

## ПОЗДНЕПАЛЕОАРХЕЙСКИЕ ТОНАЛИТОВЫЕ ГНЕЙСЫ ЗАПАДНО-ПРИАЗОВСКОГО БЛОКА (ПРИАЗОВСКИЙ МЕГАБЛОК УКРАИНСКОГО ЩИТА)

**Г.В. Артеменко<sup>1</sup>, Л.В. Шумлянский<sup>2</sup>, И.А. Швайка<sup>3</sup>**

*(Рекомендовано д-ром геол.-минерал. наук С.Г. Кривдиком)*

<sup>1</sup> *Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины, Киев, Украина,  
E-mail: regul@igmof.gov.ua*

*Доктор геологических наук, профессор, заведующий отделом.*

<sup>2</sup> *Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины, Киев, Украина,  
E-mail: lshumlyansky@yahoo.com*

*Доктор геологических наук, старший научный сотрудник.*

<sup>3</sup> *Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины, Киев, Украина,  
E-mail: ishvaika@gmail.com*

*Кандидат геологических наук, научный сотрудник.*

На Западно-Приазовском блоке впервые выявлены тоналитовые гнейсы позднепалеоархейского ( $3297 \pm 22$  Ma) возраста. Они характеризуются положительным значением  $\epsilon Nd(3300) = 0,3 \div 1,8$ , что указывает на их ювенильный источник. С учетом новых геохронологических данных в западной части Приазовского мегаблока выделяются три этапа образования тоналитов древнейшей коры – ( $3,67 \pm 0,05$ ); ( $3,5 \pm 0,005$ ) и ( $3,3 \pm 0,007$ ) млрд лет, в результате которых были сформированы древнейшие сиалические ядра континентальной коры Украинского щита, выделяемые в Приазовском и Днестровско-Бугском мегаблоках. *Ключевые слова:* Западно-Приазовский блок, тоналитовый гнейс, циркон, U-Pb возраст, палеоархей.

## THE LATE PALEOARCHEAN TONALITE GNEISSES OF WEST-AZOV BLOCK (AZOV MEGABLOCK OF UKRAINIAN SHIELD)

**G.V. Artemenko<sup>1</sup>, L.V. Shumlyanskiy<sup>2</sup>, I.A. Shvaika<sup>3</sup>**

*(Recommended by doctor geological-mineralogical sciences S.G. Kryvdik)*

<sup>1</sup> *Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine,  
E-mail: regul@igmof.gov.ua*

*Doctor of geological sciences, professor, head of department.*

<sup>2</sup> *Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine,  
E-mail: lshumlyansky@yahoo.com*

*Doctor of geological sciences, senior researcher.*

<sup>3</sup> *Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine,  
E-mail: ishvaika@gmail.com*

*Candidate of geological sciences, researcher.*

The late paleoarchean ( $3297 \pm 22$  Ma) age of tonalite gneisses was at first identified on West-Azov block. They are characterized by a positive value of  $\epsilon Nd(3300) = 0,3 \div 1,8$ , that they are juvenile source. With the new geochronological data, in the western part of Azov megablock three stages

of formation of tonalite of ancient crust ( $3,67 \pm 0,05$ ); ( $3,5 \pm 0,005$ ) and ( $3,3 \pm 0,007$ ) Ga was established, during which they formed the nucleus ancient sialic continental crust of Ukrainian Shield, allocated in the Azov and Dniester-Bug megablocks.

*Key words:* West-Azow block, tonalite gneisses, zircon, U-Pb age, paleoarchean.

## ПІЗНЬОПАЛЕОАРХЕЙСЬКІ ТОНАЛІТОВІ ГНЕЙСИ ЗАХІДНО-ПРИАЗОВСЬКОГО БЛОКА (ПРИАЗОВСЬКИЙ МЕГАБЛОК УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА)

Г.В. Артеменко<sup>1</sup>, Л.В. Шумлянський<sup>2</sup>, І.А. Швайка<sup>3</sup>

*(Рекомендовано д-ром геол.-мінерал. наук С.Г. Кривдіком)*

<sup>1</sup> Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України, Київ, Україна,

E-mail: regul@igmof.gov.ua

*Доктор геологічних наук, професор, завідувачий відділом.*

<sup>2</sup> Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України, Київ, Україна,

E-mail: lshumlyansky@yahoo.com

*Доктор геологічних наук, старший науковий співробітник.*

<sup>3</sup> Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України, Київ,

E-mail: ishvaika@gmail.com

*Кандидат геологічних наук, науковий співробітник.*

На Західно-Приазовському блоці вперше виявлені тоналітової гнейси пізньопалеоархейського ( $3297 \pm 22$  Ma) віку. Вони характеризуються позитивним значенням  $\epsilon Nd(3300) = 0,3 \pm 1,8$ , що вказує на їх ювенільне джерело. З урахуванням нових геохронологічних даних у західній частині Приазовського мегаблока виділяються три етапи утворення тоналітів найдавнішої кори – ( $3,67 \pm 0,05$ ); ( $3,5 \pm 0,005$ ) і ( $3,3 \pm 0,007$ ) млрд років, в результаті яких були сформовані найдавніші сіалічні ядра континентальної кори Українського щита, що виділяються в Приазовському та Дністровсько-Бузькому мегаблоках.

*Ключові слова:* Західно-Приазовський блок, тоналітовий гнейс, циркон, U-Pb вік, палеоархей.

### Введение

В настоящее время западная часть Приазовского мегаблока рассматривается как фрагмент архейского кратона, вовлеченного в коллизионный метаморфизм [Божко, 2013] в палеопротерозое. От Среднеприднепровского мегаблока он отделяется Орехово-Павлоградской коллизионной зоной, возникшей в результате его поддвига под Приазовский мегаблок. В строении Западно-Приазовского блока значительную часть занимают мезоархейские гранитно-купольные и зеленокаменные структуры. В межкупольных пространствах наблюдаются сильно деформированные высокометаморфизированные комплексы пород. Согласно традиционным представлениям [Усенко и др., 1982], среди них выделяется западноприазовская серия, представленная преимущественно метабазами и пла-

гиогнейсами, более древняя, и центрально-приазовская серия, сложенная графитовыми, силлиманитовыми, ставролитовыми, кордиеритовыми, гранатовыми гнейсами и сланцами, рудными и безрудными кварцитами, кристаллическими известняками. Наибольшие трудности связаны с расчленением западноприазовской серии, что объясняется фрагментарностью ее разрезов, сильной гранитизацией и интенсивными дислокационными преобразованиями. В ее составе выделяются две толщи: верхнетокмакская (нижняя) и кайинкулакская (верхняя), которые в принятой хроностратиграфической схеме отнесены к палеоархею [Кореляційна..., 2004]. Согласно новым данным, кайинкулакская толща, к которой относились плагиогнейсы различного состава, является мезоархейской (3,0–3,1 млрд лет) [Бибикина и др., 2010]. Верхнетокмакская

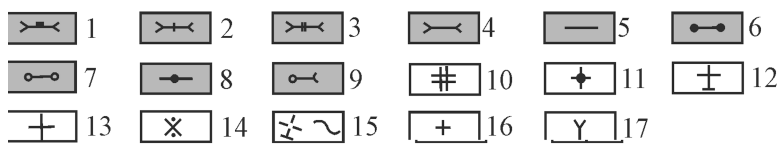
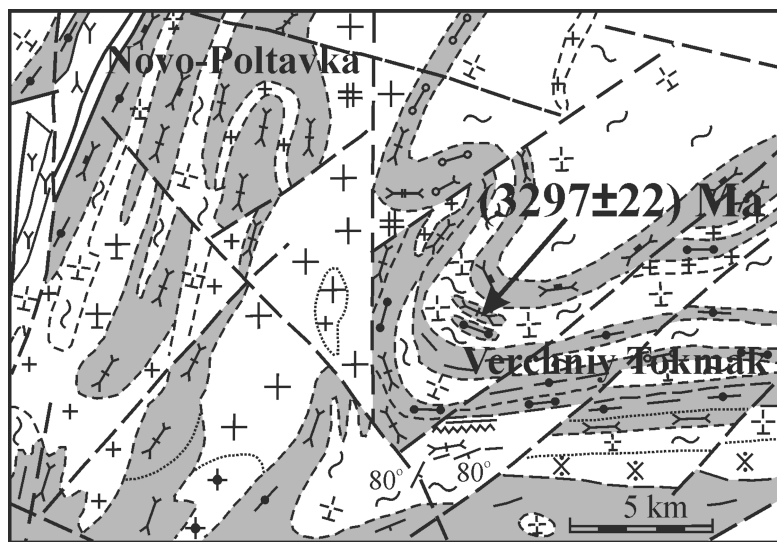
толща, представленная двупироксеновыми плагиогнейсами, основными кристаллическими сланцами и амфиболитами [Стратиграфические..., 2008], геохронологическими данными не охарактеризована. Характерной особенностью состава верхнетокмакской толщи является присутствие в ее составе гнейсов среднего состава.

### Постановка проблемы

Эо- и палеоархейские образования (3,67 и 3,5 млрд лет) были выделены ранее в пределах Орехово-Павлоградской коллизионной структуры [Щербак и др., 2005]. На Западно-Приазовском блоке был известен только кластогенный циркон эо- и палеоархейского возраста в метасадочных породах Сорочкинской и Федоровской зеленокаменных структур [Артеменко и др., 2006; Бибикина и др., 2010]. Эти данные косвенно указывали на присутствие палеоархейского фундамента на Приазовском мегаблоке, однако их

коренные выходы ранее не были найдены.

Цель настоящей работы – геохронологическое исследование тоналитовых гнейсов, описанных в Белоцерковской седловинной синклинали субширотного простирания, расположенной между мезоархейскими Куйбышевской и Салтычанской гранитно-купольными структурами. Белоцерковская структура имеет размер до 20x45 км. На востоке она ограничена Гуровской антиклиналью, отделяющей ее от Центральноприазовского синклинория, а на западе – Черниговским разломом. Сложена гранитоидами различного состава, линзами метаморфических пород мощностью от первых сантиметров до сотен метров (рис. 1), несущими следы интенсивных дислокационных преобразований [Коньков, Полуновский, 1967]. По этой причине пространственная увязка слагающих ее пород и определение возрастной последовательности формирования установить весьма сложно.



**Рис. 1.** Схематическая геологическая карта участка работ, по [Геологическая..., 1988], с упрощениями

1 – амфиболиты пироксеносодержащие; 2 – гнейсы и кристаллические сланцы двупироксеновые, часто амфиболитизированные; 3 – гнейсы и кристаллические биотит-гиперстеновые, часто с гранатом, гнейсы гиперстеновые; 4 – гнейсы и кристаллические биотит-диопсидовые, биотит-амфибол-диопсидовые; 5 – гнейсы биотитовые; 6 – гнейсы гранат-биотитовые; 7 – гнейсы биотит-силлиманитовые; 8 – гнейсы кристаллические биотит-амфиболовые, амфиболовые; 9 – гнейсы графит-биотитовые, силлиманит-графит-биотитовые;

10 – эндербиты; 11 – граниты пироксен-роговообманковые; 12 – тоналиты; 13 – граниты биотит-роговообманковые; 14 – диориты, кварцевые диориты; 15 – плагиограниты и плагиомигматиты биотитовые; 16 – граниты аплит-пегматоидные; 17 – сиениты

**Fig. 1.** Schematic geological map of the area of work by [Геологическая..., 1988], with simplifications

1 – pyroxene amphibolites; 2 – gneisses and crystalline schists bipyroxene, often amphibolized; 3 – gneisses and crystalline schists and biotite-hypersthene, often with garnet, hypersthene gneisses; 4 – gneisses and crystalline schists biotite-diopside, biotite-amphibole-diopside; 5 – biotite gneisses; 6 – garnet-biotite gneisses; 7 – biotite-sillimanite gneisses; 8 – gneisses and crystalline schists biotite-amphibole, amphibole; 9 – gneisses graphite-biotite, sillimanite-graphite biotite; 10 – enderbites; 11 – pyroxene-hornblende granites; 12 – tonalites; 13 – biotite-hornblende granites; 14 – diorite, quartz diorite; 15 – plagiogranites and biotite plagiomigmatites; 16 – granite aplite-pegmatoids; 17 – syenite

## Результаты исследований

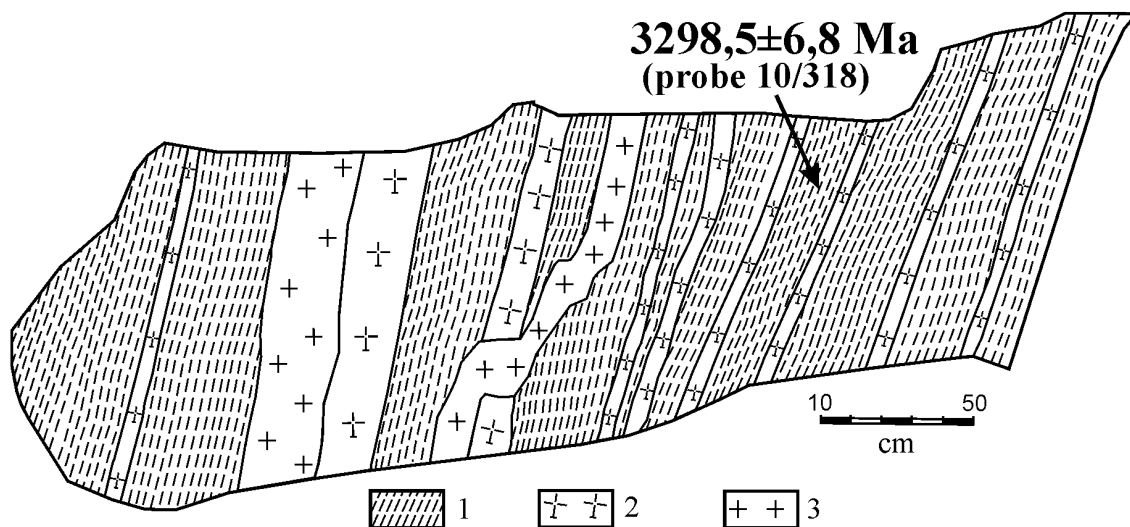
Тоналитовые гнейсы наблюдаются в разрозненных обнажениях на р. Токмак на протяжении около 3 км от северной до южной части с. Верхний Токмак. На отдельных участках они прорываются мощными телами калиевых гранитов, шириной до 100 м. Относительно большие, слабо гранитизированные останцы тоналитовых гнейсов обнажаются на правом берегу р. Токмак в центре с. Верхний Токмак (обн. № 1) и в сливной канаве плотины в северной части с. Верхний Токмак (обн. № 3). Здесь наблюдаются полосовидные мигматиты (артериты) (рис. 2).

Тоналитовые гнейсы слагают палеосому мигматитов (артеритов), неосома которых представлена гранодиоритами и лейкократовыми гранитами. Элементы залегания гнейсовидности тоналитовых гнейсов: азимут падения ЮВ  $172^\circ$ , угол  $75^\circ$ . Полосы тоналитовых гнейсов имеют мощность до 30 см, а гранодиоритов или лейкократовых гранитов – 5–35 см. Контакты гранодиоритов и лейкократовых гранитов с тоналитовыми гнейсами резкие. По структурному положению они являются синкинематическими к

формированию этой зоны. Жильные тела пегматоидных гранитов, прорывающие тоналитовые гнейсы, гранодиориты и лейкократовые граниты, являются посткинематическими (рис. 2). В северной части этого обнажения наблюдается сильно деформированное линзовидное тело амфиболитов, размером до  $0,35 \times 5$  м, вероятно, являющееся дайкой, внедрившейся до дислокационных преобразований тоналитовых гнейсов (рис. 2).

Тоналитовые гнейсы в обн. № 1 (обр. 10/318) – это мелкозернистая порода, с лепидогранобластовой структурой. Минеральный состав (%): пироксен моноклинный – до 5; амфибол – 7; биотит – 13; кварц – 18; плагиоклаз – 55; апатит – 1–2; рудный минерал и циркон – ед. зерна. Наблюдаются антипертитовые вроски в плагиоклазе. Пироксен замещается амфиболом и биотитом.

По химическому составу (табл. 1) они соответствуют кварцевым диоритам нормального ряда, натриевой и калиево-натриевой серии [Магматические..., 1983]. Это низко- и среднекалиевые породы с низкой магнезиальностью ( $mg\# = 39-44$ ), высокоглиноземистые ( $al' = 1,95-2,18$ ).



**Рис. 2.** Схематическая зарисовка обн. № 1 на р. Токмак в центральной части с. Верхний Токмак (N  $47^\circ 12,041'$ ; E  $36^\circ 22,034'$ )

1 – тоналитовые гнейсы; 2 – гранодиориты и лейкократовые граниты; 3 – пегматоидные граниты; 4 – амфиболиты. На рисунке показана точка отбора пробы тоналитовых гнейсов 10-318 и их изотопный возраст

**Fig. 2.** Schematic sketch map of outcrop № 1 on Tokmak river in the central part of Upper Tokmak village (N  $47^\circ 12,041'$ ; E  $36^\circ 22,034'$ )

1 – tonalite gneisses; 2 – granodiorites and leucocratic granites; 3 – pegmatoid granites; 4 – amphibolites. On the figure shows the sampling point of tonalite gneiss probe 10-318 and their isotopic age

Таблица 1. Химические анализы тоналитовых гнейсов

Table 1. Chemical analyzes of the tonalite gneiss

№ обр.	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	S <sub>бар</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O-	П.п.п.	Сумма	mg#
10/318	62,93	0,57	16,01	1,16	4,81	0,08	1,89	5,70	4,30	1,00	<0,02	0,11	0,39	0,69	99,66	39
10/314	63,51	0,47	15,76	1,16	4,67	0,08	1,97	5,06	4,62	1,24	-	0,23	0,48	0,66	99,94	40

Применение. Проба 10-318, обн. № 1 на правом берегу р. Токмак в центральной части с. Верхний Токмак. Химические анализы выполнены в лаборатории ИГМР НАН Украины.

Note. Probe 10-318, outcrop № 1 on the right bank of Tokmak rv. in the central part of Upper Tokmak vi; sample 10-314 – the same outcrop № 3 in the northern part of Upper Tokmak vi. Chemical analyzes were performed in the laboratory IGMOF NAS Ukraine.

Таблица 2. Содержание элементов в тоналитовых гнейсах

Table 2. Content of elements in the tonalite gneisses

Элементы, ppm	ТТГ ср. [Martin, 1994]		Элементы, ppm	ТТГ ср. [Martin, 1994]		Элементы, ppm	ТТГ ср. [Martin, 1994]		2/10/318	1/10/314	1/10/314	2/10/318	1/10/314	2/10/318	ТТГ ср. [Martin, 1994]	2/10/318	ТТГ ср. [Martin, 1994]
	1/10/314	2/10/318		1/10/314	2/10/318		1/10/314	2/10/318									
Rb	29	25,9	Zr	199	343	Dy	152	4,4	5,7	4,4	152	343	199	343	152	5,7	1,16
Sr	315	299	Hf	5,1	7,7	Ho	—	0,83	1,2	0,83	—	7,7	5,1	7,7	—	1,2	—
Ba	417	390	U	0,24	0,28	Er	1,6	2,4	3,3	2,4	1,6	0,28	0,24	0,28	1,6	3,3	0,59
V	75,2	64,6	Th	3,1	1,10	Tm	6,9	0,32	0,46	0,32	6,9	1,10	3,1	1,10	6,9	0,46	—
Cr	21,3	14,6	La	43,7	27,8	Yb	32	1,9	3,0	1,9	32	27,8	43,7	27,8	32	3,0	0,55
Co	15,9	15,1	Ce	80,8	58,7	Lu	56	0,28	0,44	0,28	56	58,7	80,8	58,7	56	0,44	0,12
Ni	29	31,7	Pr	8,5	6,90	Mo	—	0,46	0,84	0,46	—	6,90	8,5	6,90	—	0,84	—
Cu	36,1	45,9	Nd	30,9	28,0	Cs	21,4	0,18	0,18	0,18	21,4	28,0	30,9	28,0	21,4	0,18	—
Zn	82,9	69,3	Sm	5,7	5,70	W	3,3	74,8	0,24	74,8	3,3	5,70	5,7	5,70	3,3	0,24	—
Y	20,7	30,0	Eu	0,95	1,2	Pb	0,92	9,4	10,4	0,92	0,92	1,2	0,95	1,2	0,92	10,4	—
Nb	9,5	7,1	Gd	5,0	5,90	(La/Yb) <sub>N</sub>	2,20	16,50	6,65	2,20	2,20	5,90	5,0	5,90	2,20	6,65	—
Ta	0,56	0,24	Tb	0,76	0,92	Eu/Eu*	0,31	0,54	0,63	0,31	0,31	0,92	0,76	0,92	0,31	0,63	1,04

Применение. Привязки даны в табл. 1. Содержание элементов определено методом ICP-MS в ЦЛ ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург.

Note. Position are shown in table 1. Content of elements was determined by ICP-MS method in CL VSEGEI, St. Petersburg.

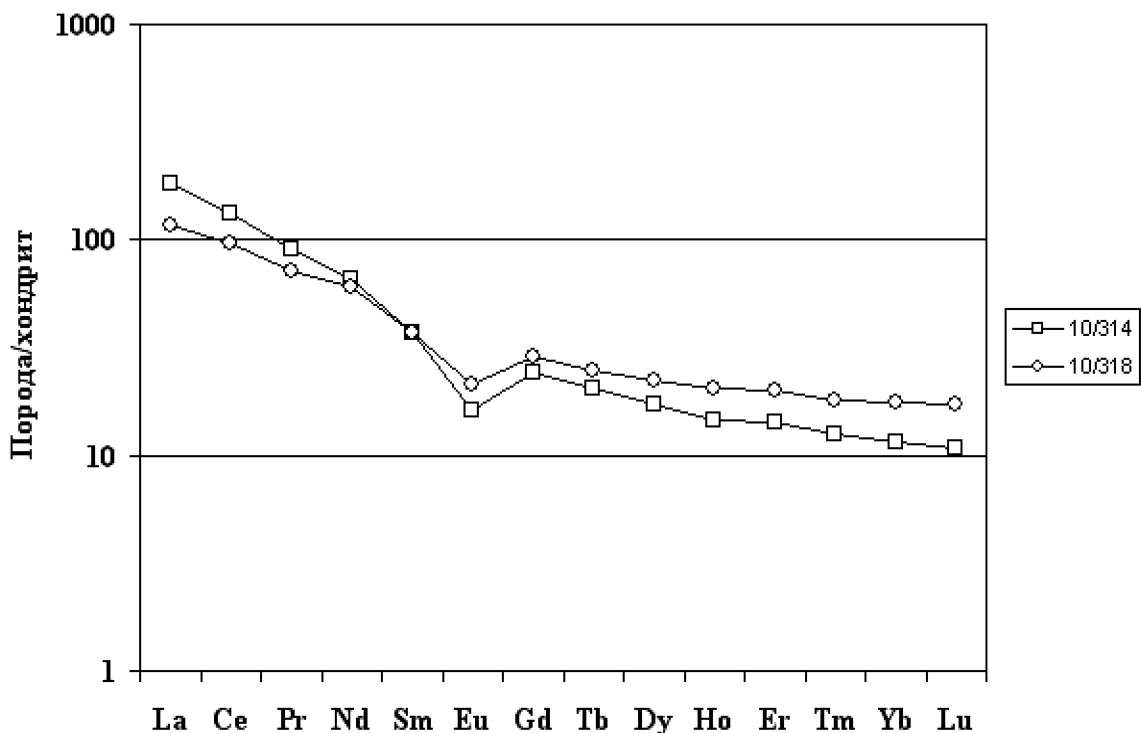
В тоналитовых гнейсах наблюдается (табл. 2) низкое содержание Rb (26-29 ppm) и Th (1,10-3,10 ppm), умеренное содержание Sr (299-315 ppm). Концентрация высокозарядных элементов выше, чем в среднем тоналите: Y (20,7-30,0 ppm), Nb (7,1-9,5 ppm), Yb (1,9-3,0 ppm), а переходных элементов ниже – Cr (14,6-21,3 ppm), Ni (29-31,7 ppm) (Martin, 1994). График распределения РЗЭ слабо дифференцированный –  $(La/Yb)_N = 6,65$ , при  $Yb_N = 17,65$ . Наблюдается европиевая аномалия –  $Eu/Eu^* = 0,63$  (рис. 3), что указывает на фракционирование исходного расплава тоналитов в промежуточном коровом магматическом источнике.

По геохимическим характеристикам тоналитовые гнейсы могут быть отнесены к низкобарической тоналит-трондьемит-гранодиоритовой (ТТГ) серии [Моуел, 2011]. Они могли образоваться, вероятно, при частичном плавлении метабазитов с реститом, включавшим клинопироксен, амфибол и плагиоклаз. Гранат как ликвидусная фаза отсутствовал. Возможной моделью их фор-

мирования могло быть частичное плавление метабазитов в нижней коре (<35 км), связанное с андерплейтингом расплавов и/или подъемом мантийных плюмов [Щипанский, Подладчиков, 1991; Condie, 1994].

### Результаты U-Pb и Sm-Nd изотопных исследований

Тоналитовые гнейсы, обнажающиеся на р. Токмак, ранее датировались нами по циркону классическим U-Pb методом [Щербак и др., 2011]. Исследовались отобранные под биноклем кристаллы светло-коричневого циркона без видимых обрастаний. По этому циркону были получены сильно дискордантные значения U-Pb возрастов по разным уран-свинцовым отношениям. По ним была рассчитана изохрона, которая имеет два пересечения с конкордией. Верхнее пересечение с конкордией было интерпретировано как время кристаллизации циркона –  $(3560 \pm 69)$  млн лет, СКВО 53, а нижнее –  $(2287 \pm 112)$  млн лет – как время метаморфизма.



**Рис. 3.** Графики распределения РЗЭ в тоналитовых гнейсах Белоцерковской структуры. Нормировано на хондрит [Sun, McDonough, 1989]

**Fig. 3.** Graphic distribution of REE in tonalite gneiss of Belotserkovka structure. Normalized to chondrite [Sun, McDonough, 1989]

Для получения более надежных геохронологических данных было выполнено исследование этого циркона методом LA-ICP-MS. Внутреннее строение циркона изучено методами катодолюминесценции. Для проведения U-Pb изотопных исследований цирконы были имплантированы в эпоксидную шайбу и приполированы до вскрытия их внутренних участков. Далее они были проанализированы на изотопы U, Th и Pb методом LA-ICP-MS в Музее минералогии и геологии (GeoPlasma Lab, Senckenberg Naturhistorische Sammlungen Dresden), с использованием инструмента Thermo-Scientific Element 2 XR ICP-MS, связанного с Wave UP-193 Excimer Laser System. Каждый анализ состоял из фоновых измерений в течение 15 с и сбора данных в течение 30 с, с помощью лазерного пучка диаметром 35  $\mu\text{m}$ . Собранные данные были скорректированы на величину фонового сигнала, наличие общего свинца, вызванное лазером элементное фракционирование, инструментальную дискриминацию масс и зависящее от времени элементное фракционирование Pb/Th и Pb/U. Приведенные погрешности включают в себя квадратичную добавку внешней воспроизводимости стандартного циркона GJ-1 (~0,6% и 0,5-1% для  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  и  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , соответственно). Отношение Th/U получено непосредственно путем измерений на LA-ICP-MS. Концентрации U и Pb рассчитаны относительно стандарта GJ-1 и имеют точность около 10%.

Изотопный состав неодима измерен в лаборатории Шведского природоведческого музея, г. Стокгольм. Навески пород (~100 мг) разлагались в тefлоновой посуде в смеси кислот HF и HNO<sub>3</sub> в термостате при температуре 200 °C. Перед разложением к ним добавлялся трассер  $^{149}\text{Sm} + ^{150}\text{Nd}$ . Полученный раствор выпаривался, и остаток переводился в хлоридную форму. Самарий и неодим выделен с помощью двухступенчатой ионно-обменной хроматографии. Измерения изотопного состава неодима выполнялись с помощью масс-спектрометра Thermo-Finnigan Triton, данные измерений нормализовались к отношению  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,7219$ . Точность измерений контролировалась с помощью стандартов BCR-1 и La Jolla. Модельные возраста по модели деп-

летированной мантии рассчитаны по модели (DePaolo, 1981).

Цирконы из тоналитовых гнейсов преимущественно довольно крупные (до 0,2 мм), от коротко- до удлиненно-призматических, некоторые близки к изометричным. Грани и ребра кристаллов сглажены. Около 40% кристаллов циркона прозрачные, бесцветные, в то время как 60% кристаллов полупрозрачные, окрашены в бурые тона. Некоторые из кристаллов циркона содержат мелкие непрозрачные включения. Многие кристаллы циркона проявляют четкую зональность, заметную уже при их оптическом исследовании. Особенно четко эта зональность проявляется при катодолюминесцентных исследованиях. Зональность концентрическая, ритмическая, во многих зернах можно выделить до четырех-пяти зон роста. В то же время четких наследованных ядер обнаружить не удалось. Большинство кристаллов проявляют слабую и умеренную люминесценцию; практически все кристаллы окружены тонкими каймами, имеющими яркую люминесценцию. Единичные кристаллы циркона проявляют яркую люминесценцию.

Результаты U-Pb изотопного датирования, проведенного методом LA-ICP-MS, приведены в табл. 3. Циркон характеризуется непостоянным содержанием урана (10-286 ppm) и свинца (4-204 ppm); прослеживается четкая положительная зависимость между содержаниями этих двух элементов. Степень конкордантности не зависит от содержания урана. Величина Th/U отношения варьирует в пределах 0,23-0,44, при единичном значении 0,61.

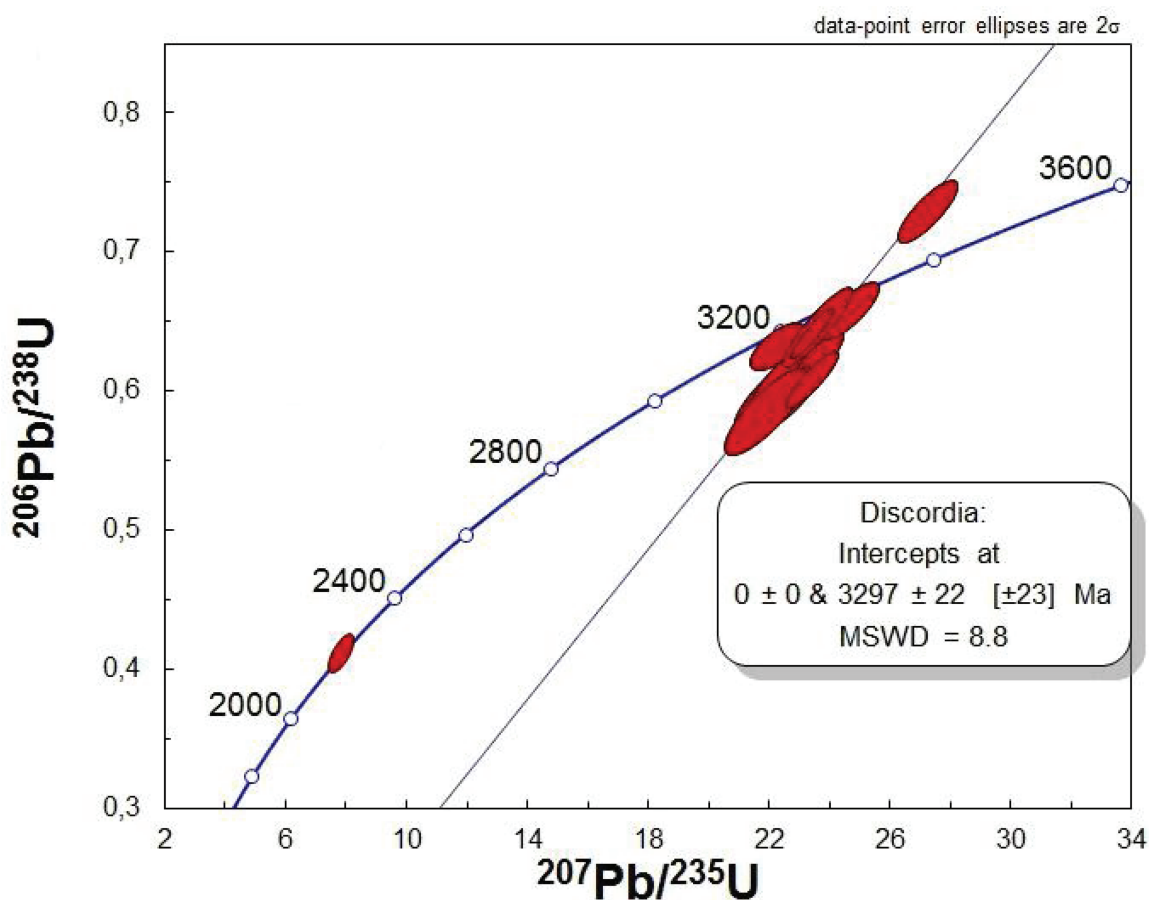
Все полученные результаты либо конкордантны, либо близки к таковым (степень дискордантности не превышает 10%). Возраст, полученный по пересечению дискордии с конкордией, составляет (3297±22) млн лет (рис. 4). Поскольку результаты близки к конкордантным, то был рассчитан также средневзвешенный возраст по отношению  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ , который составил (3298,5±6,8) млн лет. Ядра более древнего циркона не были обнаружены. Кроме того, анализы, выполненные по ядерным и краевым частям кристаллов циркона, не отличаются между собой по изотопному возрасту. Один анализ, проведенный по кристаллу циркона с яркой люминесценцией,

Таблица 3. Результаты U-Pb изотопных исследований циркона из тоналитовых гнейсов Белоцерковской структуры методом лазерной абляции (проба 10-318)

Table 3. The Results of U-Pb isotopic studies of zircons from tonalite gneisses of Belotserkovka structure by laser ablation (sample 10-318)

Номер анализа, точка	Содержание, ppm		Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	Изотопные отношения			Возраст, млн лет			Степень конк., %
	U	Pb			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
a30	38	28	0,23	28968	0,61933	23,4048	0,27408	3107	3244	3330	93
a32	111	80	0,25	71001	0,59918	22,4793	0,27210	3027	3205	3318	91
a33	286	204	0,26	158460	0,59325	22,5843	0,27610	3003	3209	3341	90
a34	10	4	0,02	3948	0,41164	7,8321	0,13800	2222	2212	2202	101
a35	19	13	0,29	11959	0,59801	21,7670	0,26399	3022	3173	3271	92
a36	91	79	0,32	58044	0,72952	27,1979	0,27040	3532	3391	3308	107
a37	21	15	0,30	14136	0,60941	22,2577	0,26489	3068	3195	3276	94
a38	49	36	0,25	33712	0,63181	22,2439	0,25534	3157	3194	3218	98
a39	25	20	0,33	10861	0,65831	24,6352	0,27141	3261	3294	3314	98
a40	107	78	0,39	73118	0,58518	21,8397	0,27068	2970	3177	3310	90
a41	68	51	0,30	50447	0,60800	23,3924	0,27904	3062	3243	3358	91
a42	108	86	0,44	72550	0,64608	23,5180	0,26401	3213	3249	3271	98
a43	143	119	0,61	101802	0,64197	23,3920	0,26427	3197	3243	3272	98





**Рис. 4.** U-Pb изохрона с конкордией для циркона из тоналитовых гнейсов (обр. 10-318)

**Fig. 4.** U-Pb isochron with concordia for zircons from tonalite gneiss (sample 10-318)

дал конкордантный результат с возрастом ( $2202 \pm 54$ ) млн лет. Очевидно, этот возраст соответствует времени метаморфизма, в течение которого были сформированы единичные кристаллы циркона с яркой люминесценцией, а также маломощные каймы вокруг остальных кристаллов.

Тоналитовые гнейсы характеризуются положительным значением  $\epsilon Nd_{(3300)} = 0,3 \pm 1,8$  (табл. 4). Это указывает на ювенильный источник расплавов и согласуется с предположением о выделении тоналитов из молодой коры мафического состава.

#### Выводы и обсуждение результатов

На основании U-Pb геохронологических исследований циркона тоналитовых гнейсов из западной части Белоцерковской структуры методом LA-ICP-MS определен их позднепалеоархейский возраст – ( $3297 \pm 22$ ) млн лет. Из-за сильной дислоци-

рованности метаморфических пород и слабой обнаженности в этом районе определить их возрастное соотношение с другими раннедокембрийскими комплексами Западно-Приазовского блока пока нет возможности. Близкие по составу гнейсы среднего состава описываются в картировочном профиле XIX, пройденном при глубинном геологическом картировании через Верхнетокмакскую структуру [Дралов, 1975-1979]. Разрез последнего в настоящее время принят как стратотипический для верхнетокмакской толщи западноприазовской серии. В то время как на XIX профиле метабазиты составляют существенную часть вскрытых пород, в западной части Белоцерковской структуры среди тоналитов встречаются только единичные дайки габброидов и амфиболитов; вопрос их сопоставимости требует дальнейших исследований.

Таблица 4. Результаты Sm-Nd изотопных исследований тоналитовых гнейсов Белоцерковской структуры

Table 4. The results of Sm-Nd isotope studies of tonalite gneisses of Belotserkovka structure

№ пробы	Содержание, ppm		$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \pm 2\sigma$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(3300)}$	$\varepsilon\text{Nd}_{(3300)}$	$T_{\text{Nd}}(\text{DM})$ , De Paolo, 1981 [16]
	Sm	Nd					
10-318	5,43	26,32	0,1246	0,511080±3	0,508362	+0,3	3,48
10-314	6,06	33,74	0,1085	0,510808±3	0,508440	+1,8	3,34

Тоналитовые гнейсы характеризуются положительным значением  $\varepsilon\text{Nd}_{(3300)} = 0,3 \pm 1,8$ , что указывает на их ювенильный источник. Они могли образоваться при частичном плавлении метабазитов с реститом, включающем клинопироксен, амфибол и плагиоклаз. Гранат как ликвидусная фаза отсутствовал. Возможной моделью их формирования могло быть частичное плавление метабазитов в нижней коре (<35 км), связанное с андерплейтингом расплавов и/или подъемом мантийных

плюмов [Щипанский, Подладчиков, 1991; Condie, 1994].

С учетом новых геохронологических данных в западной части Приазовского мегаблока выделяются три этапа образования тоналитов древнейшей коры – (3,67±0,05); (3,5±0,005) и (3,3±0,007) млрд лет, в ходе которых были сформированы древнейшие сиалические ядра континентальной коры Украинского щита, выявленные в Днестровско-Бугском и Приазовском мегаблоках щита.

#### Список литературы / References

1. Артеменко Г. В., Жуков Г. В., Клец В. А. Нижняя возрастная граница осипенковской свиты. Докл. АН УССР. Сер. Б. 1986. № 3. С. 3-5.

Artemenko G. V., Zhukov G. V., Klecs V. A., 1986. Lower age limit Osipenkov series. Dokl. Acad. Nauk USSR. Ser. B, № 3, p. 3-5 (in Russian).

2. Бибикина Е. В., Клаэссен С., Федотова А. А., Артеменко Г. В., Ильинский Л. Терригенный циркон архейских зеленокаменных поясов – источник информации о ранней коре Земли: Приазовье и Приднепровье, Украинский щит. Геохимия. 2010. № 9. С. 899-916.

Bibikova E. V., Claesson S., Fedotova A. A., Artemenko G. V., Il'inskii L., 2010. Terrigenous zircon of archaean greenstone belts as a source of information on the early earth's crust: Azov and Dnieper domains, Ukrainian shield. Geochimiya, № 9, p. 899-916 (in Russian).

3. Божко Н. А. Геотектонические факторы локализации коренных источников алмаза и их роль в оценке перспектив алмазности Украинского щита. Минерал. журн. 2013. Т. 35, № 2. С. 24-38.

Bozhko N. A., 2013. Geotectonic factors localization of primary sources of diamond and their role in assessing the prospects of the Ukrainian shield

diamondbearing. Mineralogichnyy zhurnal, vol. 35, № 2, p. 24-38 (in Russian).

4. Геологическая карта докембрийских образований Приднепровского и Приазовского районов Украинского щита, 1 : 200 000 / сост. Б. З. Берзенин; ПГО "Южукргеология", Новомосковская ГРЭ. Москва, 1988.

Geologic map of Precambrian rocks of Middle-Dnieper and Azov regions of the Ukrainian shield, 1 : 200 000 / by B. Z. Berzenin; PGO "Yuzhukrgeologiya", Novomoskovskaya GRE. Moscow, 1988 (in Russian).

5. Глевасский Е. Б. Зеленокаменные пояса и перспективы поисков золотого оруденения в Приазовье. Минерал. журн. 1996. Т. 18, № 4. С. 72-88.

Glevassky E. B., 1996. Greenstone belt and prospects search for gold mineralization of the Azov region. Mineralogicheskiiy zhurnal, vol. 18, № 4, p. 72-88 (in Russian).

6. Дралов В. М. О результатах работ по глубинному геологическому картированию м-ба 1 : 50 000 территории планшетов L-37-13-B, Г и L-37-25-A, Б (Западное Приазовье). Днепропетровск : Новополтавская ПГГК, 1975–1979 гг.

*Dralov V. M.* On progress in deep geological mapping M 1 : 50 000 map-case territory L-37-13-B, Г and L-37-25-A, Б (West Priazov). Dnepropetrovsk : Novopol'tavskaya PGGK, 1975-1979 (in Russian).

7. *Коньков Г. Г., Полуновский Р. М.* Особенности картирования и литолого-стратиграфического расчленения метаморфических комплексов Центрального Приазовья. В кн.: *Проблемы осадочной геологии докембрия*. Москва: Недра, 1967. Вып. 2. С. 107-112.

*Konkov G. G., Polunovsky R. M.*, 1967. Features of mapping and litho-stratigraphic subdivision of the metamorphic complexes in Central Priazov. In: *Problems of Precambrian sedimentary geology*. Moscow : Nedra, iss. 2, p. 107-112 (in Russian).

8. *Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита (схема та пояснювальна записка) / К. Ю. Єсипчук, О. Б. Бобров, Л. М. Степанюк, М. П. Щербак, Є. Б. Глеवासський, В. М. Скобелев, А. С. Дранник, М. В. Гейченко*. Київ: УкрДГРІ, 2004. 30 с.

*The correlation chronostratigraphy diagram of the Early Precambrian Ukrainian Shield (Scheme and explanatory memorandum) / K. Yu., Yesipchuk, O. B. Bobrov, L. M. Stepanjuk, M. P. Shcherbak, E. B. Glevasskiy, V. M. Skobelev, A. S. Drannik, M. V. Geychenko*. Kyiv : UkrDGRI, 2004. 30 p. (in Ukrainian).

9. *Магматические горные породы: Классификация, номенклатура, петрография / Андреева Е. Д., Баскина В. А., Богатииков О. А., Бородаевская М. Б., Гоньшакова В. М., Егоров Л. С., Ефремова С. В., Коваленко В. И., Лазько Е. Е., Марковский Б. А., Масайтис В. Л., Михайлов Н. П., Наседкин В. В., Негрей Е. В., Петрова М. А., Полупнина Л. А., Ротман В. К., Румянцева Н. А., Симонов Л. И., Соболев Р. Н., Филлипова Г. П., Фролова Г. И., Яшина Р. М.* Москва : Наука, 1983. Т. 1. Ч. 2. С. 371-768 с.

*Igneous rocks: Classification, nomenclature, petrography / Andreeva E. D., Baskina V. A., Bogatikov O. A., Borodaevskaya M. B., Gonshakova V. M., Egorov L. S., Efremova S. V., Kovalenko V. I., Lazko E. E., Markovskiy V. A., Masaitis V. L., Mikhailov N. P., Nasedkin V. V., Negrey E. V., Petrova M. A., Polunina L. A., Rotman V. K., Rumyantseva N. A., Simonov L. I., Sobolev R. N., Fillipova G. P., Frolova G. I., Yashina R. M.* Moscow: Nauka, 1983, vol. 1, part 2, p. 371-768 (in Russian).

10. *Стратиграфические разрезы докембрия Украинского щита / Н. П. Щербак, К. Е. Есипчук, Б. З. Берзенин, Е. Б. Глеवासский, А. С. Дранник, Ю. К. Пийяр, Р. М. Полуновский, Т. А. Скаржинская, В. Н. Соловицкий, И. М. Этингоф, Я. П. Билинская, В. И. Ганоцкий, Г. Ф. Гузенко, А. С. Киселев, В. М.*

*Клочков, В. В. Решетняк, Н. И. Босая, С. Г. Воронова, В. И. Пилипенко*. Киев : Наук. думка, 1985. 168 с.

*Stratigraphic sections of the Precambrian of Ukrainian Shield / N. P. Shcherbak, K. E. Esipchuk, B. Z. Berzenin, E. B. Glevasskiy, A. S. Drannik, Yu. K. Piyar, R. M. Polunovskiy, T. A. Skarzhinskaya, V. N. Solovickiy, I. M. Etingof, Ya. P. Bilynskaya, V. N. Ganockiy, G. F. Gusenko, A. S. Kiselev, V. M. Klochkov, V. V. Reshetnyak, N. I. Bosaya, S. G. Voronova, V. I. Pilipenko*. Kiev: Naukova Dumka, 1985, 168 p. (in Russian).

11. *Усенко И. С., Щербак И. Б., Сироштан Р. И., Белевцев Р. Я., Этингоф И. М.* *Метаморфизм Украинского щита*. Киев: Наук. думка, 1982. 308 с.

*Usenko I. S., Shcherbakov I. B., Syroshtan R. I., Belevtcev R. Ya., Etingof I. M.*, 1982. *Metamorphyzm of Ukrainian Shield*. Kiev: Naukova Dumka, 308 p. (in Russian).

12. *Щербак Н. П., Артеменко Г. В., Лесная И. М., Пономаренко А. Н.* *Геохронология раннего докембрия Украинского щита*. Архей. Киев : Наук. думка, 2005. 243 с.

*Shcherbak N. P., Artemenko G. V., Lesnaya I. M., Ponomarenko A. N.*, 2005. *Geochronology early Precambrian of Ukrainian shield*. Archean. Kiev : Naukova Dumka, 243 p. (in Russian).

13. *Щербак Н. П., Артеменко Г. В., Швайка И. А., Демедюк В. В., Довбуш Т. И., Высоцкий А. Б.* *Палеоархейский возраст (3,56 млрд лет) тоналитовых гнейсов Приазовского мегаблока и проблемы алмазности восточной части Украинского щита*. *Минерал. журн.* 2011. Т. 33, № 4. С. 67-72.

*Shcherbak N. P., Artemenko G. V., Shvaika I. A., Demedyuk V. V., Dovbush T. I., Vysockiy A. B.*, 2011. *Paleoarchean age (3.56 billion years) tonalite gneiss of Priazov megablock and the problem diamond of the eastern part of the Ukrainian Shield*. *Mineralogichnyy zhurnal*, vol. 33, № 4, p. 67-72 (in Russian).

14. *Щипанский А. А., Подладчиков Ю. Ю.* "Стадные батолиты" как индикаторы мощной раннеархейской коры океанического типа. *Докл. АН СССР*. 1991. Т. 320, № 5. С. 1212-1216.

*Schipansky A. A., Podladchikov Y. Y.*, 1991. "Hard of batholithes" as indicators of power Early Archean oceanic crust. *Dokl. Acad. Nauk SSSR*, vol. 320, № 5, p. 1212-1216 (in Russian).

15. *Condie K. C.* (Ed.). *Archean Crustal Evolution*. Elsevier, Amsterdam, 1994. P. 205-259.

*Condie K. C.* (Ed.). *Archean Crustal Evolution*. Elsevier, Amsterdam, 1994, p. 205-259 (in English).

16. *DePaolo D. J.* Neodimium isotopes in the Colorado front Range and crust-mantle evolution in the Proterozoic. *Nature*. 1981. Vol. 291. P. 193-196.

*DePaolo D. J.*, 1981. Neodimium isotopes in the Colorado front Range and crust-mantle evolution in the Proterozoic. *Nature*, vol. 291, p. 193-196 (in English).

17. *Martin H.* The Archean grey gneisses and the genesis of continental crust. *Archean Crustal Evolution*. Elsevier, Amsterdam, 1994. P. 205–259.

*Martin H.* The Archean grey gneisses and the genesis of continental crust. *Archean Crustal Evolution*. Elsevier, Amsterdam, 1994, p. 205–259 (in English).

18. *Moyen J. F.* The composite Archean grey gneisses: Petrological significance, and evidence for a non-unique tectonic setting for Archean crustal growth. *Lithos*. 2011. Vol. 123. P. 21-36.

*Moyen J. F.*, 2011. The composite Archean grey gneisses: Petrological significance, and evidence for a non-unique tectonic setting for Archean crustal growth. *Lithos*, vol. 123, p. 21-36 (in English).

19. *Sun S. S., McDonough W. F.* Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts : implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the Ocean Basins* / A.D. Saunders, M.J. Norry, 1989. (Geol. Soc. Spec. Publ.; No 42).

*Sun S. S., McDonough W. F.* Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts : implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the Ocean Basins* / A.D. Saunders, M.J. Norry, 1989. (Geol. Soc. Spec. Publ.; No 42) (in English).

Статья поступила  
17.03.2014