

УДК 550.93 (477)

**С.Б. Лобач-Жученко¹, В.В. Балаганский², Ш.К. Балтыбаев¹, Л.М. Степанюк³,
А.Н. Пономаренко³, К.И. Лохов⁴, М.Ю. Корешкова⁴, А.В. Юрченко¹,
Ю.С. Егорова¹, В.В. Сукач³, Н.Г. Бережная⁵, Е.С. Богомолов¹**

¹ Институт геологии и геохронологии докембрия РАН
199034, г. Санкт-Петербург, Россия, наб. Макарова, 2
E-mail: slobach-zhuchenko@mail.ru

² Геологический институт КНЦ РАН
184209, Мурманская обл., г. Апатиты, Россия, ул. Ферсмана, 14

³ Институт геохимии, минералогии и рудообразования
им. Н.П. Семеново НАН Украины
03680, г. Киев-142, Украина, пр. Акад. Палладина, 34

⁴ Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования
"С.-Петербург. гос. ун-т"
199034, г. Санкт-Петербург, Россия, Университетская наб., 7/9

⁵ ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского
199106, г. Санкт-Петербург, Россия, Средний пр., 74

ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОБУЖСКОГО ГРАНУЛИТОВОГО КОМПЛЕКСА ПО ДАННЫМ ИЗОТОПНО-ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ (СРЕДНЕЕ ПОБУЖЬЕ, УКРАИНСКИЙ ЩИТ)

В статье изложены результаты изучения геологии, состава, возраста, этапов преобразования породной ассоциации, вскрытой Одесским карьером (правый борт долины р. Южный Буг, севернее с. Завалье). Наиболее древняя составляющая побужского гранулитового комплекса — гнейсо-эндербиты. Эти породы крайне неоднородны: среди них наблюдаются массивные разности со слабо проявленной сланцеватостью, более рассланцованные с намечающимся обособлением кварц-полевошпатового материала, а также милонитизированные, полосчатые и мигматизированные гнейсо-эндербиты. Другая черта неоднородности гнейсо-эндербитов — присутствие в них практически повсеместно включений кристаллосланцев. В северной части карьера распространены супракрустальные породы, образующие небольшую субширотно ориентированную линзу. Она сложена кристаллосланцами, кварцитами, гранатовыми, гранат-пироксеновыми и гранат-магнетитовыми кварцитами. Переслаивание кристаллосланцев с осадками указывает на их вулканогенную природу. Кристаллосланцы деформированы совместно с эндербитами, значительно переработаны и присутствуют в виде отдельных полос меланократового материала либо изолированных включений. Зафиксированы включения метаортопироксенитов и метагартбургитов палео- и мезоархейского возраста. На основании полученных данных выделены такие основные геологические события: 1) формирование гнейсо-эндербитов 3,65–3,6 млрд лет назад, 2) внедрение (?) ультрамафитов (ранее 3,45 млрд лет), 3) накопление осадочно-вулканогенных пород — 3,4–3,2 млрд лет, 4) неоархейская структурно-метаморфическая переработка: метаморфизм и метасоматоз ультрамафитов, метаморфизм и ультраметаморфизм гнейсо-эндербитов (2,9–2,8 млрд лет назад), 5) внедрение даек гранитов и мафитов, 6) палеопротерозойская структурно-метаморфическая переработка: деформации, приведшие к формированию shear зоны (*shear zone*), гранулитовый метаморфизм (~ 2 млрд лет). Эти события проявлены с различной интенсивностью в разных частях Одесского карьера в виде структурно-вещественной, изотопной и/или геохимической переработки более ранних породных ассоциаций и минеральных парагенезисов.

Ключевые слова: циркон, *Shrimp* датирование, гранулитовый комплекс, гнейсо-эндербиты, Среднее Побужье, Украинский щит.

© С.Б. ЛОБАЧ-ЖУЧЕНКО, В.В. БАЛАГАНСКИЙ, Ш.К. БАЛТЫБАЕВ, Л.М. СТЕПАНЮК, А.Н. ПОНОМАРЕНКО, К.И. ЛОХОВ, М.Ю. КОРЕШКОВА, А.В. ЮРЧЕНКО, Ю.С. ЕГОРОВА, В.В. СУКАЧ, Н.Г. БЕРЕЖНАЯ, Е.С. БОГОМОЛОВ, 2013

Введение. Проведены детальные исследования в Одесском карьере, который вскрывает побужский гранулитовый комплекс на площади ~ 0,06 км². На этой территории обнажены различные по составу и возрасту породы, среди которых преобладают гнейсо-эндербиты. Характерная особенность геологического строения района — присутствие в гнейсо-эндербитах многочисленных включений метаморфизованных тел ультрамафитов и мафитов (рис. 1). Именно в этом карьере для гнейсо-эндербитов классическим U-Pb методом (*ID-TIMS*) по ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb отношению был получен наиболее древний на момент изучения возраст — 3393 ± 66 млн лет [11]. Позднее для ядер цирконов из этого же образца локальным методом (*SIMS*) получено значение 3755 ± ± 6 млн лет [12]. Дальнейшие исследования позволили установить наличие в гнейсо-эндербитах разновозрастных конкордантных цирконов [1, 4, 6], наиболее древние из которых палеоархейского возраста. Таким образом, гнейсо-эндербиты Одесского карьера можно отнести к наиболее древним породам, которые впоследствии испытали различные преобразования как на уровне минеральных парагенезисов (развитие новых ассоциаций наряду с изменением компонентного состава минералов), так и на уровне изотопных и геохимических особенностей минералов, в частности циркона. Все это позволяет максимально полно проследить многоэтапную эндогенную эволюцию, основываясь на структурно-вещественных и геохимических особенностях породы в целом и отдельных наиболее информативных минералов.

Цель. Наша работа посвящена результатам изучения геологии, состава, возраста, этапов преобразования гнейсо-эндербитов и некоторых ключевых пород Одесского карьера и базируется на полевых исследованиях, проведенных в 2008 и 2010—2012 гг.

Методика исследования. Исследования U-Pb и Lu-Hf изотопных систем проведены во ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского (Санкт-Петербург). U-Pb возраст цирконов определен на масс-спектрометре *SHRIMP II (SIMS)*, U-Pb методика описана в работе [14]. Определение параметров Lu-Hf системы проведено в тех же точках, что и U-Pb системы при помощи *LA-MC-ICP-MS Thermo Finnigan Neptune* с системой лазерной абляции *New Wave DUV-193* по методике [7]. Sm-Nd изотопное ис-

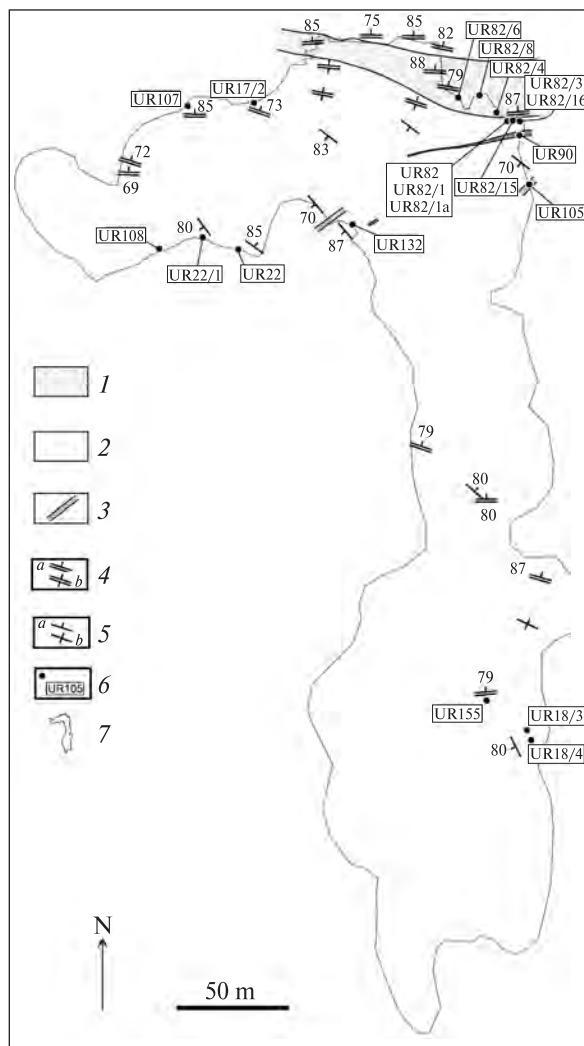


Рис. 1. Схематическая карта Одесского карьера с указанием обнажений и образцов: 1 — кристаллосланцы (метавулканиты), кварциты: гранатовые, гранат-биотитовые, гранат-пироксеновые и гранат-магнетитовые; 2 — гнейсо-эндербиты; 3 — дайки трахибазальтов; 4 — сланцеватость, полосчатость в зонах субширотного расланцевания (*a* — наклонные, *b* — вертикальные); 5 — ранние северо-западные сланцеватость и полосчатость (*a* — наклонные, *b* — вертикальные); 6 — места отбора и номера образцов; 7 — контур карьера

Fig. 1. Schematic map of the Odessa open pit with indication to the exposures and samples: 1 — crystalloschists (metavolcanites), quartzites: garnet, garnet-biotitic, garnet-pyroxene and garnet-magnetite; 2 — gneiss-enderbites, 3 — dykes of trahybasalts; 4 — schistosity, banding in zones of sublatitudinal schist formation (*a* — inclined, *b* — vertical); 5 — early northwest schistosity and banding (*a* — inclined, *b* — vertical); 6 — places of sampling and numbers of samples; 7 — open pit contour

следование выполнено в Институте геологии и геохронологии докембрия (ИГГД) РАН (Санкт-Петербург). Подготовка проб для Sm-Nd изотопных анализов, включая химическое

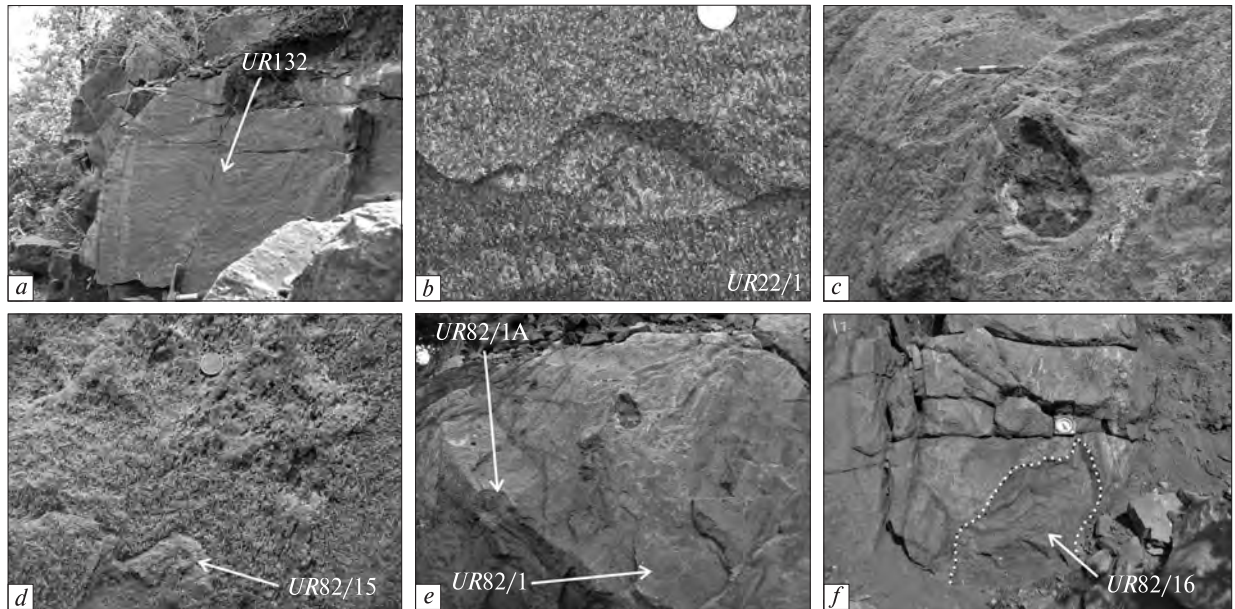


Рис. 2. Характер расланцевания и мигматизации гнейсо-эндербитов: *a* — массивный гнейсо-эндербит (обн. UR132, в обнажении можно увидеть субмеридиональную крутую сланцеватость); *b* — отчетливо сланцеватый гнейсо-эндербит с начальной стадией обособления кварц-полевошпатового материала (обн. UR22; *c–f* — обн. UR82 (шеар зона), *c, d* — сильно расланцованный и неоднородный по составу гнейсо-эндербит, содержащий включения метаортопироксенитов; *e* — гнейсо-эндербит с отчетливо обособленной лейкосомой; *f* — включение кристаллосланца в гнейсо-эндербите

Fig. 2. Nature of various degree of schistosity and a migmatization of gneiss-enderbites; *a* — massive gneiss-enderbite (exposure UR132, submeridional steep schistosity might be found in the exposure); *b* — clearly schistose gneiss-enderbite with initial stage of segregation of quartz-feldspar matter (exposure UR22); *c–f* — exp. UR82 (shear zone): *c, d* — strongly schistosed and non-uniform on composition gneiss-enderbite, containing inclusions of methaorthopyroxenites; *e* — gneiss-enderbite with distinctly separated leucosome; *f* — crystalloschist inclusion in gneiss-enderbite

разложение и последующее выделение элементов методом ионообменной хроматографии, описана в работе [9]. Определение изотопного состава неодима проводили на многоколлекторном твердофазном масс-спектрометре Triton. Возраст палеопротерозойских пород определен на масс-спектрометре МИ-1201 АТ в Институте геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семененко НАН Украины (Киев). Главные элементы твердофазных включений в цирконах изучены в ИГГД РАН на растровом электронном микроскопе JSM-6510LA с энергодисперсионным спектрометром JED-2200 (JEOL).

Краткая структурная характеристика. Основной структурный узор в гнейсо-эндербитах, доминирующих в Одесском карьере, определяется ориентировкой сланцеватости и метаморфогенной и/или мигматитовой полосчатости, представленной в темно-сером ортопироксенсодержащем сланцеватом кислом субстрате кварц-полевошпатовыми полосами мощностью от нескольких миллиметров до 10–20 см. В структурном узоре четко выделя-

ются два ведущих компонента: субвертикальные сланцеватость и полосчатость северо-западного простирания и наложенные на них более поздние и также субвертикальные зоны субширотного расланцевания (зоны пластического сдвигового течения, *shear zones*). Субширотное расланцевание во многих местах характеризуется милонитовыми текстурами. Отличительной особенностью плоскостных текстур этих двух главных этапов деформации (ранние, северо-западные и более поздние, наложенные на них субширотные структуры) служит кругая минеральная и агрегатная линейность.

Среди гнейсо-эндербитов северо-западного простирания в обн. UR132 был выявлен однородный и относительно слабо расланцованный субстрат эндербито-гнейсов (рис. 2, *a*). Сланцеватость в этом реликтовом субстрате почти вертикальна и имеет субмеридиональное простирание, также воспринимаемое как реликтовое. Аналогичная ситуация зафиксирована нами в карьере Казачий Яр: кругая субмеридиональная ориентировка сланцева-

тости эндербито-гнейсов в обнажении, где получено наиболее древнее значение возраста (3,65 млрд лет [1]). Мы полагаем, что указанная крутая субмеридиональная сланцеватость может отражать наиболее раннюю деформацию исходных для эндербито-гнейсов пород (самые ранние, субмеридиональные структуры), однако этот вывод нуждается в подкреплении новыми наблюдениями.

Субширотные структуры доминируют на севере карьера, в супракрустальной толще и

гнейсо-эндербитах, непосредственно ее обрамляющих (рис. 1). Они, по-видимому, образовались в течение нескольких этапов рассланцевания. Возраст наиболее раннего субширотного рассланцевания оценивается как позднемезоархейский. Рассланцевание сопровождалось мигматизацией и отчетливо проявилось в гнейсо-эндербитах, окаймляющих с юга супракрустальную толщу (т. е. в главной зоне субширотного сдвигового течения). Для кристаллосланцев, содержащих гранат, полу-

Таблица 1. Возраст главных геологических событий в гранулитах, вскрытых Одесским карьером

Table 1. Ages of main geological events found in granulites exposed in the Odessa open pit

Geological event	Sample	Age, Ma			
		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	Disc.	Isochrones	Standard deviation
<i>Stage 3.75–3.6 Ga</i>					
Formation of gneiss-enderbite protolith	186*	3768 ± 6	2,2		
		3755 ± 6	–0,4		
		3728 ± 12	–0,1		
	UR108	3670 ± 11	1		
	BG38**	3633 ± 8,5	–2		
	UR82/1a	3619 ± 14	2	3579 ± 6	2,9
<i>Stage 3.6–3.35 Ga</i>					
Formation of gneiss-enderbite (early metamorphism)	UR82/1a	3576 ± 9	0		
	UR22/1	3506 ± 37	3	3566 ± 130	4,1
	UR132	3482 ± 21	2		
Granulitic metamorphism of orthopyroxenites	UR83/3, UR82	3487 ± 4	0	3485 ± 33	1,6
	UR107	3313 ± 7	0	3334 ± 70	3,5
<i>Stage 3.0–2.75 Ga</i>					
Ultrametamorphism of gneiss-enderbites	UR82/15	2934 ± 5	2		
		3047 ± 10	0	2931 ± 190	19
Metamorphism of gneiss-enderbites	UR22/1	2870 ± 22	1		
Metamorphism and metasomatism of harzburgites	UR17/2	2833 ± 13	3		
		2779 ± 15	0		
		2774 ± 15	0		
		2785 ± 7	0		
Metamorphism of orthopyroxenites	UR107	2861 ± 9	0		
Metamorphism of crystalloshists	UR82/4	2828 ± 17	0		
<i>Stage 2.1–1.9 Ga</i>					
Metamorphism of gneiss-enderbites	UR108	2080 ± 23	2		
	BG38**	2077 ± 33	0,4		
		2046 ± 29	0,3		
Metamorphism of mafic dykes***	E-31			1965 ± 14****	150
Dykes of methatrahysalts	UR105			1988,1 ± 4,2****	50
Dike of pegmatitic granite	UR82/8	2013 ± 3****			

П р и м е ч а н и е. * Данные из работы (Claesson et al., 2006); ** данные из работы (Бибикина и др., 2012); *** датирована дайка мафитов в карьере Казачий Яр; **** возраст получен методом TIMS.

N o t e. * Data from the work (Claesson et al., 2006); ** Data from the work (Bibikova et al., 2012); *** Dating of mafic dyke in the open pit Kazachy Yar; ****Age obtained by TIMS method.

чен возраст 2828 ± 17 млн лет (табл. 1), отвечающий раннему метаморфическому событию.

Позднее субширотное рассланцевание характеризуется развитием милонитовых текстур, которые в обн. UR155 под углом в несколько градусов срезаются поздней ортопироксенсодержащей дайкой метабазитов, подобной метабазитовой дайке в карьере Казачий Яр, содержащей циркон возрастом 1,96 млрд лет [3]. Самое позднее субширотное рассланцевание в обн. UR18 наложено на гранитную жилу.

Гнейсо-эндербиты. Наиболее древняя составляющая побужского гранулитового комплекса — гнейсо-эндербиты. Эти породы крайне неоднородны: среди них наблюдаются массивные разности со слабо проявленной сланцеватостью (рис. 2, *a*), более расланцованные с намечающимся обособлением кварц-полевошпатового материала (рис. 2, *b*), а также милонитизированные, полосчатые и мигматизированные гнейсо-эндербиты (рис. 2, *c*, *d*; обн. UR82). Другой чертой неоднородности гнейсо-эндербитов служит присутствие в них практически повсеместно включений кристаллосланцев. Кристаллосланцы деформированы совместно с эндербитами, в обн. UR82 они значительно переработаны и присутствуют в виде отдельных полос меланократового материала (рис. 2, *e*), а также в виде изолированного включения (рис. 2, *f*).

U-Pb возраст цирконов из гнейсо-эндербитов измерен в образцах UR132, UR108, UR22/1, UR82/1, UR82/15 и UR82/1a. Обнажения UR22, UR108 и UR132 располагаются вне главной субширотной сдвиговой зоны.

Обн. UR22 сложено неравномерно расланцованными гнейсо-эндербитами (рис. 2, *b*), в его центральной части располагается крупное включение ультрамафитов (см. ниже). В обр. UR22/1 наиболее древний субконкордантный возраст отвечает значению 3506 ± 37 млн лет ($disc. = 3\%$). Дискордия, построенная по всем зернам, пересекает конкордию у значения 3566 ± 130 млн лет; нижнее пересечение — 2071 млн лет, СКВО = 4,1. Вторая дискордия для цирконов из этого образца пересекает конкордию у значения 2865 ± 41 млн лет (СКВО = 0,34), отмечая влияние позднеархейского процесса. Неоднократность процессов отражена в морфологии цирконов и особенностях внутреннего строения. В катодолюминесценции (CL) большинство зерен имеют

внутреннюю зональную фазу и срезающую ее оболочку. Ряд зерен имеют неправильное по форме и сложное по строению ядро [6]. U-Pb данные отражают влияние и палеопротерозойских процессов (табл. 1).

Обн. UR108 расположено вблизи обн. UR22 (рис. 1). Большая часть зерен характеризуется значительной дискордантностью. Наибольшее значение возраста — 3670 ± 11 млн лет — получено для ядерной части зонального зерна циркона (табл. 1). Возраст от 3,5 до 3,1 млрд лет относится к центральным частям в различной степени измененных зерен. Многие центральные части зерен содержат твердофазные включения кварца, плагиоклаза и калиевого полевого шпата. Два зерна циркона имеют в CL отчетливое строение "елочки", что типично для цирконов гранулитовой фации [2]. В трех измеренных точках этих кристаллов выявлены дискордантные значения возраста 3160—2892 млн лет. Им соответствуют пониженные значения содержания Th и U, что, по-видимому, также отражает влияние гранулитового метаморфизма. Каймы, окружающие ядра, характеризуются значениями возраста в интервале 2698—2111 млн лет и, как правило, пониженным содержанием Th и U. Для одного зерна получен субконкордантный возраст 2080 ± 23 млн лет, фиксирующий, вероятно, один из наложенных процессов (табл. 1).

Цирконы из обр. UR132, судя по характеру внутреннего строения, выявленного в CL, принадлежат разным генерациям. Наиболее древнее значение возраста для одного из зерен циркона из этой пробы — 3482 ± 21 млн лет ($disc. = 2\%$). Это зерно циркона, как и другие, возраст которых близок к 3,5 млрд лет, отличается от остальных цирконов прозрачностью, отсутствием включений и следов переработанных ядер, а также низким содержанием U и Th — 45—52 и 43—55 ppm соответственно. Они выделяются среди других цирконов обр. UR132 крайне низким содержанием легких РЗЭ, высокой аномалией Ce/Ce* и рядом других геохимических особенностей. Весьма вероятно, что возраст этих цирконов указывает на реальное магматическое или метаморфическое событие.

Обн. UR82 расположено на границе с супра-крупным комплексом в главной субширотной сдвиговой зоне (рис. 1), что, наряду с другими факторами, определило значитель-

ную неоднородность гнейсо-эндербитов. Главными минералами гнейсо-эндербита UR82/1 служат кварц, андезин, орто- и клинопироксен, второстепенными (менее 10 %) — калишпат, биотит и амфибол, акцессорными — ильменит, магнетит, циркон и апатит. Наблюдается полосчатое распределение лейко- и меланократовых минералов. Лейкократовые микрополосы сложены кварцем, антипертитовым плагиоклазом (An 35—41) и калиевым полевым шпатом. Последний образует единичные самостоятельные зерна, но присутствует главным образом в виде антипертитовых вростков в плагиоклазе.

Проанализированы цирконы из трех образцов: UR82/1, UR82/1a и UR82/15 (рис. 2, e) рассматриваемого обнажения. Самые древние значения возраста определены в обр. UR82/1a, взятом из наиболее лейкократовой и однородной части гнейсо-эндербитов. Три зерна циркона дали субконкордантные ($disc. = 0-2\%$) значения возраста: 3619 ± 14 , 3576 ± 9 и 3589 ± 5 млн лет. Они образуют дискордию с возрастом верхнего пересечения 3579 ± 6 млн лет, СКВО = 2,9 (рис. 3).

С тектоно-метаморфическими процессами, последовавшими после этапа накопления супракратального комплекса, связано локальное появление в гнейсо-эндербитах обн. UR82 (обр. UR82/1, рис. 1) цирконов возрастом 3,15 млрд лет [4]. Зерна таких цирконов крупные, темные с просвечивающим зональным строением в CL. На диаграмме ϵ_{Nd} против ϵ_{Hf} (рис. 4) фигуративные точки анализов этих цирконов находятся в поле магматических пород.

Обр. UR82/15 взят из лейкосомы, которая представляет собой деформированные, сложноскладчатые образования, мощность которых составляет 2—4 см (рис. 2, f). Благодаря близкопараллельному расположению лейкосом мигматизированные эндербиты имеют отчетливо полосчатое строение; расстояние между соседними лейкосомами обычно не превышает 10—15 см. Переходы от лейкосомы к вмещающей породе четкие, без каких-либо признаков мезосомы. Лейкосомы состоят из гиперстена, клинопироксена, плагиоклаза, кварца, калиевого полевого шпата, единичных зерен биотита, рудного минерала и амфибола. Структура гранобластовая, участками гнейсовидная. В целом минеральный состав лейкосомы (Orx + Crx + Pl + Qtz +

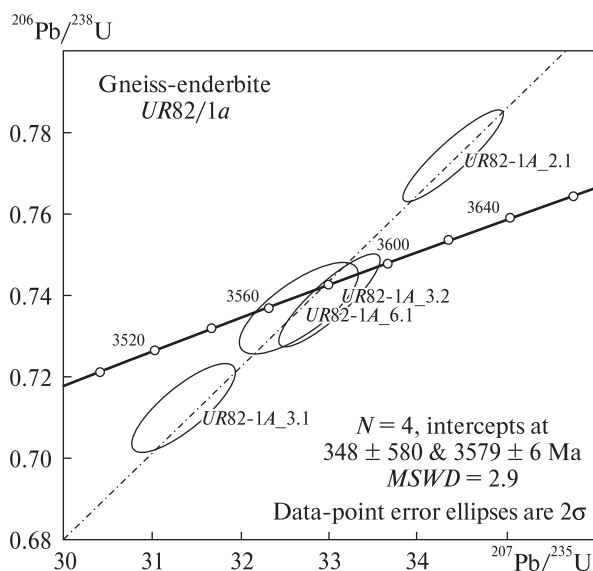


Рис. 3. SHRIMP-диаграмма гнейсо-эндербита из обн. UR82 (обр. UR82/1a)

Fig. 3. SHRIMP-diagram of gneiss-enderbite from exposure UR82 (sample UR82/1a)

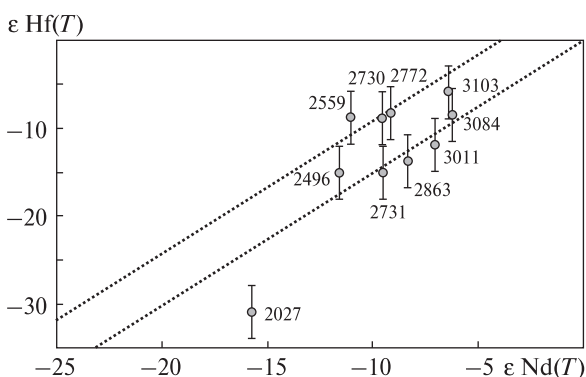


Рис. 4. Положение измеренных зерен циркона обр. UR82/1 на диаграмме ϵ_{Nd} vs ϵ_{Hf} [8]. Цирконы возрастом 3,1 млрд лет лежат в поле или вблизи поля магматических цирконов

Fig. 4. Location of measured grains of zircon sample UR82/1 on the diagram ϵ_{Nd} vs ϵ_{Hf} [8]. Zircons with the age 3.1 Ga are located into or close to the field of magmatic zircons

+ Kfs; Amph, Bt, рудный минерал) качественно сходен с составом эндербита.

Химический состав минералов лейкосомы и вмещающего эндербита также в основном идентичен. Фигуративные точки цирконов обр. UR82/15 на диаграмме с конкордией образуют поле, вытянутое вдоль линии дискордии с нижним пересечением в области значительного возраста 1,9—2,0 млрд лет. Очевидно, что наложенные процессы привели к дискордантности практически всех зерен, поэтому сде-

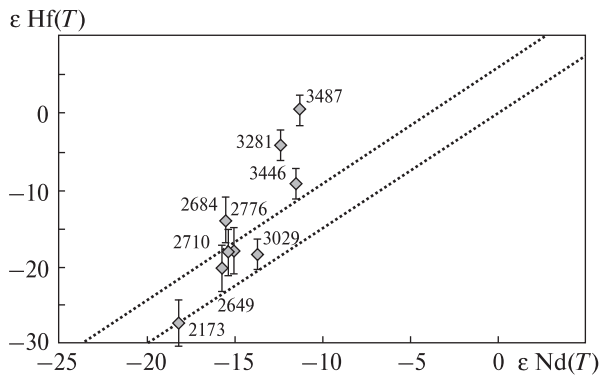


Рис. 5. Положение измеренных зерен циркона обр. UR82/3 на диаграмме ϵ_{Nd} vs ϵ_{Hf} [8]. Цирконы возрастом ~3,45 млрд лет лежат в поле метаморфогенных цирконов

Fig. 5. Location of the measured grains of zircon, sample UR82/3 on the diagram ϵ_{Nd} vs ϵ_{Hf} [8]. Zircons with the age of ~3.45 Ga are located in the field of metamorphic zircons

лать вывод об истинном времени допротерозойских событий по этим данным затруднительно. Дискордия, построенная по всем точкам, пересекает конкордию в области значения 3168 ± 180 млн лет при нижнем пересечении 1993 ± 250 . Для двух точек получены субконкордантные значения возраста: 2934 ± 5 млн лет ($disc. = 2\%$) и 3048 ± 10 ($disc. = 1\%$). Дискордия, проведенная по фигуративным точкам из оболочек разных зерен циркона, дала возраст 2931 ± 190 млн лет. С учетом широкого разброса значений возраста, мы относим время мигматизации к интервалу 2,9–3,0 млрд лет, который определяется единичными конкордантными значениями возраста и дискордией, построенной по всем измеренным внешним (перекристаллизованным) оторочкам циркона.

Включения метаортопироксенитов. Включения метаультрамафитов изучены в двух обнажениях: UR82 и UR107. В обн. UR82 (рис. 1) включения представлены метаортопироксенитами, имеющими небольшие размеры и почти изометричную форму (рис. 2, с, е). Они сложены орто-, клинопироксеном, плагиоклазом (<10%) и флогопитом. Получены две дискордии [4], пересекающие конкордию у значений 3485 ± 33 и 2742 ± 22 млн лет. Для этих же точек были получены параметры Lu-Hf изотопной системы, а для породы в целом определены параметры Sm-Nd изотопной системы. Использование методики определения генезиса цирконов в породе на основе сопоставления

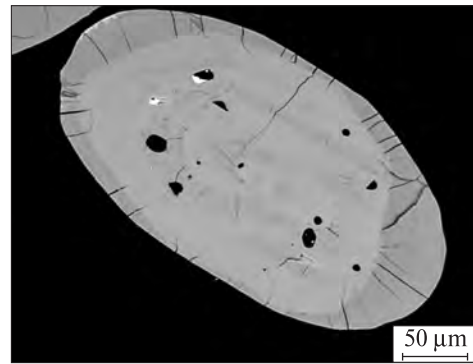


Рис. 6. Ксеногенное зерно циркона возрастом 3670 млн лет, присутствующее в популяции цирконов метаортопироксенита. Циркон содержит твердофазные включения кварца, биотита, полевого шпата

Fig. 6. Xenogenic zircon grain with the age of 3670 Ma, found in population of zircons from metaorthopyroxenites. Zircon contains solid phase inclusions of quartz, biotite, feldspar

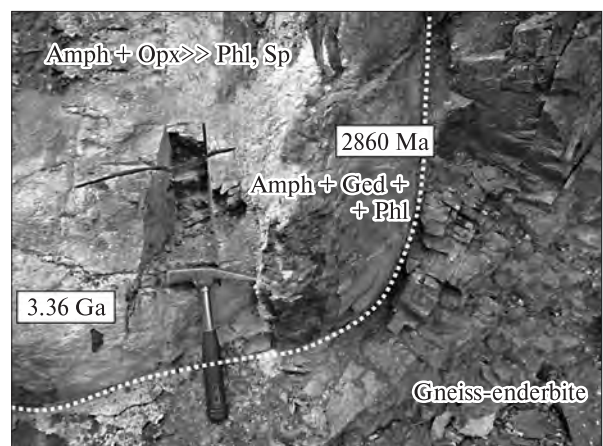


Рис. 7. Обн. UR107. Контакт амфиболового ортопироксенита с разгнейсованным гнейсо-эндербитом. Краевая часть ультрамафита представлена сланцеватой амфибол-жедрит-флогопитовой породой. Жедрит развивается по ортопироксену

Fig. 7. Exposure UR107. Contact of amphibolitic orthopyroxenite with gneissic gneiss-enderbite. Marginal part of ultramafic rock is represented by schistose amphibole-gedrite-phlogopite rock. Gedrite substituted pyroxene

Lu-Hf изотопной системы в индивидуальных участках цирконов и Sm-Nd изотопной системы в породе в целом [7] позволило показать, что возраст 3,48 млрд лет соответствует метаморфическому событию (предположительно гранулитовой фации, рис. 5), указывая на верхнюю границу возраста метаортопироксенитов. В одном из включений присутствует зерно циркона с $^{207}Pb/^{206}Pb$ возрастом 3670 ± 4 млн лет ($disc. = 3\%$) (рис. 6). Твердофаз-

ные включения в этом зерне циркона представлены кварцем, плагиоклазом и биотитом, что указывает на первичную принадлежность данного зерна к породе гранитоидного состава, т. е. он имеет ксеногенную природу. Таким образом, формирование протолита метаортопироксенитов произошло в интервале 3,67—3,49 млрд лет.

Метаортопироксениты обн. *UR107* слагают три расположенные вертикально одна над другой линзы, размеры которых измеряются первыми метрами. Они сложены преимущественно крупнокристаллическим ортопироксеном. В ортопироксенитах есть мелкозернистые темные участки, в которых наряду с ортопироксеном примерно в равном количестве присутствует паргасит, а также немного флогопита и шпинели. Краевые части самой крупной линзы расланцованы параллельно контакту с гнейсо-эндербитами (рис. 7). Расланцованные краевые зоны слагают роговая обманка, волокнистый жедрит (вероятно, образующий псевдоморфозы по ортопироксену), флогопит и рудный минерал. Породы из центра линзы содержат две генерации циркона. Циркон-1 образует призматические зональные зерна, возраст его равен 3334 ± 70 млн лет (рис. 8, 9). Циркон-2 представлен округлыми зернами, непрозрачными в *CL*; этот циркон преобладает в расланцованной краевой части. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраст конкордантного непрозрачного зерна равен 2861 ± 9 млн лет. Таким образом, включения метаортопироксенитов обн. *UR107* позволяют выделить, поми-

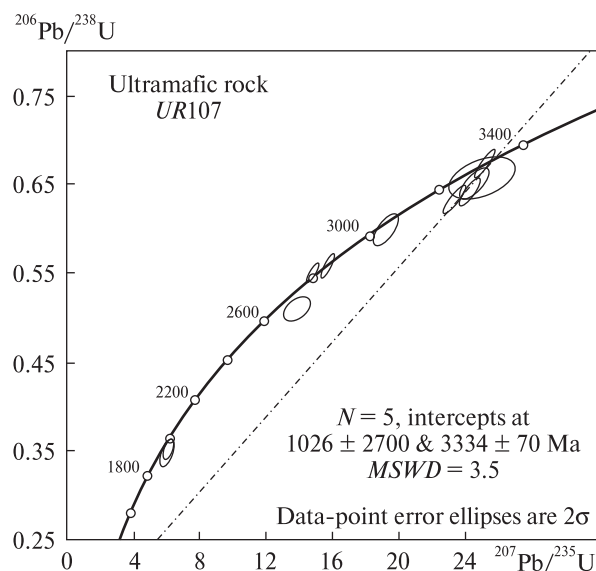


Рис. 8. SHRIMP-диаграмма цирконов амфиболовых ортопироксенитов, обн. *UR107*

Fig. 8. SHRIMP-diagram of zircons from amphibolitic orthopyroxenes, exposure *UR107*

мо этапа 3,49 млрд лет, установленного по метапироксенитам обр. *UR82*, еще два более молодых метаморфических события возрастом примерно 3,3 и 2,8 млрд лет.

Супракрустальный комплекс. Одновременно с эндогенными событиями, происходящими в средней и/или нижней коре, на поверхности был сформирован осадочно-вулканогенный комплекс (рис. 10). Супракрустальные породы образуют небольшую линзу субширотной ориентировки (рис. 1). Она сложена кристаллосланцами, кварцитами, гранатовыми, гра-

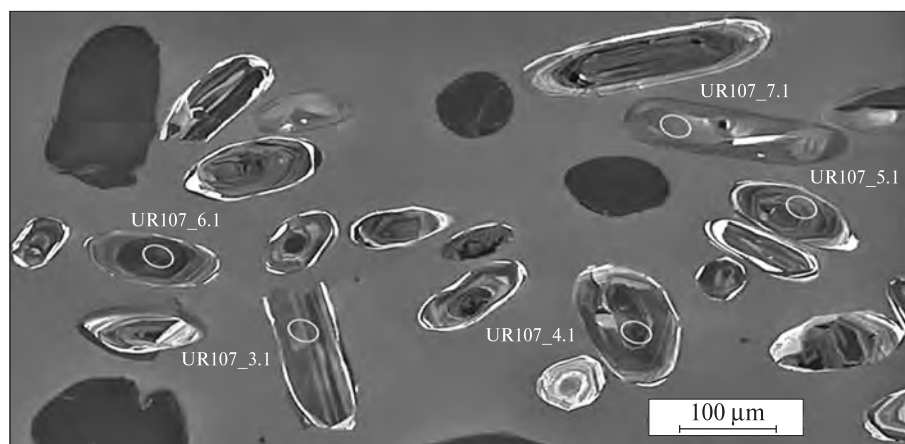


Рис. 9. Цирконы обр. *UR107* в катодолуминесценции. Нечетко зональные удлиненные зерна имеют возраст 3,34 млрд лет (рис. 8), темные, непрозрачные — 2,86 млрд лет (табл. 1)

Fig. 9. Cathodoluminescence images of zircons, sample *UR107*. Indistinctly zoned elongated grains have age of 3.34 Ga (Fig. 8), dark, opaque grains — 2.86 Ga (Table 1)

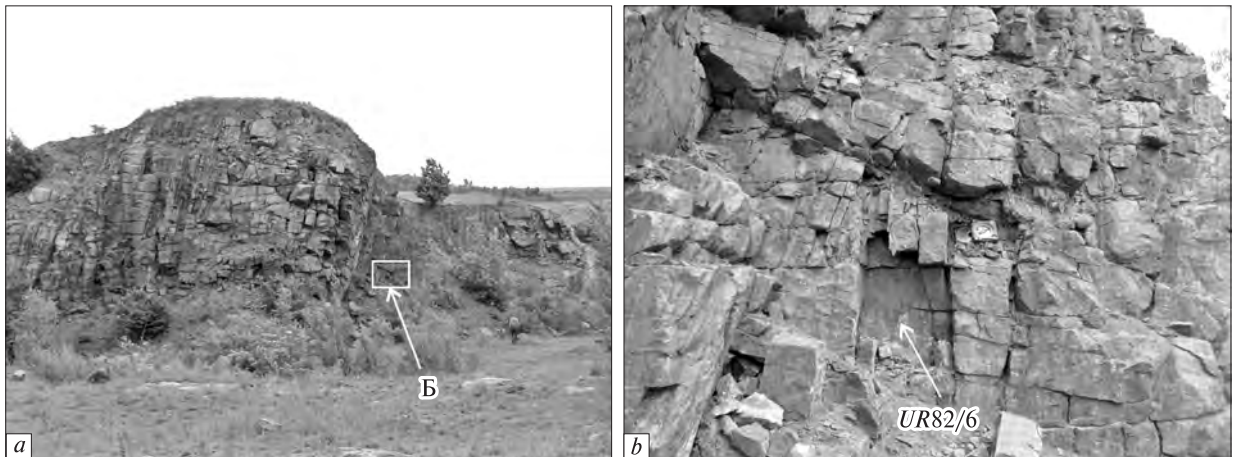


Рис. 10. Фотография выходов супракрустальных пород, обн. UR17: *a* — контакт кристаллосланцев с гнейсо-эндербитом; *b* — кварцит, для которого проведено определение возраста детритовых цирконов [1]

Fig. 10. Photo of outcropped supracrustal rocks, exposure UR17: *a* — contact of crystalline schists with gneiss-enderbite; *b* — quartzite for which age determination on detrital zircons has been made [1]

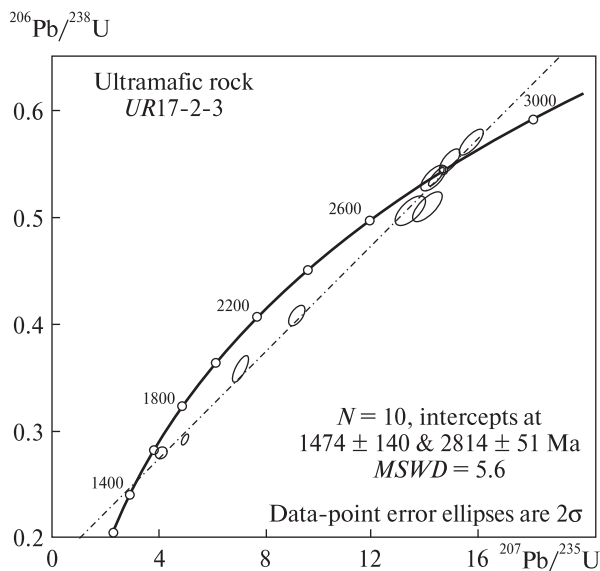


Рис. 11. SHRIMP-диаграмма, обр. UR17/2-3 — пироксен-флогопитовой породы, образованной по гарцбургиту

Fig. 11. SHRIMP-diagram, sample UR17/2-3 — pyroxene-phlogopitic rock substituting harzburgite

нат-пироксеновыми и гранат-магнетитовыми кварцитами. Переслаивание кристаллосланцев с метаморфизованными осадками указывает на их вероятную вулканогенную природу.

Время образования осадочно-вулканогенного комплекса ограничено снизу присутствием в кварцитах детритовых цирконов с конкордантным возрастом 3,7–3,5 млрд лет [1, 5]. Верхняя возрастная граница определяется включениями кристаллосланцев (рис. 2, *f*) в

гнейсо-эндербитах с возрастом 3,15 млрд лет (см. ниже). Тело этих гнейсо-эндербитов интерпретировано нами как дайка мезоархейского возраста, непосредственный контакт которой с супракрустальной толщей (рис. 1) испытал тектонизацию. Цирконы из кристаллосланцев (обр. UR82/4, рис. 1) сильно дискордантны и ложатся на дискордию с возрастом верхнего пересечения 2958 ± 85 млн лет, который отражает время метаморфизма.

По составу породы комплекса соответствуют тывровской свите днестровско-бугской серии. Протолитами пород комплекса были базальты, коматииты, кварцевые песчаники, сланцы и железистые кварциты, при этом преобладающей породой источника кластогенного материала были гранитоиды [5, 13].

Метагарцбургиты. Вторая группа ультрамафитов, представленная гарцбургитами, изучена в обн. UR17/2 и UR22. В обн. UR17/2 в стенке карьера выходит линза ультрамафитов мощностью порядка 50 см, прослеженная вверх примерно на 4 м. Длинная ось линзы погружается к СЗ $327^\circ L77^\circ$. Центр южного конца линзы сложен гарцбургитом, состоящим примерно из равных количеств оливина и ортопироксена, а также второстепенных флогопита и шпинели. На южном краю линзы имеется кайма, выклинивающаяся кверху. Кайма сложена вебстеритом (содержание клинопироксена 5–10%), флогопитом и шпинелью; встречаются реликты оливина. Флогопит преобладает, часть его ориентирована параллельно контакту.

Таблица 2. Содержание урана, свинца и изотопный состав свинца в цирконах из даек метабазитов и гранита
 Table 2. Contents of uranium, lead and isotopic lead composition in zircons from methabasic and granitic dykes

Zircon fraction	Content, ppm		Isotopic ratios					Age, Ma		
	U	Pb	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{208}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$
<i>Methatraybasalt, sample UR105</i>										
1	388,4	165,8	19490	8,1427	5,7941	0,38266	6,4499	2089	2039	1989,3
2	399,3	171,2	20580	8,1566	5,7488	0,38404	6,4639	2095	2041	1986,8
3	400,1	168,6	18450	8,1380	6,0552	0,37998	6,4065	2076	2033	1989,8
4	364,1	155,3	20490	8,1566	5,8350	0,38266	6,4406	2089	2038	1986,7
<i>Methatraybasalt, sample UR90</i>										
Non-separ.	329,4	130,7	3010	8,0567	5,4660	0,35101	5,7983	1939	1946	1953,4
1	321,6	126,4	6390	8,0315	5,2425	0,34638	5,8529	1917	1954	1993,7
2	324,7	123,7	33330	8,146	5,7123	0,34090	5,7570	1891	1940	1992,7
3	339,3	129,4	21740	8,1833	5,7068	0,34142	5,7294	1893	1936	1981,4
4	346,1	135,1	45450	8,1739	5,4448	0,34726	5,8495	1922	1954	1988,1
<i>Granite, sample UR82/8</i>										
1	132,0	61,81	9360	7,9738	3,4490	0,38368	6,5659	2093	2055	2016,2
2	169,8	76,48	5665	7,9472	3,4795	0,36910	6,2906	2025	2017	2008,9
3	174,9	80,67	8810	8,0425	3,4330	0,37775	6,4039	2066	2033	1999,5
4	163,5	74,99	5410	7,9479	3,5938	0,37837	6,4421	2069	2038	2007,2
Brown	2057	829,0	6390	7,7869	6,9195	0,36705	6,4007	2016	2032	2049,5

Примечание. Поправка на обыкновенный свинец введена по модели Стейси и Крамера на возраст 2000 млн лет. 1—4 — гранулометрические фракции, полученные методом скатывания по наклонной плоскости. Не разд. — не разделенная по размеру, Кор. — кристаллы коричневого цвета. Пробы UR90, UR105 и UR82/8 — северный край Одесского карьера (рис. 1).

Note. Correction for common lead is made according to Staisy and Krammers model for age 2000 Ma. 1—4 — granulometric fractions, obtained by the method of sliding on inclined plane. Non-separ. — not separated by size, Brown — crystals brown in color. Samples UR90, UR105 and UR82/8 — North margin of the Odessa open pit (see Fig. 1).

Циркон выделен из вебстерит-флогопитовой каймы. U-Pb анализ цирконов выявил дискордантный возраст у основной части зерен. Одно зерно имеет конкордантный возраст 2785 ± 7 млн лет. Дискордия, построенная по 10 зернам, определяет возраст 2814 ± 51 млн лет (табл. 1; рис. 11).

Обн. UR22 вскрывает сильно измененные ультрамафиты крупного (9×9 м) включения в эндербито-гнейсах (возможно, это фрагмент дайки). Контакты включения параллельны сланцеватости в гнейсо-эндербитах, имеющей СЗ простирание. Большая часть включения сложена сильно измененными породами, состоящими из Ol, Орх, Amph и Sp. Неизмененные породы сложены крупнозернистым шпинелевым гарцбургитом (Ol, Орх и Sp). Ультрамафиты прорваны двумя метаморфизованными мафитовыми дайками и гранитной жилой. По аналогии с обн. UR17/2 и учитывая пересечение метагарцбургитов метаморфизованными мафитами, можно считать, что

возраст шпинелевых гарцбургитов более 2,8 млрд лет.

Таким образом, эндогенные процессы, происходившие 2,9—2,7 млрд лет назад и приведшие к структурно-метаморфическому преобразованию побужских гранулитов, в значительной мере определили геологический облик гнейсо-эндербитов и супракрупных пород, вскрытых Одесским карьером. Одним из главных процессов было позднемезозойское субширотное расщепление, которое привело к развитию субширотных пластических сдвиговых зон, в разной степени проявленных на всей территории Одесского карьера. С этим процессом были связаны метаморфизм, ультраметаморфизм и метасоматоз, наложенные на породы, уже испытавшие более древние метаморфические и деформационные преобразования.

Палеопротерозойские процессы на площади Одесского карьера проявлены более локально и разнообразно. В центральной части

карьера (рис. 1) расположен рой метаморфизованных трахибазальтовых даек СВ простирания, секущий структуры вмещающих гнейсо-эндербитов почти под прямым углом [10]. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраст цирконов метаморфизованных трахибазальтов (*ID-TIMS*) одной из этих даек (обр. UR105) составляет 1987—1990 млн лет, а возраст цирконов другой (обр. UR90) лежит в интервале 1953—1993 млн лет (табл. 2).

К северу от даек метаморфизованных трахибазальтов палеопротерозойские эндогенные процессы привели к кристаллизации в гнейсо-эндербитах новых цирконов и, по-видимому, появлению высокоградиентных метаморфических ассоциаций. В северо-восточной части карьера обнажена жила пегматоидного гранита мощностью до 1 м (рис. 1, обр. UR82/8). Она простирается по азимуту С 10°, круто падает к западу и под прямым углом срезает субширотную сланцеватость и полосчатость кристаллосланцев. Параллельно контактам жилы в граните и во вмещающих сланцах расположены узкие зоны рассланцевания низких ступеней метаморфизма. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраст (*ID-TIMS*) нескольких фракций циркона варьирует от 2000 до 2050 млн лет (табл. 2), а на диаграмме Аренса-Везерилла точки этих фракций образуют дискордию с возрастом верхнего пересечения 2008 ± 19 млн лет.

В южной части карьера палеопротерозойские структурно-метаморфические процессы проявлены относительно сильно. В обн. UR18 (рис. 1) мигматизированные гиперстеновые гнейсы секутся дайкой мафитов северо-северо-западного простирания, идентичной по составу датированной дайке мафитов E-31 в карьере Казачий Яр [3, 10]. Идентичная по составу дайка мафитов в обн. UR155, расположенном в 40 м к СЗ от обн. UR18/3, имеет широтное простирание и под острым углом срезает субширотные милонитовые текстуры в гиперстеновых гнейсах. На дайку мафитов в обн. UR18 наложен высокотемпературный (гранулитовый ?) метаморфизм с развитием граната. Очевидно, что он привел к определенным преобразованиям и во вмещающих ее гнейсах.

Выводы. Проведенные исследования побужских гранулитов, вскрытых Одесским карьером, позволяют выделить следующие основные геологические события: 1) формирование гнейсо-эндербитов 3,65—3,6 млрд лет

назад; 2) внедрение (?) ультрамафитов (ранее 3,45 млрд лет); 3) накопление осадочно-вулканогенных пород в интервале времени между 3,4 и 3,2 млрд лет; 4) неоархейскую структурно-метаморфическую переработку: метаморфизм и метасоматоз ультрамафитов, метаморфизм и ультраметаморфизм гнейсо-эндербитов (2,9—2,8 млрд лет назад); 5) внедрение даек гранитов и мафитов; 6) палеопротерозойская структурно-метаморфическая переработка: деформации, приведшие к формированию *shear zone*, гранулитовый метаморфизм (~2 млрд лет).

Эти события проявлены с различной интенсивностью в разных частях Одесского карьера в виде структурно-вещественной, изотопной и/или геохимической переработки более ранних породных ассоциаций и минеральных парагенезисов. Реставрация полной картины эндогенной эволюции возможна лишь при интегральном анализе всей совокупности геолого-петрологических и изотопно-геохимических данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГФФИ Украины, проект № Ф40.6/029 "Ранньодокембрійські супракрустальні комплекси Українського та Балтійського щитів як індикатори головних етапів і геодинамічних умов формування континентальної кори фундаменту Східно-Європейської платформи в археї і палеопротерозої" и ФФИ Российской Федерации, проект № 09-05-00160 Укр а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Библикова Е.В., Клаэссон С., Федотова А.А. и др. Изотопно-геохронологическое (U-Th-Pb, Lu-Hf) изучение цирконов архейских магматических и метасадочных пород Подольского домена Украинского щита // Геохимия. — 2013. — № 2. — С. 99—121.
2. Каулина Т.В. Образование и преобразование циркона в полиметаморфических комплексах. — Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2010. — 144 с.
3. Лесная И.М., Плоткина Т.Э., Степанюк Л.М., Бартицкий Е.Н. Возрастные этапы формирования мафит-эндербитовой ассоциации Побужья // Геохимия и рудообразование. — 1995. — № 21. — С. 56—69.
4. Лобач-Жученко С.Б., Балаганский В.В., Бережная Н.Г. и др. Состав и возраст ксенолитов метаортопироксенитов и вмещающих их эндербито-гнейсов Побужского гранулитового комплекса (Украинский щит) // ДАН. — 2012. — 442, № 5. — С. 659—663.
5. Лобач-Жученко С.Б., Балаганский В.В., Балтыбаев Ш.К. и др. Метаморфизованные осадочные породы днестровско-бугской серии палеоархея Ук-

- раинского щита : состав, возраст, источники // Литология и полез. ископаемые. — 2013 (в печати).
6. Лобач-Жученко С.Б., Степанюк Л.М., Пономаренко А.Н. и др. Возраст цирконов из эндербито-гнейсов Среднего Побужья (Днестровско-Бугский мегаблок Украинского щита) // Минерал. журн. — 2011. — 33, № 1. — С. 3—14.
 7. Лохов К.И., Капитонов И.Н., Прасолов Э.М., Сергеев С.А. Экстремально радиогенный гафний в цирконе из докембрийских кальцифиров // ДАН. — 2009. — 425, № 5. — С. 660—663.
 8. Лохов К.И., Салтыкова Т.Е., Капитонов И.Н. и др. Корректная интерпретация U-Pb возраста по циркону на основе изотопной геохимии гафния и неодима (на примере некоторых магматических комплексов фундамента Восточно-Европейской платформы) // Региональная геология и металлогения. — 2009. — Вып. 38. — С. 62—72.
 9. Саватенков В.М., Морозова И.М., Левский Л.К. Поведение изотопных систем (Sm-Nd, Rb-Sr, K-Ar, U-Pb) при щелочном метасоматозе (фенниты экзоконтакта щелочно-ультраосновной интрузии) // Геохимия. — 2004. — № 10. — С. 1027—1049.
 10. Степанюк Л.М., Гаценко В.А., Лобач-Жученко С.Б. и др. Калиевые мафитовые дайки побужского гранулитового комплекса: геологическое положение, вещественный состав, петрогенезис, возраст // Минерал. журн. — 2013. — 35, № 3. — С. 73—84.
 11. Щербак Н.П., Бартницкий Е.Н. Реперные изотопные даты геологических процессов и стратиграфическая схема докембрия Украинского щита // Геохимия и рудообразование. — 1995. — № 21. — С. 3—24.
 12. Claesson S., Bibikova E.V., Bogdanova S.V., Skobelev V. Archaean terranes, Palaeoproterozoic reworking and accretion in the Ukrainian Shield, East European Craton. From / Eds D.G. Gee, R.A. Stephenson // European Lithosphere Dynamics. — Geol. Soc. of London, 2006. — P. 645—654.
 13. Lobach-Zhuchenko S.B., Bibikova E.V., Balagansky V.V. Metasediments of the Palaeoarchaeon Dniester-Bug Suite of the South-Western Ukrainian Shield: composition, age, and sources // Geophys. Res. Abstr. — 2012. — 14. — EGU2012-2282.
 14. Williams I.S. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe // Revs in Econ. Geol. — 1998. — 7. — P. 1—35.

Поступила 15.05.2013

С.Б. Лобач-Жученко, В.В. Балаганский,
Ш.К. Балтыбаев, Л.М. Степанюк,
О.М. Пономаренко, К.И. Лохов, М.Ю. Корешкова,
А.В. Юрченко, Ю.С. Єгорова, В.В. Сукач,
Н.Г. Бережна, Є.С. Богомолов

ЕТАПИ ФОРМУВАННЯ ПОБУЗЬКОГО ГРАНУЛІТОВОГО КОМПЛЕКСУ ЗА ДАНИМИ ІЗОТОПНО-ГЕОХРОНОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ (СЕРЕДНЄ ПОБУЖЖЯ, УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

У статті наведено результати вивчення геології, складу, віку, етапів перетворення породної асоціації, відслоненої Одеським кар'єром (правий борт долини

р. Південний Буг, північніше с. Завалля). Найбільш давньою складовою побужького гранулітового комплексу є гнейсо-ендербіти. Ці породи надзвичайно неоднорідні: серед них спостерігаються масивні відміни зі слабо проявленою сланцюватістю, більш розсланцьовані з проявленням виокремлень кварц-польовошпатового матеріалу, а також мілонітизовані, смугасті та мігматизовані гнейсо-ендербіти. Другою рисою неоднорідності гнейсо-ендербітів є наявність у них практично повсюдно включень кристалосланців. Кристалосланці деформовані разом з ендербітами, значно трансформовані і мають вигляд окремих смуг меланократового матеріалу або ізолюваних включень. Серед останніх є метаортопіроксеніти і метагартцбургіти. У північній частині кар'єру поширені супра-крупні породи, що утворюють невелику лінзу субширотного простягання. Вона складена кристалосланцями, кварцитами, гранатовими, гранат-піроксеновими і гранат-магнетитовими кварцитами. Виділено такі основні геологічні події: 1) формування гнейсо-ендербітів 3,65—3,6 млрд рр. тому; 2) інтрузія (?) ультрамафітів (раніше 3,45 млрд рр.); 3) накопичення осадово-вулканогенних порід в інтервалі між 3,4 і 3,2 млрд рр.; 4) неоархейська структурно-метаморфічна переробка: метаморфізм і метасоматоз ультрамафітів, метаморфізм, ультраметаморфізм гнейсо-ендербітів (2,9—2,8 млрд рр.); 5) інтрузія дайок гранітів і мафітів; 6) палеопротерозойська структурно-метаморфічна переробка: деформації, які призвели до формування *shear zone*, гранулітовий метаморфізм (~2 млрд рр.).

Ключові слова: циркон, *Shrimp* датування, гранулітовий комплекс, гнейсо-ендербіти, Середнє Побужжя, Український щит.

S.B. Lobach-Zhuchenko, V.V. Balagansky,
Sh.K. Baltybayev, L.M. Stepanyuk, O.M. Ponomarenko,
K.I. Lohov, M.Yu. Koreshkova, A.V. Yurchenko,
Yu.S. Yegorova, V.V. Sukach, N.G. Berezhnaya,
Ye.S. Bogomolov

STAGES OF FORMATION OF THE BUG AREA GRANULITE COMPLEX BY THE DATA OF ISOTOPIC-GEOCHRONOLOGICAL INVESTIGATIONS (THE MIDDLE BUG AREA, THE UKRAINIAN SHIELD)

The paper deals with the results of studying geology, composition, age, stages of transformation of the rock association exposed in the Odessa open pit, located in the right bank of valley of the river Southern Bug, located northwards of the Zavalie village. The results are based on the field investigations carried out during 2008 and 2010—2012 years. The most ancient components of the Bug area granulitic complex are gneiss-enderbites. These rocks are extremely non-uniform: massive varieties with poorly manifested schistosity, more schistosed varieties with initial segregation of quartz-feldspar matter, and also milonitized, banded and migmatized gneiss-enderbites are observed among them. Another feature indicating to he-

terogeneity of gneiss-enderbites is presence, practically everywhere, of crystalloschist inclusions in them. In the northern part of the open pit the supracrustal rocks forming a small lens of sublatitudinal orientation are distributed. This lens is composed by crystalloschists, quartzites, garnet, a garnet-pyroxene and garnet-magnetite quartzites. The interbedding of crystalloschists with sediments indicates to their volcanogenic nature. Crystalloschists are deformed together with enderbites, they are considerably reworked and occur both in the form of separate bands of melanocratic material, and in the form of the isolated inclusions. The inclusions of metaorthopyroxenites and metaharzburgites of Paleo- and Mesoarchean age are found among them. Based on the data obtained, the following main geological events were established: 1) formation of gneiss-enderbites 3.65—3.6 Ga ago; 2) intrusion of ultra-

mafic rocks (before 3.45 Ga); 3) accumulation of sedimentary-volcanogenic associations of rocks in the time interval between 3.4 and 3.2 Ga; 4) neo-Archean structural-metamorphic reworking: metamorphism and metasomatism of ultramafic rocks, metamorphism and ultrametamorphism of gneiss-enderbites (2.9—2.8 Ga ago); 5) intrusion of dykes of granites and mafic rocks; 6) paleo-Proterozoic structural-metamorphic reworking: deformations which have led to the formation of shear zone, granulitic metamorphism (~2 Ga). These events are manifested with various intensity in different parts of the Odessa open pit in the form of structural-material, isotopic and/or geochemical reworking of earlier rock associations and mineral parageneses.

Keywords: zircon, Shrimping, granulite complex, gneiss-enderbites, Middle Bug area, the Ukrainian Shield.