

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТАБАЗИТОВ ПАВЛОВСКОЙ И ЗЕЛЕНОГАЙСКОЙ ЗЕЛЕНОКАМЕННЫХ СТРУКТУР ВОСТОЧНОГО ПРИАЗОВЬЯ (УКРАИНСКИЙ ЩИТ)

Г.В. Артеменко¹, Б.В. Бороdynя², М.Е. Стеценко³

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

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

Доктор геологических наук, профессор, заведующий отделом.

² *Приазовская КГЭ, КП «Южукргеология», Волноваха, Донецкая область, Украина,
E-mail: prkqp@rambler.ru*

Начальник геологического отряда.

³ *Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины, Киев, Украина.
Научный сотрудник.*

Павловская и Зеленогайская зеленокаменные структуры (ЗКС) отличаются от других ЗКС Приазовского мегаблока отсутствием вулканитов ультраосновного состава. Метабазиты Павловской ЗКС относятся к толеитовой серии и обнаруживают тренд обогащения железом, а метабазиты Зеленогайской ЗКС принадлежат к известково-щелочной серии. Снизу вверх по разрезу в метабазитах метатолеитовой формации Павловской ЗКС увеличивается железистость, титанистость, содержание РЗЭ и уменьшается глиноземистость. Метабазиты нижней части разреза метатолеитовой формации относятся к типу N-MORB, а верхней – к типу E-MORB. Последние отличаются положительной Nb аномалией ($Nb/Nb^* = 1,35$). Метабазиты Зеленогайской ЗКС принадлежат к наиболее лейкократовым разновидностям базитов и относятся к типу известково-щелочных базальтов. Отличаются значительно большими содержаниями Rb, Sr, Ba, РЗЭ, Th, Pb и меньшими – Ni, Cr и V. Метабазиты Павловской и Зеленогайской ЗКС Восточного Приазовья образовались из плюмовых магматических источников ($\Delta Nb = +0,03-0,43$). Присутствие в разрезе Зеленогайской ЗКС андезитов может указывать на их формирование в островодужном режиме в отличие от рифтогенных ЗКС Западноприазовского блока.

Ключевые слова: Украинский щит, Восточное Приазовье, Павловская ЗКС, Зеленогайская ЗКС, амфиболиты, метаандезиты, лептиты, РЗЭ.

GEOCHEMICAL FEATURES OF METABASITE OF PAVLOVKA AND ZELENIIY GAY GREENSTONE STRUCTURE OF EASTERN AZOV (UKRAINIAN SHIELD)

G.V. Artemenko¹, B.V. Borodynya², M.E. Stezenko²

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

¹ *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.

² *Priazov KGE, KP «Yuzhukrgeologiya», Volnovaha, Donetsk region, Ukraine,
E-mail: prkqp@rambler.ru*

Head of the geological unit.

³ *Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine.
Researcher.*

Pavlovka and Zeleniy Gay greenstone structure different from other greenstone structures of Azov megablock lack of ultramafic volcanics. Metabasites of Pavlovka GS related to the tholeiitic series and discover the trend of iron enrichment and metabasites of Zeleniy Gai – belong to calc-alkaline series. From bottom to top in the section in the metabasites of metatoleite formation of Pavlovka GS increases iron, titaniferous content and rare earth elements and reduced alumina content. Metabasites of lower parts of metatoleitick formation belongs to the type N-MORB and the top – to the type E-MORB. The latter differ of Nb positive anomaly ($Nb/Nb^* = 1,35$). Metabasites of Zeleniy Gay GS among the most leucocratic varieties mafic potassium and related to the type of calc-alkaline basalts. It has been much more content of Rb, Sr, Ba, REE, Th, Pb and smaller – Ni, Cr and V. Metabasites of Pavlovka and Zeleniy Gay greenstone structures of the Eastern Azov formed from magma plume sources ($\Delta Nb = +0,03\text{ч}0,43$). The presence in a cross-sectional Zeleniy Gay andesites may indicate their formation in island-arc regime unlike rift greenstone structures of West-Prizov block.

Key words: Ukrainian Shield, Eastern of Azov, Pavlovka GS, Zeleniy Gay GS, amphibolites, metaandesites, leptites, REE.

ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ МЕТАБАЗИТІВ ПАВЛІВСЬКОЇ ТА ЗЕЛЕНОГАЙСЬКОЇ ЗЕЛЕНОКАМ'ЯНИХ СТРУКТУР СХІДНОГО ПРИАЗОВ'Я (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

Г.В. Артеменко¹, Б.В. Бородиня², М.Е. Стеценко³

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

¹ *Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України, Київ, Україна,
E-mail: regul@igmof.gov.ua*

Доктор геологічних наук, професор, завідуючий відділом.

² *Приазовська КГЕ, КП «Південьукргеологія», Волноваха, Донецька область, Україна,
E-mail: prkgr@rambler.ru*

Начальник геологічного загону.

³ *Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України, Київ, Україна.
Науковий співробітник.*

Павлівська та Зеленогайська зеленокам'яні структури (ЗКС) Східного Приазов'я відрізняються від інших ЗКС Приазовського мегаблоку відсутністю вулканітів ультраосновного складу. Метабазити Павлівської ЗКС відносяться до толеїтової серії і виявляють тренд збагачення залізом, а метабазити Зеленогайської ЗКС належать до вапнисто-лужної серії. Знизу вгору по розрізу у метабазитах метатолейтової формації Павлівської ЗКС збільшується залізистість, титаністість, вміст РЗЕ і зменшується глиноземистість. Метабазити нижньої частини розрізу метатолейтової формації відносяться до типу N-MORB, а верхньої – до типу E-MORB. Останні відрізняються позитивною Nb аномалією ($Nb/Nb^* = 1,35$). Метабазити Зеленогайської ЗКС належать до найбільш лейкократових різновидів базитів і відносяться до типу вапнисто-лужних базальтів. Відрізняються значно більшим вмістом Rb, Sr, Ba, РЗЕ, Th, Pb і меншим – Ni, Cr та V. Метабазити Павлівської та Зеленогайської ЗКС утворились з плюмових магматичних джерел ($\Delta Nb = +0,03\text{--}0,43$). Присутність в розрізі Зеленогайської ЗКС андезитів може вказувати на їх формування в островодужних умовах на відміну від рифтогенних ЗКС Західноприазовського блоку.

Ключові слова: Український щит, Східне Приазов'я, Павлівська ЗКС, Зеленогайська ЗКС, амфіболіти, метаандезити, лептити, РЗЕ.

Введение

В Приазовском мегаблоке останцы зелено-каменных структур (ЗКС) наблюдаются в Западном, Центральном и Восточном Приазовье (рис. 1), что дает основание отнести его к архейскому кратону. В палеопротерозое этот кратон претерпел сильную тектоническую переработку вследствие коллизионных процессов около 2,05 млрд лет тому назад

[Божко, 2013]. В результате этого ЗКС были сильно деформированы и фрагментированы вдоль тектонических разломов. Состав осадочно-вулканогенных пород в ЗКС Приазовского мегаблока имеет определенные различия. В ЗКС Западноприазовского блока вулканизм был бимодальный, в то время как в таких же структурах в пределах Орехово-Павлоградской зоны и Восточном



Рис. 1. Схематическая геологическая карта Восточного Приазовья [Б.В. Бородиня та ін., 2007 р. з уточненнями]

1 – верхнетокмакская толща; 2 – ремовский? комплекс – плагиограниты, плагиомигматиты; 3 – косивцевская толща; 4 – максимовская ассоциация – гранодиориты; 5 – драгунская толща, темрюкская свита; 6 – токмакский комплекс – чарнокиты-эндербиты; 7 – каратюкский комплекс – плагиограниты; 8 – анадолийский комплекс: а – мигматиты, б – граниты; 9 – салтычанский комплекс – граниты; 10 – хлебодаровский комплекс: а – граниты, б – граносиениты; 11 – октябрьский комплекс – габбро, сиениты; 12 – каменномогильский комплекс – граниты; 13 – герцинские малые интрузии и субвулканические аппараты; 14 – разрывные нарушения: а – главные, б – второстепенные (цифры в ромбе): 1 – Западнопавловский разлом, 2 – Восточнопавловский разлом, 3 – Володарский разлом, 4 – Южнодонбасская зона разломов; 15 – основные структуры (цифры в круге): 1 – Малоянисольская синклиальная (тектоническая) зона; 2 – Павловская ЗКС; 3 – Петровский массив; 4 – Зеленогайская ЗКС; 5 – Рыбинский массив; 6 – Октябрьский массив; 7 – Хлебодаровский массив; 16 – линии разрезов и их названия (А – Павловский, Б – Зеленогайский)

Fig. 1. Schematic geological map of Eastern Azov [Borodynya et al., 2007 with updates]

1 – Verkhniy Tokmak thickness; 2 – removka? complex – plagiogranites, plagiomigmatites; 3 – Kosivtsevo thickness; 4 – Maksimovka association – granodiorite; 5 – Dragoon thickness, Temryuk suite; 6 – Tokmak complex – charnockites-enderbites; 7 – Karatyuk complex – plagiogranites; 8 – Anadol complex: a – migmatites, b – granites; 9 – Saltych complex – granite; 10 – Hlebodarovka complex: a – granites, b – granosyenites; 11 – October complex – gabbro, syenite; 12 – Kamennye Mogily complex – granite; 13 – Hercynian small subvolcanic intrusions and apparatus; 14 – faults and their names (numbers in box): a – major, b – secondary: 1 – West-Pavlovka fault, 2 – East-Pavlovka fault, 3 – Volodarka fault; 4 – South-Donbass fault zone; 15 – the main structure (the numbers in the circle): 1 – Maloyanisol syncline (tectonic) zone; 2 – Pavlovka GS; 3 – Petrov massif; 4 – Zeleniy Gay GS; 5 – Rybinsk massif; 6 – Oktober massif; 7 – Hlebodarovka massif; 16 – line sections and their name (A – Pawlovka, B – Zeleniy Gay)

Приазовье – полимодальный и включал андезиты. Геохронологические и геохимические данные указывают на существование палеоархейской сиалической коры в Западноприазовском блоке, на которой закладывались мезоархейские зеленокаменные пояса [Артеменко, Самборская, 2009; Артеменко и др., 2014; Бибикина и др., 2010]. Этим и определяется, вероятно, различие в составе осадочно-вулканогенных разрезов ЗКС.

Павловская и Зеленогайская ЗКС Восточного Приазовья еще очень слабо изучены. Павловская ЗКС сложена амфиболитами с небольшим количеством микрогнейсов и метавулканитов кислого и среднего составов в верхней части разреза [Бородиня та ін., 2007; Васильченко и др., 1989; Стрекозов, Груба, 1993]. В Зеленогайской ЗКС разрез представлен чередованием амфиболитов с метавулканитами кислого и среднего состава.

Возраст формирования ЗКС Восточного Приазовья не установлен. Осадочно-вулканогенные породы Павловской ЗКС прорываются гранодиоритами предположительно обиточненского комплекса (кварц-диорит-гранодиоритовая формация) Петровского массива и многочисленными жильными телами турмалинсодержащих гранитоидов салтычанского комплекса (аляскитовая формация) [Бородиня та ін., 2007; Стрекозов, Груба, 1993], а Зеленогайской ЗКС – лейкократовыми гранитами возрастом (2480 ± 20) млн лет [Татарінова та ін., 2002] и наблюдаются в виде ксенолитов среди гранодиоритов Рыбинского массива.

Постановка проблемы

Архейские образования Восточного Приазовья (Восточноприазовский антиклинорий) сильно переработаны палеопротерозойскими гранитоидами и щелочными комплексами. Изучены они очень слабо. Поэтому большой интерес представляют геохимические исследования пород Павловской и Зеленогайской ЗКС, расположенных в крайней восточной части Украинского щита (рис. 1), генезис которых не вызывает сомнений. Изучение геологических разрезов и геохимических особенностей осадочно-вулканогенных пород отдельных ЗКС на площади

Приазовского и Среднеприднепровского мегаблоков позволяет охарактеризовать геологические процессы формирования мезоархейской Курско-Приднепровской ГЗО, которая была заложена на палеоархейском протократоне.

Методика исследований

Малые и редкие элементы определены методом индукционно-связанной плазмы с масс-спектрометрическим окончанием анализа (ICP-MS) в аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии и микроэлектроники РАН, г. Черноголовка. Разложение образцов пород проведено методом кислотного разложения как в открытой, так и в закрытой системах, в зависимости от состава породы. Пределы обнаружения для REE, Hf, Ta, Th, U составляли 0,02–0,03 ppm, для Nb, Be, Co – 0,03–0,05 ppm, для Li, Ni, Ga, Y – 0,1 ppm, для Zr – 0,2 ppm, для Rb, Sr, Ba – 0,3 ppm, для Cu, Zn, V, Cr – 1–2 ppm. Правильность анализов контролировали путем измерения международных и российских стандартных образцов GSP-2, BM, СГД-1А, СТ-1. Ошибки определения концентраций составляли от 3 до 5 мас. % для большинства элементов.

Основные черты геологического строения Павловской и Зеленогайской ЗКС

К наиболее древним породам в этом районе относят породы западноприазовской серии [Бородиня та ін., 2007; Васильченко и др., 1989; Стрекозов, Груба, 1993]. Они слагают многочисленные складки разных размеров и структурных форм – наблюдается сочетание куполовидных и линейных складок разного масштаба северо-западного простирания размером от нескольких сотен метров до первых километров, которые усложнены мелкой, близкой к изоклиальной складчатостью более высоких порядков.

В составе мезоархейского комплекса выделяются осадочно-вулканогенные породы Павловской и Зеленогайской ЗКС (рис. 1), которые слагают троговые структуры, приуроченные к крупным разломным зонам.

Павловская ЗКС прослеживается в виде узкой полосы (длина около 38 км, ширина от 400 до 1500 м) северо-западного простирания от с. Златоустовка (на юге) до с. Пречистовка (на севере). В структурном отношении она приурочена к западной границе Восточноприазовского антиклинория. С запада Павловская ЗКС ограничена восточным флангом Малоянисольской тектонической зоны (Западнопавловский разлом), который является границей между Цен-

тральноприазовским (Мангушским) синклиниорием и Восточноприазовским антиклинорием [Бородиня та ін., 2007], а с востока – Восточнопавловским разломом (рис. 1). Породы, слагающие Павловскую ЗКС, разделены на две подтолщи (формации): нижнюю метатолеитовую и верхнюю известково-сланцевую (рис. 2) [Бородиня та ін., 2007; Стрекозов, Груба, 1993]. Общая площадь их выходов на домезозойском срезе составляет около 38 км².

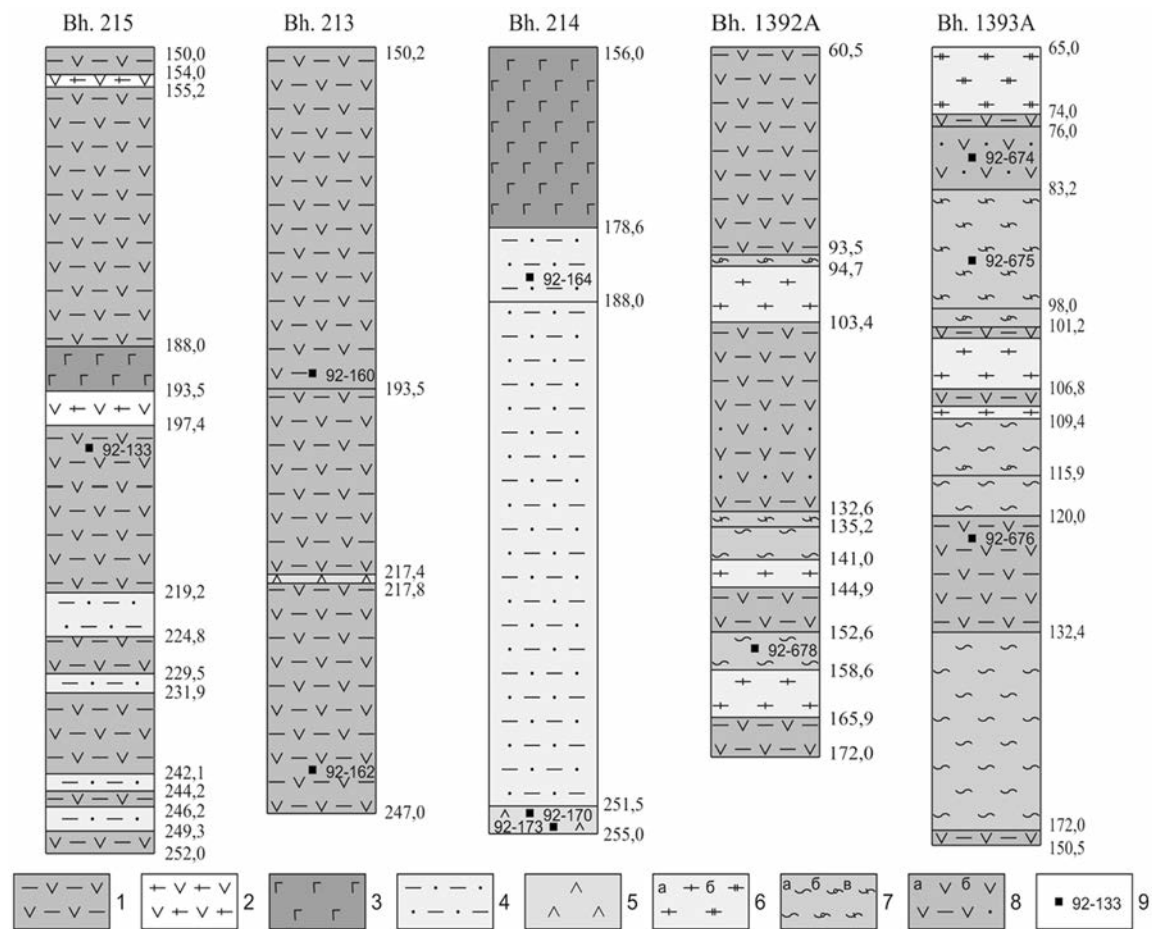


Рис. 2. Схематические колонки скважин Павловской (скв. 213-215) и Зеленогайской (скв. 1392А, 1393А) ЗКС [Стрекозов, Груба, 1993]

Павловская ЗКС: 1 – амфиболит рассланцованный; 2 – мигматит; 3 – дайка габбро; 4 – микрогнейс амфибол-биотитовый; 5 – метаандезит. Зеленогайская ЗКС (метадацит-андезит-базальтовая формация): 6 – плагиогнейсы (а – биотитовые, б – роговообманково-биотитовые); 7 – кристаллические сланцы (а – роговообманково-биотитовые и биотит-роговообманковые, б – биотитовые, в – роговообманковые); 8 – амфиболиты (а – равномерно-зернистые, б – гломмеро- и порфиробластические); 9 – точки отбора образцов и их номера

Fig. 2. Schematic column of Borehole of Pavlovka (Bh. 213-215) and Zeleniy Gay (Bh. 1392A, 1393A) GS [Стрекозов, Груба, 1993]

Pavlovka GS: 1 – amphibolite schistose; 2 – migmatite; 3 – dyke gabbro; 4 – amphibole-biotite microgneisses; 5 – metaandesite. Zeleniy Gay GS (metadacite-andesite-basalte formation: 6 – plagiogneiss (a – biotite, b – hornblende-biotite); 7 – crystalline schists (a – hornblende-biotite and biotite-hornblende, б – biotite, в – hornblende); 8 – amphibolites (a – equigranular б – glommero- and porphyroblastic); 9 – point sampling

В средней части Павловской ЗКС четко устанавливается ее синклиальный характер. Внутреннюю часть синклинали слагают образования верхней подтолщи (известково-сланцевая формация), а крылья – нижней подтолщи (метатолеитовая формация) [Бородиня та ін., 2007; Стрекозов, Груба, 1993]. Осевая поверхность синклинали субпараллельна простиранию ЗКС. По подошве верхней подтолщи протяженность ядра синклинали около 7 км, размах крыльев от 200 до 750 м. Падение слоев в западном крыле синклинали в восточных румбах изменяется от 80-85° в прибортовой части до 60-65° во внутренней части. В восточном крыле синклинали падение слоев менее крутое и колеблется от 45° до 60° в западных румбах. Породы, слагающие эту структуру, интенсивно рассланцованы и затронуты метасоматозом.

Павловская ЗКС вскрыта тремя профилями скважин и отдельными скважинами [Васильченко и др., 1989; Стрекозов, Груба, 1993]. Слагающие ее породы повсеместно тонкосланцеватые, иногда тонкослоистые с вертикальным падением структурных эле-

ментов. Поэтому при изучении керна (20-80 м по каждой скважине) полученных данных о строении и составе толщи недостаточно.

Нижняя подтолща (метатолеитовая формация) имеет мощность около 700 м [Бородиня та ін., 2007; Стрекозов, Груба, 1993]. Перекрытый разрез подтолщи отсутствует. Изученные ее фрагменты указывают на значительное однообразие состава и внешнего облика разных ее частей. Сложена она в основном тонкозернистыми амфиболитами массивной или сланцеватой текстуры. Среди них изредка отмечаются маломощные (0,5-5,0 см) прослои роговообманковых микрогнейсов и гранат-биотитовых микроплагиогнейсов. В одной скважине вскрыты сланцы среднего состава. Основные черты породного состава подтолщи показаны в колонках скв. 215 и 213 [Стрекозов, Груба, 1993] на западном фланге Павловской ЗКС (рис. 2).

Скв. 215, расположенной в 250 м от западной границы структуры, вскрыта круто падающая в восточных румбах (от 78° до 87°) слоистая толща пород мощностью 34,4 м (рис. 3). В нижней части разреза

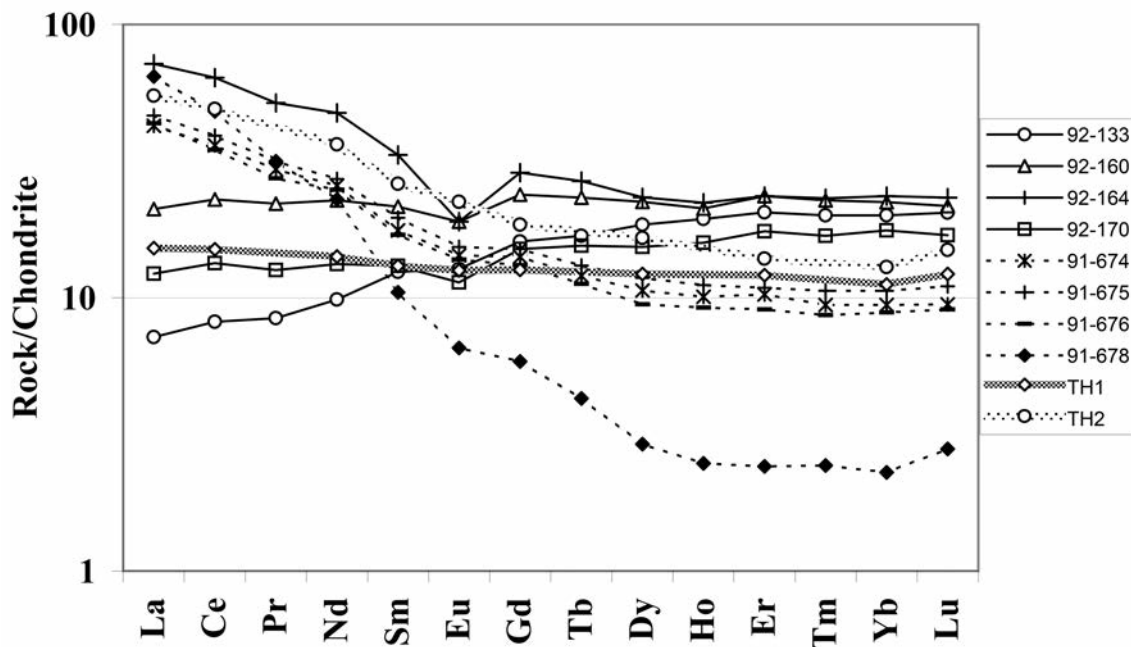


Рис. 3. Графики распределения РЗЭ пород Павловской и Зеленогайской ЗКС. Нормировано на хондрит C1 [Sun, Donough, 1989]

Fig. 3. Charts REE distribution and rocks Pavlovka and Zeleniy Gay GS. Normalized to chondrite C1 [Sun, Donough, 1989]

толщи (горизонт 1) выделяются сланцы (метавулканиды?) среднего состава, которые вверх по стратиграфической вертикали сменяются толщей (горизонт 2) переслаивающихся сланцев и амфиболитов (метавулканиды среднего и основного состава?). Выше (горизонт 3) залегают амфиболиты основного состава (метавулканиды?), а завершают изученный фрагмент разреза метавулканиды среднего состава (горизонт 4).

Скв. 213, находящаяся на расстоянии 170 м на восток от скв. 215, вскрыт фрагмент более верхней части разреза подтолщи мощностью 35 м (горизонт 5). Его представляют темно-серые, тонкозернистые, внешне близкие к массивным или четко сланцеватые амфиболиты. Среди них встречен лишь один маломощный (около 5 см) прослой карбонат-актинолит-плагиоклазовых сланцев (карбонат и актинолит соответственно составляют 5-7 и 25-30% объема породы). Для всей пачки амфиболитов характерна интенсивная сульфидная минерализация, приуроченная как к плоскостям сланцеватости и разнонаправленных трещин, так и рассеянная по всей массе пород.

Верхняя подтолща (известково-сланцевая формация) сложена главным образом амфиболитами, гнейсами и сланцами [Стрекозов, Груба, 1993]. Для нее характерны отчетливо выраженная полосчатость и повсеместно проявленная сульфидная минерализация. Кроме того, в породах этой толщи часто присутствует турмалин. Она вскрыта скв. 140 и 214 в юго-восточном крыле синклинальной структуры и скв. 141 в юго-западном крыле (рис. 1). Перекрытый разрез этой толщи отсутствует.

Среди вулканических пород Павловской ЗКС выделяются два типа пород – амфиболиты и лептитовые гнейсы. Вследствие метаморфических преобразований в описанных амфиболитах, сланцах и гнейсах практически не сохранились какие-либо отчетливые петрографические признаки, однозначно указывающие на первичную природу этих пород.

Амфиболиты, как правило, в разной степени рассланцованы и разгнейсованы, нередко превращены в сланцы кварц-плагиоклаз-амфиболового состава. Массивные встречаются редко. Все указанные текстурные разновидности многократно чередуются

между собой, не образуют обособленных тел и постепенно переходят друг в друга. Это мелко- и среднезернистые породы. Структура гранонематобластовая и нематогранобластовая. Изредка наблюдаются пятнисто окрашенные кварц-плагиоклаз-амфиболовые сланцы узловатой текстуры. Все сланцы Павловской ЗКС имеют апоамфиболитовую природу. Минеральный состав этих пород: амфибол – 65-80%, плагиоклаз – 10-30%, кварц – 8-10%, биотит – 0-12%, сфен – 0-5%, магнетит – ед. зерна -1%, апатит – ед. зерна, эпидот – 0-4%, карбонат – доли %, хлорит – 0-доли %, микроклин – ед. зерна-6%.

Лептитовые гнейсы – это тонко- и мелкозернистые породы светлой окраски: серые, зеленовато-серые, розовато-серые, серо-розовые. Текстура гнейсовидная, иногда массивная. Состав их кварц-полевошпатовый, биотит-кварц-полевошпатовый, иногда с эпидот-биотит-кварц-полевошпатовыми прослоями. Согласно петрохимическим данным (табл. 1), лептитовые гнейсы Павловской ЗКС являются породами переменного состава.

Зеленогайская ЗКС находится в 26 км восточнее Павловской. Расположена на водоразделе балок Кашлагач, Мокрая Волноваха и Сухая Волноваха, в 2 км северо-западнее с. Бугас. Приурочена к зоне сочленения Приазовского мегаблока со Складчатым Донбассом, ограничена субпараллельными разломами среди поля развития супракрустальных образований верхнетокмакской толщи (рис. 1). На юго-востоке породы Зеленогайской структуры, через Володарский разлом, граничат с гранодиоритами Рыбинского массива, а на северо-западе, вдоль Южнодонбасской зоны разломов, перекрыты толщей известняков Складчатого Донбасса.

На современном домезозойском срезе Зеленогайская ЗКС занимает площадь около 5,1 км² при ширине от 400 до 1000 м и длине 6 км. Ориентирована в северо-западном направлении. Породы, слагающие Зеленогайскую ЗКС, интенсивно дробленные, таклазирванные, милонитизированные. По данным гравитационного моделирования мощность толщи составляет около 500 м [Стрекозов, Груба, 1993]. Тектоническая структура пока изучена недостаточно полно.

Существующие материалы позволяют считать, что породы Зеленогайской ЗКС смяты в серию складок с умеренной крутизной наклона пластов в крыльях и с осевыми поверхностями, субпараллельными простиранию грабена.

Наиболее представительные фрагменты разреза Зеленогайской ЗКС вскрыты скв. 1392А и 1393А в северо-восточной части грабена (рис. 1). Этими скважинами вскрыта толща ритмичного строения, в которой выделяются трех- и двухкомпонентные ритмы (рис. 2) [Стрекозов, Груба, 1993]. Нижними членами являются плагиогнейсы, средними – кристаллические сланцы, верхними – амфиболиты. Подобные парагенезисы вскрыты также скв. 220-229. Все амфиболиты этого участка биотитизированы и микроклинизированы.

Амфиболиты – темно-серые, мелкозернистые, рассланцованные породы. Минеральный состав (%): роговая обманка – 60-80; плагиоклаз – 20-40. Вторичный минерал – эпидот.

Кристаллические сланцы представлены преимущественно биотит-рогообманковыми и (реже) роговообманково-биотитовыми разновидностями. Иногда наблюдаются также биотитовые и роговообманковые кристаллические сланцы. Структура лепидогранобластовая или гранобластовая с элементами нематобластовой. Текстура сланцеватая.

Все разновидности кристаллических сланцев в большинстве случаев меланократовые. Минеральный состав (%): роговая обманка – 17-45; биотит – от ед. зерен до 30-35; плагиоклаз (андезин, реже олигоклаз) – от 50 до 70; кварц – до 10-12%; микроклин – до 12-15%; эпидот – ед. зерна.

Плагиогнейсы представляют собой серые, местами со слабо выраженным розоватым оттенком мелкозернистые породы, часто в той или иной мере полосчатые. Количество темноцветных минералов в этих породах варьирует от 5-6 до 20%. Среди них преобладает биотит, иногда фиксируется роговая обманка – от ед. зерен до 2%. Салические минералы представлены плагиоклазом – от 35 до 60% и кварцем – 17-25%, микроклином – от ед. зерен до 30%. В виде разрозненных зерен присут-

ствует эпидот, который обычно имеет признаки вторичного минерала. Акцессорные минералы представлены титаномагнетитом (до 4%), апатитом, сфеном, цирконом и пиритом. Структура плагиогнейсов лепидогранобластовая, нередко усложненная элементами метасоматической.

Результаты геохимических исследований

Павловская ЗКС. Выполнены геохимические исследования амфиболитов и сланцев метатолеитовой (обр. 92-133, 92-162, 92-160) и известково-сланцевой формаций (обр. 92-164, 92-170, 92-173) (табл. 1, 2).

По химическому составу (SiO_2 – 48,75-51,10%; $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ = 2,90-5,95%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ = 1,59-7,55%) – это основные породы нормального ряда, натриевой и калиево-натриевой серий [Магматические..., 1983] (табл. 1). Низкомагнезиальные ($\#mg$ = 0,43-0,53).

На диаграмме АФМ фигуративные точки амфиболитов Павловской ЗКС расположены в поле толеитовой серии и образуют тренд в сторону вершины FeO. Снизу вверх по разрезу толеитовой формации увеличивается железистость и титанистость metabазитов и уменьшается глиноземистость.

На тройной диаграмме Дженсена (Al_2O_3 – $\text{FeO}_{\text{tot}}+\text{TiO}_2$ –MgO) [Jensen, 1976] точки metabазитов метатолеитовой формации Павловской ЗКС расположены в поле высокожелезистых толеитов, а известково-сланцевой формации (обр. 92-170, 92-173) – в поле толеитовых андезитов. Последние отличаются повышенным содержанием Al_2O_3 (16,60-17,80%) (табл. 1).

Амфиболиты второго горизонта метатолеитовой формации (обр. 92-133) характеризуются наиболее низким содержанием РЗЭ (ΣREE = 32,3 ppm). График распределения РЗЭ – дифференцированный, они обеднены легкими РЗЭ – $((\text{La}/\text{Yb})_N = 0,34)$ (рис. 3). На спайдер-диаграмме выделяются отрицательные аномалии Nb, Ti и положительные – Sr и Eu, что может свидетельствовать о дифференциации расплава в промежуточном магматическом источнике. На диаграмме $\text{La}/10$ – $\text{Y}/15$ – $\text{Nb}/8$ [Cabanis, Lecolle, 1989] фигуративная точка амфиболитов второго горизонта попадает в поле E-MORB.

Таблица 1. Химические анализы пород Павловской и Зеленогайской ЗКС
Table 1. Chemical analyzes of the rocks of Pavlovka and Zeleny Gay GS

| Окислы, % | 1/ 92-133 | 2 | 3/ 92-162 | 4/ 92-160 | 5/ 92-170 | 6/ 92-173 | 7 | 8 | 9/ 92-164 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15/ 91-677 | 16 |
|--------------------------------|--------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|-------|--------------|-------|--------|-------|-------|-------|---------------|-------|
| SiO ₂ | 48,75 | 48,73 | 49,72 | 50,22 | 50,35 | 49,00 | 48,20 | 51,10 | 64,00 | 51,40 | 47,04 | 62,00 | 57,80 | 56,60 | 50,17 | 50,70 |
| TiO ₂ | 0,75 | 0,50 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 0,55 | 0,57 | 0,86 | 0,50 | 0,69 | 0,14 | 0,72 | 0,59 | 0,64 | 0,70 | 0,67 |
| Al ₂ O ₃ | 14,50 | 14,40 | 14,00 | 13,52 | 17,80 | 16,60 | 13,80 | 10,60 | 15,00 | 14,50 | 14,08 | 14,60 | 17,40 | 17,90 | 15,67 | 15,90 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,68 | 4,00 | 2,72 | 2,74 | 1,02 | 1,16 | 4,77 | 1,14 | 0,40 | 3,60 | 2,34 | 4,00 | 3,72 | 2,71 | 2,94 | 3,72 |
| FeO | 9,30 | 9,43 | 11,60 | 11,86 | 9,15 | 8,30 | 6,69 | 9,24 | 6,50 | 5,31 | 9,04 | 2,83 | 2,82 | 4,34 | 6,72 | 4,85 |
| FeOtot | 13,51 | 13,03 | 14,05 | 14,33 | 10,07 | 9,34 | 10,98 | 10,27 | 6,85 | 8,55 | 11,15 | 6,43 | 6,17 | 6,78 | 9,37 | 8,2 |
| MnO | 0,10 | 0,20 | 0,22 | 0,18 | 0,23 | 0,18 | 0,22 | 0,19 | 0,19 | 0,21 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,15 | 0,21 | 0,18 |
| MgO | 6,80 | 6,80 | 6,50 | 6,00 | 6,30 | 6,00 | 6,40 | 5,30 | 2,20 | 7,50 | 10,05 | 1,95 | 3,15 | 3,10 | 8,24 | 7,40 |
| CaO | 10,22 | 10,30 | 8,35 | 9,00 | 9,40 | 11,70 | 11,60 | 8,00 | 6,30 | 9,40 | 11,08 | 4,60 | 7,30 | 8,00 | 10,23 | 9,80 |
| Na ₂ O | 2,50 | 2,70 | 2,70 | 2,70 | 3,10 | 2,60 | 2,50 | 3,65 | 1,90 | 3,10 | 2,56 | 3,80 | 3,80 | 4,15 | 2,28 | 3,25 |
| K ₂ O | 0,40 | 0,60 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 1,05 | 2,30 | 1,20 | 1,50 | 1,04 | 3,50 | 1,30 | 1,18 | 1,20 | 1,18 |
| S _{общ.} | 0,54 | 0,30 | 0,25 | 0,18 | 0,16 | 0,18- | 0,87 | 1,05 | 0,40 | 0,375 | - | - | - | - | 0,18 | - |
| P ₂ O ₅ | 0,05 | 0,03 | 0,05 | 0,09 | 0,01 | 0,02 | 0,082 | 0,21 | 0,09 | 0,154 | - | 0,29 | 0,187 | 0,20 | - | 0,217 |
| CO ₂ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,29 | - | 0,23 | - | 0,24 | - | 0,15 |
| H ₂ O | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,08 | 0,01 | 0,03 | - | - | 0,08 | - | - | 0,06 | 0,07 | 0,21 | 0,03 | 0,09 |
| В.п.п. | 1,33 | 2,00 | 2,00 | 1,90 | 1,80 | 3,00 | 2,83 | 5,53 | 1,40 | 1,90 | 2,80 | 1,08 | 0,90 | 0,83 | 1,11 | 1,37 |
| Сумма | 99,70 | 99,72 | 99,56 | 99,92 | 100,23 | 99,89 | 99,58 | 99,17 | 100,36 | 99,64 | 100,30 | 99,51 | 99,12 | 99,80 | 99,65 | 99,24 |
| #mg | 0,47 | 0,48 | 0,45 | 0,43 | 0,53 | 0,53 | 0,51 | 0,48 | 0,36 | 0,61 | 0,62 | 0,36 | 0,48 | 0,45 | 0,61 | 0,62 |
| Кф | 52,7 | 51,7 | 54,8 | 57,2 | 47,3 | 46,6 | 49 | 52 | 63,6 | 39 | 38,4 | 64,5 | 52,4 | 55,2 | 39 | 38,4 |
| Al' | 0,70 | 0,71 | 0,67 | 0,66 | 1,08 | 1,07 | 0,77 | 0,68 | 1,65 | 0,88 | 0,66 | 1,66 | 1,80 | 1,76 | 0,88 | 1,0 |

Продолжение табл. 1
Continuation of the Table 1

| Окислы, % | 17 | 18/ 91-678 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26/ 91-674 | 27/ 91-675 | 28/ 91-676 | 29 | 30 | 31 | 32 |
|--------------------------------|-------|---------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|---------------|---------------|---------------|-------|-------|--------|-------|
| SiO ₂ | 54,60 | 70,46 | 52,60 | 51,30 | 61,50 | 63,40 | 49,80 | 55,40 | 51,70 | 50,54 | 53,35 | 50,21 | 50,50 | 55,10 | 50,50 | 63,00 |
| TiO ₂ | 0,49 | 0,10 | 0,80 | 0,18 | 0,55 | 0,76 | 0,91 | 0,77 | 0,69 | 0,69 | 1,04 | 0,55 | 0,64 | 0,81 | 0,94 | 0,54 |
| Al ₂ O ₃ | 16,10 | 16,10 | 15,80 | 13,80 | 15,30 | 15,10 | 14,80 | 16,70 | 17,00 | 16,62 | 14,94 | 18,07 | 16,40 | 16,00 | 14,10 | 14,90 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,05 | 0,45 | 2,89 | 5,60 | 2,41 | 4,11 | 6,35 | 3,98 | 3,80 | 2,78 | 1,81 | 3,17 | 2,99 | 2,26 | 3,54 | 1,89 |
| FeO | 4,52 | 1,57 | 6,37 | 5,94 | 3,79 | 2,58 | 6,80 | 4,30 | 5,21 | 6,86 | 7,49 | 6,15 | 5,21 | 5,44 | 8,16 | 3,19 |
| FeOtot | 8,17 | 1,98 | 8,97 | 10,98 | 5,96 | 6,28 | 12,52 | 7,88 | 8,63 | 9,36 | 9,12 | 9,00 | 7,90 | 7,83 | 11,35 | 4,89 |
| MnO | 0,14 | 0,07 | 0,20 | 0,175 | 0,16 | 0,085 | 0,20 | 0,16 | 0,18 | 0,20 | 0,25 | 0,22 | 0,23 | 0,15 | 0,20 | 0,085 |
| MgO | 5,60 | 1,04 | 5,40 | 6,60 | 3,10 | 1,00 | 6,70 | 3,50 | 5,40 | 6,43 | 4,24 | 6,47 | 7,20 | 4,50 | 6,70 | 2,50 |
| CaO | 6,50 | 3,07 | 8,40 | 9,80 | 4,40 | 2,80 | 7,30 | 6,40 | 8,80 | 9,42 | 8,96 | 9,48 | 10,20 | 7,20 | 9,80 | 4,10 |
| Na ₂ O | 3,75 | 3,80 | 3,55 | 3,10 | 5,10 | 3,65 | 3,50 | 3,70 | 3,35 | 3,56 | 4,22 | 3,56 | 2,90 | 3,30 | 2,30 | 3,45 |
| K ₂ O | 0,90 | 2,40 | 1,18 | 1,20 | 1,85 | 3,90 | 1,80 | 1,90 | 1,40 | 1,20 | 1,40 | 1,20 | 1,08 | 1,40 | 1,05 | 2,50 |
| So _{общ.} | – | 0,01 | – | 0,033 | 0,10 | 0,037 | 0,045 | 0,07 | – | 0,02 | 0,15 | 0,23 | – | 0,125 | 0,613 | 0,048 |
| P ₂ O ₅ | 0,165 | 0,14 | 0,23 | 0,19 | 0,16 | 0,195 | 0,25 | 0,295 | 0,25 | 0,17 | 0,19 | – | 0,15 | 0,29 | 0,105 | 0,167 |
| CO ₂ | 0,15 | – | 0,15 | 0,15 | 0,24 | 0,44 | 0,15 | 0,15 | 0,24 | – | – | – | 0,31 | 0,15 | – | 0,39 |
| H ₂ O | – | 0,02 | 0,16 | 0,01 | 0,11 | 0,18 | 0,13 | 0,08 | 0,20 | 0,06 | 0,18 | 0,06 | 0,16 | – | – | 0,21 |
| В.п.п. | 2,30 | 0,46 | 1,63 | 1,34 | 1,33 | 0,66 | 1,65 | 0,97 | 1,35 | 1,16 | 1,56 | 1,00 | 1,38 | 1,54 | 2,42 | 2,44 |
| Сумма | 99,12 | 99,69 | 99,05 | 99,26 | 99,75 | 98,28 | 100,11 | 98,15 | 99,13 | 99,71 | 99,78 | 100,37 | 98,88 | 98,12 | 100,43 | 98,81 |
| #mg | 0,55 | 0,48 | 0,52 | 0,52 | 0,48 | 0,22 | 0,49 | 0,44 | 0,53 | 0,55 | 0,45 | 0,56 | 0,62 | 0,51 | 0,51 | 0,48 |
| Kf | 45 | 51,8 | 48,3 | 48 | 51,9 | 77,7 | 51,2 | 56 | 47,2 | 45 | 55 | 43,9 | 38 | 49,3 | 48,8 | 52,3 |
| al' | 1,14 | 5,26 | 1,08 | 0,76 | 1,65 | 1,96 | 0,75 | – | 1,03 | 1,10 | – | – | 1,07 | 1,31 | – | – |

Примечания. Павловская ЗКС. Нижняя подтолща (метатолитовая формация): 1 – амфиболит, скв. 215, гл. 199,4 м (92-133); 2 – то же, скв. 215, гл. 182,5 м; 3 – то же, скв. 213, гл. 242,7 м (92-162); 4 – то же, скв. 213, гл. 193,0 м (92-160); 5 – то же, скв. 214, гл. 251,6 м (92-170); 6 – то же, скв. 214, гл. 251,5-255,0 м (92-173). Верхняя подтолща (известково-сланцевая формация): 7 – амфиболит, скв. 046, гл. 187,5 м; 8 – то же, скв. 140, гл. 150,9 м; 9 – биотит-амфиболовый микрогнейс, скв. 214, гл. 185,0 м (92-164). Зеленогайская ЗКС: 10 – амфиболит, скв. 1392А, гл. 5, обр. 1392А/5); 11 – то же, скв. 1392А, гл. 11 м (обр. 1392А/11); 12 – метаандезит, скв. 1392А, гл. 12 м (обр. 1392А/12); 13 – метаандезит, скв. 1392А, гл. 64 м (обр. 1392А/64); 14 – метаандезит, скв. 1392А, гл. 69 м (обр. 1392А/69); 15 – амфиболит, скв. 1392А, гл. 77,5 м (91-677); 16 – амфиболит, скв. 1392А, гл. 90 м (обр. 1392А/90); 17 – метаандезит, скв. 1392А, гл. 129 м (обр. 1392А/129); 18 – аплит, скв. 1392А, инт. 150,3-150,8 м (91-678); 19 – амфиболит, скв. 1392А, гл. 172 м (обр. 1392А/172); 20 – амфиболит, скв. 1393А, гл. 7 (обр. 1393А/7); 21 – метаандезит, скв. 1393А, гл. 9 м (обр. 1393А/9); 22 – метаандезит, скв. 1393А, гл. 12 м (обр. 1393А/12); 23 – амфиболит, скв. 1393А, гл. 14 м (обр. 1393А/14); 24 – метаандезит, скв. 1393А, гл. 21 м (обр. 1393А/21); 25 – амфиболит, скв. 1393А, гл. 76 м (обр. 1393А/76); 26 – то же, скв. 1393А, гл. 80,5 м (91-674); 27 – то же, скв. 1393А, инт. 93-93,4 м (91-675); 28 – то же, скв. 1393А, инт. 123-124 м (91-676); 29 – амфиболит, скв. 1393-А, инт. 129,5-130,9 м, обр. 1393А/130; 30 – метаандезит, скв. 1402А, гл. 93 м (обр. 1402А/93); 31 – амфиболит, скв. 1403А, гл. 111 м (обр. 1403А/111); 32 – метаандезит, скв. 1403А, гл. 137 м (обр. 1403А/137). Химические анализы № 1, 3-6, 9, 15, 18, 26-28 выполнены в лаборатории ИГМР НАН Украины (выделены в таблице); остальные из работы [Стрекозов, Груба, 1993].

Note. Pavlovka GS. Lower tichness (metatolitic formation): 1 – amphibolite, Bh. 215, depth 199,4 m (smp. 92-133); 2 – the same, Bh. 215, depth 182,5 m; 3 – the same, Bh. 213, depth 242,7 m (smp. 92-162); 4 – the same, Bh. 213, depth 193,0 m (smp. 92-160); 5 – the same, Bh. 214, depth 251,6 m (smp. 92-170); 6 – the same, Bh. 214, depth 251,5-255,0 m (smp. 92-173). Upper thickness (calc-schist formation): 7 – amphibolite, Bh. 046, depth 187,5 m; 8 – the same, Bh. 140, depth 150,9 m; 9 – biotite-amphibole microgneisses, Bh. 214, depth 185,0 m (smp. 92-164). Zeleniy Gay GS: 10 – amphibolite, Bh. 1392А, depth 5 m (smp. 1392А/5); 11 – the same, Bh. 1392А, depth 11 m (smp. 1392А/11); 12 – metaandesite, Bh. 1392А, depth 12 m (smp. 1392А/12); 13 – metaandesite, Bh. 1392А, depth 64 m (smp. 1392А/64); 14 – metaandesite, Bh. 1392А, depth 69 m (smp. 1392А/69); 15 – amphibolite, Bh. 1392А, depth 77,5 m (smp. 91-677), 16 – amphibolite, Bh. 1392А, depth 90 m (smp. 1392А/90); 17 – metaandesite, Bh. 1392А, depth 129 m (smp. 1392А/129); 18 – apilite, Bh. 1392А, depth 150,3-150,8 m (smp. 91-678); 19 – amphibolite, Bh. 1392А, depth 172 m (smp. 1392А/172); 20 – amphibolite, Bh. 1393А, depth 7 (smp. 1393А/7); 21 – metaandesite, Bh. 1393А, depth 9 m (smp. 1393А/9); 22 – metaandesite, Bh. 1393А, depth 12 m (smp. 1393А/12); 23 – amphibolite, Bh. 1393А, depth 14 m (smp. 1393А/14); 24 – metaandesite, Bh. 1393А, depth 21 m (smp. 1393А/21); 25 – amphibolite, Bh. 1393А, depth 76 m (smp. 1393А/76); 26 – the same, Bh. 1393А, depth 80,5 m (smp. 91-674); 27 – the same, Bh. 1393А, depth 93-93,4 m (smp. 91-675); 28 – the same, Bh. 1393А, depth 123-124 m (smp. 91-676); 29 – amphibolite, Bh. 1393-А, depth 129,5-130,9 m (smp. 1393А/130); 30 – metaandesite, Bh. 1402А, depth 93 m (smp. 1402А/93); 31 – amphibolite, Bh. 1403А, depth 111 m (smp. 1403А/111); 32 – metaandesite, Bh. 1403А, depth 137 m (smp. 1403А/137). Chem. analysis № 1, 3-6, 9, 15, 18, 26-28 are made in the laboratory of IGMR NAS Ukraine (marked in table); the rest from [Стрекозов, Груба, 1993].

Амфиболиты верхнего пятого горизонта метатолеитовой формации (обр. 92-160) отличаются от амфиболитов второго горизонта большим содержанием РЗЭ ($\Sigma\text{REE} = 57,6 \text{ ppm}$). Спектр РЗЭ слабо дифференцированный ($(\text{La}/\text{Yb})_N = 0,94$) (рис. 3). По геохимическим характеристикам они близки к архейским базальтам типа TH2 Конди [Конди, 1983]. На спайдер-диаграмме выделяются небольшие по величине положительные аномалии Nb и отрицательные – Sr и Ti. Эти амфиболиты отличаются положительной аномалией Nb ($\text{Nb}/\text{Nb}^* = 1,35$), что позволяет отнести их к группе обогащенных ниобием базальтов NEB (NEB – Nb enriched basalt) [Jochum et al., 1991]. На диаграмме $\text{La}/10\text{--}\text{Y}/15\text{--}\text{Nb}/8$ фигуративная точка амфиболитов верхнего горизонта метатолеитовой формации (обр. 92-160) попадает в поле обогащенных базитов – E-MORB.

Амфиболиты известково-сланцевой формации (обр. 92-170) имеют низкое содержание РЗЭ ($\Sigma\text{REE} = 36,4 \text{ ppm}$) (табл. 2). График

распределения РЗЭ дифференцированный, обеднены легкими РЗЭ ($(\text{La}/\text{Yb})_N = 0,69$) (рис. 3). На спайдер-диаграмме выделяются отрицательные аномалии Nb, Ti и положительная – Sr. На дискриминационной диаграмме $\text{La}/10\text{--}\text{Y}/15\text{--}\text{Nb}/8$ они попадают в поле базальтов типа N-MORB.

Амфиболиты метатолеитовой и известково-сланцевой формаций Павловской ЗК не контаминированы коровым веществом ($(\text{Nb}/\text{La})_N = 0,76\text{--}1,72$) и имеют положительное значение $\text{Nb} = +0,03\text{--}0,43$ (табл. 2), что указывает на их формирование из плюмового магматического источника, а на диаграмме $\text{Zr}/\text{Y}\text{--}\text{Nb}/\text{Y}$ их фигуративные точки попадают в поле океанических базальтов плато [Condie, 2005] (рис. 4). Амфиболиты нижней части метатолеитовой формации Павловской ЗК (обр. 92-133) близки по составу к толеитовым базальтам типа TH1 [Конди, 1983], а обр. 92-160 из ее верхней части сходен с составом TH2.

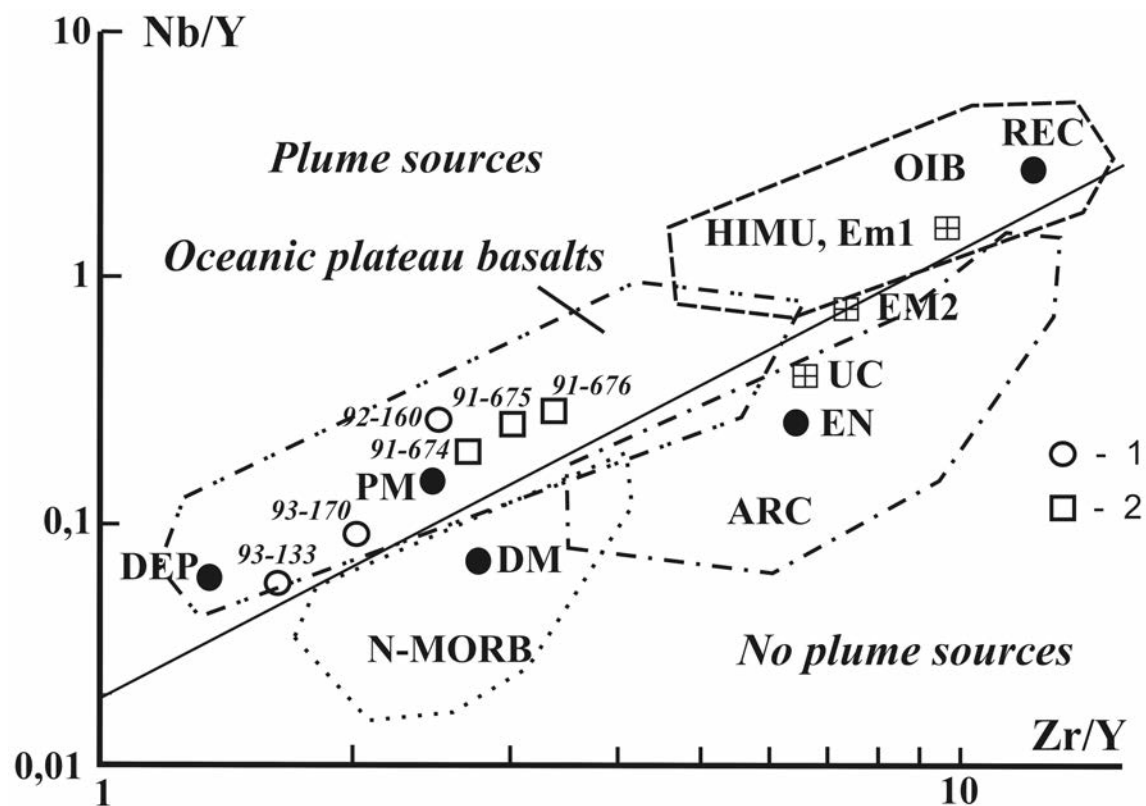


Рис. 4. Диаграмма $\text{Zr}/\text{Y}\text{--}\text{Nb}/\text{Y}$ [Condie, 2005] для метабазитов Павловской (1) и Зеленогайской (2) ЗК
 Fig. 4. Diagramme $\text{Zr}/\text{Y}\text{--}\text{Nb}/\text{Y}$ [Condie, 2005] for metabasite Pavlovka (1) and Zeleniy Gay (2) GS

Таблица 2. Содержания элементов в породах Павловской и Зеленогайской ЗКС (ppm)
Table 2. Content of elements in rocks of Pavlovka and Zeleny Gay GS (ppm)

| Элементы | 1/92-133 | 7/92-170 | 4/92-160 | 9/92-164 | 18/91-678 | 26/91-674 | 27/91-675 | 28/91-676 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Li | 21,5 | 11,7 | 8,6 | 27,6 | 43,1 | 52,5 | 36,5 | 58,6 |
| Be | 0,59 | 0,38 | 0,63 | 0,78 | 2,9 | 0,90 | 1,4 | 1,5 |
| Sc | 48,9 | 46,3 | 50,2 | 16,4 | 3,4 | 33,4 | 31,1 | 30,3 |
| V | 338 | 191 | 288 | 133 | 32,4 | 220 | 195 | 179 |
| Cr | 57,2 | 227 | 38,9 | 27,3 | 40,0 | 114 | 74,8 | 115 |
| Co | 55,9 | 45,7 | 56,1 | 15,5 | 5,2 | 38,4 | 32,7 | 38,5 |
| Ni | 58,5 | 86,8 | 46,5 | 10,4 | 16,0 | 35,2 | 21,2 | 35,0 |
| Cu | 195 | 115 | 118 | 80,3 | 15,1 | 93,6 | 438 | 22,7 |
| Zn | 65,1 | 97,6 | 107 | 89,2 | 46,2 | 77,3 | 191 | 98,5 |
| Ga | 14,4 | 13,6 | 14,8 | 14,9 | 16,4 | 15,5 | 15,7 | 15,6 |
| As | < ПО | 0,22 | 0,18 | 1,8 | < ПО | < ПО | < ПО | < ПО |
| Rb | 22,4 | 6,8 | 7,6 | 51,1 | 173 | 58,7 | 91,9 | 72,7 |
| Sr | 235 | 223 | 144 | 640 | 357 | 498 | 524 | 428 |
| Y | 30,2 | 25,5 | 35,6 | 37,4 | 4,5 | 15,3 | 17,5 | 14,5 |
| Zr | 45,3 | 51,7 | 82,9 | 182 | 87,1 | 38,9 | 52,9 | 47,1 |
| Nb | 1,3 | 2,3 | 8,9 | 7,4 | 8,1 | 3,0 | 4,4 | 4,2 |
| Mo | 0,71 | 0,38 | 0,58 | 1,5 | 1,2 | 0,89 | 3,7 | 0,35 |
| Ag | 0,20 | 0,11 | 0,068 | 0,13 | 0,080 | 0,10 | 0,20 | 0,092 |
| Cs | 6,3 | 1,1 | 0,41 | 16,5 | 5,9 | 4,5 | 4,4 | 4,5 |
| Ba | 72,2 | 32,9 | 109 | 928 | 776 | 383 | 555 | 273 |
| La | 1,6 | 2,9 | 5,0 | 17,0 | 15,3 | 10,1 | 11,0 | 10,3 |
| Ce | 4,6 | 8,2 | 14,0 | 39,1 | 29,4 | 22,1 | 24,0 | 21,3 |
| Pr | 0,77 | 1,2 | 2,1 | 4,9 | 3,0 | 2,8 | 3,0 | 2,6 |
| Nd | 4,4 | 6,2 | 10,6 | 22,2 | 10,7 | 12,0 | 12,7 | 11,6 |
| Sm | 1,9 | 2,0 | 3,3 | 5,1 | 1,6 | 2,7 | 3,0 | 2,6 |
| Eu | 0,70 | 0,66 | 1,1 | 1,1 | 0,38 | 0,83 | 0,89 | 0,80 |
| Gd | 3,3 | 3,1 | 4,9 | 5,9 | 1,2 | 2,9 | 3,1 | 2,7 |
| Tb | 0,62 | 0,58 | 0,87 | 1,0 | 0,16 | 0,45 | 0,49 | 0,42 |
| Dy | 4,6 | 3,9 | 5,7 | 5,92 | 0,74 | 2,7 | 3,0 | 2,4 |
| Ho | 1,04 | 0,90 | 1,2 | 1,26 | 0,14 | 0,57 | 0,63 | 0,52 |
| Er | 3,3 | 2,9 | 3,9 | 3,9 | 0,40 | 1,7 | 1,8 | 1,5 |
| Tm | 0,49 | 0,43 | 0,58 | 0,59 | 0,062 | 0,24 | 0,27 | 0,22 |
| Yb | 3,4 | 3,0 | 3,8 | 4,0 | 0,39 | 1,6 | 1,8 | 1,5 |
| Lu | 0,54 | 0,43 | 0,55 | 0,59 | 0,071 | 0,24 | 0,28 | 0,23 |
| Hf | 1,5 | 1,4 | 2,4 | 5,2 | 2,5 | 1,3 | 1,7 | 1,4 |
| Ta | 0,089 | 0,18 | 0,54 | 0,51 | 0,70 | 0,22 | 0,32 | 0,34 |
| W | 0,68 | 0,74 | 0,47 | 1,2 | 0,37 | 1,0 | 1,5 | 0,26 |
| Pb | 4,8 | 3,9 | 1,5 | 9,9 | 32,4 | 11,8 | 49,9 | 16,2 |
| Th | 0,17 | 0,45 | 1,0 | 3,9 | 8,3 | 1,8 | 2,9 | 2,7 |
| U | 0,14 | 0,16 | 0,29 | 1,4 | 3,8 | 0,51 | 1,4 | 0,93 |
| ΣREE | 31,26 | 36,4 | 57,6 | 112,56 | 63,543 | 60,93 | 65,96 | 58,69 |
| (La/Yb) _N | 0,34 | 0,69 | 0,94 | 3,05 | 28,14 | 4,5 | 4,38 | 4,93 |
| Eu/Eu* | 0,86 | 0,81 | 0,84 | 0,61 | 0,84 | 0,91 | 0,90 | 0,92 |
| (Nb/La) _N | 0,78 | 0,76 | 1,72 | 0,42 | 0,51 | 0,29 | 0,39 | 0,39 |
| ΔNb | +0,0358 | +0,106 | +0,433 | – | – | +0,254 | +0,218 | +0,220 |

Примечание. Привязки даны в табл. 1.

Note. Position are shown in the Table 1.

Биотит-амфиболовые микрогнейсы известково-сланцевой формации (обр. 92-164) отличаются от амфиболитов этой же формации большим содержанием РЗЭ ($\Sigma\text{REE} = 112,56 \text{ ppm}$). Обогащены легкими РЗЭ ($(\text{La}/\text{Yb})_N = 3,05$) (рис. 3), имеют отрицательную европиевую аномалию ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,61$). На спайдер-диаграмме выделяются отрицательные аномалии Nb, Ti и положительная – Sr.

Зеленогайская ЗКС. Среди вулканитов Зеленогайской ЗКС по химическому составу выделяются породы основного, среднего и кислого составов, которые отнесены к метадацит-андезит-базальтовой формации (ДАБ) [Бородиня та ін., 2007; Стрекозов, Груба, 1993]. Нами изучены геохимические характеристики амфиболитов (обр. 91-674, 91-675, 91-676) и секущее тело лейкократовых гранитов (обр. 91-678).

По петрогеохимическим характеристикам амфиболиты Зеленогайской ЗКС резко отличаются от амфиболитов Павловской ЗКС. По химическому составу ($\text{SiO}_2 = 47,04\text{--}52,60\%$; $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} = 3,35\text{--}5,30\%$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1,90\text{--}3,01\%$) – это основные породы нормального ряда, натриевой и калиево-натриевой серий [Магматические..., 1983] (табл. 1). Низкомагнезиальные ($\#mg = 0,43\text{--}0,53$).

Амфиболиты Зеленогайской ЗКС представляют собой особый тип базитов Приазовья. Они относятся к наиболее лейкократовым разновидностям базитов и в большей степени насыщены калием. По сравнению с амфиболитами Павловской ЗКС они менее известковистые.

На диаграмме АФМ фигуративные точки (преобладающая часть) амфиболитов Зеленогайской ЗКС попадают в поле известково-щелочной серии и два образца – в поле толеитовой серии (обр. 1403А-111 и 1392А-11).

На тройной диаграмме Дженсена ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{--FeO}_{\text{tot}}+\text{TiO}_2\text{--MgO}$) [Jensen, 1976] точки метабазитов Зеленогайской ЗКС расположены в поле высокожелезистых толеитов.

Содержание РЗЭ – ($\Sigma\text{REE} = 58,69\text{--}65,96 \text{ ppm}$). График распределения РЗЭ сильно дифференцированный – ($(\text{La}/\text{Yb})_N = 4,38\text{--}4,93$) (рис. 3). По геохимическим характеристикам они сходны с архейскими базальтами типа ТН2 Конди [Конди, 1983].

На спайдер-диаграмме выделяются отрицательные аномалии Nb, Ti и положительная – Sr. На диаграмме $\text{La}/10\text{--Y}/15\text{--Nb}/8$ [Cabanis, Lecolle, 1989] фигуративная точка амфиболитов Зеленогайской ЗКС попадает в поле известково-щелочных базальтов.

Амфиболиты Зеленогайской ЗКС контактированы коровым веществом ($(\text{Nb}/\text{La})_N = 0,29\text{--}0,39$). Они имеют положительное значение $\text{Nb} = +0,22\text{--}0,25$, что указывает на их формирование из плюмового магматического источника (табл. 2), а на диаграмме $\text{Zr}/\text{Y}\text{--Nb}/\text{Y}$ [Condie, 2005] их фигуративные точки попадают в поле океанических базальтов плато (рис. 4).

Лейкократовые граниты (2480 Ма), прорывающие амфиболиты Зеленогайской ЗКС (проба 91-678), по химическому составу ($\text{SiO}_2 = 70,46\%$; $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} = 6,20\%$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1,6$) (табл. 1) соответствуют семейству низкощелочных гранитов нормального ряда, калиево-натриевой серии [Магматические..., 1983]. На классификационной диаграмме $\text{Ab}\text{--An}\text{--Or}$ их фигуративная точка попадает в поле гранодиоритов. Отличаются повышенной магнезиальностью ($\#mg = 0,48$), весьма высокоглиноземистые ($al = 5,26$). Имеют умеренное содержание Rb (173 ppm) и высокое – Sr (357 ppm) (табл. 2). В них высокое содержание Cr (40 ppm). Содержание высокозарядных элементов низкое: Y (4,5 ppm), Nb (8,1 ppm), Yb (0,39 ppm), Ta (0,70 ppm). На спайдер-диаграмме выделяются отрицательные аномалии Nb и положительные – Zr, Hf и Ti. График распределения РЗЭ сильно дифференцированный – ($(\text{La}/\text{Yb})_N = 28,14$) (рис. 3). Характеризуются высоким отношением Sr/Y (79,3). В рестите их магматического источника были гранат и/или роговая обманка. На диаграмме $\text{Rb}\text{--}(\text{Y}+\text{Nb})$ попадают в поле синколлизонных гранитов.

Выводы

Павловская и Зеленогайская ЗКС отличаются от других ЗКС Приазовского мегаблока отсутствием вулканитов ультраосновного состава. Метабазиты Павловской ЗКС относятся к толеитовой серии и обнаруживают тренд обогащения железом, а метабазиты Зеленогайской ЗКС принадлежат к известково-щелочной серии. Снизу вверх по

разрезу в метабазах метатолеитовой формации Павловской ЗКС увеличивается железистость, титанистость, содержание РЗЭ и уменьшается глиноземистость. Метабазиты нижней части разреза метатолеитовой формации относятся к типу N-MORB, а верхней – к E-MORB. Последние отличаются положительной Nb аномалией ($Nb/Nb^* = 1,35$). Метабазиты Зеленогайской ЗКС принадлежат к наиболее лейкократовым разновидностям базитов и относятся к

типу известково-щелочных базальтов. Согласно геохимическим данным, метабазиты Павловской и Зеленогайской ЗКС Восточного Приазовья образовались из плюмовых магматических источников ($Nb = +0,03-0,43$). Присутствие в разрезе Зеленогайской ЗКС андезитов может указывать на их формирование в островодужном режиме в отличие от рифтогенных ЗКС Западноприазовского блока.

Список литература / References

1. Артеменко Г.В., Самборская И.А. Геохимические отличия перидотитовых и пироксенитовых коматиитов зеленокаменных поясов Приазовского и Среднеприднепровского мегаблоков Украинского щита. *Минерал. журн.* 2009. Т. 31, № 2. С. 13-19.

Artemenko G.V., Samborskaya I.A., 2009. Geochemical differences between peridotite and pyroxenite komatiites of greenstone belts of Azov and Middle-Dnieper megablocks of Ukrainian Shield. *Mineralogichnyy zhurnal*, vol. 31, № 2, p. 13-19 (in Russian).

2. Артеменко Г.В., Шумлянский Л.В., Швайка И.А. Позднепалеоархейские тоналитовые гнейсы Западно-Приазовского блока (Приазовский мегаблок Украинского щита). *Геол. журн.* 2014. № 4 (349). С. 91-102.

Artemenko G.V., Shymlyanskiy L.V., Schweika I.A., 2014. Late paleoarchean tonalite gneisses of West-Azov block (Priazov megablock of Ukrainian Shield). *Geologichnyy zhurnal*, № 4 (349), p. 91-102 (in Russian).

3. Бибилова 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., Claesen C., Fedotova A.A., Artemenko G.V., Ilyinskiy L., 2010. Terrigenous zircon of Archean greenstone belts - a source of information about the early Earth's crust: Azov and Dnieper region, The Ukrainian Shield. *Geokhimiya*, № 9, p. 899-916 (in Russian).

4. Божко Н.А. Геотектонические факторы локализации коренных источников алмаза и их роль в оценке перспектив алмазоносности 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).

5. Бородиня Б.В., Князькова И.Л., Иваненко Т.Я., Кисельов В.А. Звіт про геологічне вивчення надр. Геологічне довивчення площ масштабу 1:200 000 південних половин аркушів L-37-II (Донецьк), L-37-III (Іловайськ) в межах України та аркушів L-37-VIII (Маріуполь) і L-37-IX (Таганрог) в межах України за виліком акваторії Азовського моря (Східноприазовська площа). Фонди Приазовської КГЕ, 2007 р.

Borodyny B.V., Knyazkova I.L., Ivanenko T.Y., Kiselev V.A., 2007. The report about geological investigation bowels of the Earth. Geological additional exploration of Area in scale 1: 200 000 south half of sheet L-37-II (Donezk), L-37-III (Ilovaysk) within Ukraine and the sheet L-37-VIII (Mariupol) and L-37-IX (Taganrog) within Ukraine with the exception of water area of Azov sea (East-Azov area). Funds of Azov KGE (in Russian).

6. Васильченко В.В., Киселев В.А. и др. Отчет Донского ГСО о результатах глубинного геологического картирования м-ба 1 : 50 000, проведенного в 1985-1989 гг. на Октябрьской площади. Волноваха, 1989. 241 с.

Vasilchenko V.V., Kiselev V.A. et al., 1989. The report on the results of the Don GEU about deep geological mapping in scale of 1: 50000 on October Area. Volnovaha, 241 p. (in Russian).

7. Конди К. Архейские зеленокаменные пояса. Москва: Мир, 1983. 390 с.

Condi K. Archean greenstone belts. Moscow: Mir, 1983. 390 p. (in Russian).

8. Магматические горные породы. Классификация, номенклатура, петрография. Москва: Наука, 1983. Т. 1. Ч. 2. С. 366-767.

Igneous rocks. Classification, nomenclature, petrography. Moscow: Nauka, 1983, vol. 1, part 2, p. 366-767 (in Russian).

9. Стрекозов С.Н., Груба В.В. Геологическое строение и полезные ископаемые Павловской

площади Восточного Приазовья. Отчет Павловского ГСО о результатах глубинного геологического картирования м-ба 1 : 50 000, проведенного в 1989-1993 гг. Листы L-37-3-B-г, -3-Г-в, -15-A-б, -15-B-а, б. Волноваха, 1993.

Strekozov S.N., Gruba V.V., 1993. The geological structure and minerals of Pavlovka Area of Eastern Azov area. The report of Pavlovka GEU about results of the deep geological mapping in scale of 1: 50,000. Sheets L-37-3-B-г, -3-Г-в, -15-A-б, -15-B-а, б. Volnovaha (in Russian).

10. Татарінова О.О., Шпильчак В.А., Бартницький Є.М. Вік Зеленогайської та Павлівської зеленокам'яних структур (Приазовський мегаблок). Вісник КНУ імені Тараса Шевченка. 2002. № 21-22. С. 82-84.

Tatarinova O.O., Shpilchak V.A., Bartnizky E.M., 2002. The age of Zeleny Gay and Pavlovka greenstone structures (Priazov megablock). *Visnyk Kyivskogo Natsionalnogo Universitetu imeni Tarasa Shevchenka*, № 21-22, p. 82-84 (in Ukrainian).

11. Cabanis B., Lecolle M. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de mѐlanges et/ou de contamination crustale. *C. R. Acad. Sci. Ser. II*. 1989. Paris, Vol. 309, P. 2023-2029.

Cabanis B., Lecolle M., 1989. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de mѐlanges et/ou de contamination crustale. *C. R. Acad. Sci. Ser. II*. Paris, vol. 309, p. 2023-2029 (in France).

12. Condie K.C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving

sources of mantle plumes? *Lithos*. 2005. Vol. 79. P. 491-504.

Condie K.C., 2005. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? *Lithos*, vol. 79, p. 491-504 (in English).

13. Jensen L.S. A. New Cation Plot for Classifying Subalkaline Volcanic Rocks: Ontario, 1976. Div. Mines, MP66, 22 p.

Jensen L.S. A., 1976. New Cation Plot for Classifying Subalkaline Volcanic Rocks: Ontario. Div. Mines, MP66, 22 p. (in English).

14. Jochum K.P., Arndt N.T., Hofmann A.W. Nb-Th-La in komatiites and basalts; constraints on komatiite petrogenesis and mantle evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1991. Vol. 107. P. 272-289.

Jochum K.P., Arndt N.T., Hofmann A.W., 1991. Nb-Th-La in komatiites and basalts; constraints on komatiite petrogenesis and mantle evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 107, p. 272-289 (in English).

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

Стаття надійшла

11.01.2016