of iron-enriched metasedimentary rocks with a predominance of metapelites (61 %) over metabasites (49 %). Also in the alluvium of the r. Eshkakon records the presence of high-niobium rutile with a concomitant enrichment of W, Ta, Sb and Sn (650–750 °C). The enrichment of rutile in niobium and ore elements is most likely associated with high-temperature metasomatic processes that accompanied the formation of magmatic rock complexes within the studied tectonic structures. The results obtained are comparable with the real geological structure of the central part of the Labino-Malkin zone and the Kuban tectonic block of the Greater Caucasus.

Keywords: detrital rutile, sediment provenance, Zr-in-Rutile geothermometer, r. Kuban, r. Eshkakon.

Введение

Рутил является довольно распространенным акцессорным минералом метаморфических и магматических пород. В последнее время появляется все больше публикаций, посвященных изучению особенностей его состава из различного типа пород. Многими исследователями было установлено, что концентрации элементов-примесей в рутиле весьма вариативны и определяются генетическим типом, составом, условиями образования и преобразования вмещающих пород (Tiepolo et al., 2000; Meinhold et al., 2010; Резницкий и др., 2016). Анализ опубликованных данных позволяет сопоставить состав рутила с типом материнской породы в зависимости от концентрации Cr, Nb и сопутствующих элементов, таких как V, Ta, W, Sn, Sb, Fe с учетом температуры кристаллизации (Zack et al., 2002, 2004; Clark & Williams-Jones, 2004; Triebold et al., 2007; Meinhold et al., 2008, 2010; Morton & Chenery, 2009).

В работах, посвященных петрогенетическим реконструкциям осадочных пород, использование рутила в качестве минерала-индикатора питающих провинций носит осторожный и ограниченный характер (Аль-Джубури и др., 2009; Okay et al., 2010; Бадина и др., 2020). Связано это в первую очередь с тем, что до настоящего времени остаются не до конца ясными критерии, позволяющие оценить пределы вариаций концентрации тех или иных элементов примесей в рутиле метаморфического и магматического происхождения, а также в рутиле из различных по составу метаморфических пород.

Основной целью данного исследования является оценка области применимости индикаторных особенностей химического состава рутила на двух контрольных участках с различным заведомо известным геологическим строением в пределах центральной части Лабино-Малкинской зоны Большого Кавказа. Актуальность работы определяется не только апробацией и расширением возможностей выбранного метода, но и получением информации о составе детритового рутила в пределах конкретных геологических структур, рассматриваемых нами в качестве источников терригенных минералов для осадочных пород Предкавказья, вмещающих редкометалльно-титановые россыпи (Чефранова, Чефранов, 2023).

В качестве объекта исследования выбраны современные аллювиальные отложения верхнего течения р. Кубань и устья р. Эшакон центральной части Лабино-Малкинской зоны Большого Кавказа (рис. 1). Изучение состава детритового рутила из современного аллювия также даст возможность получить информацию об условиях кристаллизации магматических и метаморфических пород, развитых в пределах водосбора указанных рек.

Для достижения цели выбор точек опробования был продиктован контрастными различиями в геологическом строении территорий в пределах водосбора рек центральной части Лабино-Малкинской зоны. Так в пределах водосбора верхнего течения р. Кубань располагаются нижнепалеозойские магматические и метаморфические комплексы, участвующие в строении Кубанского тектонического блока, среднепалеозойские метаморфические, вулканогенно-осадочные и осадочные породы Передового хребта, а также мезозойские нижнеюрские вулканогенно-осадочные отложения хумаринской свиты в центральной части Лабино-Малкинской зоны. В пределах водосбора р. Эшакон развиты нижнепалеозойский метаморфический комплекс Бечасынского поднятия (урлешская свита хасаутского метаморфического комплекса), верхнепалеозойский Малкинский интрузивный комплекс, мезозойские интрузивные образования Верхне-Эшаконского вулканоплутонического массива (Маринский вулканический комплекс) и вулканогенно-осадочные и осадочные толщи юрской и меловой систем.

Методы исследования

Для исследования отобраны пробы современного руслового аллювия вблизи устья р. Эшакон и в верхнем течении р. Кубань между устьями ее правых притоков р. Ташлыкол и р. Кара-Сырх (рис. 1). С помощью набора сит, пробы были разделены на гранулометрические классы. Разделение минералов на монофракции осуществлялось в зависимости от их удельного веса и магнитной восприимчивости в лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН (г. Москва).

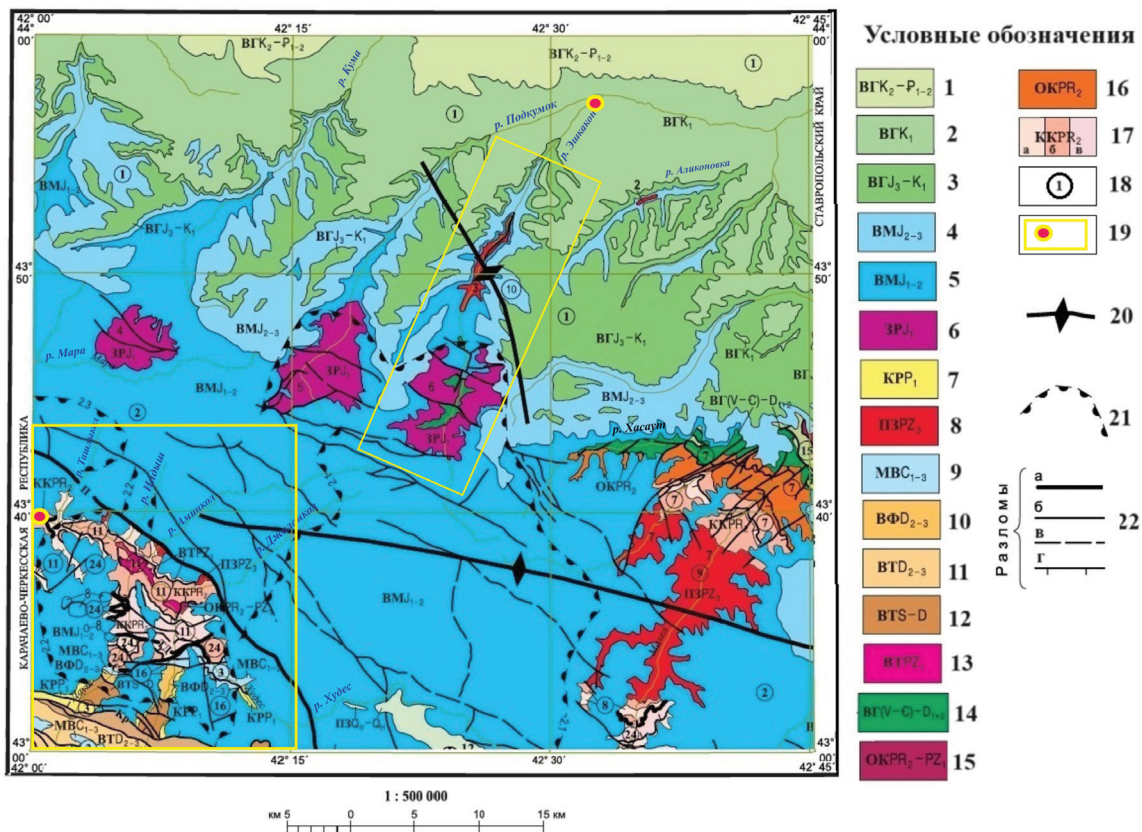


Рис. 1. Схема геологического строения центральной части Лабино-Малкинской зоны Большого Кавказа (фрагмент Тектонической схемы листа К-38-I, VII ФГУП «Кавказгеолсъемка», 2004 г. с изменениями и дополнениями).

Геодинамические комплексы и слагающие их формации (1–17). *Внешнего шельфа активной окраины: глубоководные:* 1 – мергелисто-известковая, 2 – карбонатно-глинисто-песчаная, 3 – доломитово-известковая, 14 – песчано-глинистая, кремнистая; *мелководные:* 4 – известняково-глинистая, пестроцветная, 5 – глинисто-песчаная, вулканокластическая, трахи-андезитовая. *Зоны растяжения рифтогенной структуры:* 6 – андезитовая, диорит-гранитовая (4 – Верхне-Маринский, 5 – Верхне-Подкумский, 6 – Верхне-Эшаконский массивы). *Коллизионные: континентального рифтогенеза* – 7 – молассовая с дацитами, андезитами и туфами; *вулканоплутонической зоны:* 8 – гранитовая (2 – Аликоновский, 3 – Эшаконский, 7 – Малкинский массивы); *межгорных впадин:* 9 – молассовая угленосная с андезибазальтами, риолитами, туфами. *Островной вулканической дуги:* 10 – вулканогенно-терригенная, 11 – терригенная турбидитовая, 12 – базальт-андезит-риолитовая, кремнисто-терригенная, 13 – диоритовая. *Комплексы основания:* 15 – дунит-габбровая, гипербазитовая, 16 – метавулканогенно-терригенная габбро-плагиогранитовая; 17 – а – амфиболито-сланцевогнейсовая, б – сланцевая, в – кварцитовая. 18 – Главные структуры и их номера: 1 – Северо-Кавказская моноклиналь, 2 – Лабино-Малкинская зона прерывистой складчатости, 3 – впадины с карбоновой и пермской молассой, 7 – Хасаутская впадина, 8 – Верхнемалкинская впадина, 9 – Бечасынское поднятие, 10 – Кисловодское поднятие, 11 – Кубанский тектонический блок, 16 – Тоханский покров, 24 – Шаукамысертская складчатая зона. 19 – Точка отбора проб и условный контур питающей провинции. 20 – Оси поднятий. 21 – Контуры юрских палео-вулканических центров: 2.1 – Бечасынский, 2.2 – Даутский, 2.3 – Карачаевский. 22 – Разломы: а – главные (структурные швы); неустановленной кинематики: б – достоверные, в – предполагаемые; г – надвиги.

Fig. 1. Scheme of the geological structure of the central part of the Labino-Malkinskaya zone of the Greater Caucasus (fragment of the Tektonic scheme of sheet K-38-I, VII FGUP «Kavkazgeolsurveying», 2004 with changes and additions).

Geodynamic complexes and their constituent formations (1–17). *Outer shelf of the active margin: deep-sea:* 1 – marly-calcareous, 2 – carbonate-clayey-sandy, 3 – dolomite-calcareous, 14 – sandy-clayey, siliceous; *shallow-water:* 4 – limestone-clayey, variegated, 5 – clayey-sandy, volcano-clastic, trachy-andesitic. *Zones of extension of the rift structure:* 6 – andesitic, diorite-granite (4 – Verkhne-Marinsky, 5 – Verkhne-Podkumsky, 6 – Verkhne-Eshkakonsky massifs). *Collision: continental rifting* – 7 – molasse with dacites, andesites and tuffs; *volcano-plutonic zone:* 8 – granite (2 – Alikonovsky, 3 – Eshkakonsky, 7 – Malkinsky massifs); *intermountain depressions:* 9 – molasse carbon-bearing with basaltic andesites, rhyolites, tuffs. *Island volcanic arc:* 10 – volcanogenic-terrigenous, 11 – terrigenous turbidite,

12 – basalt-andesite-rhyolite, siliceous-terrigenous, 13 – diorite. *Base complexes*: 15 – dunite-gabbro, hypermafic, 16 – metavolcanogenic-terrigenous gabbro-plagiogranite; 17 – a – amphibolite-schist-gneiss, b – shale, c – quartzite. 18 – *Main structures and their numbers*: 1 – North Caucasian monocline, 2 – Labino-Malka zone of discontinuous folding, 3 – depressions with Carboniferous and Permian molasse, 7 – Khasaut depression, 8 – Verkhnemalka depression, 9 – Bechasyn uplift, 10 – Kislovodsk uplift, 11 – Kuban tectonic block, 16 – Tokhansky cover, 24 – Shaukamysyrt folded zone. 19 – Sampling point and conditional contour of the feeding province. 20 – Axes of uplifts. 21 – Contours of Jurassic paleo-volcanic centers: 2.1 – Bechasynsky, 2.2 – Dautsky, 2.3. – Karachaevsky. 22 – Faults: a – main (structural sutures); unknown kinematics – b – reliable, c – estimated; d – thrusts.

Зерна рутила из каждой пробы были вмонтированы в эпоксидные запрессовки. Вскрытие и полировка минералов, запрессованных в эпоксидные шайбы осуществлялось способом истирания на тонкозернистых алмазных порошках без участия реагентов, содержащих хром.

Химический состав 50 зерен рутила определялся в центре коллективного пользования «ИГЕМ-аналитика» (г. Москва, ИГЕМ РАН) методом рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) на рентгеновском микроанализаторе JEOL JXA-8200, оснащенный пятью волновыми и одним энерго-дисперсионным спектрометрами. Анализ проводился при ускоряющем напряжении 20 кВ, диаметре зонда 3 мкм и повышенном значении тока зонда 300 нА (на цилиндре Фарадея) с целью достичь низких значений предела обнаружения. Определялся макро- и микрокомпонентный состав рутила на 9 элементов. Кристалл-анализатор, аналитическая линия, время экспозиции (с) и предел обнаружения (ppm) по критерию 3σ для перечисленных ниже элементов были следующими: Zr – PETH, L α , 150, 48; W – LIF, L α , 150, 125; Nb – PETH, L α , 40, 75; Ta – 90; Al – TAP, K α , 10, 65; Cr – LIF, K α , 130, 30; Sb – PETH, L α , 60, 60; Sn – PETH, L α , 60, 60; Fe – LIF, K α , 20, 110. Титан определялся по K α линии, второй порядок отражения на кристалл-анализаторе PET.

В основу анализа индикаторных особенностей рутила положены хорошо зарекомендовавшие себя методики исследования его микрокомпонентного состава многих авторов (Zack et al., 2004; Clark & Williams-Jones, 2004; Watson et al., 2006; Triebold et al., 2007; Tomkins et al., 2007; Meinhold et al., 2008, 2010 и др.). Особое внимание среди типоморфных элементов-примесей в рутиле заслуживает цирконий, концентрация которого имеет прямую зависимость от температуры кристаллизации и лежит в основе расчетных формул Zr-in-Rutil геотермометра (Watson et al., 2006; Tomkins et al., 2007). Применение рутила в качестве минерала-геотермометра позволяет получить важную информацию о температуре кристаллизации материнских пород. Данное свойство является весомым фактором при поиске питающих провинций.

Наиболее ярким проявлением гетеровалентного изоморфизма в рутиле, имеющим прямую зависимость от состава протолита (или расплава) является преобладание концентрации Nb₂O₅ над Cr₂O₃ в рутиле метапелитов, и наоборот преобладанием концентрации Cr₂O₃ над Nb₂O₅ в рутиле metabазитов, на что обратили внимание (Zack et al., 2002, 2004) при изучении элементов-примесей в рутиле метаморфических пород. Данное наблюдение получило широкое распространение при исследовании рутила не только из метаморфических, но и магматических пород, что позволило создать достаточную базу данных для решения обратной задачи – определения петрогенетической принадлежности зерен рутила из терригенных пород.

Результаты

В результате детального исследования выявлен ряд различий в особенностях строения и состава рутила из аллювия рр. Кубани и Эшкакон.

Зерна рутила из аллювия р. Кубани концентрируются в гранулометрическом классе 0.16–0.1 мм и в большинстве своем представлены обломками неправильной формы, реже удлиненно-призматическими кристаллами различной степени сохранности (рис. 2 а). Цвет рутила насыщенный и меняется от темно-красного, красновато-бурого до медово-оранжевого. По отношению хрома к ниобию в составе проанализированных зерен установлено, что 53 % из них соответствуют рутилу из метапелитов, а 47 % – рутилу из metabазитов. Состав большинства зерен рутила metabазитов характеризуется повышенной концентрацией Cr (1300–3700 ppm), Nb (900–2100 ppm), а для че-

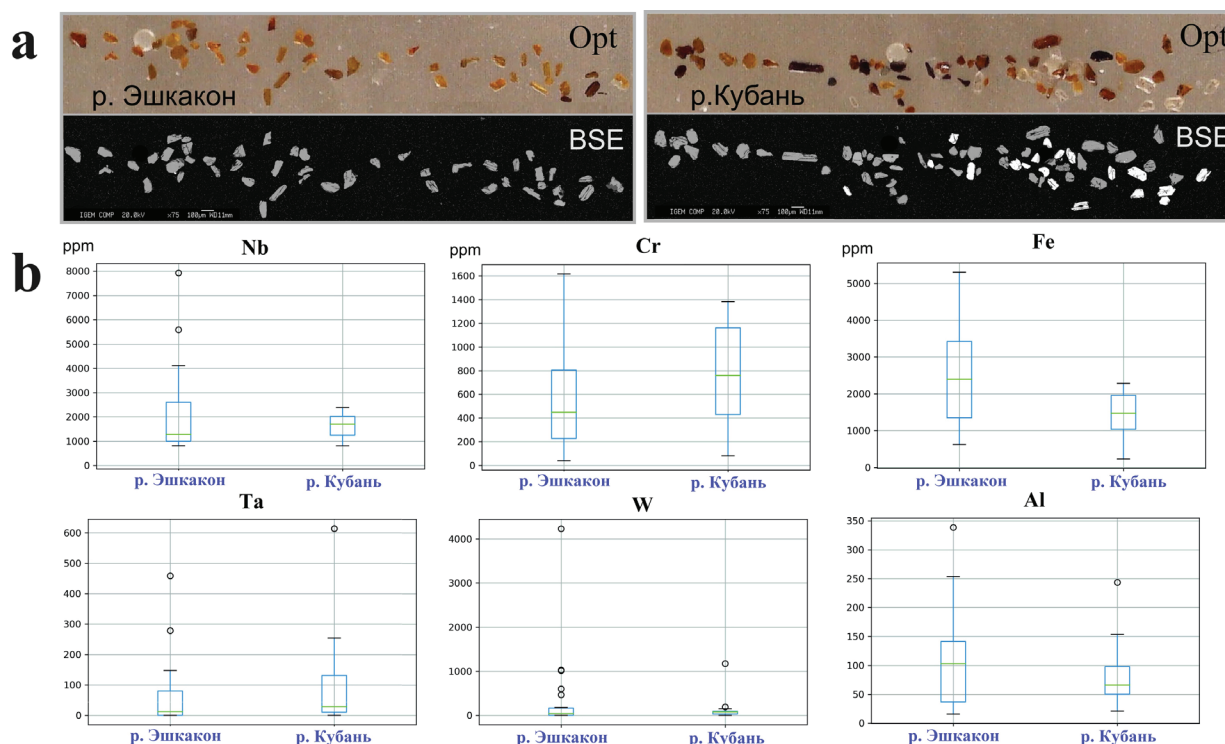


Рис. 2. Особенности строения и состава рутила из аллювия рр. Кубань и Эшкакон.

a – Морфологические особенности рутила. В ряду с рутилом из аллювия р. Кубань присутствуют прозрачные бесцветные зерна циркона, имеющие яркое свечение на снимках BSE; **b** – сравнение концентрации основных компонентов состава рутила метапелитов из аллювия рек Кубань и Эшкакон. Границами ящика служат первый и третий квартили (25-й и 75-й процентиля соответственно), линия в середине ящика – медиана (50-й процентиль). Концы усов – края статистически значимой выборки для случая нормального распределения данных. Точки – значения экстремальных концентраций.

Fig. 2. Features of the structure and composition of rutile from alluvium r. Kuban and r. Eshkakon.

a – Morphological features of rutile. In a row with rutile from alluvium of the river. Kuban there are transparent colorless zircon grains that have a bright glow in BSE images; **b** – Comparison of the concentrations of the main components of the composition of rutile metapelites from the alluvium of the river. Kuban and Eshkakon. The boundaries of the box are the first and third quartiles (25th and 75th percentiles, respectively), and the line in the middle of the box is the median (50th percentile). The ends of the whiskers are the edges of a statistically significant sample for the case of normal data distribution. The dots are the values of extreme concentrations.

тырех зерен фиксируется высокое содержание W (от 200 до 2300 ppm), что согласно (Zack et al., 2004; Meinhold et al., 2008) скорее соответствует составу рутила из метагаббро. Состав рутила метапелитов характеризуется умеренными концентрациями элементов примесей (рис. 2 b), что довольно типично для рутила метаосадочного генезиса, за исключением относительно повышенного содержания Cr (500–1200 ppm) и для единичных зерен высокой концентрации W (150–1100 ppm) и Ta (200–600 ppm). Причиной повышенного содержания хрома в составе рутила метапелитов может являться присутствие в строении протолита незрелого осадка, возможно соответствующего переходным разностям от грауваков к граувакам.

Зерна рутила из аллювия р. Эшкакон имеют меньший размер и сконцентрированы алевритовом классе (менее 0.1 мм). Форма зерен также представлена обломками неправильной формы и удлиненно-призматическими кристаллами различной степени сохранности. Цвет большинства зерен рутила светлый медово-оранжевый, реже красный (рис. 2 a). По отношению хрома к ниобию в составе проанализированных зерен рутила из аллювия р. Эшкакон установлено соответствие 61 % из них рутилу из метапелитов, а 39 % – рутилу из metabasites. Состав рутила metabasites отличается низкой концентрацией основных элементов-примесей (Cr и Nb не более 800 ppm, W, Ta, Al, Sb, Sn – первые десятки ppm), за исключением относительно повышенной железистости (Fe 1500–4500 ppm).

Соотношение элементов примесей в рутиле метабазитов из аллювия р. Эшакон указывает на их метаосадочный генезис. В составе рутила метapelитов при умеренно низкой концентрации Cr (не более 1000 ppm), фиксируется значительный разброс Nb в среднем от 1000 до 2900 ppm, иногда достигающий 4100–7900 ppm. В некоторых случаях повышение концентрации Nb выше 2000 ppm коррелирует с увеличением содержания рудных элементов, таких как W, Ta, Al, Sb, Sn вплоть до их экстремальных значений (рис. 2 б). Возможной причиной появления в популяции рутила метapelитов с экстремально высокой концентрации рудных элементов могли служить процессы метасоматоза, сопровождавшие формирование Малкинского плутонического и/или Верхне-Эшаконского вулканоплутонического массива.

Если обратиться к графическим построениям, обычно используемым при петрогенетической типизации рутила, основанным на значении $\log Cr/Nb$ и температуре кристаллизации, рассчитанной с помощью Zr-in-Rutile геотермометра (рис. 3), можно обратить внимание на некоторые особенности, подчеркивающие различия в условиях формирования и строении источников данного минерала.

В первую очередь можно отметить приуроченность большинства зерен рутила метабазитов р. Эшакон к верхам зеленосланцевой и низам амфиболитовой фации метаморфизма. В то время как температура кристаллизации рутила метapelитов сосредоточена в амфиболитовой фации с пиком в 600–650 °C, а также в области более высоких температур (850–950 °C).

Обращает на себя внимание некоторая зависимость состава рутила из аллювия р. Эшакон от температуры кристаллизации. В условиях зеленосланцевой фации метаморфизма отмечается исключительно рутил метабазитов метаосадочного происхождения. В условиях нижней ступени ам-

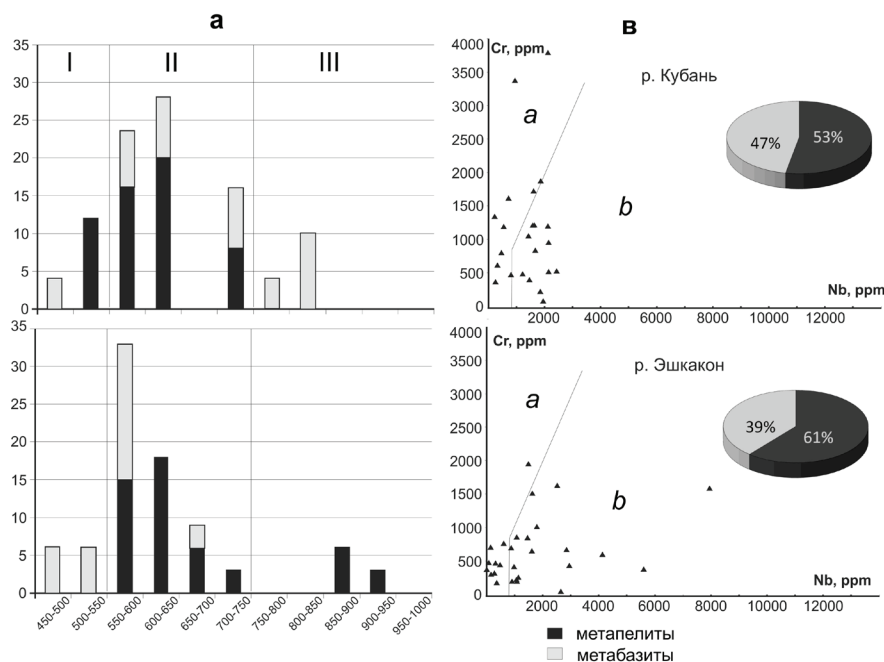


Рис. 3. Типизация рутила с использованием Zr-in-Rutile геотермометра (Watson et al., 2006) и Cr/Nb отношения в его составе:

а – гистограммы количества метapelитовых и метабазитовых зерен рутила из аллювия рек Кубань и Эшакон в зависимости от температуры кристаллизации. Фации метаморфизма: I – зеленосланцевая; II – амфиболитовая; III – гранулитовая; б – Отношение Cr к Nb в составе рутила из аллювия рек Кубань и Эшакон: а – поле состава рутила с положительным значением $\log Cr/Nb$ (метабазитов), б – поле состава рутила с отрицательным значением $\log Cr/Nb$ (метapelитов).

Fig. 3. Typing of rutile using a Zr-in-Rutile geothermometer (Watson et al. 2006) and Cr/Nb ratio in its composition: а – Histograms of the amount of metapelite and metabasite grains of rutile from alluvium pp. Kuban and Eshakon depending on the crystallization temperature. Metamorphism facies: I – greenschist; II – amphibolite; III – granulite. б – Cr to Nb ratio in the composition of rutile from alluvium pp. Kuban and Eshakon: а – rutile composition field with a positive $\log Cr/Nb$ value (metabasites); б – rutile composition field with a negative $\log Cr/Nb$ value (metapelites).

фибrolитовой фации наряду с рутилом метабазитов появляется рутил метапелитов, также характеризующийся довольно бедным содержанием элементов примесей. С ростом температуры кристаллизации фиксируется увеличение концентрации ниобия, что приводит доминирующему присутствию рутила метапелитов. В условиях средней и высокой ступени амфиболитовой фации (600–750 °С) концентрация ниобия в некоторых случаях достигает экстремальных значений, сопровождаясь обогащением рудными элементами (W, Ta, Al, Sb, Sn).

Обсуждение результатов

Полученные в результате исследования состава рутила данные позволяют соотнести их с особенностями состава горных пород, развитых в пределах водосбора исследованных рек.

В аллювии р. Кубани преобладает рутил, образованный за счет метаморфизации метаосадка различной степени зрелости, с приблизительно равным соотношением метабазитов (47 %) и метапелитов (53 %), фиксируется рутил метагаббро с высокими температурами кристаллизации (750–850 °С), а также наблюдается обогащение зерен W и Ta (в диапазоне температур 600–700 °С) без четкой зависимости от концентрации Nb и Cr. Данное описание соответствует геологическому строению Кубанского тектонического блока. Можно предполагать, что обогащенный хромом рутил метаосадочного происхождения и рутил метагаббро имеет своим источником развитые в пределах Кубанского блока нижнепалеозойские (Герасимов и др., 2015) метаморфические комплексы (ташлыкольский, тубалыкольский, джаланкольский, индышский) сложенные гнейсами, амфиболитами, метаалевролитами, метапесчаниками, кварцитами, филлитами, силлами габбро и габбро-амфиболитов, прорванных нижнепалеозойским Аманкольским диоритовым комплексом и верхнепалеозойским Кубанским гранит-порфировым гипабиссальным комплексом с горячими контактами (рис. 1). Вероятно, обогащение рутила W и Ta носило наложенный характер и было связано с внедрением Аманкольского диоритового и/или Кубанского гранит-порфирового комплексов в метаморфические породы Кубанского тектонического блока, сопровождавшиеся формированием термальных ореолов и зон роговиков.

Источником обогащенного железом рутила метаосадочного генезиса из аллювия р. Эшакон скорее всего являлись глинисто-алевролитовые сланцы и слабометаморфизованные ожелезненные осадочные породы урлешской свиты. Сложно однозначно определить связана ли кристаллизация рутила непосредственно с формированием пород урлешской свиты или он попал в нее из подстилающих кристаллических пород Хасаутского метаморфического комплекса. Присутствие обогащенного ниобием и рудными элементами зерен рутила из аллювия р. Эшакон фиксирует наложенное на эти осадки/метаосадки термальное событие, сопровождавшееся высокотемпературным метасоматозом. В долине р. Эшакон метасоматически измененные породы сопровождают выходы верхнепалеозойских гранитов Малкинского комплекса и мезозойских дацит-андезитов Верхне-Эшаконского (Маринского) вулканического комплекса. Теоретически оба этих комплекса могли привести к обогащению рутила ниобием, вольфрамом, танталом, сурьмой и оловом, особенно, если учесть, что Малкинский комплекс является субредкометалльным, ограниченно рудоносным, а с Маринским комплексом связаны незначительные мезотермальные проявления золота (Снежко, 2015; Снежко и др., 2021).

Заключение

Индикаторные особенности состава детритового рутила продемонстрировали свою эффективность при поисках питающих провинций. Детальное исследование состава детритового рутила из современного аллювия верхнего течения р. Кубани и р. Эшакон позволило получить результаты сопоставимые с реальным геологическим строением центральной части Лабино-Малкинской зоны и Кубанского тектонического блока Большого Кавказа. Установленные различия в составе рутила из аллювия указанных рек могут послужить фундаментом для дальнейшего исследования состава данного минерала как на Кавказе, так и за его пределами.

Благодарности

Работа выполнена в рамках госзадания ИГЕМ РАН FMMN-2024-0015 Фундаментальные основы прогноза и поисков крупных месторождений стратегических видов минерального сырья в рудных районах Северо-Востока и других регионов России.

Литература

1. Али И. Аль-Джубури, Том МакКанн, Мохсин М. Газаль Реконструкция источников сноса для песчаников миоцена Северного Ирака (на основании петрографического анализа, анализа вещественного состава и химии минералов обломочной составляющей) // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 6. С. 670–690.
2. Бадина Л. В., Маслов А. В., Мизенс Г. А. Реконструкция состава пород питающих провинций. Статья 3. Современные методы исследования тяжелых обломочных минералов (гранатов, хромшпинелидов, рутила и др.) // Литосфера. 2020. Т. 20. № 2. С. 149–167.
3. Герасимов В. Ю., Гаранин В. К., Письменный А. Н., Энна Н. Л. Новые данные о проявлении мезозойского магматизма в Бечасынской зоне Большого Кавказа и оценка возраста регионального метаморфизма // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2015. № 4. С. 62–73.
4. Резницкий Л. З., Скляр Е. В., Суворова Л. Ф., Канакин С. В., Карманов Н. С., Бараш И. Г. Ниобиевые рутилы из Cr-V-содержащих метаморфических пород Слюдянского комплекса (Южное Прибайкалье) // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 12. С. 2178–2191.
5. Снежко В. А. Специфика вещественного состава и условия формирования пород раннеюрского Маринского вулканического комплекса (Северный Кавказ) // Региональная геология и металлогения. 2015. № 61. С. 27–34.
6. Снежко В. А., Снежко В. В., Шарпёнок Л. Н. Малкинский гранит-лейкогранитовый комплекс (Северный Кавказ) // Региональная геология и металлогения. 2021. № 85. С. 5–20.
7. Чефранова А. В., Чефранов Р. М. Минералы-индикаторы питающих провинций редкометалльно-титановых россыпей Ставропольского свода: Циркон // Геология рудных месторождений. 2022. Т. 64. № 5. С. 574–594.
8. Clark J. R., Williams-Jones A. E. Rutile as a potential indicator mineral for metamorphosed metallic ore deposits. Rapport Final de DIVEX, Sous-project SC2, Montréal, Canada. 2004. P. 17.
9. Luvizotto G. L., Zack T. Nb and Zr behavior in rutile during high grade metamorphism and retrogression: an example from the Ivrea Verbano Zone // Chem. Geol. 2009. V. 261. P. 303–317.
10. Meinhold G., Kostopoulos D., Frei D., Himmerkus F., Rishmann T. U–Pb LA-SF-ICP-MS zircon geochronology of the Serbo-Macedonian Massif, Greece: palaeotectonic constraints for Gondwana-derived terranes in the Eastern Mediterranean // Int J Earth Sci (Geol Rundsch). 2010. V. 99. P. 813–832.
11. Meinhold G., Anders B., Kostopoulos D., Reischmann T. Rutile chemistry and thermometry as provenance indicator: an example from Chios Island, Greece // Sedimentary Geology. 2008. V. 203. P. 98–111.
12. Morton A., Chenery S. Detrital rutile geochemistry and thermometry as guides to provenance of Jurassic–Paleocene sandstones of the Norwegian Sea // Journal of Sedimentary Research. 2009. V. 79. P. 540–553.
13. Okay N., Zack T., Okay A.I. & Barth M. Sinistral transport along the Trans-European Suture Zone: detrital zircon–rutile geochronology and sandstone petrography from the Carboniferous flysch of the Pontides // Geol. Mag. 2011. V. 148 (3). P. 380–403.
14. Tiepolo M., Vannucci R., Oberti R., Foley S., Bottazzi P., Zanetti A. Nb and Ta incorporation and fractionation in titanite and kaersutite: crystal– chemical constraints and implications for natural system // Earth and Planetary Science Letters. 2000. V. 176. P. 185–201.
15. Tomkins H. S., Powell R., Ellis D. J. The pressure dependence of the zirconium-in-rutile thermometer // J. Metam. Geol. 2007. V. 25. P. 703–713.
16. Triebold S., von Eynatten H., Luvizotto G.L., Zack T. Deducing source rock lithology from detrital rutile geochemistry: an example from the Erzgebirge, Germany // Chemical Geology. 2007. V. 244. P. 421–436.
17. Watson E. B., Wark D. A., Thomas J. B. Crystallization thermometers for zircon and rutile // Contrib. Mineral. Petrol. 2006. V. 151. P. 413–433.
18. Zack T., Kronz A., Foley S. F., Rivers T. Trace element abundances in rutiles from eclogites and associated garnet mica schists // Chem. Geol. 2002. V. 184. P. 97–122.
19. Zack T., von Eynatten H., Kronz A. Rutile geochemistry and its potential use in quantitative provenance studies // Sedimentary Geol. 2004. V. 171. P. 37–58.