

УДК 550.4

ГЕОХИМИЯ ЦИРКОНОВ И МОНАЦИТОВ ИЗ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ И ЛЕДНИКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ УКРАИНЫ (ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКАЯ ПЛАТФОРМА) И АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА (ЗАПАДНАЯ АНТАРКТИДА): СОПОСТАВЛЕНИЕ И ВОЗМОЖНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ**С.П. Савенок, С.Е. Шнюков, А.В. Андреев, В.Р. Морозенко**

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, геологический факультет, 03022, ул. Васильковская 90, Киев, Украина, e-mail: savenok@mail.univ.kiev.ua, shnyukov@mail.univ.kiev.ua, andreev@mail.univ.kiev.ua, morozenko@mail.univ.kiev.ua.

Реферат. В работе представлены результаты геохимического исследования больших популяций циркона и монацита из ледниковых отложений Антарктического полуострова, а также из ледниковых и аллювиальных отложений южной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП). Концентрации Hf, Y, Th, U и Pb в единичных микрзернах минералов определены специализированным вариантом рентгено-флуоресцентного анализа (XRF-MP/SG). Возраст зерен оценен методом "общего свинца". Материнские породы идентифицированы по составу циркона при помощи ранее разработанной его Hf-Y классификации. Полученные результаты позволили дополнить имеющиеся данные о главных этапах развития земной коры обоих регионов, рассчитать модели ее роста и обнаружить не известный ранее этап интенсивного монацитообразования (0,5–0,7 млрд. лет) на юге ВЕП. Апробированный подход предполагается использовать для циркумполярного исследования подледниковых регионов Антарктиды по программе IPY 2007/2008.

Геохімія цирконів та монацитів з алювіальних та льодовикових відкладів України (Східно-Європейська платформа) та Антарктичного півострова (Західна Антарктида): співставлення та можлива інтерпретація. С.П. Савенок, С.Е. Шнюков, О.В. Андреев, В.Р. Морозенко

Реферат. В роботі представлені результати геохімічного дослідження великих популяцій циркону та монациту з льодовикових відкладів Антарктичного півострова, та з льодовикових та алювіальних відкладів південної частини Східно-Європейської платформи (СЄП). Концентрації Hf, Y, Th, U та Pb в поодиноких микрзернах мінералів визначені спеціалізованим варіантом рентгено-флуоресцентного аналізу (XRF-MP/SG). Вік зерен оцінений методом "загального свинцю". Материнські породи ідентифіковані за складом циркону з використанням його раніше розробленої Hf-Y класифікації. Одержані результати дозволили доповнити наявні дані про головні етапи розвитку земної кори вказаних регіонів, розрахувати ретроспективні моделі її росту та виявити відносно молодий (0,5–0,7 млрд. років), не відомий раніше етап інтенсивного монацитоутворення на півдні СЄП. Апробований підхід передбачається застосувати для циркумполярного дослідження підльодовикових регіонів Антарктиди за програмою IPY 2007/2008.

Single-Grain Trace Element Geochemistry of Zircon and Monazite Large Detrital Populations from Glacial and Alluvial Sediments of Ukraine (East-European Platform) and Antarctic Peninsula (Western Antarctica): Comparison and Possible Interpretation by S.P. Savenok, S.E. Shnyukov, A.V. Andreev, V.R. Morozenko

Abstract. The results of single-grain geochemical study of zircon ($n = 2684$) and monazite ($n = 937$) large detrital populations from glacial and alluvial sediments that reflect provenance within (1) the southern part of East-European Platform (EEP), including Ukrainian Shield, and (2) the subglacial area of Antarctic Peninsula (AP) in Western Antarctica are presented in the paper. Trace element (Hf, Y, Th, U, Pb etc.) content in both minerals was determined by means of special ("single-grain") version of milliprobe X-ray fluorescence analysis (XRF-MP/SG). "Total lead" method was used for zircon and monazite single-grain approximate age dating. Geochemical grouping of zircon grains as well as their parent rock types identification were realized on the basis of earlier suggested Hf-Y discriminant diagram. This new data set may be regarded as a representative contribution to present-day information about the crustal evolution within the both EEP and AP regions. For example a new unknown earlier stage of significant formation of monazite (~0.5-0.7 Ga) was discovered for the first one. Numerous data on zircon's single-grain geochemistry were resulted in regional-scale models of progressive growth of the Earth's crust. Taking into account that subglacial terranes of Antarctica are inaccessible for direct study, such approach is proposed for their investigation within the project "Circum Antarctic Zircon Census" (CAZIC) in the frame of IPY 2007/2008 program.

Key words: trace element, zircon, monazite, single-grain, detrital population, crustal evolution

1. Введение

Применение традиционных прямых методов исследования состава и истории формирования геологических образований, слагающих платформенные области и, в частности, докембрийские щиты всегда ограничено наличием перекрывающего осадочного чехла. В

случае Антарктиды, наименее изученного в геологическом отношении континента Земли, такое ограничение резко усугубляется присутствием ледникового панциря, который в подавляющем большинстве случаев исключает применение прямых геологических методов. Поэтому для проведения подобных исследований предложено использовать геохимическое изучение больших популяций (совокупностей микрокристаллов) *сквозных акцессорных минералов* (САМ), прежде всего *циркона* и *монацита*, из аллювиальных, морских и ледниковых отложений, сформировавшихся за счет разрушения горных пород дренируемых участков земной коры и представительно их характеризующих (Шнюков и др., 1989, 1991, 2002, 2005; Шнюков, 2000, 2002, 2003; Shnyukov et al., 1997, 2002; Андреев, 1992; Андреев и др., 1998; Savenok et al., 2004; Савенок, 2005). Перспективность такого подхода подтверждается все более широким развитием, которое получают подобные исследования в ведущих мировых научных центрах за последние годы (Phosphates ..., 2002; Belousova, 2002; Zircon, 2003 и др.). Однако примеров эффективного решения широкомасштабных региональных задач пока недостаточно. Попытка частично восполнить этот пробел и предпринята в настоящей работе.

2. Объекты исследований

Популяции САМ изучены в специально отобранных представительных пробах, которые характеризуют следующие обломочные осадочные образования: 1) несортированные глинисто-галечные моренные отложения (Pg_{II} dn) Днепровского оледенения (район г. Радомышль, Житомирская область, Украина); 2) современные аллювиальные отложения нижнего течения р. Днепр (район г. Херсон, Украина); 3) отложения конечных, боковых и, частично, донных морен континентальных ледников Hotine, Leay, Wiggins, Bussey, Lind (Антарктический полуостров, Западная Антарктида). В качестве питающих провинций им соответствуют два контрастных в геологическом отношении региона: 1, 2 – докембрийский Украинский щит (УЩ) с прилегающей частью Восточно-Европейской платформы (ВЕП), 3 – сложенный преимущественно альпинидами Антарктический полуостров (АП). В первом случае изучен циркон и монацит, а во втором – лишь циркон (монацит в отобранных пробах не обнаружен).

3. Методика и аппаратно-аналитическое обеспечение исследований

Получение и интерпретация минерало-геохимических данных обеспечивались применением специализированного комплекса методов, методик и аппаратуры (Шнюков и др., 1989, 1991, 2002, 2005; Шнюков, 2000, 2002, 2003; Shnyukov et al., 1997, 2002; Андреев, 1992; Андреев и др., 1998; Savenok et al., 2004; Савенок, 2005 и др.) и реализованы поэтапно.

3.1. Фракционирование и исследование минерального состава проб

Во всех пробах исследован гранулометрический класс 0,05-0,5 мм. Применена стандартная схема их фракционирования. В ходе минералогического анализа фракций широко использованы современные инструментальные диагностические и аналитические средства – фотолюминесцентная (ФЛ) микроскопия, XRF, XRD и электронно-зондовый микроанализ, что обеспечило надежную регистрацию присутствия в пробах САМ даже на уровне их единичных зерен (микрокристаллов).

3.2. Выделение и опробование мономинеральных фракций

Применен оригинальный комплект методик, который отличался от традиционного: 1) использованием метода магнитогидростатической сепарации для получения мономинеральных концентратов вместо традиционного выделения в жидкости Клеричи, что исключает заражения зерен САМ таллием, который мешает их элементному анализу; 2) применением для доводки (чистки) концентратов метода ФЛ-сепарации, что позволяет резко снизить потери вещества за счет использования ФЛ циркона в качестве его максимально

надежного видового признака; 3) использованием принципа статистически случайного отбора из мономинеральных фракций САМ больших по объему выборок зерен ($N = n \cdot 100 - n \cdot 1000$) для последующего элементного анализа каждого из них в качестве средства получения наиболее объективной и представительной геохимической характеристики популяций зерен САМ. Все процедуры реализованы на базе модифицированного электромагнитного изодинамического сепаратора СИМ-1 (дополнительно введен магнитогидростатический режим работы с использованием насыщенного водного раствора $MnCl_2$ в качестве искусственно утяжеляемой магнитной жидкости) и стереомикроскопов МБС-9/10 и МССО, доукомплектованных модифицированными мощными УФ-осветителями ОСЛ-1 для обеспечения режимов ФЛ-сепарации и ФЛ-микроскопии.

3.3. Аналитические исследования

Для определения концентраций индикаторных элементов-примесей (Hf, Y, Th, U, Pb и др.) в единичных микрочернцах циркона и монацита использован новый специализированный вариант метода рентгено-флуоресцентного анализа (XRF–MP/SG), реализованный на установке оригинальной конструкции (Савенок С.П., 2005) и дополнительно позволяющий инструментально определять принципиально важный параметр – массу (Н) каждого анализируемого зерна САМ. Этот вариант отличается от предыдущих (Чебуркин и др., 1984; Андреев, 1992; Шнюков и др., 2002) повышенной локальностью и точностью анализа. Предел обнаружения: Hf – 100 ppm, другие элементы – 5-10 ppm. Относительная погрешность – 5-15 % при концентрации элемента превышающей на порядок предел обнаружения, массе зерна не менее 0,5 мкг, времени измерений не более 600 сек. Всего проанализировано единичных зерен: циркона 1593 (ВЕП) и 1091 (АП), монацита – 937 (ВЕП).

3.4. Интерпретация минерало-геохимических данных

Интерпретация включала: 1) дискриминацию зерен по типам материнских пород в рамках разработанной ранее геохимической классификации циркона в координатах Hf-Y (Шнюков и др., 1989; Шнюков, 2003) (рис. 1); 2) оценку их возраста (T_0) модифицированным методом “общего свинца” (Suzuki et al., 1991; Андреев, 1992). Для монацитов выполнены только возрастные оценки. Конечной целью интерпретации являлось решение двух задач: 1) выполнение петрофондовых реконструкций, выделение и оценка петрогенетической нагрузки главных этапов развития земной коры; 2) получение ретроспективных модельных оценок скорости ее роста в пределах регионов ВЕП и АП. Решение первой задачи осуществлялось путем оценки вклада (X_i^n , мас. доли) каждого из идентифицированных типов материнских пород в рост коры за каждый интервал времени i (50 млн. лет), а для решения второй задачи (построение модельной кумулятивной кривой роста относительной массы коры) использовались суммарные оценки массовой доли коры, сформировавшейся за каждый такой временной интервал (X_i^{Sum}) (Шнюков, 2003; Шнюков и др., 2005):

$$X_i^n = \frac{M_i^n}{M^N \cdot Zr^n \cdot \Sigma}, \quad X_i^{Sum} = \sum_{n=1}^7 X_i^n,$$

где $\Sigma = \sum_{n=1}^7 \frac{M^n}{M^N \cdot Zr^n}$, Zr^n – содержание Zr (кларк) в типе материнских пород n ; M^n – сумма масс (Н) всех зерен циркона этого типа; M_i^n – то же для зерен типа n , по возрасту (T_0) соответствующим интервалу i ; M^N – масса всех изученных зерен выборки.

4. Полученные результаты и их обсуждение

4.1. Циркон

Систематика зерен циркона изученных выборок в координатах Hf-Y (рис. 1) демонстрирует, как и ожидалось, постоянство набора главных петротипов областей питания – в обоих случаях среди материнских пород преобладают образования известково-щелочного ряда различной кремнекислотности (группы I, II и III). Однако, уже на этом уровне интерпретации проявляются различия между исследованными объектами, выраженные в более кремнекислом составе материнских пород Антарктического полуострова по сравнению с таковыми области питания, охарактеризованной цирконами из аллювиальных и ледниковых отложений Украины. Последние, учитывая близкие геохимические и возрастные характеристики, в дальнейшем рассмотрении объединены в одну выборку.

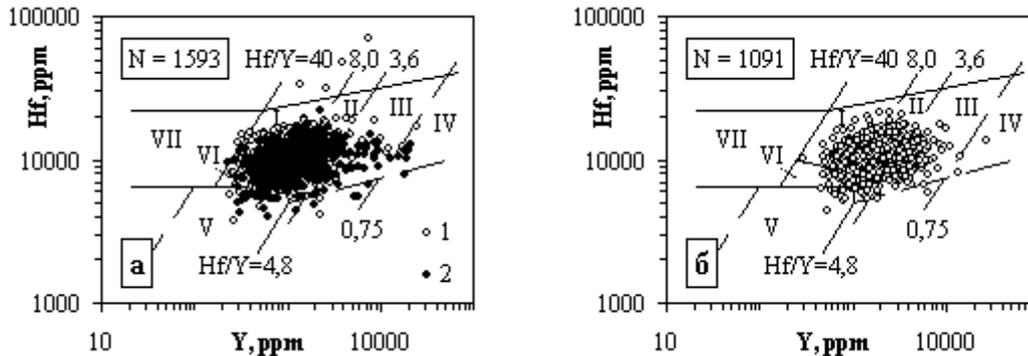


Рис. 1. Составы изученных зерен циркона из аллювиальных и ледниковых отложений Украины (а, соответственно 1 и 2) и ледниковых отложений Антарктического полуострова (б) в полях классификационной диаграммы Hf-Y. Римскими цифрами обозначены поля состава цирконов из: I – ультраосновных, основных и бескварцевых средних пород ($\text{SiO}_2 < 57 \text{ wt}\%$); II – кварцсодержащих пород среднего и умеренно кремнекислого состава ($57 < \text{SiO}_2 < 73 \text{ wt}\%$); III – гранитов повышенной кремнекислотности ($\text{SiO}_2 > 73 \text{ wt}\%$) и их гидротермально измененных, диафторированных и альбитизированных разновидностей; IV – грейзенов; V – карбонатитов; VI – щелочных пород, ассоциирующих с ними метасоматитов (фенитов) и карбонатитов некоторых типов; VII – кимберлитов. N – объем изученных выборок зерен.

Полученные оценки возраста зерен циркона методом “общего свинца” (T_0) после отбраковки некорректных значений (случаи низких, аналитически не определяемых концентраций Pb, Th и U в зернах) сведены в гистограммы частоты их встречаемости (возрастные “спектры”). Они подтверждают (рис. 2) принципиальное различие в возрасте между геологическими образованиями изученных областей питания, которое в целом согласуется с имеющимися данными по этим регионам и, в частности, для ВЕП (рис. 2а) – с изотопными датировками цирконов УЩ (Геохронологическая шкала..., 1989; и др.), а для АП (рис. 2б) – с изотопными датировками пород, полученными различными методами (Грикуров, 1973). Такая согласованность, однако, проявлена лишь на уровне главных максимумов на гистограммах. Обращает внимание наличие цирконов со значениями $T_0 < 1,5$ млрд. лет (ВЕП) и $T_0 > 1,0$ млрд. лет (АП), причем соответствующие части “спектров” статистически хорошо насыщены. Коренные породы этих возрастных диапазонов в пределах УЩ и АП в настоящее время не известны (не охвачены изотопным датированием).

Различия между полученными данными и результатами изотопного датирования, по нашему мнению, определяются как минимум следующими факторами:

1. Известными недостатками метода “общего свинца”, в частности, его неспособностью различать нарушенные и ненарушенные Th-U-Pb системы цирконов. Так, во многом

следствием этого недостатка является эффект “размыва” возрастных максимумов. Заметим, что при дальнем переносе и многократном переотложении метамиктные зерна циркона с наиболее нарушенными Th-U-Pb системами избирательно разрушаются. Такой “природный фильтр” до некоторой степени компенсирует недостатки датирования методом “общего свинца”.

2. Значительно большей статистикой полученных оценок T_0 по сравнению с имеющимися изотопными датировками, которые, к тому же, в отличие от первых всегда имеют избирательно-субъективный характер: их количество не отражает распространенность пород, контролируется обнаженностью и геологической изученностью территории.

3. Изначально неполной сопоставимостью полученных по T_0 данных, которые характеризуют уже денудированные к настоящему времени геологические образования, с изотопными датировками, выполненными для пород нынешнего уровня эрозионного среза.

4. Неизбежно большим “износом” древних цирконов по сравнению с молодыми, что приводит к закономерному снижению роли древних максимумов на возрастных “спектрах”.

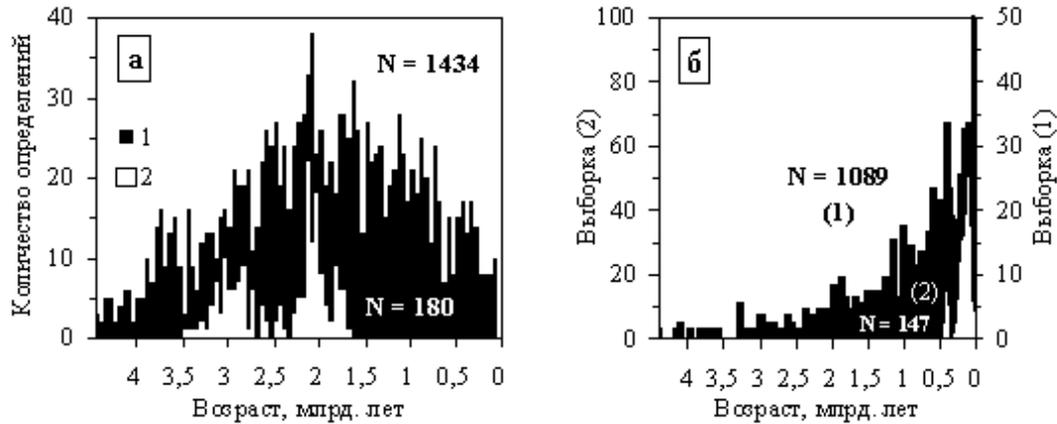


Рис. 2. Возрастные “спектры” изученных выборок единичных зерен циркона из популяций аллювиальных и ледниковых отложений Украины (а) и ледниковых отложений Антарктического полуострова (б) в сопоставлении с имеющимися данными изотопного датирования: 1 – наши данные (T_0), 2 – результаты изотопного датирования. N – количество изученных зерен циркона и количество изотопных датировок.

Принимая во внимание возможность искажения результатов под влиянием перечисленных факторов, авторы, тем не менее, оценивают полученную информацию как принципиально новое, объективное и комплементарное дополнение к существующим на сегодня данным изотопного датирования коренных пород обоих исследованных регионов.

Для каждой из питающих провинций (ВЕС и АП), охарактеризованных изученными выборками единичных зерен циркона, была выполнена схематическая реставрация возрастной эволюции земной коры на основе оценок вклада (X_i^n) каждого из идентифицированных (рис. 1) типов материнских пород в рост коры за каждый интервал времени $i = 50$ млн. лет. Все построения осуществлялись лишь для трех резко преобладающих породных групп (I, II и III), для которых приняты следующие кларковые концентрации Zr эквивалентного циркону (Zr^n): 112, 140 и 92 ppm соответственно. При объединении данных для региона АП учтено соотношение площадей опробованных ледосборных бассейнов. Полученные результаты (рис. 3) демонстрируют еще более значимое различие изученных регионов.

Так, для ВЕС (рис. 3а) рубежом представляется этап 2,0-2,2 млрд. лет, который характеризуется резким снижением роли относительно основных бескварцевых породных разновидностей (группа I) и столь же резким возрастанием вклада кремнекислых пород (группа II), причем такое их соотношение сохраняется и в дальнейшем. Несколько ранее (~2,5 млрд. лет) фиксируется значимое появление ультракислых образований и гидротермалитов (группа

III). Их вклад в целом невелик, причем на полученную оценку их возрастного положения, видимо, особенно значимо влияет нарушенность Th-U-Pb систем соответствующих зерен цирконов. Наиболее вероятные возрастные диапазоны преимущественного формирования образований этой группы: 1,6-2,5 и 0,4-1,5 млрд. лет. Заметим, что во втором временном диапазоне их вклад становится особенно существенным, сопоставимым с вкладом группы II.

Главным отличием полученных для региона АП данных (рис. 3б) является, кроме молодого возраста, в целом значительно более кремнекислый состав коровых образований – превалирует породная группа II, вклад которой начинает преобладать над вкладом группы I начиная с рубежа ~0,8-1,0 млрд. лет. Синхронно растет и роль наиболее кремнекислых образований группы III. Такие данные соответствуют немногочисленным результатам прямых наблюдений (Грикуров, 1973; Бахмутов, 1998).

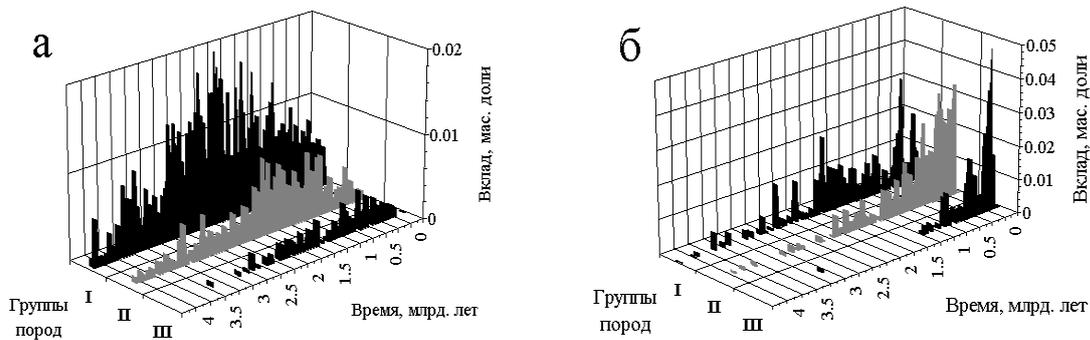


Рис. 3. Возрастная эволюция регионов ВЕП (а) и АП (б) по данным исследования выборок зерен циркона из опробованных аллювиальных и ледниковых отложений.

Принципиальные различия проявились и в ретроспективных модельных оценках скорости роста коры, полученных для регионов ВЕП и АП. Соответствующие кумулятивные кривые роста ее относительной массы (рис. 4) демонстрируют:

- для зрелой континентальной коры региона ВЕП – относительно медленное наращивание массы в диапазоне <3 млрд. лет, а затем примерно постоянную и высокую скорость роста в диапазоне ~1-3 млрд. лет с последующим закономерным ее снижением;
- для молодой коры региона АП – начало интенсивного и постоянно ускоряющегося роста только начиная с рубежа ~0,8 млрд. лет.

Как видно из рис. 4, модель роста коры региона ВЕП сопоставима с принципиально аналогичной, но более общей моделью (ЗК), построенной (Шнюков, 2003; Шнюков и др., 2005) для представительного сегмента континентальной земной коры (Кавказ, УЦ, Балтийский и Леоно-Либерийский щиты) по результатам геохимического изучения большой выборки (N = 1786) терригенных цирконов. Из других известных моделей роста континентальной коры (рис. 4), построенных на иных принципах (Тейлор и Мак-Леннан, 1988 и др.), к моделям ВЕП и ЗК приближается модель McCulloch & Bennett (1994), использующая Sm-Nd модельный возраст пород и их площадную распространенность в качестве оценки объемных соотношений.

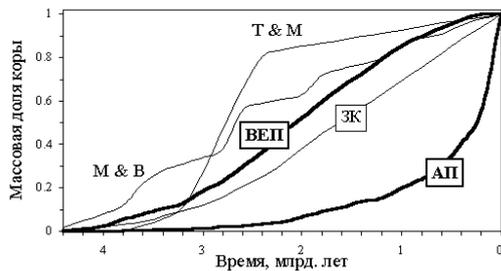


Рис. 4. Модели роста континентальной коры регионов ВЕП и АП, построенные по данным геохимического изучения соответствующих выборок единичных зерен циркона. Для сопоставления приведена модель ЗК (Шнюков, 2003; Шнюков и др., 2005), а также модели McCulloch & Bennett (1994) (М & В), Тейлора и Мак-Леннана (1988) (Т & М).

Заметим, что значительно более объективная оценка объемных соотношений, основанная на возможности инструментальной оценки массы зерен, является принципиальным преимуществом предложенных моделей. Однако его полная реализация требует перехода от “возраста кристаллизации”, каковым, по сути, является T_0 с присущими ему недостатками, к использованию U-Th-Pb и перспективной Lu-Hf изотопных систем в цирконах с получением модельного возраста зерен (“возраст поступления вещества в земную кору” аналогичный модельному Sm-Nd). Это возможно лишь при условии рационального (двухэтапного) комплексирования XRF-MP/SG с локальными масс-спектрометрическими методами, в первую очередь с LAM-ICP-MS. Последние, при всех преимуществах, дороги в использовании, не позволяют анализировать наиболее мелкие, часто преобладающие в популяциях индивиды и не обеспечивают простой инструментальной оценки их массы.

4.2. Монацит

В пробах из ледниковых отложений АП монацит полностью отсутствует, но он был обнаружен в пробах, отобранных из аллювиальных и ледниковых отложений Украины. Близость возрастных спектров зерен монацита из этих проб позволила объединить их в единую выборку, характеризующую регион ВЕП в качестве питающей провинции.

В результате ее исследования получена принципиально новая информация о наличии не одного, известного ранее по результатам изотопного датирования, а двух дискретных возрастных этапов интенсивного формирования этого минерала с максимумами, соответственно, 2,0-2,2 и 0,5-0,7 млрд. лет в ходе эволюции континентальной земной коры этого региона (рис. 5).

Первый из них (2,0-2,2 млрд. лет) синхронен целому ряду важных геологических событий глобального характера, существенно модифицировавших земную кору (например, интенсивное развитие калиевого гранитоидного магматизма, массовое появление гидротермальных месторождений урана и т.п.). Такое синхронное и принципиальное изменение состава коры (резкое изменение соотношения вкладов относительно основных бескварцевых и кремнекислых породных разновидностей в пользу последних), которое зафиксировано и по данным исследования цирконов региона ВЕП (см. выше), наглядно показано на рис. 3а. Кроме того, как видно из рисунка, оба этапа предположительно приурочены к выделенным по этим же данным наиболее вероятным возрастным диапазонам (1,6-2,5 и 0,4-1,5 млрд. лет) преимущественного формирования гранитоидов повышенной кремнекислотности и гидротермальных образований (группа Ш).

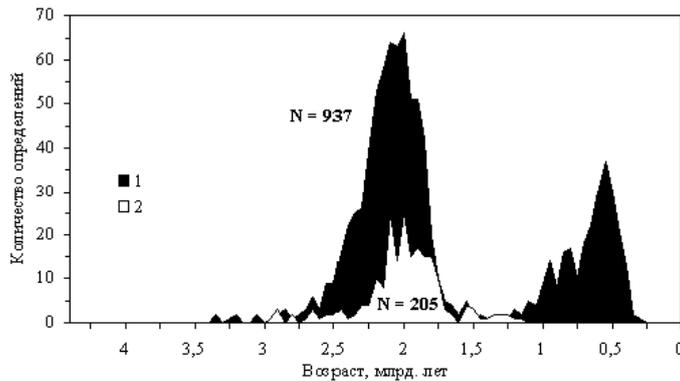


Рис. 5. Возрастной “спектр” изученной объединенной выборки единичных зерен монацита из аллювиальных и ледниковых отложений Украины (1) в сопоставлении с имеющимися данными изотопного датирования монацита (Щербак и др., 1978) из кристаллических пород УЩ (2).

Последний вывод, наиболее важный для второго, молодого и неизвестного ранее этапа формирования монацита, подтверждается нашими последними данными (Лазарева и др., 2005) о наличии его наложенной генерации с аналогичной возрастной оценкой в метасоматитах многократно активизированной Суцано-Пержанской зоны северо-западной части УЩ.

Возможно, что этот этап имел глобальный характер, например, ему соответствует массовое пегматитообразование в Байкальском тектоно-магматическом цикле (Овчинников, 1990).

5. Выводы

1. Выполненная Hf-Y и Pb-Th-U систематика зерен циркона из ледниковых и аллювиальных отложений, которым соответствуют две контрастные в геологическом отношении области питания – Украинский щит с прилегающей частью Восточно-Европейской платформы и Антарктический полуостров (Западная Антарктида), позволила впервые получить приближенные оценки массовых (объемных) соотношений их ведущих петротипов, частично или полностью денудированных в настоящее время, а также охарактеризовать и сопоставить изменение таких соотношений во времени.

2. Геохимическое исследование популяций зерен монацита из ледниковых и аллювиальных отложений, которые в качестве области питания характеризуют Украинский щит и прилегающую часть Восточно-Европейской платформы, позволило получить принципиально новую информацию о наличии не одного, известного ранее по результатам изотопного датирования, а двух дискретных возрастных этапов интенсивного формирования этого минерала с максимумами, соответственно, 2,0-2,2 и 0,5-0,7 млрд. л. в ходе эволюции континентальной земной коры этого региона.

3. Установленные этапы формирования монацита конечно требуют дальнейшего детального исследования. Однако уже сейчас ясно, что картирование их проявлений в пределах, например, древних щитов, к которым относится и Восточная Антарктида, может дать принципиально новую информацию о геодинамике и эволюции коры. Оптимальным средством ее получения является обсуждаемая исследовательская технология. Ее применение к различным частям (ледосборным бассейнам) Антарктиды позволит относительно быстро получить принципиально новую глобальную геологическую информацию для всего континента в целом. Данная работа является первым вкладом в такой перспективный исследовательский проект “Circum Antarctic Zircon Census” (CAZIC), который планируется реализовать в рамках ИПУ 2007/2008 путем широкого международного сотрудничества.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Киевского национального университета имени Тараса Шевченко в рамках госбюджетных научно-исследовательских тем 0197U003159 и 01БФ049-01 программы «Надра». Авторы признательны Национальному антарктическому научному центру Министерства образования и науки Украины в лице В.А. Литвинова и Г.П. Милиневского за предоставленную возможность участия в сезонных работах 7-й, 8-й, 9-й и 10-й Украинских антарктических экспедиций и стимулирующий интерес к результатам исследований, а также А.Л. Бункевичу, А.А. Андрееву, О.Д. Омельчук, Е.А. Хлонь, И.А. Андреевой, И.И. Сотниковой и И.И. Ашировой за содействие в выполнении аналитических и минералогических исследований.

Литература

Андреев А.В. Современные возможности метода общего свинца в радиогеохронологических исследованиях // Геол. журн. - 1992. - № 6. - С. 125–130.

Андреев А.В., Шнюков С.Е., Савенок С.П. и др. Реконструкция областей питания и критерии стратиграфического расчленения терригенных образований таврической серии Крыма по данным исследования вещественного состава песчаников. Статья 2: Результаты геохимического изучения терригенных цирконов из песчаников таврической серии // Геол. журн. - 1998. - № 3-4. - С. 66-74.

Бахмутов В.Г. Геологический обзор архипелага Аргентинские острова и прилегающих территорий Антарктического полуострова // Бюл. укр. антарк. центр. - 1998. - Вып. 2. - С. 77-84.

Геохронологическая шкала докембрия Украинского щита. // Под ред. Э. В. Собоновича - Киев: Наук. думка, 1989. - 144 с

Грикуров Г.Э. Геология Антарктического полуострова. - М.: Наука, 1973. - 214 с.

Лазарева І.І., Шнюков С.Є., Андреев О.В. та ін. Геохімічне дослідження акцесорних мінералів метасоматитів як засіб встановлення їх генетичного зв'язку з магматичними комплексами (на прикладі рудоносних утворень Суцано-Пержанської зони та гранітоїдів Коростенського плутону) // Зб. наук. праць УкрДГРІ. - 2005. - № 1. - С. 137-144.

Овчинников Л.Н. Прикладная геохимия. - М.: Недра, 1990. - 248 с.

Савенок С.П. Установка для дослідження елементів-домішок у монокристалічних об'єктах малої маси методом рентгеноспектрального флуоресцентного аналізу // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. - 2005. - № 1. - С. 82-85.

Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция (рассмотрение геохимической летописи, запечатленной в осадочных породах). - М.: Мир, 1988. - 379 с.

Чебуркин А.К., Андреев А.В., Проскурка К.С. Установка для многоэлементного рентген-флуоресцентного анализа малых количеств вещества. // Приборы и техника эксперимента. - 1984, - №3, - С. 208-212.

Шнюков С.Є., Чебуркин А.К., Андреев А.В. Геохимия "сквозных" сосуществующих акцесорных минералов и ее роль в исследовании эндо- и экзогенных геологических процессов // Геол. журн. - 1989. - 49, № 2. - С. 107-114.

Шнюков С.Є., Чебуркин А.К., Андреев А.В. Перспективы, проблемы и возможная методика терригенно-минералогических исследований с использованием типохимических особенностей «сквозных» терригенных минералов // Геол. журн. - 1991. - № 6. - С. 100-115.

Шнюков С.Є. Геохимия сквозных акцесорных минералов в терригенно-минералогических и прогнозно-поисковых исследованиях / Геологические проблемы Черного моря. - Киев: ОМГОР ННПМ НАН Украины, 2000. - С. 55-78.

Шнюков С.Є. Геохимические модели эволюции магматических систем и земной коры: потенциальный источник петрофизической и рудогенетической информации // Геофиз. журн. - 2002. - Т. 24, № 6. - С. 201-219.

Шнюков С.Є., Андреев А.В., Белоусова Е.А., Савенок С.П. Рентгено-флуоресцентный анализ микроколичеств вещества в геохимии акцесорных минералов: исследовательские возможности в сопоставлении с локальными аналитическими методами // Мин. журн. - 2002. - Т. 24, № 1. - С. 80-95.

Шнюков С.Є. Геохимическая классификация цирконов и апатитов из различных типов горных пород и руд: современное состояние, применение и перспективы развития // Геол. журн. - 2003. - № 1. - С. 99-103.

Шнюков С.Є. Геохімія елементів-домішок в найбільш розповсюджених акцесорних мінералах: Автореф. дис. ... докт. геол. наук. - Київ, 2003. - 35 с.

Шнюков С.Є., Андреев О.В., Савенок С.П., Лазарева І.І. Перспективні науково-дослідні та прогнозно-пошукові технології регіональних геохімічних досліджень // Зб. наук. праць УкрДГРІ. - 2005. - № 1. - С. 130-136.

Щербак Н.П., Злобенко И.Г., Жуков И.В. Каталог изотопных дат пород Украинского щита. - Киев: Наук. думка, 1978. - 223 с.

Belousova E.A., Griffin W.L., O'Reilly Suzanne Y., Fisher N.I. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type // Contrib. Mineral. Petrol. - 2002. - Vol. 143. - P. 602-622.

McCulloch M.T., Bennet V.C. Progressive growth of the Earth's continental crust and depleted mantle: Geochemical constraints // Geochim. et Cosmochim. Acta. - 1994. - Vol. 58, No 21. - P. 4717-4738.

Phosphates: Geochemical, Geobiological, and Materials Importance // Matthew J. Kohn, John Rakovan & John M. Hughes (Eds.) - Reviews in Mineralogy & Geochemistry. - 2002. - Vol. 48. - 742 pp.

Savenok S.P., Shnyukov S.E., Andreev A.V., Morozenko V.R., Omelchuk O.D. Region-scale geological investigations of the subglacial terranes of Antarctica: main rock types identification and terrane-scale geological events determination on a basis of single-grain trace element geochemistry of zircon large detrital populations from glacial sediments (Antarctic Peninsula as an example) // 2nd Ukrainian Antarctic Meeting (2UAM2004 June 22-23, 2004, Kyiv, Ukraine). Abstracts. - Kyiv, 2004. - P. 35.

Shnyukov S.E., Andreev A.V., Savenok S.P. Admixture elements in zircons and apatites: a tool for provenance studies of terrigenous sedimentary rocks // EUG 9, 23-27 March 1997, Strasbourg (France). - Terra Nova. - 1997. - Vol. 9. (Abstract Supplement № 1) - P. 597.

Shnyukov S.E., Andreev A.V., Savenok S.P. Monitoring of the region-scale geological/metallogenic events on a basis of single-grain trace element geochemistry of zircon, monazite and apatite large detrital populations: Ukrainian Shield and some other regions as an example // International Symposium "Metallogeny of Precambrian Shields" (Kiev, Ukraine, September 13-26, 2002). The Abstracts. - Kiev, 2002. - 83-85 pp.

Suzuki K., Adachi M. Precambrian provenance and Silurian metamorphism of the Tsubonosawa paragneiss in the South Kitakami terrane, Northeast Japan, revealed by the chemical Th-U-total Pb isochron ages of monazite, zircon and xenotime. - *Geochem. J.* - 1991. - Vol. 25. - P. 357-376.

Zircon // John M. Hancher & Paul W. O. Hoskin (Eds.) — *Reviews in Mineralogy & Geochemistry.* - 2003. - Vol. 53. - 500 pp.