

УДК 552.43:550.93 (477)

Л.М. Степанюк¹, В.А. Гаценко¹, С.Б. Лобач-Жученко²,
В.В. Балаганский³, Ш.К. Балтыбаев², Т.И. Довбуш¹, А.В. Юрченко²

¹ Институт геохимии, минералогии и рудообразования
им. Н.П. Семеновко НАН Украины
03680, г. Киев-142, Украина, пр. Акад. Палладина, 34
E-mail: stepanyuk@igmof.gov.ua

² Институт геологии и геохронологии докембрия РАН
199034, г. Санкт-Петербург, Россия, наб. Макарова, 2

³ Геологический институт КНЦ РАН
184209, Мурманская обл., г. Апатиты, Россия, ул. Ферсмана, 14

КАЛИЕВЫЕ МАФИТОВЫЕ ДАЙКИ ПОБУЖСКОГО ГРАНУЛИТОВОГО КОМПЛЕКСА: ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ, ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ, ПЕТРОГЕНЕЗИС, ВОЗРАСТ

В Одесском карьере (Среднее Побужье) выявлена группа метаморфизованных даек мафитового состава с существенным содержанием биотита. Породы метаморфизованы в условиях гранулитовой фации. Они представлены биотит-двупироксеновыми кристаллосланцами, сложенными олигоклазом, салит-авгитом, гиперстеном и флогопитом. Химический состав пород соответствует андезибазальтам – трахиандезибазальтам калий-натриевого, близкого к калиевому, типа щелочности. По суммарному количеству щелочных оксидов биотит-пироксеновые кристаллосланцы попадают на границу умеренно щелочных базитов и пород нормального ряда. Геохимическими особенностями биотит-пироксеновых кристаллосланцев относительно метамафитов толеитового состава являются повышенное содержание SiO₂, MgO, щелочей, Ni, Cr, Ba, Rb, Sr, Nb и легких РЗЭ (La–Nd) и пониженное — CaO, P, V, Y, тяжелых РЗЭ (Dy–Lu). Характерны невысокое суммарное содержание РЗЭ, высокий уровень фракционирования редкоземельных элементов и слабая положительная европиевая аномалия. Возраст цирконов из биотит-пироксеновых кристаллосланцев пр. UR-90 оценивается в 1987 ± 17 млн лет, пр. UR-105 — в 1988,1 ± 4,2 млн лет, что соответствует времени метаморфического преобразования пород. Эти даты древнее возраста цирконов из даек амфибол-гранатовых метамафитов Среднего Побужья.

Ключевые слова: калиевые метамафиты, биотит-двупироксеновые кристаллосланцы, гранат-клинопироксеновые кристаллосланцы, толеитовые базальты, циркон, возраст метаморфического преобразования, мезопротерозой, Одесский карьер, Среднее Побужье, Украинский щит.

Введение. В побужском гранулитовом комплексе широко развиты дайки мафитового состава [2, 5, 10, 14–17]. Их возраст достоверно неизвестен, но они содержат циркон, кристаллизация которого происходила в палеопротерозое, в условиях гранулитовой — высокотемпературной амфиболитовой фации метаморфизма [15]. Время протекания метаморфизма в разных телах варьирует в интервале 1960–1930 млн лет [10, 14, 15, 17]. Метаморфизованные дайки мафитового состава сло-

жены пироксенами, плагиоклазом, амфиболом, гранатом, в незначительном количестве отмечен кварц, очень редко биотит. По химическому составу они соответствуют толеитовым базальтам. В то же время дайки субщелочного состава в Среднем Побужье фиксировались редко [4, 19, 20].

Геологическое положение. В эндербито-гнейсах побужского гранулитового комплекса, в северной части Одесского карьера выявлена группа метаморфизованных даек мафитового состава с существенным содержанием биотита (рис. 1). Практически все дайки ориентированы в одном направлении: СВ 40–50°,

© Л.М. СТЕПАНЮК, В.А. ГАЦЕНКО, С.Б. ЛОБАЧ-ЖУЧЕНКО,
В.В. БАЛАГАНСКИЙ, Ш.К. БАЛТЫБАЕВ,
Т.И. ДОВБУШ, А.В. ЮРЧЕНКО, 2013

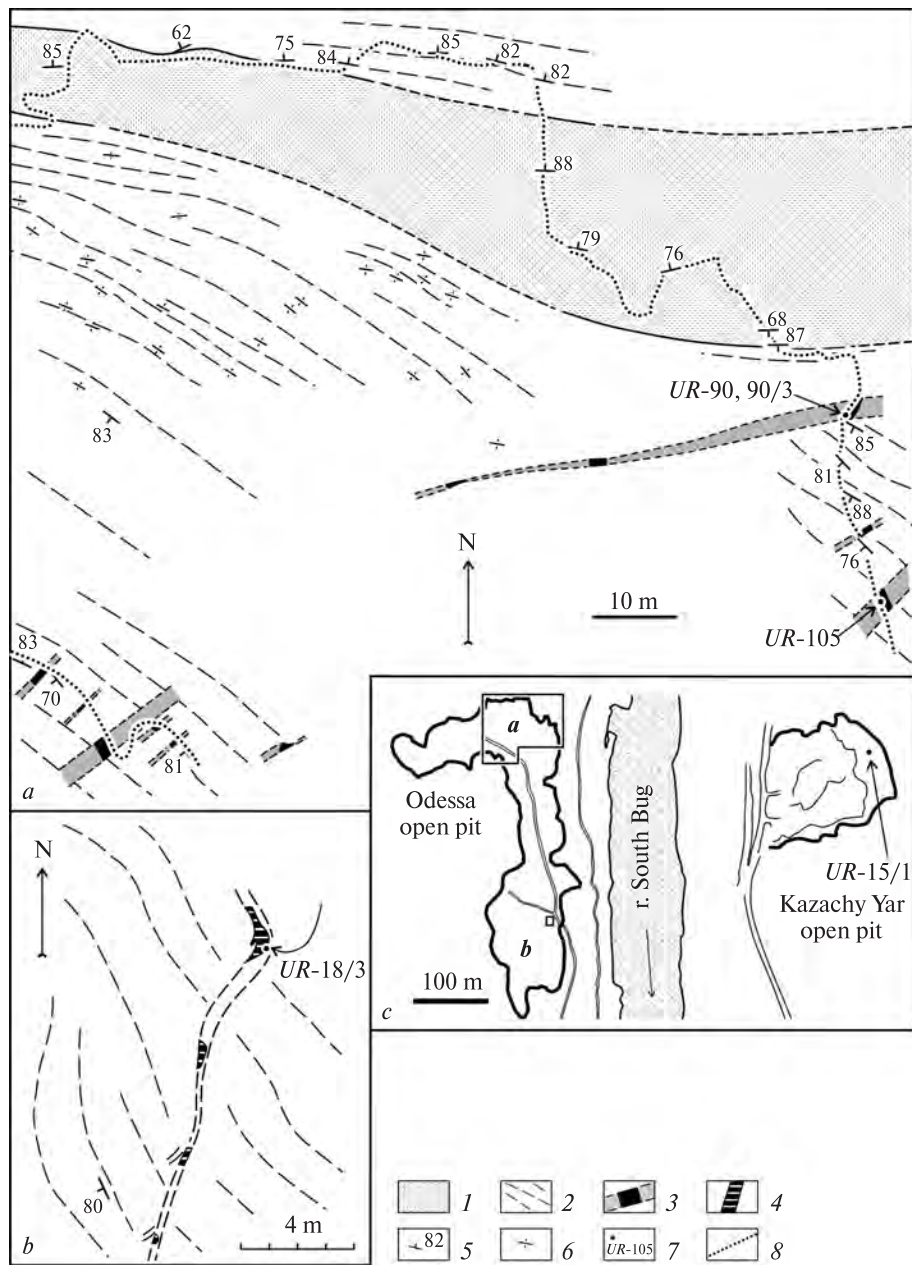


Рис. 1. *a* — северная часть Одесского карьера: группа даек калиевых метамафитов северо-восточного простирания, секущая северо-западные структуры эндербито-гнейсов; *b* — южная часть Одесского карьера: детальный участок с метаморфизованной в гранулитовой фации дайкой базальта; *c* — положение участков *a* и *b* на площади Одесского карьера и место отбора пр. *UR-15/1* в карьере Казачий Яр: 1 — породы супракrustального комплекса (кристаллосланцы и метасадки), 2 — эндербито-гнейсы, рассланцованные и частично мигматизированные, метаморфизованные дайки основного состава, 3 — биотит-двупироксеновые кристаллосланцы, 4 — гранат-двупироксеновые кристаллосланцы, 5 — направление сланцеватости и полосчатости, 6 — субвертикальное залегание структур, 7 — местоположение изученных образцов, 8 — контур карьера

Fig. 1. *a* — the north part of the Odessa open pit: swarm of dikes of potassic meta-mafites of northeast strike that cut northwest structures of enderbite gneisses; *b* — the south part of the Odessa open pit: detailed site with basalt dike metamorphosed at granulitic facies; *c* — location of sites of *a* and *b* in the areas of the Odessa open pit and location of *UR-15/1* sample selection in Kazachy Yar open pit: 1 — rocks of supracrustal complex (crystalloschists and metasediments), 2 — enderbite gneisses, schistosed and partially migmatized, metamorphosed dikes of basic composition, 3 — biotite-twopyroxene crystalloschists, 4 — garnet-twopyroxene crystalloschists, 5 — orientation of shistosity and banding, 6 — subvertical strike of structures, 7 — location of the studied samples, 8 — contour of the open pit

имеют крутое, близкое к 90° падение и несогласное расположение по отношению к плоскостным структурам (сланцеватости, мигматитовой полосчатости) эндербито-гнейсов, которые в этой части карьера имеют субмеридиональное и северо-западное простирание. Одна дайка в стенке карьера ориентирована субширотно, параллельно расположенной рядом сдвиговой зоне (рис. 1, *a*). Мощность даек

не превышает первые метры, у некоторых наблюдаются тонкие ответвления (апофизы), измеряемые несколькими сантиметрами. Наиболее мощные дайки имеют зоны закалки (рис. 2). В дайке, из которой была отобрана пр. *UR-90* (рис. 1), наблюдаются небольшие ксенолиты гранитного состава.

Методика лабораторных исследований. Минералого-петрографические исследования по-

род и породообразующих минералов проведены на основе коллекции авторов. Изучены прозрачные шлифы в проходящем свете и аншлифы в отраженном с использованием поляризационного микроскопа *Nikon ECLIPSE LV100POL*.

Химический состав породообразующих минералов определен на растровом электронном микроскопе *JSM-6700F*, снабженном энергодисперсионной системой для микроанализа *JED-2300* ("JEOL", Япония), в Институте геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеново НАН Украины (ИГМР), аналитик А.А. Вишневикий.

Содержание основных петрогенных элементов пород определено методом силикатного анализа в химической лаборатории ИГМР (аналитики О.П. Красюк, Г.В. Ренкас). Определение концентрации редких и редкоземельных элементов проведено методом индуктивно-связанной плазмы с масс-спектрометрическим окончанием анализа на квадрупольном масс-спектрометре *XSeries 2* фирмы *Thermo scientific* в аналитической лаборатории Института геологии КарНЦ РАН (аналитик А.С. Парамонов). Точность анализа контролировали путем измерения стандартных образцов СГД-1А и СТ-1. Относительное стандартное отклонение для всех элементов не превышало 0,5 % при измерении содержания этих элементов до $5 \times \text{ПО}$ (предел обнаружения) и 0,3 при измерении содержания более $5 \times \text{ПО}$.

Возраст метаморфического преобразования

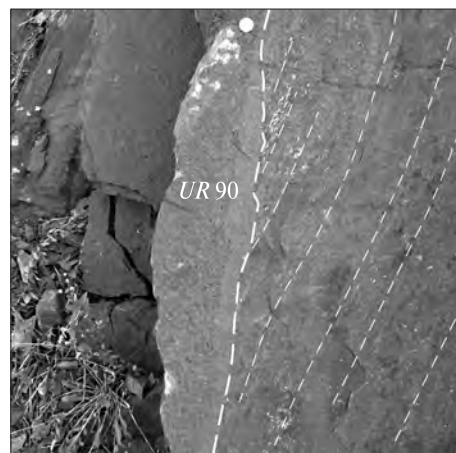


Рис. 2. Секущий контакт дайки основного состава и гнейсо-эндербита с зоной закалки

Fig. 2. Cutting contact of basic dike and gneiss-enderbite with chilling zone

даек калиевых метамафитов определен классическим уран-свинцовым изотопным методом по аксессуарному циркону, для чего были отобраны две пробы: UR-90 и UR-105. Места отбора проб нанесены на схеме карьера (рис. 1).

Химическая подготовка навесок циркона выполнена по модернизированной методике Кроу [6]. Анализ изотопного состава урана и свинца выполнен на восьмиколлекторном масс-спектрометре МИ-1201 АТ в статическом режиме. Математическая обработка экспериментальных данных проводилась с помощью программ *Pb Dat* [25] и *ISOPLLOT* [26]. Ошибки определения возраста приведены при

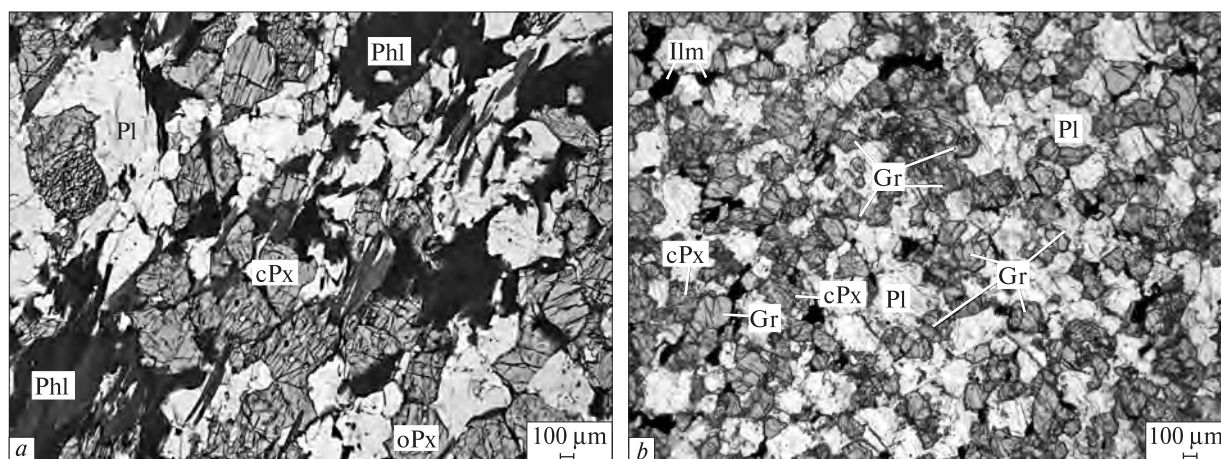


Рис. 3. Структурные особенности и минеральный состав биотитовых (а) и гранатовых (б) кристаллосланцев. Минералы: cPx — клинопироксен, Gr — гранат, Ilm — ильменит, oPx — ортопироксен, Phl — флогопит, Pl — плагиоклаз

Fig. 3. Structural features and mineral composition of biotite (a) and garnet (b) crystallo-schists. Minerals: cPx — clinopyroxene, Gr — garnet, Ilm — ilmenite, oPx — orthopyroxene, Phl — phlogopite, Pl — plagioclase

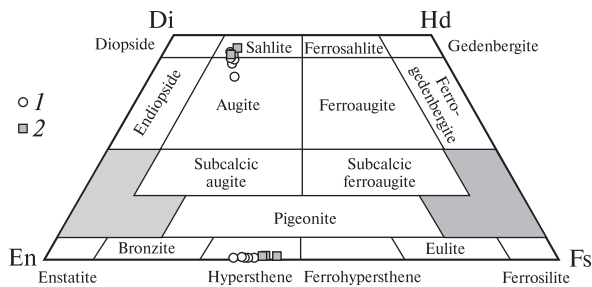


Рис. 4. Минеральный состав пироксенов из биотитовых (1) и гранатовых (2) кристаллосланцев

Fig. 4. Mineral composition of pyroxenes from biotite (1) and garnet (2) crystallo-schists

2σ. В качестве стандартного образца для проверки метрологических характеристик метода использован стандарт циркона ИГМР-1 [1].

Петрографическая характеристика пород и породообразующих минералов. Метаморфизованные субщелочные дайки (пр. UR-90, UR-90/3, UR-105) сложены биотит-двупироксеновыми кристаллосланцами — среднезернистыми породами с лепидонематогранобластовой структурой (рис. 3, а), состоящими из, %: олигоклаза (An_{29-30}) — 40—45, салит-авгита ($Wo_{41-47}En_{41-43}Fs_{13-16}$) — 15—25, гиперстена ($Wo_{0,8-1,2}En_{59-63}Fs_{36-40}$) — 10—15, биотита — 7—15, местами — до 20, калиевого полевого шпата (КПШ) — до 5, кварца — около 1. Химический состав биотита, согласно классификации [3], соответствует флогопиту. Рудные минералы представлены ильменитом — ~2 и пиритом — менее 1%. В аксессуарном количестве отмечены апатит, кальцит, циркон.

Для андезина характерны тонкие клиновидные висячие двойники, занимающие лишь часть зерна. На контакте плагиоклаза и КПШ наблюдаются мирмекиты. В силикатных минералах зафиксировано волнистое погасание. Необычно для пород базитового состава наличие кислого плагиоклаза. Согласно [4, 7 и др.], кислый плагиоклаз наравне с андезином часто является породообразующим минералом амфиболитов Среднего Побужья, но для двупироксеновых кристаллосланцев он не характерен [19].

Пироксены — главные фемические минералы. Как ромбический, так и моноклинный пироксены представлены магниальными разновидностями (рис. 4). В некоторых зернах клинопироксенов зафиксированы простые двойники. Флогопит выделяется насыщенной темно-коричневой окраской, что свидетельствует о

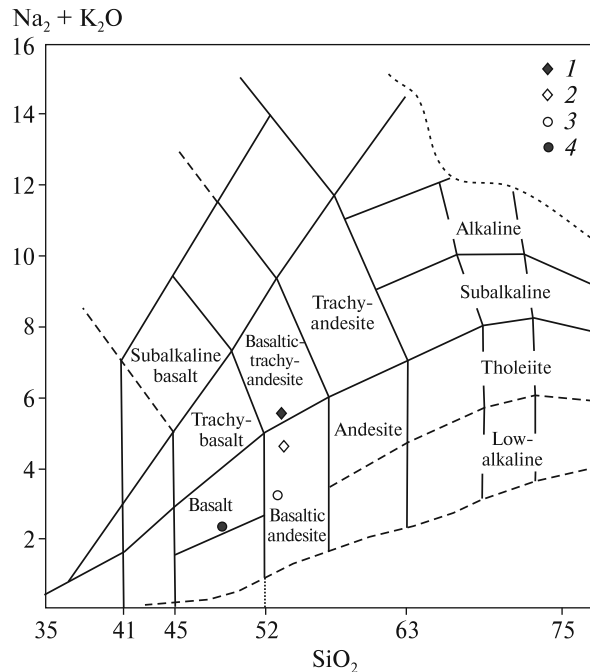


Рис. 5. Положение фигуративных точек кристаллосланцев на диаграмме TAS (условные обозначения здесь и далее): 1 — UR-90, 2 — UR-105, 3 — UR-15, 4 — UR-18/3

Fig. 5. Location of figurative points of crystallo-schists on diagramme TAS (symbols here and fwd): 1 — UR-90, 2 — UR-105, 3 — UR-15, 4 — UR-18/3

повышенном содержании TiO_2 и подтверждается данными микрозондового анализа (4,36—6,72%). Согласно [21], температура образования слюды оценивается в интервале от 772 до 817 °С. Из рудных минералов в кристаллосланцах отмечены ильменит и пирит при полном отсутствии магнетита, что свидетельствует о восстановительных условиях образования (преобразования) пород.

В юго-западной части карьера зафиксированы метаморфизованные мафитовые дайки, возраст метаморфизма которых — около 1,95 млрд лет, представленные гранат-двупироксеновыми кристаллосланцами (пр. UR-15/1, UR-18/3). В отличие от среднезернистых биотитовых кристаллосланцев, представленных выше, это мелкозернистые породы с нематогранобластовой структурой, в которых прослеживаются элементы гипидиоморфнозернистой структуры (рис. 3, б).

Гранат-клинопироксеновые кристаллосланцы сложены, %: андезином (An_{47-48}) — 45—50, салитом ($Wo_{45-47}En_{39-41}Fs_{14}$) — 25—30, пироп-альмандиновым гранатом ($Alm_{58-60} \times Py_{21-23}Gs_{19-20}Sp_{0,7-1,6}$) — 10—15, гиперстеном ($Wo_{1-1,2}En_{54-57}Fs_{42-45}$) — около 5. В не-

Таблица 1. Химический состав биотит-двупироксеновых (1–3) и гранат-клинопироксеновых (4, 5) кристаллосланцев Одесского карьера (1–3, 5) и карьера Казачий Яр (4)

Table 1. Chemical composition of biotite-twopyroxene (1–3) and garnet-clinopyroxene (4, 5) crystalloschists of the Odessa open pit (1–3, 5) and the Kazachy Yar open pit (4)

Номер анализа	1	2	3	4	5	Номер анализа	1	2	3	4	5
Номер пробы	UR-90	UR-90/3	UR-105	UR-15/1	UR-18/3	Номер пробы	UR-90	UR-90/3	UR-105	UR-15/1	UR-18/3
SiO ₂	51,59	He опр.	52,23	49,8	47,81	Cr	286	363	284	111	114
TiO ₂	1,14	"	1,24	1,51	1,61	Zn	94	97	He опр.	84	92
Al ₂ O ₃	12,78	"	14,05	13,3	15,60	Cu	44	64,9	"	67	48
Fe ₂ O ₃	0,17	"	0,01	He опр.	0,65	V	139	141	126	315	255
FeO	9,63	"	9,77	11,82	12,21	Hf	2,08	3,37	He опр.	2,4	1,94
MnO	0,18	"	0,02	0,19	0,23	Ta	0,87	0,99	1,3	0,73	0,34
MgO	8,96	"	8,33	6,38	7,03	W	He опр.	0,71	He опр.	0,54	0,18
CaO	6,9	"	7,36	7,79	10,36	Ga	18,6	12,4	"	18,3	18,2
Na ₂ O	3,1	"	2,67	2,72	1,75	Th	1,66	2,34	0,86	1,31	0,31
K ₂ O	2,28	"	1,83	0,34	0,52	U	0,37	0,36	0,21	0,13	0,11
P ₂ O ₅	0,22	"	0,27	0,24	0,11	La	24,9	17,6	28,4	9,79	8,86
S	0	"	0,04	He опр.	0,37	Ce	48,2	32,84	50,0	22,4	20,6
H ₂ O ⁻	0,73	"	0,18	"	0,02	Pr	5,54	4,35	5,56	3,48	3,09
П. п. п.	2,06	—	1,94	"	1,83	Nd	22,3	16,63	21,3	15,7	15,2
Сумма	99,74	—	99,94	94,09	100,10	Sm	4,37	4,07	3,88	4,5	4,84
		ppm				Eu	1,69	1,63	1,49	1,37	1,33
Mg#	0,42	—	0,4	0,3	0,31	Gd	4,86	4,3	3,85	4,51	4,63
Li	He опр.	15,77	He опр.	He опр.	He опр.	Tb	0,64	0,62	0,58	0,77	0,79
Rb	59	45	49	5,4	10,4	Dy	1,6	3,42	3,19	4,68	4,73
Sr	600	598	520	179	213	Ho	0,32	0,61	0,59	0,91	0,94
Y	17	13	15	26	27	Er	0,99	1,61	1,43	2,97	2,86
Zr	79	105	65	93	63	Tm	0,2	0,21	0,18	0,4	0,37
Ba	948	914	808	153	204	Yb	1,33	1,25	1,36	2,94	2,75
Nb	19,6	13,2	30,5	10,6	5,3	Lu	0,13	0,17	0,18	0,4	0,37
Pb	9,4	3	He опр.	1,5	2	Сумма РЗЭ (La/Yb) _n	117,07	89,31	121,99	74,82	71,36
Sc	17,8	14,8	"	He опр.	He опр.	Eu/Eu*	12,65	14,11	9,51	2,25	2,18
Co	47	44	44	48	50		1,12	1,18	1,19	0,93	0,86
Ni	246	312	276	27	35						

Примечание. He опр. — не определялось.

Note. He опр. — No determined.

значительном количестве присутствуют, %: кварц — 2–5, КППШ и ильменит — до 3, пирит и пирротин — ~1, карбонат — менее 1. В аксессуарном количестве отмечены биотит, апатит, циркон.

Для андезина характерны тонкие клиновидные полисинтетические двойники, занимающие часть зерна. Всем калиевым минералам присуще волнистое погасание. В некоторых кристаллах пироксенов как ромбических, так и моноклинных наблюдается тонколамеллярное строение зерен. Сохранность пироксенов хуже, чем в биотитовых кристаллосланцах. Гиперстен здесь чуть более

железистый, чем в биотитовых кристаллосланцах, клинопироксен представлен салитом. Минеральный состав пироксенов из кристаллосланцев отображен на рис. 4. В породе присутствует гранат с высоким содержанием пиропового минала (от 20,46 до 22,87 %), что свидетельствует об образовании кристаллосланцев в условиях высоких значений давления и температуры. Рудные минералы представлены ильменитом (при отсутствии магнетита) и сульфидами (пирит, пирротин).

Химический состав биотит- и гранат-пироксеновых кристаллосланцев представлен в табл. 1. Для биотит-пироксеновых кристалло-

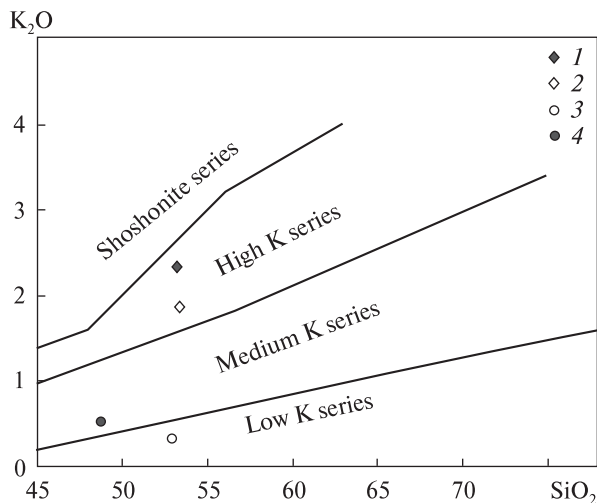


Рис. 6. Диаграмма соотношения SiO_2 и K_2O [23] для кристаллосланцев, демонстрирующая положение фигуративных точек биотит-двупироксеновых кристаллосланцев в поле калиевой серии

Fig. 6. The diagramme of SiO_2 versus K_2O [23] for the crystallo-schists, showing position of figurative points of biotite-twopyroxene crystallo-schists in the field of potassic series

сланцев характерно повышенное содержание SiO_2 (51,59—52,23 %) и щелочей, особенно K_2O . Метабазиты обеих групп отличаются умеренным содержанием TiO_2 , чуть более высоким в группе гранат-клинопироксеновых кристаллосланцев — 1,51—1,61 % (в биотит-двупироксеновых породах TiO_2 — от 1,14 до 1,24 %), умеренной глиноземистостью и низким для базитов Среднего Побужья (по [19]) содержанием CaO . Геохимические особенности кристаллосланцев обеих групп однозначно указывают на магматический генезис исходных пород. На классификационной диаграмме *TAS* (рис. 5) химический состав биотит-пироксеновых кристаллосланцев соответствует андезибазальтам — трахиандезибазальтам калий-натриевого, близкого к калиевому, типа щелочности (по [13]) ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ — 1,36—1,46). По суммарному количеству щелочных оксидов эти кристаллосланцы попадают на границу умеренно щелочных базитов и пород нормального ряда. Гранатовые кристаллосланцы соответствуют базальтам—андезибазальтам натриевого—калий-натриевого ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ — 3,37—8) типа и являются породами нормального ряда. По соотношению SiO_2 и K_2O [23] биотит-пироксеновые кристаллосланцы относятся к серии высококальциевых пород, чем существенно отличаются от уме-

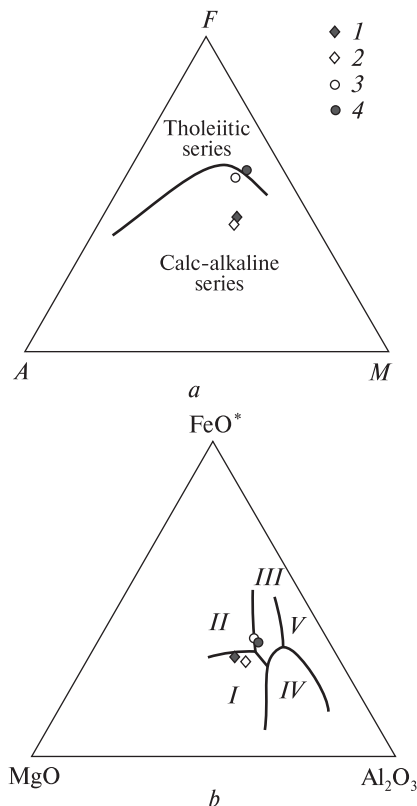


Рис. 7. Расположение фигуративных точек кристаллосланцев на диаграммах *AFM* (а) и Пирса (б)

Fig. 7. Location of figurative points of crystallo-schists on *AFM* (a) and Piersе (b) diagrammes

ренно- низкокальциевых гранат-пироксеновых кристаллосланцев (рис. 6).

Биотитовые кристаллосланцы (*UR-90*, *UR-90/3* и *UR-105*) мало отличаются своей магнизиальностью от даек второго типа (*UR-15/1* и *UR-18/3*): $\text{Mg}\#$ 0,40—0,42 и 0,30—0,31 соответственно ($\text{Mg}\# = \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$). На диаграмме *AFM* (Kuno, 1968 [22]) фигуративные точки состава этих пород попадают в поле известково-щелочной серии, в то время как вторая группа даек располагается на границе полей толеитовой и известково-щелочной серий (рис. 7, а). На диаграмме Пирса для "суб-щелочных" базальтов (рис. 7. б) биотит-двупироксеновые кристаллосланцы занимают поле океанических абиссальных пород (I), а гранат-клинопироксеновые располагаются на границе океанических островных (II) и плато-базальтов (III). Такое расположение характерно для метабазитов Среднего Побужья и Голованевской шовной зоны, в частности для ассоциирующихся с чарнокитоидами [9].

Калиевые метамифиты (биотит-двупироксеновые кристаллосланцы) выделяются высо-

Рис. 8. Хондрит-нормированное распределение микроэлементов в биотит- и гранат-пироксеновых кристаллосланцах (Wood et al., 1979b, по [28])

Fig. 8. Hondrite-normative distribution of trace elements in biotite- and garnet-pyroxene crystalloschists (Wood et al., 1979b, on [28])

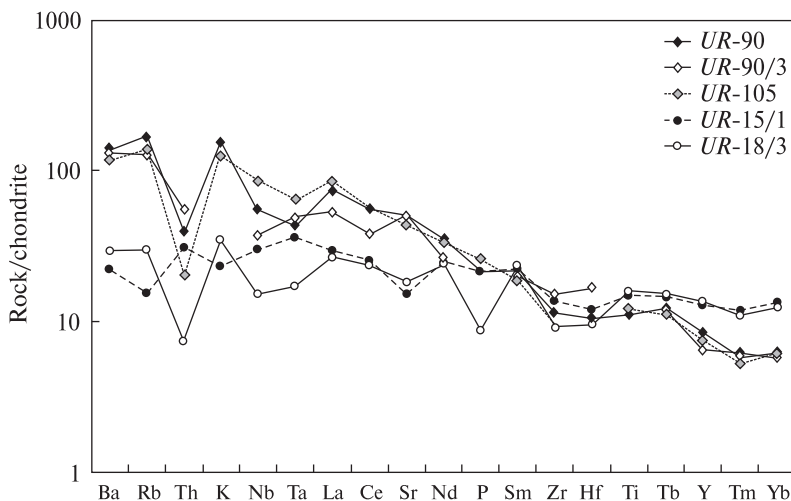
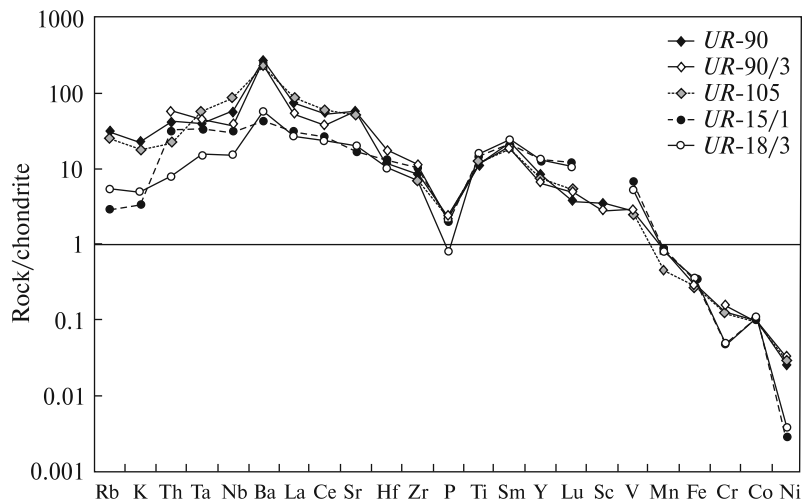


Рис. 9. Хондрит-нормированное распределение микроэлементов в биотит- и гранат-пироксеновых кристаллосланцах (Thompson, 1982, по [28])

Fig. 9. Hondrite-normative distribution of trace elements in biotite- and garnet-pyroxene crystalloschists (Thompson, 1982, on [28])

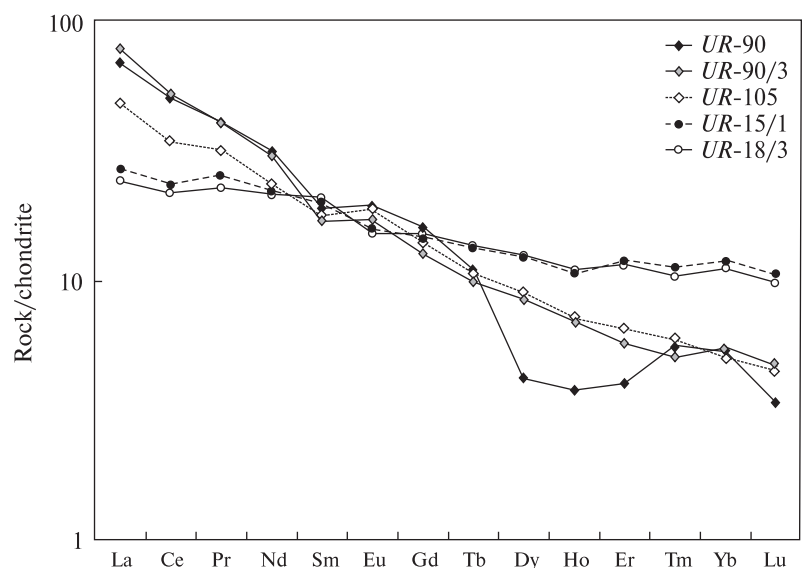


Рис. 10. Хондрит-нормированное распределение РЗЭ в биотит- и гранат-пироксеновых кристаллосланцах (Taylor & McLennon, 1985, по [28])

Fig. 10. Hondrite-normative distribution of REE in biotite- and garnet-pyroxene crystalloschists (Taylor & McLennon, 1985, on [28])

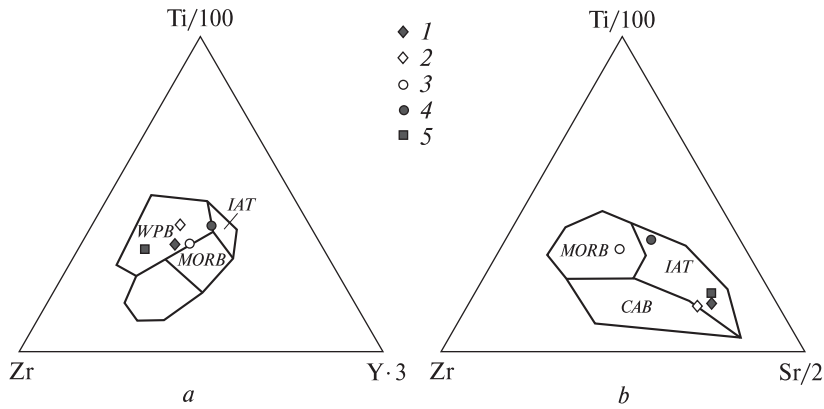


Рис. 11. Расположение фигуративных точек кристаллосланцев на дискриминационных Ti — Zr — Y (a) и Ti — Zr — Sr (b) диаграммах для базальтов. Поля: WPB — внутриплитных базальтов, IAT — базальтов островных дуг, MORB — базальтов срединно-океанических хребтов, CAB — известково-щелочных базальтов. Усл. обозначения 1—4 см. на рис. 5, 5 — UR-90/3

Fig. 11. Position of figurative points of crystalloshists on discrimination Ti — Zr — Y (a) and Ti — Zr — Sr (b) diagrams for basalts. Fields: WPB — within plate basalts, IAT — island-arc tholeiites, MORB — middle-ocean ridge basalts, CAB — calc-alkali basalts. Legend: 1—4 see on Fig. 5, 5 — UR-90/3

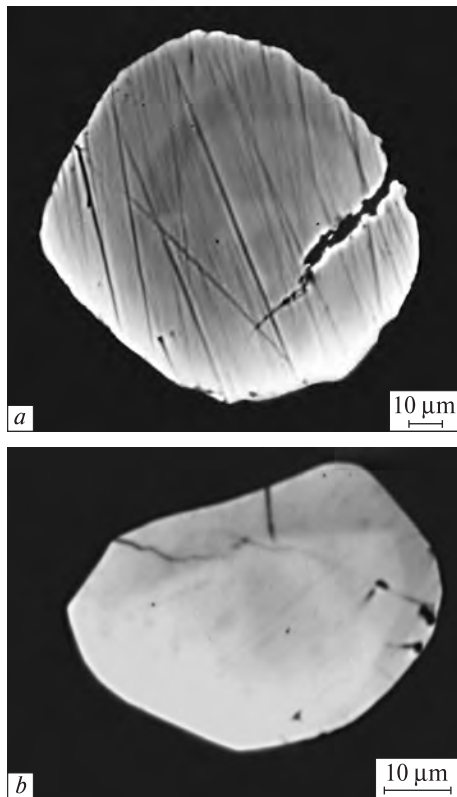


Рис. 12. Микрофотографии кристаллов циркона из амфибол-двопироксеновых кристаллосланцев, отобранных в карьере Казачий Яр

Fig. 12. Photomicrographs of zircon crystals from amphibole-pyroxene crystalloshists, which were picked in Kazachy Yar open pit

ким содержанием никеля, кобальта и хрома, с незначительным преобладанием хрома над никелем. Они содержат на порядок больше Ni и почти в три раза больше Cr, чем метабазиты толеитового состава (гранат-клинопироксеновые кристаллосланцы). Отношение Ni/Cr в

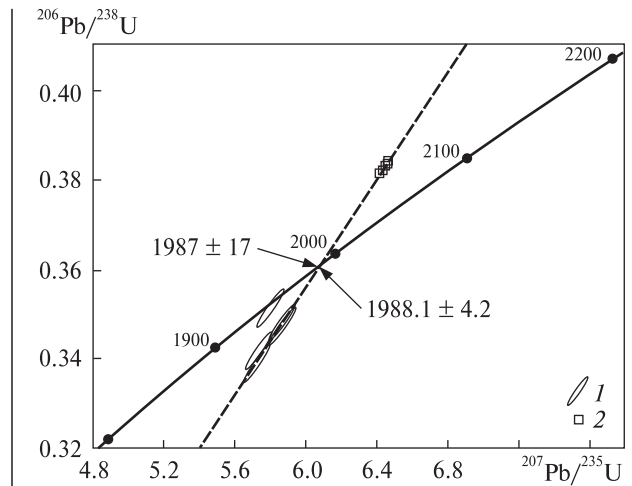


Рис. 13. Уран-свинцовая диаграмма с конкордией для цирконов из калиевых метамифитов: 1 — пр. UR-90, 2 — пр. UR-105

Fig. 13. Uranium-lead diagram with concordia for zircons from potassic methamafic rocks: 1 — sample UR-90, 2 — sample UR-105

калиевых метамифитах приближается к единице (0,86—0,97), тогда как в метабазитах второй группы его значения низки (0,24—0,31) (рис. 8; табл. 1). Это указывает на разные условия плавления исходных базитов. Содержание элементов группы железа, за исключением V, ниже хондритовой нормы. Содержание V в биотитовых метабазитах в 2,57—2,88 раза превышает хондритовую норму, в породах толеитового состава — в 5,2—6,43, что почти в два раза выше, чем в калиевых мафитах.

Вторая особенность химического состава даек калиевых мафитов — их обогащение щелочами, литофильными и легкими редкоземельными элементами (РЗЭ) и обеднение тяжелыми РЗЭ относительно метамифитов

толеитового состава (рис. 9, 10). Изученные калиевые дайки и дайки метабазальтов существенно различаются по количеству несовместимых элементов; они содержат, ppm: Ba — 808–948 и 153–204, Rb — 45–59 и 5,4–10,4, Sr — 520–600 и 179–204, Nb — 13,2–30,5 и 5,3–10,6, Hf — 2,08–3,37 и 1,94–2,4 соответственно.

Для графиков хондрит-нормированного распределения микроэлементов обеих групп характерны положительные пики бария-рубидия, интенсивный отрицательный — тория (рис. 8), за исключением пр. UR-18/3. Во всех изученных породах отмечаются также слабые отрицательные аномалии Р и Zr-Hf, характерен Nb-Ta минимум слабой интенсивности (кроме пр. UR-18/3).

Все изученные породы имеют сравнительно невысокое суммарное содержание РЗЭ. Сумма РЗЭ в дайках калиевых мафитов незначительно выше, чем в дайках метамафитов второй группы (89,3–122, и 71,4–74,8 соответ-

ственно). Для спектров калиевых мафитов характерно значительное фракционирование пород по содержанию РЗЭ, что выражается в заметном преобладании легких лантаноидов над тяжелыми. Значение отношения $(La/Yb)_n$ варьирует от 9,5 до 14,1, в отличие от спектров даек метамафитов второй группы, для которых отношение $(La/Yb)_n$ изменяется незначительно (2,2–2,3) и графики спектров распределения РЗЭ имеют более уплощенную форму (рис. 10; табл. 1).

Для биотит-двупироксеновых кристаллосланцев характерна положительная европиевая аномалия, тогда как гранат-клинопироксеновым кристаллосланцам толеитового состава присуща слабая отрицательная.

Согласно диаграмме $Dy/Yb - La/Yb$, которая отображает соотношения между средними и тяжелыми РЗЭ и используется для оценки относительной глубины источника и степени плавления субстрата [27], калиевые мафиты характеризуются значительно большей степе-

Таблица 2. Содержание урана, свинца и изотопный состав свинца в цирконах из биотит-двупироксеновых кристаллосланцев, пр. UR-105

Table 2. Uranium, lead content, and lead isotope composition in zircons from biotite-twopyroxene crystalloschists, sample UR-105

Фракция циркона	Содержание, ppm		Изотопные отношения					Возраст, млн лет		
	U	Pb	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{208}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$
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

Примечание (тут и в табл. 3). Поправка на обыкновенный свинец введена по Стейси и Крамерсу на возраст 2000 млн лет.

Note (here and in Table 3). The correction for common lead is entered according to Staisy and Krammers for the age of 2000 Ma.

Таблица 3. Содержание урана, свинца и изотопный состав свинца в цирконах из гранат-клинопироксеновых кристаллосланцев, пр. UR-90

Table 3. Uranium, lead content, and lead isotope composition in zircons from garnet-clinopyroxene crystalloschists, sample UR-90

Фракция циркона	Содержание, ppm		Изотопные отношения					Возраст, млн лет		
	U	Pb	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{208}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$
1	329,4	130,7	3010	8,0567	5,4660	0,35101	5,7983	1939	1946	1953,4
2	321,6	126,4	6390	8,0315	5,2425	0,34638	5,8529	1917	1954	1993,7
3	324,7	123,7	33330	8,146	5,7123	0,34090	5,7570	1891	1940	1992,7
4	339,3	129,4	21740	8,1833	5,7068	0,34142	5,7294	1893	1936	1981,4
5	346,1	135,1	45450	8,1739	5,4448	0,34726	5,8495	1922	1954	1988,1

нию плавления вещества (La/Yb) и глубиной источника (Dy/Yb), чем метабазиты толеитового состава. По этим параметрам они близки к высокотитанистым биотитовым амфиболитам Чемерпольской структуры, расположенной в Среднем Побужье [4].

По многим геохимическим параметрам: повышенному содержанию K_2O , Rb, Sr, Ba и легким РЗЭ, характеру хондрит-нормированного распределения РЗЭ и европиевой аномалии калиевые метамафиты сходны с высокотитанистыми биотитовыми амфиболитами Чемерпольской структуры, но существенно отличаются от них по содержанию MgO и элементов группы железа. По этим же параметрам калиевые метамафиты близки к внутриплитным базальтам (*WPB*) [8], что отражает дискриминационная диаграмма Ti — Zr — Y (рис. 11, а). Отличаются они большей магнезиальностью и меньшим содержанием V, Y, более низкими значениями отношения Ni/Cr. На дискриминационной диаграмме Ti — Zr — Sr (рис. 11, б) калиевые метамафиты попадают в поле толеитов островных дуг (*IAT*). По мнению одного из авторов, калиевые мафические дайки по своим геохимическим особенностям, в частности по повышенному содержанию MgO, K_2O , сходны с санукитоидами — продуктами частичного плавления метасоматически обогащенной мантии [19, 24 и др.].

Возраст даек метамафитов определяли уран-свинцовым классическим методом по акцессорным цирконам.

Цирконы калиевых метамафитов представлены изометричными светло-розовыми водно-прозрачными зернами с алмазным блеском (так называемый драгоценный циркон), которые характерны и для метабазальтов (амфибол-двупироксеновых кристаллосланцев) [10, 15, 16] (рис. 12).

Для определения возраста калиевых метамафитов использовали гранулометрические фракции цирконов, полученные путем скатывания кристаллов по наклонной плоскости. Результаты исследований приведены в табл. 2 и на рис. 13. Цирконы пр. *UR-90* характеризуются прямой дискордантностью и существенными расхождениями в числовых значениях возраста, рассчитанного по изотопному отношению $^{207}Pb/^{206}Pb$, что, возможно, обусловлено контаминацией цирконов древ-

ним радиогенным свинцом из окружающих гранитоидов (и/или ксенолитов) или весьма продолжительным временем кристаллизации циркона.

Значения возраста, полученные для цирконов пр. *UR-105*, имеют обратную дискордантность и на диаграмме с конкордией ложатся практически в одну точку. В связи с этим для оценки возраста цирконов мы рассчитали средневзвешенные значения по изотопному отношению $^{207}Pb/^{206}Pb$. Возраст цирконов пр. *UR-90* — 1987 ± 17 , пр. *UR-105* — $1988,1 \pm 4,2$ млн лет. Эти цифры отражают время метаморфического преобразования базитов (табл. 2, 3). Это несколько больше возраста цирконов из даек амфибол-гранатовых метамафитов [10, 14, 15, 17, 18].

Выводы. Мафический палеопротерозойский магматизм развит на Украинском щите достаточно широко, но в основном его продукты представлены нормальными по щелочности породами. Примером служат многочисленные метаморфизованные мафические дайки Днестровско-Бугского мегаблока [16]. Основные дайки субщелочного состава с заметным содержанием K_2O представлены на Украинском щите ограничено, в основном на Волынском и Приазовском блоках [4, 11, 12, 19 и др.].

В Среднем Побужье выявлены дайки мафитового состава с повышенным содержанием калия. Калиевые мафиты преобразованы в условиях высокой степени метаморфизма и представлены биотит-двупироксеновыми кристаллосланцами. Возраст внедрения калиевых даек оценить пока нельзя, хотя он, безусловно, древнее 1987—1988 млн лет — времени метаморфического преобразования пород. Возраст, полученный для цирконов из антипертитовых эндербитов Среднего Побужья, представляющих собой продукты селективного плавления эндербито-гнейсов, оценивается в 1990—2010 млн лет [16, 18].

По нашему мнению, на завершающей стадии кристаллизации силикатного расплава в результате отделения водонасыщенного флюида произошла твердофазная метаморфическая перекристаллизация тел габброидов и кристаллизация циркона.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГФФИ Украины, проект № Ф40.6/029 "Раннеодокембрійські супракратальні комплекси

Українського та Балтійського щитів як індикатори головних етапів і геодинамічних умов формування континентальної кори фундаменту Східно-Європейської платформи в архей і палеопротерозой" і ФФІ Російської Федерації, проект № "09-05-00160 Укр_а".

ЛІТЕРАТУРА

1. Бартницький Е.Н., Бибикова Е.Н., Верхогляд В.М. и др. ИГМР-1. Международный стандарт циркона для уран-свинцовых изотопных исследований // Геохимия и рудообразование. — 1995. — № 21. — С. 164—167.
2. Белевцев Р.Я. О приконтактовой диффузионной зональности в пироксеновых гранулитах Среднего Побужья (Украинский щит) // Докл. АН Украины. — 1992. — № 10. — С. 123—129.
3. Булах А.Г., Золотарев А.А., Кривовичев В.Г. Классификация, формулы и структуры минералов: Учеб. пособие. — СПб.: Изд. С.-Петербург. ун-та, 2003. — 152 с.
4. Гаценко В.О., Литвиненко Ю.О. Ільменіт-біотитові амфіболіти Чемерпільської структури Середнього Побужья // Мінерал. журн. — 2010. — 32, № 4. — С. 86—99.
5. Иванушко А.С., Виноградов Г.В., Зайцева А.Н. Состав и структурное положение даек беербахитов Хашевато-Завальевского района (Украинский щит) // Изв. АН СССР. Сер. геол. — 1970. — № 11. — С. 56—62.
6. Изотопная геохронология докембрия: Сб. науч. тр. / Отв. ред. Л.К. Левский, О.А. Левченков. — Л.: Наука, 1989. — 159 с.
7. Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Зеленокаменные пояса и роль вулканизма в формировании месторождений / Е.М. Лазько, А.А. Сиворонов, М.А. Ярошук и др.; Отв. ред. Е.М. Лазько, В.В. Науменко. — Киев: Наук. думка, 1990. — 172 с.
8. Коваленко В.И., Наумов В.Б., Гирнис А.В. и др. Средние составы магм и мантии срединно-океанических хребтов и внутриплитных океанических и континентальных обстановок по данным изучения расплавных включений и закалочных стекол базальтов // Петрология. — 2007. — 15, № 4. — С. 361—396.
9. Кривдік С.Г., Кравченко Г.Л., Томурко Л.Л. та ін. Петрологія і геохімія чарнокітоїдів Українського щита. — К.: Наук. думка, 2011. — 215 с.
10. Лесная И.М., Плоткина Т.Э., Степанюк Л.М., Бартницький Е.Н. Возрастные этапы формирования мафит-эндербитовой ассоциации Побужья // Геохимия и рудообразование. — 1995. — № 21. — С. 56—69.
11. Омельченко А.М. Геологічна позиція та формаційна приналежність сублужних базитових дайкових комплексів східної частини Волинського мегаблоку Українського щита: Автореф. дис. ... канд. геол. наук. — К., 2011. — 20 с.
12. Омельченко А., Митрохин А. Возрастные группы субщелочных базитовых даек восточной части Волинского мегаблока Украинского щита // Геолог Украины. — 2012. — № 3 (39). — С. 56—65.
13. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, импактные образования. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. — 200 с.
14. Плоткина Т.Э. Геохимия и петрология эндербитогнейсов и кристаллосланцев Хашевато-Завальевского блока Украинского щита: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / АН Украины. ИГМР. — Киев, 1994. — 24 с.
15. Пономаренко А.Н., Степанюк Л.М., Довбуш Т.И., Щербина О.И. Уран-свинцовая изотопная система цирконов чарнокитоидов и кристаллических сланцев гранулитового комплекса Днестровско-Бугского мегаблока (Украинский щит) // Изотопные системы и время геологических процессов: Материалы IV Рос. конф. по изотопной геохронологии (г. Санкт-Петербург, 2—4 июня 2009). — СПб., 2009. — Т. II. — С. 88—91.
16. Степанюк Л.М. Кристаллогенезис и возраст цирконов из пород мафит-ультрамафитовой ассоциации Среднего Побужья // Минерал. журн. — 1996. — 18, № 4. — С. 10—19.
17. Степанюк Л.М. Хронология проявления эндогенных процессов в гранулитовых комплексах Днестровско-Бугского мегаблока Украинского щита (конец архей — ранний протерозой) // Там же. — 1998. — 20, № 2. — С. 68—73.
18. Степанюк Л.М. Геохронологія докембрію західної частини Українського щита (архей — палеопротерозой): Автореф. дис. ... д-ра геол. наук / НАН України. ІГМР. — К., 2000. — 34 с.
19. Щербаков И.Б. Петрология Украинского щита. — Львов: ЗУКЦ, 2005. — 364 с.
20. Ярошук М.А., Довгань Р.М. Проявления лампрофирового дайкового магматизма и признаки алмазности в обрамлении Бандуровского выступа Среднего Побужья // Геология і магматизм докембрію Українського щита. — К.: Вид. ІГМР НАН України, 2000. — С. 242—244.
21. Henry D.J., Guidotti C.V. Titanium in biotite from metapelitic rocks: Temperature effects, crystal-chemical controls, and petrologic applications // Amer. Miner. — 2002. — 87. — P. 375—382.
22. Kuno H. Differentiation of basalt magmas // Basalts: the Poldervaart treatise on Rocks of Basaltic Composition / Eds H.H. Hess, A. Poldervaart. — N. Y.: Intersci., 1968. — Vol. 2. — P. 623—688.
23. Le Maitre R.W., Bateman P.D., Dudek A. et al. A classification of igneous rocks and glossary of terms. — Oxford: Blackwell, 1989.
24. Lobach-Zhuchenko S.B., Rollinson H., Chekulaev V.P. et al. Petrology of a Late Archaean, Highly Potassic, Sanukitoid Pluton from the Baltic Shield: Insights into Late Archaean Mantle // J. Petrol. — 2008. — 49(3). — P. 393—420.
25. Ludwig K.R. Pb Dat for MS-DOS, version 1.06 // U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 88-542. — 1989. — P. 40.

26. Ludwig K.R. ISOPLOT for MS-DOS, version 2.0 // U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 88-557. — 1990. — P. 38.
27. Riley T.R., Leat P.T., Curtis M.L. et al. Early-Middle Jurassic Dolerite Dykes from Western Dronning Maud Land (Antarctica): Identifying Mantle Sources in the Karoo Large Igneous Province // J. Petrol. — 2005. — 46, No 7. — P. 1489—1524.
28. Rollinson H. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. — Longman Singapore Publ., 1998. — 352 p.

Поступила 27.03.2013

Л.М. Степанюк, В.О. Гаценко, С.Б. Лобач-Жученко, В.В. Балаганський, Ш.К. Балтибаєв, Т.І. Довбуш, А.В. Юрченко

КАЛІЄВІ МАФІТОВІ ДАЙКИ ПОБУЗЬКОГО ГРАНУЛІТОВОГО КОМПЛЕКСУ: ГЕОЛОГІЧНЕ ПОЛОЖЕННЯ, РЕЧОВИННИЙ СКЛАД, ПЕТРОГЕНЕЗИС, ВІК

В Одеському кар'єрі (Середнє Побужжя) було виявлено групу метаморфізованих дайок мафітового складу з суттєвим вмістом біотиту. Породи метаморфізовані за умов гранулітової фації. Вони представлені біотит-двопіроксеновими кристалосланцями, що складені олігоклазом, саліт-авгітом, гіперстеном та флогопітом. Хімічний склад порід відповідає андезібазальтам — трахіандезібазальтам калій-натрієвого, близького до калієвого типу лужності. За сумарною кількістю лужних оксидів біотит-двопіроксенові кристалосланці потрапляють на межу помірно лужних базитів та порід нормального ряду. Геохімічними особливостями біотит-двопіроксенових кристалосланців щодо метамафітів толейтового складу є підвищений вміст SiO_2 , MgO , лугів, Ni, Cr, Ba, Rb, Sr, Nb та легких РЗЕ (La–Nd) та понижений — CaO, P, V, Y, важких РЗЕ (Dy–Lu). Характерним є невисокий сумарний вміст РЗЕ, високий рівень фракціонування рідкісноземельних елементів та слабка позитивна європейська аномалія. За геохімічними характеристиками висококалієві метамафіти близькі до внутрішньоплитних базальтів та санукітоїдів — продуктів часткового плавлення метасоматично збагаченої мантії. Вік цирконів з біотит-двопіроксенових кристалосланців пр. UR-90 становить 1987 ± 17 млн рр., з пр. UR-105 — $1988,1 \pm 4,2$ млн рр. Це не набагато більше, ніж вік циркону з дайок амфібол-гранатових метамафітів Середнього Побужжя.

Ключові слова: калієві метамафіти, біотит-двопіроксенові кристалосланці, гранат-клінопіроксенові кристалосланці, толейтові базальти, циркон, вік метаморфічного перетворення, мезопротерозой, Одеський кар'єр, Середнє Побужжя, Український щит.

L.M. Stepanyuk, V.A. Gatsenko, S.B. Lobach-Zhuchenko, V.V. Balagansky, Sh.K. Baltybaev, T.I. Dovbush, A.V. Yurchenko

POTASSIC MAFIC DIKES OF THE BUG GRANULITE COMPLEX: GEOLOGICAL SETTING, CHEMICAL COMPOSITION, PETROGENESIS, AGE

The swarm of metamorphosed dikes of mafic composition with essential high content of biotite is found in the Odessa open pit (Middle Bug area). The rocks are metamorphosed in the conditions of granulitic facies. They are represented by biotite-twopyroxene crystalloschists comprised by oligoclase, salite-augite, hypersthene and phlogopite. Ore minerals are represented by ilmenite and pyrite. Apatite, calcite, zircon were found among accessory minerals. Biotite-pyroxene crystalloschists are characterised by high content of SiO_2 , MgO and alkalis (especially K_2O), moderate TiO_2 , Al_2O_3 and low content of CaO that is not typical of the basic rocks of the Middle Bug area. Geochemical features of crystalloschists of both groups unequivocally indicate the magmatic origin of primary rocks. As to chemical composition the rocks are related to andesite-basalt — trahytic andesite-basalt similar to potassic alkaline type. By total amount of alkaline oxides the biotite-pyroxene occupies the border position between moderately alkaline basic rocks and rocks of normal series. Among geochemical features of trace element biotite-pyroxene crystalloschists, in comparison with the metamorphic rocks of tholeiitic composition, a higher content of Ni, Cr, Ba, Rb, Sr, Nb and LREE (La–Nd) and lower of CaO, P, V, Y, HREE (Dy–Lu) are shown. Low total content of REE, high degree of fractionation of rare-earth elements and weak positive europium anomaly are typical of high potassic metamorphic rocks. High potassic mafic rocks are characterized by significantly higher degree of melting (La/Yb) and higher depth of protholith (Dy/Yb) in comparison with methabasites of tholeiitic composition. According to these parameters they are similar to high titanium biotitic amphibolites of the Chemerpol structure that is located in the Middle Bug area. As to geochemical features the potassic methamafic rocks are similar to innerplate basalts and resemble sanukitoides, products of partial melting of metasomatically enriched mantle. The age of biotite-pyroxene crystalloschists is determined by classical uranium-lead method on accessory zircons. The age of zircons from sample UR-90 is estimated at 1987 ± 17 , from sample UR-105 — at 1988.1 ± 4.2 Ma that is slightly higher than the age of zircons obtained from dikes of amphibole-garnet methamafic rocks of the Middle Bug area.

Keywords: potassic methamafic rocks, biotite-twopyroxene crystalloschists, garnet-clinopyroxene crystalloschists, tholeiitic basalts, zircon, age of the metamorphic transformation, Mesoproterozoic, Odessa open pit, the Middle Bug area, the Ukrainian Shield.