

УДК 550.93 : 552.4 (447)

**С.Б. Лобач-Жученко, Ю.С. Егорова, А.В. Юрченко,
В.В. Балаганский, Г.В. Артеменко, В.П. Чекулаев, Н.А. Арестова****БИОТИТ-ГРАНАТОВЫЕ ГНЕЙСЫ — РЕЗУЛЬТАТ
СТРУКТУРНО-МЕТАМОРФИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВНИХ
ТОНАЛИТОВ: СОСТАВ МИНЕРАЛОВ, ХАРАКТЕРИСТИКА
И ВОЗРАСТ ПРОЦЕССА (ВАСИЛЬКОВСКИЙ УЧАСТОК
ОРЕХОВО-ПАВЛОГРАДСКОЙ ШОВНОЙ ЗОНЫ)**

Изучен состав минералов тоналитов и продуктов их переработки — биотит-гранатовых гнейсов Васильковского участка Орехово-Павлоградской зоны; рассчитаны значения температуры метаморфических процессов, привязанных к этапам деформаций. Определен возраст по Sm-Nd минеральной изохроне последнего метаморфического процесса, проявленного как в тоналитах и гнейсах, так и в перекрывающих метаосадках, — 2008 ± 12 млн лет.

Орехово-Павлоградская зона, расположенная между Среднеприднепровским и Приазовским архейскими геоблоками или террейнами, интерпретируется как коллизионная структура [1, 4]. Характеристика складчатого строения северной части зоны была рассмотрена А.И. Некрячем [8].

В строении изученного участка (карьер РДРСУ) принимают участие два комплекса: породы фундамента и перекрывающая их толща метаосадочных пород. Первый комплекс представлен линзами тоналитов, прорванных дайками основных пород, и продуктами их структурно-метаморфической переработки — биотит-гранатовыми гнейсами, амфиболитами и двупироксеновыми кристаллическими сланцами. В строении второго комплекса преобладают кварциты, содержащие прослои глиноземистых гнейсов. Оба комплекса претерпели сильные деформации и метаморфизм.

Тоналиты сохраняются в виде небольших линз, в различной степени деформированных и переработанных вплоть до биотит-гранато-

вых гнейсов. Их возраст составляет не менее 3,4 млрд лет [2, 10]. Процесс переработки тоналитов протекал в несколько разновозрастных этапов. Ранние (но, вероятнее всего, не первые) деформации, имевшие место только в породах комплекса основания, выражены формированием складок с крутыми осевыми поверхностями, образованием ранней пологой линейности и мигматизацией. Метаморфизм и мигматизация на этом этапе происходили в условиях амфиболитовой фации, что фиксируется ассоциацией амфибол + плагиоклаз в линзах основных пород.

Последующие деформации и метаморфизм проявлены как в породах фундамента, так и в метаосадочном чехле. Деформации отражают сжатие по линии СВ — ЮЗ и выражены формированием сначала пологой, а затем крутой, менее интенсивной в сравнении с ранней, линейности. Метаморфизм происходил при высоких варьирующих температурах, достигавших амфиболитовой и гранулитовой фации. Гранулитовому этапу отвечают двупироксеновые ассоциации в основных породах, высокотитанистые биотиты в гнейсах. В настоящей статье главное внимание сосредоточено на характеристике метаморфизма, соответствующей

© С.Б. Лобач-Жученко, Ю.С. Егорова,
А.В. Юрченко, В.В. Балаганский, Г.В. Артеменко,
В.П. Чекулаев, Н.А. Арестова, 2009

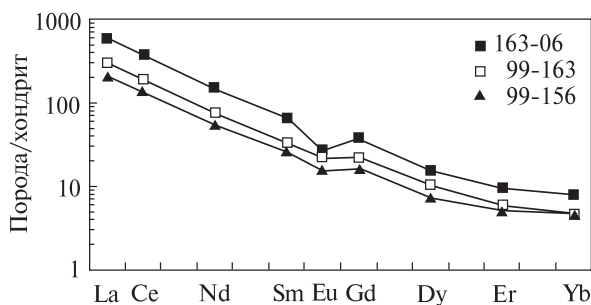


Рис. 1. Распределение P3Э, нормированных по [18], в тоналитах разной степени рассланцевания (обр. 99-163, 163-06) и в Bt-Grt* гнейсе (обр. 99-156) — конечном продукте рассланцевания тоналитов

щего последнему этапу деформаций, проявленному как в породах фундамента, так и в метаосадочном чехле.

Процесс структурно-метаморфической переработки происходил в целом в условиях закрытой системы, насколько об этом можно судить по идентичности содержания главных и редких элементов в исходных и конечных продуктах, что демонстрирует распределение редкоземельных элементов (P3Э) в породах различной степени переработки тоналитов (рис. 1). Одинаковый модельный возраст *TDM(Nd)* биотит-гранатовых гнейсов и тоналитов (см. ниже) указывает на закрытость системы в масштабе образца и на изотопном уровне.

Состав пород и минералов, условия метаморфизма. Тоналиты и гнейсы имеют сходный минеральный состав, %: олигоклаз — 65–70, кварц — до 20, биотит и гранат — до 10. Однако микроструктуры пород отчетливо демонстрируют их изменение в результате переработки (рис. 2). При этом следует отметить неравномерность рассланцевания в микромасштабе: прослои с вытянутыми кристаллами биотита и граната (рис. 2, а) разделяются полосками, в которых гранат образует изотропные зерна, содержащие многочисленные включения (рис. 2, б). Эти микроструктурные изменения выражены в масштабах обнажений, где отчетливо наблюдается неравномерность процесса рассланцевания. Сходство этих пород отражается и в их химическом составе.

Для характеристики условий метаморфизма был изучен состав минералов на микрозондо-

* Символы минералов по тексту, в таблицах и на рисунках: Ab — альбит, An — анортит, Ap — апатит, Bt — биотит, Grt — гранат, KFsp — K-полевошпат, Pl — плагиоклаз, Q — кварц.

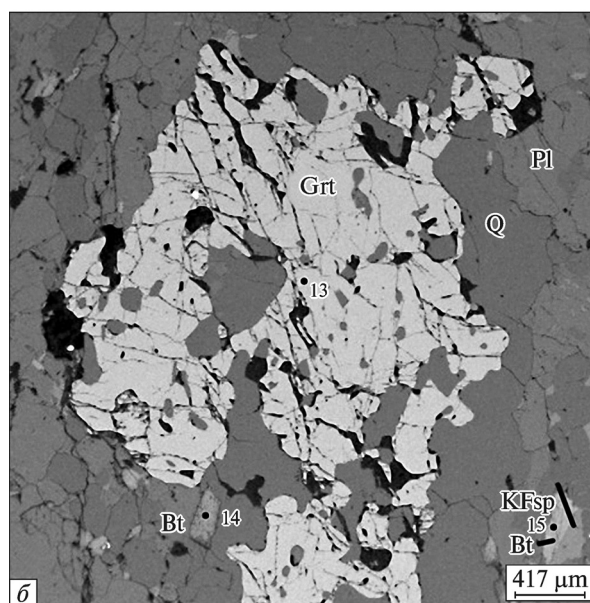
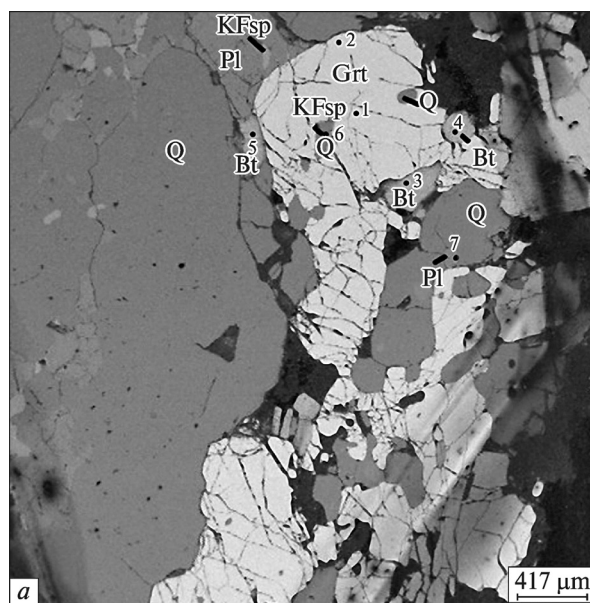


Рис. 2. Микрофотографии двух участков обр. UR2: а — из зоны сильного рассланцевания, б — из участка с развитием более позднего изотропного граната

вом анализаторе *LINK* в ИГГД РАН в шайбах и в прозрачно-полированных пластинках (табл. 1), содержание редких и редкоземельных элементов в биотитах и гранатах определены в ИМИ РАН (г. Ярославль) на ионном микрозонде *Cameca IMS-4f* (табл. 2), измерения изотопного состава Sm и Nd для пород в целом и минералов выполнены в ИГГД РАН на масс-спектрометре *FINNIGAN MAT*.

В таблицах материал расположен в направлении усиления деформаций от наиболее сохранившихся в линзах тоналитов к гнейсам, расположенным на контакте с метаосадками,

Таблица 1. Средний химический состав минералов, %

Номер анализа	Биотиты						Плагноклазы						Калинагровые полевые шпаты					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
Номер образца	99-163	163-06	99-156			UR2		99-163						99-156			UR2/1	
Точки	1-3, 9, 10	7-12	1-3	6	3, 4	9	5, 8, 11, 12, 14, 15	7, 8, 11	15, 16	6, 7	7, 10	4-6	13, 14	4, 5	6			
SiO ₂	36,19	36,71	36,49	35,65	37,64	36,90	37,40	60,21	60,63	62,19	61,95	63,12	62,61	63,52	64,25			
TiO ₂	5,39	4,47	5,07	4,41	5,82	8,06	5,49	0,03	—	0,12	0,10	0,02	0,11	—	0,07			
Al ₂ O ₃	15,58	16,10	16,37	17,20	16,59	16,59	16,86	24,69	24,75	23,96	23,37	19,28	19,16	18,98	18,06			
FeO*	20,33	18,82	19,19	18,41	13,44	14,91	15,63	0,07	0,16	0,06	0,06	0,06	0,15	0,04	0,46			
MnO	0,12	0,09	0,08	0,11	0,06	0,00	0,03	0,03	—	0,01	0,01	0,00	0,06	0,02	—			
MgO	9,82	11,10	10,01	13,01	13,96	9,65	11,86	—	—	—	0,05	—	0,05	—	0,16			
CaO	—	—	—	—	—	0,05	0,02	6,46	6,27	5,23	5,35	—	—	—	0,00			
Cr ₂ O ₃	0,02	0,04	0,05	0,10	0,02	0,05	0,03	—	0,10	0,06	0,08	0,02	0,03	0,03	0,06			
Na ₂ O	0,18	1,10	0,10	0,12	0,56	1,54	0,30	7,58	7,76	8,06	8,67	0,19	0,34	0,29	—			
K ₂ O	8,94	8,86	9,05	7,19	8,98	8,88	9,40	0,39	0,31	0,35	0,35	15,30	14,76	15,47	16,96			
BaO	0,53	0,51	0,22	0,38	—	—	—	0,03	0,07	0,16	0,00	2,05	2,49	1,27	—			
Сумма	97,10	96,92	96,59	96,58	97,09	96,62	97,01	99,51	99,98	100,05	99,99	100,04	99,62	99,58	100,0			

Номер анализа	Гранаты					
	16	17	18	19	20	21
Номер образца	163-06					
Точки	край 1, 2	центр 3-5	6	край 1, 3	центр 2, 4, 5	1, 2, 13
SiO ₂	38,66	38,97	38,23	38,42	38,41	38,48
TiO ₂	0,01	0,00	0,08	0,08	0,25	0,04
Al ₂ O ₃	22,30	22,34	21,91	22,36	22,10	21,88
FeO*	27,58	27,79	28,25	29,69	29,96	29,82
MnO	2,81	2,69	3,21	1,80	1,81	0,74
MgO	3,93	4,12	3,34	4,72	4,55	6,99
CaO	4,22	4,38	4,33	2,66	2,57	1,79
Cr ₂ O ₃	0,06	0,04	—	0,05	0,03	0,07
Na ₂ O	0,28	0,14	—	0,20	0,04	0,21
K ₂ O	0,06	0,04	—	0,02	0,03	0,02
BaO	0,10	—	—	—	—	—
Сумма	99,93	100,49	99,35	99,94	99,50	100,04
Номер анализа	163-06					
Номер образца	163-06					
Точки	163-06					
SiO ₂	36,13					
TiO ₂	0,02					
Al ₂ O ₃	20,94					
FeO*	33,73					
MnO	1,50					
MgO	4,00					
CaO	2,92					
Cr ₂ O ₃	—					
Na ₂ O	—					
K ₂ O	—					
BaO	—					
Сумма	99,25					
Номер анализа	163-06					
Номер образца	163-06					
Точки	163-06					
SiO ₂	36,21					
TiO ₂	0,01					
Al ₂ O ₃	18,34					
FeO*	35,19					
MnO	2,30					
MgO	3,71					
CaO	4,06					
Cr ₂ O ₃	—					
Na ₂ O	—					
K ₂ O	—					
BaO	—					
Сумма	99,82					
Номер анализа	163-06					
Номер образца	163-06					
Точки	163-06					
SiO ₂	38,03					
TiO ₂	0,02					
Al ₂ O ₃	20,61					
FeO*	35,28					
MnO	0,65					
MgO	2,68					
CaO	2,13					
Cr ₂ O ₃	—					
Na ₂ O	—					
K ₂ O	—					
BaO	—					
Сумма	99,40					

Примечание. Анализы 1-21 выполнены в ИГТД РАН, г. Санкт-Петербург; ан. 22-25 выполнены в ИГМР им. Н.П. Семеновко НАН Украины, г. Киев.

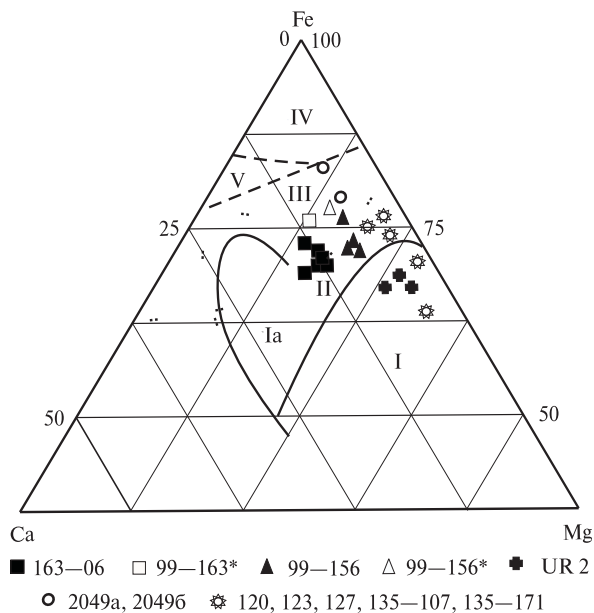


Рис. 3. Положение гранатов на дискриминационной диаграмме Ca — Fe — Mg [6]. Точки гранатов смещаются из поля амфиболитовой фации умеренных значений давления в поле гранулитовой фации. Поля: I — слабоизмененные породы гранулитовой фации, Ia — область перекрытия полей амфиболитовой и гранулитовой фаций, II — амфиболитовая фация повышенного давления, III — амфиболитовая фация умеренного давления, IV — эпидот-амфиболитовая фация, V — область перекрытия полей эпидот-амфиболитовой и низкотемпературной амфиболитовой фаций

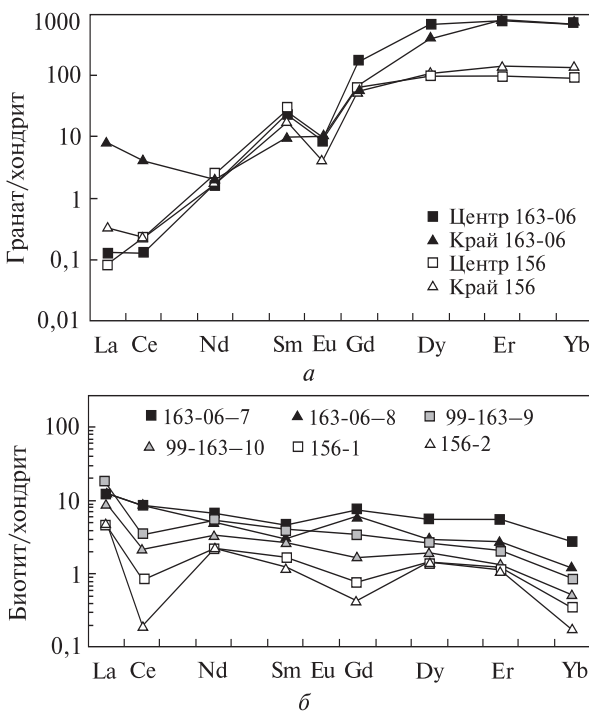


Рис. 4. Изменение содержания РЗЭ при переработке тоналитов в гранатах (а) и биотитах (б)

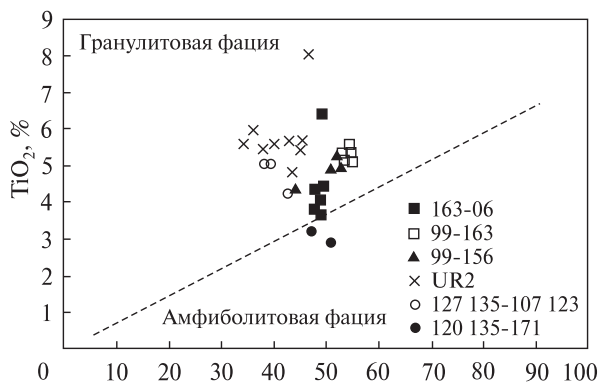


Рис. 5. Положение биотитов на диаграмме TiO_2 — F, % [5], демонстрирующее тренд изменения состава биотитов от амфиболитовой фации (скв. 120, 135—171 [1]) до гранулитовой с постепенным увеличением содержания TiO_2 от наименее измененных тоналитов (обр. 163-06) до Bt-Grt гнейсов (обр. UR2)

то есть с СВ на ЮЗ. Анализы, заимствованные из литературы [1], располагаются от изученного разреза далее на запад.

Как следует из данных табл. 1 и рис. 3, гранаты представлены альмандинами с небольшим, но варьирующим количеством пирропа. Как можно видеть на рис. 3, количество пирропа увеличивается в образцах, расположенных в направлении с СВ на ЮЗ, то есть от наименее измененных тоналитов к гнейсам, максимально рассланцованным, расположенным вблизи контакта с метаосадочной толщей. Одновременно с рассланцеванием в новообразованных гранатах (табл. 2; рис. 4, а) от тоналита к гнейсу уменьшается содержание L- и H РЗЭ, а также Y, увеличивается содержание Ti и V.

Биотит характеризуется в целом высокими значениями концентрации Ti, благодаря чему большая часть точек на дискриминационных диаграммах попадает в поле гранулитовой фации (рис. 5). В то же время и для биотита наблюдается отчетливый тренд увеличения содержания Ti по мере интенсивности рассланцевания (рис. 5), то есть в том же направлении, что и увеличение количества пирропа в гранатах. По мере степени изменения в них, как и в гранатах, уменьшается количество РЗЭ, появляется аномалия Ce, увеличивается содержание Ti и, возможно, Nb (табл. 2; рис. 4, б).

В этом процессе изменяется и состав полевых шпатов: плагиоклаз с содержанием An — 30—32 % становится более кислым (25—26 % An); K-полевой шпат, содержащий 0—4 % Ab и 3—5 — гиалофана, в наиболее измененной

порode не содержит ни Ab, ни гиалофана, что сопровождается уменьшением содержания Ba в гранатах.

Несмотря на варьирующий состав биотитов и гранатов и кажущееся противоречие между альмандиновым составом граната и высокотитанистым биотитом, нами была предпринята попытка оценить температуры их образования, используя разные Vt-Grt геотермометры. Результаты расчетов приведены в табл. 3. Наименее измененный тоналит (обр. 163-06) по

четырем геотермометрам дает температуру 600–700 °C, Vt-Grt гнейс (обр. 99-156) — варьирующую температуру по разным геотермометрам, но несколько более высокую (до 750–800 °C), чем рассланцованный тоналит. Наиболее сильно деформированный Vt-Grt гнейс (обр. UR2) содержит две Vt-Grt минеральные ассоциации, представленные на рис 2, а, б. Одна из них (рис. 2, а; 3 в табл. 3) дает более низкие значения температуры (600–700 °C). Рост изотропного граната (рис. 2, б)

Таблица 2. Содержание редких и редкоземельных элементов в биотитах и гранатах, ppm

Номер образца	99-163		163-06		163-06		99-156		99-156	
	Bt				Grt		Bt		Grt	
Точка	9	10	7	8	центр	край	1	2	центр	край
La	4,09	2,1	2,96	3,05	0,03	1,97	1,21	1,11	0,08	0,02
Ce	2,13	1,37	5,16	5,27	0,08	2,56	0,12	0,52	0,14	0,14
Nd	2,5	1,56	3,15	2,41	0,76	0,96	1,04	1,05	0,75	1,23
Sm	0,62	0,41	0,7	0,47	3,51	1,56	0,19	0,26	2,78	4,21
Eu	—	—	—	—	0,5	0,59	—	—	0,24	0,54
Gd	0,71	0,34	1,52	1,27	34,6	13,5	0,09	0,16	11,3	13,4
Dy	0,67	0,49	1,41	0,76	171	102	0,37	0,37	27,6	24,5
Er	0,35	0,22	0,93	0,47	125	130	0,19	0,21	23,6	16,3
Yb	0,15	0,09	0,46	0,21	124	122	0,03	0,06	24	15,9
Ti	37723	31366	24764	23963	51,8	33,9	36213	35351	106	194
V	265	221	281	314	77,6	43,9	428	421	79,1	81,4
Cr	155	136	158	183	44,1	44,3	104	104	34,5	39
Rb	386	325	413	493	37	23,6	544	566	38,4	37,4
Sr	10,8	6,78	27,6	29,1	0,24	111	5,67	7,4	1,95	0,13
Y	0,34	0,15	3,72	0,85	1512	1063	0,1	0,11	204	163
Zr	4,5	3,03	3,12	4,1	10,04	4,8	2,72	1,34	15,2	8,3
Nb	108	91,4	51,8	52,3	0,02	0,04	78,5	77,6	0,07	0,03
Ba	5437	4128	4841	4799	0,4	52,85	3284	3334	1,08	0,16

Примечание. Анализ выполнен на ионном микрозонде в ИМИ РАН, г. Ярославль.

Таблица 3. Значения температуры для гранат-биотитовых геотермометров

Номер п/п	Номер образца	P, kb	T-Гл, Др	T-HL	T-HS	T-Spear	T-ЛП
1	163-06	4,6	640–709	609–670	678–770	627–724	601–657
2	99-156	4	741–798	699–746	801–885	771–853	691–734
3	UR2	5,3	775–868	735–806	846–937	865–932	724–772
4	UR2	7,9	645–700	628–677	665–743	648–727	586–636
5	120	4,5	720	684	764	743	684
6	135-171	5	735	698	777	766	690
7	123	7	639	618	645	634	597
8	127	6,5	800	758	884	868	715
9	135-107	7	707	681	744	735	650

Примечание. T-HS — K.V. Hodges, F.S. Spear [1], T-HL — M.J. Holdaway, S.M. Lee [14], T-Spear — F.S. Spear [17], T-Гл, Др — В.А. Глебовицкий, Г.М. Другова [3], T-ЛП — И.В. Лаврентьева, Л.Л. Перчук [7].

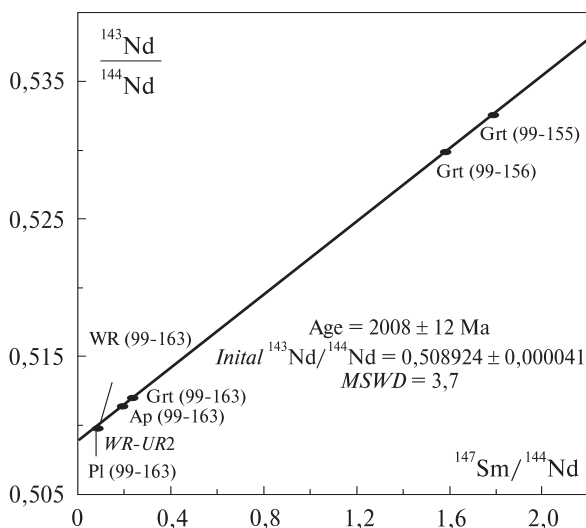


Рис. 6. Sm-Nd изохронная диаграмма, построенная по породе в целом и минералам (Васильковский участок Орехово-Павлоградской зоны)

сопровождается повышением температуры (4 в; табл. 3). Расчеты 5—9 выполнены по данным [1]. Биотиты и гранаты из скв. 120 и 135 на рис. 3 и 4 лежат в поле амфиболитовой фации, расчет температуры для них (5, 6 в табл. 3) близок к полученному для обр. 163-06, а в близко расположенной скв. 123 мы имеем более низкие значения температуры, чем в скв. 120. Вариации полученных оценок, по-видимому, являются следствием дифференцированного распределения деформаций и метаморфизма внутри разреза, а также эволюции условий метаморфизма от этапа к этапу, что обуславливает неполное равновесие сосуществующих минералов.

Sm-Nd систематика пород и минералов, Sm-Nd возраст последнего метаморфического процесса. Sm-Nd изотопный анализ проводили в ИГГД РАН. Разделение Sm и Nd выполнено по стандартной методике, аналогичной к

опубликованной в работе [16]. Пробы были разложены в HF и HNO₃ с добавлением трасера ¹⁵⁰Nd и ¹⁴⁹Sm. Разделение Sm и Nd прошло в два этапа. Сначала на ионообменных колонках выделялись все РЗЭ, затем на колонках, содержащих покрытый HDEHP тефлоновый порошок, выделялись отдельно Sm и Nd. Определение изотопного состава Nd проводилось на многоколлекторном твердофазном масс-спектрометре Triton T1. Воспроизводимость определения концентраций Sm и Nd, вычисленная на основании многократных анализов стандарта BCR-1, соответствует ±0,5 %, изотопных отношений ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd — ±0,5, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd — ±0,005 (2σ). Величина холостого опыта составляла 0,3 нг для Sm и 0,8 — для Nd. Результаты анализа стандартного образца BCR-1 (6 измерений): [Sm] = 6,47 мкг/г, [Nd] = 28,13 мкг/г, ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd = 0,1380, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0,512642 ± 14. Воспроизводимость изотопных анализов контролировалась определением состава стандартов La Jolla и SRM-987. За период измерений полученное значение ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd в стандарте La Jolla составило 0,511847 ± 8 (2σ, 12 измерений). Изотопный состав Nd нормализован по величине ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd = 0,7219. Изотопный состав Nd приведен к табличному значению стандарта La Jolla (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0,511860).

При расчете значений εNd(T) использовались современные значения для однородного хондритового резервуара (CHUR) ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0,512638 и ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd = 0,1967 [9]. Модельный возраст TDM(Nd) вычислен по модели [11], согласно которой изотопный состав Nd деплетированной мантии эволюционировал в соответствии с формулой εNd(t) = 0,25t² - 3t + 8,5 (где t — млрд лет) в период от 4,55 млрд лет по настоящее время и имеет εNd(0) = +8,5.

Таблица 4. Изотопный состав Sm и Nd для пород и минералов из карьера РДРСУ

Номер п/п	Номер образца	Порода, минерал	Sm, ppm	Nd, ppm	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	±2σ	εNd (T)	T _{Zr}	T _{NdDM}
1	99-163	Вал	5,52	38,4	0,0870	0,510088	6	-1,6	3400	3586
2	99-163	Гранат	7,1	17,9	0,2407	0,512116	7			
3	99-163	Плагиоклаз	0,68	5,41	0,0766	0,509925	5			
4	99-163	Биотит	0,69	4,41	0,0944	0,510088	6			
5	99-163	Апатит	313,2	981,7	0,1928	0,511507	6			
6	99-156	Гранат	2,8	1,1	1,5919	0,529897	9			
7	UR2(99-156)	Вал	5,8	43,95	0,0797	0,509941	3	-6,1	3085	3555
8	99-155	Гранат	5,25	1,78	1,7884	0,532625	9			

Для оценки модельного возраста источника и возраста наложенного метаморфизма был изучен изотопный состав Nd в четырех образцах (табл. 4). В наименее измененном тоналите (обр. 99-163) измерены вал, Grt, Pl, Bt, Ap. В Bt-Grt гнейсе (обр. 99-156) измерен Grt. В Bt-Grt гнейсе (обр. UR2) — наиболее рассланцованной породе — определен изотопный состав Sm и Nd для породы в целом. Как видно из табл. 4, тоналит и Bt-Grt гнейс имеют идентичные значения модельного возраста, равные 3,56–3,59 млрд лет. Кроме того, из кварцита осадочного комплекса был также измерен изотопный состав Sm и Nd в гранате (обр. 99-155).

Полученные данные для минералов и породы в целом из образцов тоналита (обр. 99-163), Bt-Grt гнейса (99-156) и граната (99-155) образуют линию регрессии с наклоном, отвечающим возрасту 2008 ± 12 млн лет, СКВО = 3,7 (рис. 6). Это значение близко к возрасту 2015 млн лет, полученному U-Pb методом для монацита по отношению $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ [10]. На линию регрессии не легла точка биотита (обр. 99-163), что подтверждает вывод о недостижении полного равновесия между биотитом и гранатом, отразившемся и на его неравновесном изотопном составе. Расчет изохроны с включением биотита дает тот же возраст (2004 ± 18 млн лет), но увеличивает СКВО до 10,1.

В связи с тем, что температура закрытия Sm-Nd системы в гранатах по данным ряда исследователей [12, 15] соответствует значениям температуры, полученным для данных образцов, мы полагаем, что полученная изохрона по минералам и валу отвечает времени перестройки Nd изотопной системы, произошедшей

во время последнего метаморфизма в условиях высокотемпературной амфиболитовой фации около 2 млрд лет назад. Таким образом, полученный по минеральной изохроне Sm-Nd возраст отвечает последнему метаморфическому процессу в этом районе, который завершает преобразование пород фундамента и проявлен как в породах фундамента, так и в перекрывающем осадочном чехле. Этот метаморфизм датирует время коллизии двух архейских террейнов — Среднеприднепровского и Приазовского.

Выводы. Метаморфические породы, принимающие участие в строении района Васильковка, относятся к плутоно-метаморфическому комплексу основания и более молодому комплексу метаосадочных пород.

Метаморфические породы основания представлены Bt-Grt гнейсами, представляющими собой продукты структурно-метаморфической переработки древних тоналитов.

Последние деформации и метаморфизм, отвечающие, по-видимому, этапу коллизии Приднепровского и Приазовского террейнов, происходили в условиях варьирующей амфиболитовой и гранулитовой фации.

Эти процессы наложены как на породы комплекса основания, так и на метаосадочный чехол и имели место 2004 ± 18 млн лет назад.

Работа выполнена по проектам № 48/08-Ф НАН Украины и РФФИ 08-05-90416Укр_а.

Авторы выражают благодарность С.Г. Симкину и Е.В. Потапову (ЯФФТИАН, г. Ярославль) за исследование геохимии минералов.

Авторы выражают свою признательность чл.-кор. НАН Украины А.Н. Пономаренко за помощь при проведении исследований.

1. Азаров Н.Я., Анциферов Е.М., Шеремет Е.Б. и др. Геолого-геоэлектрическая модель Орехово-Павлоградской шовной зоны Украинского щита. — Киев : Наук. думка, 2005. — 190 с.
2. Артеменко Г.В., Демедюк В.В., Бартницкий Е.Н. и др. 3400 млн лет — минимальный возраст тоналитов Васильковского участка Орехово-Павлоградской зоны // Геол. журн. — 2002. — № 2. — С. 88–95.
3. Глебовицкий В.А., Другова Г.М. Границы фаций и субфаций пород, бедных СаО, по данным гранат-биотитовой термо- и барометрии // Проблемы физико-химической петрологии. — М. : Наука, 1979. — № 1. — С. 34–46.
4. Глевасский Е.Б. Зеленокаменные пояса и перспективы поисков золотого оруденения в Приазовье // Минерал. журн. — 1996. — 18, № 4. — С. 72–88.
5. Другова Г.М., Глебовицкий В.А. Некоторые закономерности изменения состава граната, биотита, роговой обманки при региональном метаморфизме // Региональный метаморфизм докембрийских формации СССР. — М. : Наука, 1965. — С. 33–46.
6. Крылова М.Д., Галибин В.А., Крылов Д.П. Главные темноцветные минералы высокометаморфизованных комплексов: Справ. пособие. — Л. : Недра, 1991. — С. 115–145.
7. Лаврентьева И.В., Перчук Л.Л. Фазовое соответствие в системе биотит-гранат. Экспериментальные данные // Докл. АН СССР. — 1981. — 260, № 3. — С. 731–734.

8. Некряч А.И. Комплексное геолого-геофизическое изучение докембрийского складчатого пояса на примере Орехово-Павлоградской зоны Украинского щита // Геологическая съемка дислоцированных комплексов / Ред. В.Д. Вознесенский, Н.В. Горлов, В.Д. Доливо-Добровольский. — Л. : Недра, 1980.
9. Фор Г. Основы изотопной геологии. — М. : Мир, 1989. — 590 с.
10. Шербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Архей. — Киев : Наук. думка, 2005. — 244 с.
11. DePaolo D.J. Neodymium isotopes in the Colorado Front Range and crust mantle evolution in the Proterozoic // Nature. — 1981. — **291**. — P. 193—196.
12. Hensen B.J., Zhou B. Retention of isotopic memory in garnets partially broken down during an overprinting granulite-facies metamorphism: Implications for the Sm-Nd closure temperature // Geology. — 1995. — **23**. — P. 225—228.
13. Hodges K.V., Spear F.S. Geothermometry, geobarometry and Al_2SiO_5 triple point at Mt. Moosilauke, New Hampshire // Amer. Miner. — 1982. — **67**. — P. 1118—1134.
14. Holdaway M. J., Lee S.M. Fe-Mg cordierite stability in high-grade pelitic rocks based on experimental, theoretical, and natural observations // Contribs Mineral. and Petrol. — 1977. — **63**. — P. 175—198.
15. Humphires F.J., Cliff R.A. Sm-Nd dating and cooling history of Scourian granulites, Sutherland // Nature. — 1982. — **295**. — P. 515—518.
16. Richard P., Shimizu N., Allegre C.J. $^{143}Nd/^{144}Nd$ a natural tracer: an application to oceanic basalts // Earth and Planet. Sci. Lett. — 1976. — **31**. — P. 269—278.
17. Spear F.S. Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths. — Mineral. Soc. of America, Washington D.C., 1993. — 799 p.
18. Sun S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in the Ocean Basins: Geol. Soc., Spec. Publ / Eds. A.D. Saunders, M.J. Norry. — 1989. — **42**. — P. 313—345.

Ин-т геологии и геохронологии докембрия РАН, С.-Петербург, Россия

Поступила 12.02.2009

Ин-т геологии КНЦ РАН, Россия

Ин-т геохимии, минералогии и рудообразования

им. Н.П. Семеново НАН Украины, Киев

РЕЗЮМЕ. Вивчено склад мінералів тоналітів та продуктів їх переробки — біотит-гранатових гнейсів Васильківської ділянки Орехово-Павлоградської зони; розраховані значення температури метаморфічних процесів, прив'язаних до етапів деформацій. Визначено вік за Sm-Nd мінеральною ізохроною останнього метаморфічного процесу, проявленого як в тоналітах і гнейсах, так і в метаосадах, що перекривають, — 2008 ± 12 млн рр.

SUMMARY. Compositions of tonalites' minerals and products of their transformation- biotite-garnet gneisses of Vasilkovka region of Orekhov-Pavlograd zones are studied; temperatures of metamorphic processes attached to stages of deformations are estimated. Age of last metamorphic process was determined on Sm-Nd minerals isochron of last metamorphic processes revealed as in tonalites, as in overlapping metamorphosed sediment rocks, equal 2008 ± 12 Ma.