

УДК 550.93 : 552.4 : 550.4 (477)

Г.В. Артеменко¹, Б.В. Бородыня², И.А. Швайка¹

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

² Приазовская КГЭ, КП "Южукргеология"
85700, г. Волноваха, Донецкая обл., Украина, ул. Ленина, 20
E-mail: prkgrp@rambler.ru

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ГЕНЕЗИС ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИХ ПЛАГИОГРАНИТОИДОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРИАЗОВЬЯ (УКРАИНСКИЙ ЩИТ)

Приазовский мегаблок — глубоко переработанный в палеопротерозое архейский кратон. Важную роль в его строении играют палеопротерозойские гранитоиды. Наиболее ранние из них представлены плагиогранитоидами каратюкского комплекса ($2,13 \pm 0,04$ млрд лет), а более поздние — калиевыми гранитоидами анадольского и салтычанского комплексов (2,08—2,09 млрд лет). Выполнено геохимическое исследование плагиогранитоидов каратюкского комплекса Центрального Приазовья. Согласно новым геохимическим данным, они являются ювенильными образованиями и сформировались при частичном плавлении метабазитов в мантийных и нижнекоровых магматических источниках. По геохимическим характеристикам они соответствуют адакитам. Формирование палеопротерозойских интрузий плагиогранитоидов каратюкского комплекса Центрального Приазовья может быть связано с процессами субдукции на границах Сарматского микроконтинента или частичного плавления нижней части мощной коры в результате андерплейтинга базитовых расплавов.

Ключевые слова: Приазовский мегаблок, палеопротерозойские плагиогранитоиды, Центральное Приазовье, Мангушский синклиниорий, каратюкский комплекс, Сарматский микроконтинент, адакит, усманский комплекс.

Вступление. Палеопротерозойские гранитоиды выделяются на всей площади Приазовского мегаблока и особенно широко распространены в Восточном Приазовье. На Салтычанском антиклинории они в основном приурочены к границам микроблоков пород архейского возраста, слагают небольшие штокообразные интрузии (салтычанский комплекс) и маломощные жилы, субсогласные с залеганием дислоцированных плагиогранитоидов и останцов осадочно-вулканогенных пород мезоархейского возраста. В Корсакском и Мангушском синклиниях они формируют мигматиты по осадочно-вулканогенным породам центральноприазовской серии. В Западном Приазовье все изученные палеопротерозойские гранито-

иды оказались калиевыми, а в Центральном и Восточном Приазовье среди них выделяются ранние плагиогранитоиды каратюкского комплекса и более поздние калиевые граниты анадольского комплекса [9]. Плагиогранитоиды каратюкского комплекса ранее рассматривались как архейские и сопоставлялись с плагиогранитоидами шевченковского комплекса [5]. В результате более поздних геохронологических исследований установлен их палеопротерозойский возраст [1, 2, 6].

Постановка проблемы. Вопросы генезиса палеопротерозойских гранитоидов Приазовского мегаблока изучены недостаточно. Выявление в их составе гранитоидов двух групп — плагиогранитоидов каратюкского комплекса натриевой серии и существенно калиевых гранитоидов анадольского комплекса — указывает на разные геодинамические режимы их

© Г.В. АРТЕМЕНКО, Б.В. БОРОДЫНЯ,
И.А. ШВАЙКА, 2016

формирования. В то время как калиевые гранитоиды анадольского комплекса имеют коровые геохимические характеристики, природа палеопротерозойских плагиогранитоидов каратюкского комплекса оставалась не исследованной. Генезис палеопротерозойских плагиогранитоидов каратюкского комплекса имеет важное значение для изучения эволюции земной коры Приазовского мегаблока в палеопротерозое. В это время восточные части Приазовского мегаблока и Воронежского кристаллического массива (ВКМ) находились на восточной окраине Сарматского корового сегмента Восточно-Европейской платформы, являвшейся активной континентальной окраиной [8, 10].

Цель работы — петрогеохимическое изучение палеопротерозойских плагиогранитоидов Центрального Приазовья для определения их генезиса и возможной геодинамической обстановки формирования.

Методика исследований. Малые и редкие элементы определяли методом индукционно-связанной плазмы с масс-спектрометрическим окончанием анализа (*ICP-MS*) в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектро-

ники и особо чистых материалов РАН (АСИЦ ИПТМ РАН). Разложение образцов пород проводили методом кислотного разложения как в открытой, так и в закрытой системах, в зависимости от состава породы. Пределы обнаружения для РЗЭ, Hf, Ta, Th, U составляли 0,02—0,03 ppm, для Nb, Be, Co — 0,03—0,05, для Li, Ni, Ga, Y — 0,1, для Zr — 0,2, для Rb, Sr, Ba — 0,3, 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 при определении концентрации составляли от 3 до 5 мас. % для большинства элементов.

Геологическое положение интрузий плагиогранитоидов и схема опробования. Плагиогранитоиды палеопротерозойского возраста (табл. 1) изучены в пределах западного крыла Мангушского синклиория — в Зачатьевско-Федоровской антиклинали [3, 4] (рис. 1). Последняя представляет собой ориентированную в северо-северо-западном направлении складчатую структуру с линейным типом пликативных форм. Она прослеживается в виде субмеридиональной S-подобной полосы от северного побережья Азовского моря на расстояние око-

Таблица 1. Минеральный состав и изотопный возраст плагиогранитоидов Центрального Приазовья
Table 1. Mineral composition and isotopic age of plagiogranitoids of Central Azov region

| Number sample | Rock | Geolocation | Mineral composition of rocks, % | U-Pb age, Ma |
|---------------|---------------|---|---|-------------------------------|
| 2067 | Tonalite | Farm Sadoviy, a small quarry on the right bank of the Karatyuk river near the well | Hornblende — 3; biotite — 8; quartz — 15; plagioclase — 69; microcline — 5; ore mineral, apatite, sphene in the single grains | 2130 ± 40 (Isochrone) [9] |
| 2059 | Trondhjemite | The Starodubovka vil. outcrop on the right bank of the Karatysh river at the wooden bridge on the road to the Pigsty (2059) | Quartz — 40; plagioclase — 57; biotite — 1—2; molybdenite and other ore minerals to — 1; muscovite — share of a percent; zircon, monazite and apatite in the single grains | 2165 (207/206) [1] |
| 210/2 | Granodiorite | Right slope of beam Zelinsky, 150 m above the road (the western flank of the Zachativka-Fedorivka anticline) | Hornblende — 3—5; biotite — 3—5, quartz — 25, plagioclase with antiperthite ingrowths — 65; ore mineral — 1; apatite, zircon single grains | 2127 ± 38 (Isochrone) [2] |
| 211/1 | Tonalite | The upper Kalchyk river, 1.5 km below from Vishnevatoe vil. | Biotite — 1—2; quartz — 15; plagioclase — 78; microcline — 3—5; apatite, zircon in the single grains | 2104 (207/206) Concordant [6] |
| 208 | Plagiogranite | Right slope of beam Panasova, 4 km above its mouth, 1 km from below Zeleniy Yar vil. | Hornblende — 5; biotite — 8; quartz — 20; plagioclase with antiperthitic ingrowths — 67; monoclinic pyroxene relicts units of grain; apatite, zircon in the single grains | 2168 ± 100 (Isochrone) [2] |
| 2071 | Enderbite | Right bank of the Karatysh river, in the sink at the dam, located 4 km upstream from Starodubovka vil. | Pyroxene in relict grains, replaced by biotite and hornblende; biotite — 2; hornblende — 5; quartz — 15; plagioclase — 77; ore mineral — 1; apatite and zircon — in the single grains | 2107 (207/206) [1] |

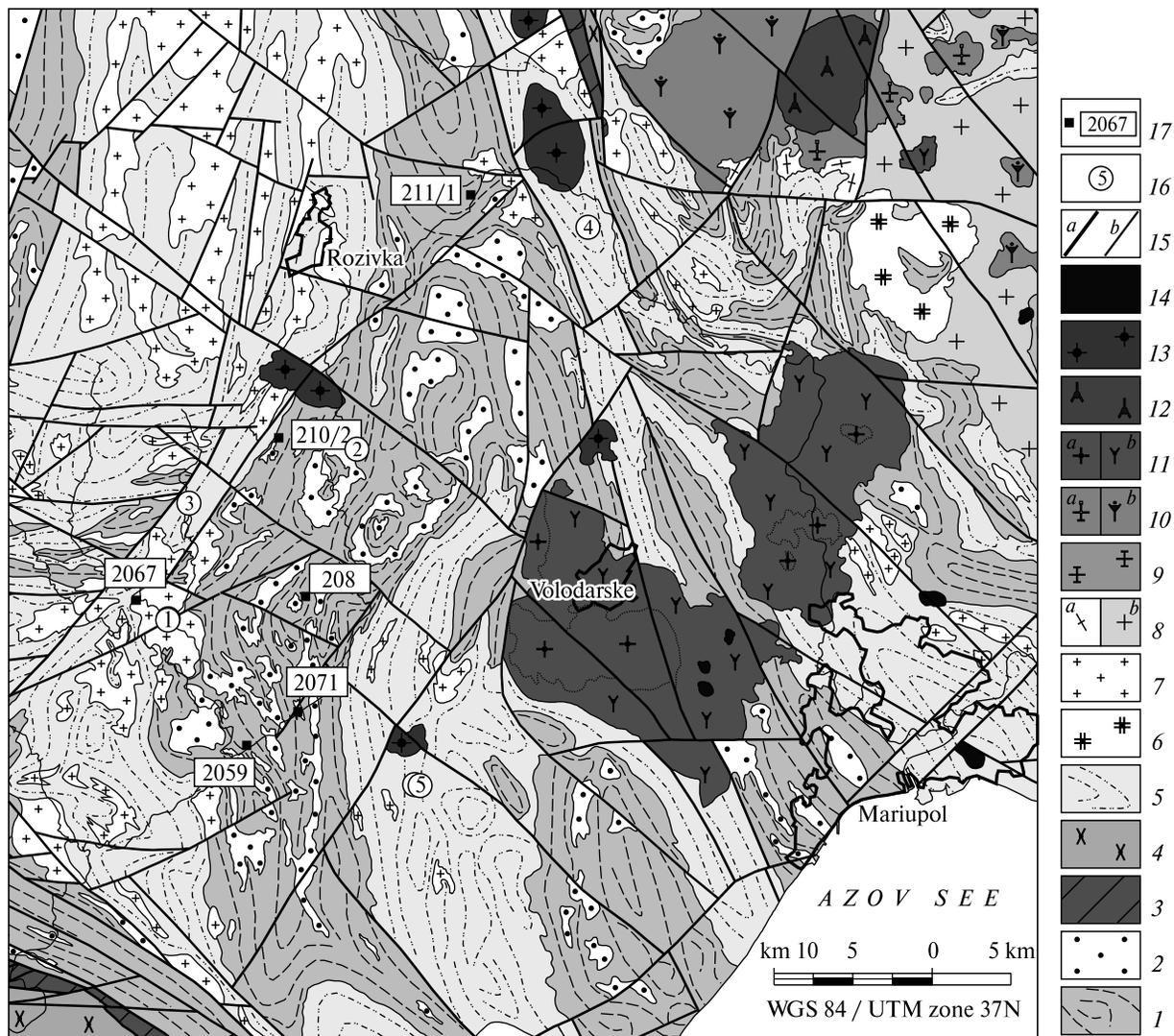


Рис. 1. Схематическая геологическая карта распространения плагиогранитоидов Центрального Приазовья [3, 4]: 1 – западноприазовская серия, верхнетокмакская толща; 2 – ремовский? комплекс (плагиограниты, плагиомигматиты); 3 – осипенковская серия, косивцевская толща; 4 – обиточненский комплекс, максимовская ассоциация (гранодиориты); 5 – драгунская толща, темрюкская и демьяновская свиты; 6 – токмакский комплекс (чарнокиты-эндербиты); 7 – каратюкский комплекс (плагиограниты); 8 – анадольский комплекс (a – мигматиты, b – граниты); 9 – салтычанский комплекс (граниты); 10 – хлебодаровский комплекс (a – граниты, b – граносиениты); 11 – южнокальчикский комплекс (a – граниты, b – габбро, монзониты, сиениты); 12 – октябрьский комплекс (габбро, сиениты); 13 – каменномогильский комплекс (граниты); 14 – герцинские малые интрузии и субвулканические аппараты; 15 – разрывные нарушения (a – главные, b – второстепенные); 16 – основные структуры (цифры в кружках): 1 – Каратюкский массив, 2 – Зачатьевско-Федоровская антиклиналь, 3 – Берестовско-Розовская синклираль, 4 – Малоянисольская синклиральная зона, 5 – Боевско-Мангушская синклираль; 17 – точки отбора проб и их номера

Fig. 1. Schematic geological map of the spread of the plagiogranitoids in the Central Azov region [3, 4]: 1 – West Azov series, Upper-Tokmak thickness; 2 – Rem? complex (plagiogranites, plagiomigmatites); 3 – Osipenko series, Kosivtseva thickness; 4 – Obitochne complex, Maksymivka association (granodiorites); 5 – Dragoon thickness, Temryuk and Demyanivka suites; 6 – Tokmak complex (charnockites-enderbites); 7 – Karatyuk complex (plagiogranites); 8 – Anadol complex (a – migmatites, b – granites); 9 – Saltychiya complex (granites); 10 – Chlibodarivka complex (a – granites, b – granosyenites); 11 – Yuzhnokalchyk complex (a – granites, b – gabbro, monzonites, syenites); 12 – Oktyabrsky complex (gabbro, syenites); 13 – Kam'yani Mogyly complex (granites); 14 – Hercynian small subvolcanic intrusions and neks; 15 – faults (a – most important, b – secondary); 16 – the main structures (number in circles): 1 – Karatyuk massif, 2 – Zachativka-Fedorivka anticline, 3 – Berestove-Rozivka syncline, 4 – Maloyansol synclinal zone, 5 – Boivka-Mangush syncline; 17 – outcrops and their numbers (sampling location)

ло 85 км, ширина от 3—5 до 14 км. Ядро ее сложено образованиями верхнетокмакской толщи с субсогласными телами гранитоидов (ремовского ? и/или каратюкского комплексов), а крылья — темрюкской свитой. С запада она граничит с Берестовско-Розовской синклиналию, с востока — Малоянисольской синклинальной зоной (на севере) и Боевско-Мангушской синклиналию (на юге).

На западном крыле Зачатьевско-Федоровской антиклинали (на границе с Берестовско-Розовской синклиналию) расположен наибольший в Центральном Приазовье массив плагиогранитов — Каратюкский. Породы массива наблюдаются в обнажениях в низовьях рек Каратюк и Темрюк и в средней части бассейна р. Берда (села Калайтановка, Захарьевка, Сачки, Садовое, Веселое), на водоразделе раскры-

Таблица 2. Химические анализы палеопротерозойских плагиогранитоидов Центрального Приазовья и усманского комплекса ВКМ

Table 2. Chemical analyzes of Paleoproterozoic's plagiogranitoids of Central Azov and Usman complex of Voronezh crystalline massif

| Major elem., % | 1/2067 | 2/2059 | 3/210/2 | 4/211/1 | 5/2071 | 6/208 | 7/0152 (230) | 8/0152 (830) | 9/0152 (1150) |
|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------|--------------|---------------|
| SiO ₂ | 71.04 | 77.65 | 64.52 | 59.92 | 67.26 | 59.82 | 70.62 | 72.23 | 72.24 |
| TiO ₂ | 0.30 | 0.20 | 0.70 | 1.32 | 0.62 | 1.32 | 0.36 | 0.22 | 0.22 |
| Al ₂ O ₃ | 14.25 | 11.35 | 15.13 | 17.27 | 14.72 | 14.92 | 15.59 | 15.22 | 14.27 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.95 | 1.60 | 1.75 | 3.64 | Tr. | 2.96 | — | — | — |
| FeO | 1.99 | 1.85 | 3.46 | 1.94 | 3.09 | 4.75 | 3.63* | 2.64* | 2.88* |
| MnO | 0.03 | 0.01 | 0.10 | 0.09 | 0.04 | 0.16 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| MgO | 1.74 | 0.40 | 2.53 | 2.57 | 1.90 | 2.63 | 1.69 | 1.12 | 1.21 |
| CaO | 3.30 | 2.0 | 3.54 | 4.45 | 5.96 | 6.81 | 1.31 | 1.88 | 0.94 |
| Na ₂ O | 4.40 | 4.05 | 4.56 | 4.37 | 4.69 | 4.01 | 4.18 | 4.35 | 4.50 |
| K ₂ O | 1.90 | 0.95 | 2.20 | 1.30 | 0.80 | 1.10 | 2.38 | 1.97 | 3.46 |
| S _{tot} | Tr. | 0.04 | — | — | Tr. | — | — | — | — |
| P ₂ O ₅ | 0.12 | 0.07 | 0.26 | 0.40 | 0.16 | 0.22 | 0.13 | 0.28 | 0.17 |
| CO ₂ | No det. | No det. | No det. |
| H ₂ O ⁻ | 0.06 | 0.01 | 0.15 | 1.11 | 0.13 | 0.16 | — | — | — |
| LOI | 0.22 | 0.27 | 0.81 | 1.58 | 0.20 | 0.85 | 1.57 | 0.49 | 0.97 |
| Total | 100.30 | 100.43 | 99.71 | 99.96 | 99.57 | 99.71 | 100.7 | 100.7 | 100.6 |
| Na ₂ O/K ₂ O | 2.3 | 4.3 | 2.1 | 3.4 | 5.9 | 3.7 | 1.76 | 2.21 | 1.30 |
| al' | 3.05 | 2.95 | 1.96 | 2.12 | 2.95 | 1.44 | | | |
| Mg# | 52 | 18 | 47 | 47 | 52 | 39 | 47 | 42 | 43 |

Пр и м е ч а н и е. 1 — тоналит (каратюкский комплекс), хут. Садовый, забой небольшого карьера на правом берегу р. Каратюк возле колодца (пр. 2067); 2 — тронджемит, обнажение в с. Стародубовка, правый берег р. Каратюк у деревянного моста на дороге к свинарнику (пр. 2059); 3 — гранодиорит, обнажение в правом борту балки Зелинская (в 150 м выше автодороги (пр. 210/2); 4 — тоналит, верховье р. Кальчик, левый борт, 1 км выше с. Вишневатое (пр. 211/1); 5 — эндербит, обнажение в сливе плотины на р. Каратыш, расположенной в 4 км выше по течению от с. Стародубовка (пр. 2071); 6 — плагиогранит роговообманково-биотитовый, обнажение в правом борту балки Панасова, в 1 км ниже с. Зеленый Яр, правый приток р. Каратыш, в 4 км выше устья (пр. 208); 7 — плагиогранит (усманский комплекс), ВКМ, Липецко-Лосевский пояс, скв. 0152, гл. 230 м [10]; 8 — то же, там же, скв. 0152, гл. 830 м [10]; 9 — то же, там же, скв. 0152, гл. 230 м [10]. Химические анализы № 1—6 выполнены в лаборатории ИГМР НАН Украины. No det. — не определялось. Tr. — следы.

Not e. 1 — tonalite (the Karatyuk complex), farm Sadovi, slaughter of a small quarry on the right bank of the Karatyuk river near the well (sample 2067); 2 — trondhjemite, outcrop in Starodubovka vil. on the right bank of the Karatyuk river at the wooden bridge on the road to a pigsty (sample 2059); 3 — granodiorite, outcrop on the right board of Zelinsky ravine (150 m above the road (sample 210/2); 4 — tonalite, the Kalchik river head, left side, 1 km above Vishnevatoe vil. (sample 211/1); 5 — enderbite, outcrop in the dam discharge on the Karatysh river, located 4 km upstream Starodubivka vil. (sample 2071); 6 — plagiogranite hornblende-biotite, outcrops on the left board of Panasova ravine, 1 km below Zeleny Yar vil. (right tributary of the Karatysh river, 4 km above the estuary) (sample 208); 7 — plagiogranite (Usman complex), Voronezh crystalline massif, Lipetsk-Losevka belt, bh. 0152, depth 230 m [10]; 8 — the same, in the same place, bh. 0152, depth 830 m [10], 9 — the same, in the same place, bh. 0152, depth 230 m [10]. Chemical analyses No 1—6 performed in the Laboratory of IGMOF of NAS of Ukraine. No det. — no determined, Tr. — traces.

ты рядом скважин [3, 4]. Массив отчетливо выделяется в геофизических полях резко пониженными отрицательными гравимагнитными аномалиями. На современном эрозионном срезе занимает площадь около 27 км² и представляет собой вытянутое в северо-восточном направлении тело размером 5 × 14 км. Залегает массив среди пород верхнетокмакской толщи. В западной части Зачатьевско-Федоровской

структуры изучена также небольшая интрузия трондьемитов, обнажающаяся на р. Каратыш в 1100 м выше ее устья (левый приток р. Берда) (пр. 2059) (рис. 1).

Наряду с этими массивами в пределах Зачатьевско-Федоровской антиклинали известны также выходы плагиогранитоидов в виде небольших субсогласных тел и небольших интрузий среди образований верхнетокмакской

Таблица 3. Содержание элементов в палеопротерозойских плагиогранитоидах Центрального Приазовья, ppm
Table 3. The content of elements in the Paleoproterozoic's plagiogranitoids of Central Azov region, ppm

| Element | 2067 | 2059 | 210/2 | 211/1 | 0152 (230) | 0152 (830) | 0152 (1150) |
|----------------------|-------|-------|--------|--------|---------------|---------------|----------------|
| Li | 16.3 | 12.4 | 22.1 | 26.4 | — | — | — |
| Be | 1.2 | 0.834 | 1.62 | 1.0 | — | — | — |
| Sc | 4.2 | 6.949 | 13.44 | 7.2 | 6.16 | 4.27 | 3.58 |
| V | 39.5 | 5.371 | 65.62 | 72.2 | 66.36 | 47.95 | 43.26 |
| Cr | 32.1 | 35.64 | 68.71 | 34.1 | 64.63 | 29.07 | 32.77 |
| Co | 6.5 | 3.574 | 12.04 | 14.7 | 11.05 | 7.03 | 5.40 |
| Ni | 24.4 | 9.44 | 42.28 | 33.9 | 52.66 | 23.02 | 19.99 |
| Cu | 31.8 | 22.85 | 21.35 | 15.1 | — | — | — |
| Zn | 39.0 | 31.55 | 66.44 | 86.5 | — | — | — |
| Rb | 54.6 | 18.38 | 57.09 | 54.8 | 44.60 | 60.03 | 81.91 |
| Sr | 502 | 162.3 | 640.5 | 515 | 413 | 407 | 456 |
| Y | 6.6 | 8.75 | 18.59 | 12.8 | 10.27 | 7.20 | 5.94 |
| Zr | 118 | 80.23 | 99.43 | 269 | 120.6 | 123.6 | 102.0 |
| Nb | 3.3 | 7.155 | 6.901 | 11.9 | 8.18 | 6.99 | 4.68 |
| Mo | 1.2 | 0.767 | 0.481 | 1.0 | — | — | — |
| Cs | 0.74 | 0.115 | 0.434 | 0.77 | — | — | — |
| Ba | 425 | 166.8 | 577.3 | 474 | 428 | 384 | 660 |
| La | 10.9 | 21.94 | 30.43 | 18.9 | 20.58 | 16.75 | 16.85 |
| Ce | 23.1 | 38.69 | 56.54 | 50.6 | 44.12 | 37.22 | 34.11 |
| Pr | 2.7 | 4.142 | 6.747 | 4.7 | 5.16 | 4.18 | 3.76 |
| Nd | 11.0 | 17.09 | 29.45 | 18.4 | 19.09 | 15.12 | 13.99 |
| Sm | 2.0 | 3.709 | 6.909 | 3.5 | 3.40 | 2.52 | 2.31 |
| Eu | 0.70 | 0.656 | 1.685 | 1.0 | 0.83 | 0.64 | 0.57 |
| Gd | 1.8 | 2.619 | 4.967 | 3.2 | 2.55 | 1.75 | 1.59 |
| Tb | 0.26 | 0.409 | 0.771 | 0.45 | 0.33 | 0.23 | 0.20 |
| Dy | 1.2 | 2.054 | 3.877 | 2.3 | 1.71 | 1.16 | 0.97 |
| Ho | 0.23 | 0.305 | 0.641 | 0.45 | 0.32 | 0.22 | 0.18 |
| Er | 0.63 | 0.819 | 1.859 | 1.3 | 0.83 | 0.59 | 0.47 |
| Tm | 0.083 | 0.127 | 0.287 | 0.18 | 0.12 | 0.09 | 0.07 |
| Yb | 0.55 | 0.829 | 1.857 | 1.2 | 0.75 | 0.58 | 0.46 |
| Lu | 0.083 | 0.096 | 0.215 | 0.17 | 0.11 | 0.09 | 0.07 |
| Hf | 3.2 | 2.043 | 2.181 | 6.4 | 3.05 | 3.18 | 2.66 |
| Ta | 0.22 | 0.182 | 0.187 | 1.0 | 0.71 | 0.55 | 0.34 |
| W | 0.51 | 0.458 | 0.134 | 0.24 | — | — | — |
| Pb | 7.9 | 3.601 | 5.942 | 6.3 | 7.50 | 7.78 | 8.18 |
| Th | 1.2 | 2.843 | 1.855 | 3.6 | 5.13 | 4.53 | 5.75 |
| U | 0.23 | 0.184 | 0.214 | 0.40 | 0.96 | 1.45 | 1.35 |
| ΣREE | 55.24 | 93.49 | 146.24 | 106.35 | 99.9 | 81.4 | 75.6 |
| Eu/Eu* | 1.13 | 0.64 | 0.88 | 0.92 | 0.86 | 0.93 | 0.91 |
| (La/Yb) _N | 14.2 | 19 | 11.8 | 11.3 | 19.7 | 20.72 | 26.3 |
| Sr/Y | 76.1 | 18.6 | 34.5 | 40.2 | 40.2 | 56.5 | 76.8 |
| Nb/Ta | 15 | 39.3 | 36.9 | 11.9 | 11.5 | 12.7 | 13.8 |

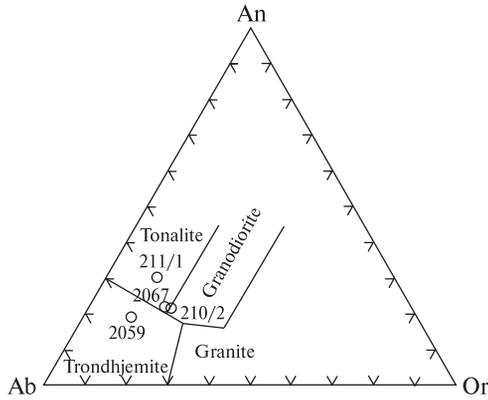


Рис. 2. Диаграмма О'Коннора-Баркера (*Ab — An — Or*) для палеопротерозойских плагиигранитоидов Центрального Приазовья

Fig. 2. The O'Connor-Barker diagram (*Ab — An — Or*) for the Paleoproterozoic plagiogranitoids of Central Azov region

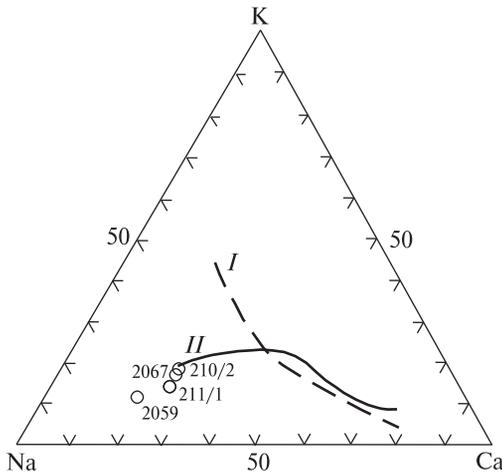


Рис. 3. Диаграмма Na — К — Са для палеопротерозойских плагиигранитоидов Центрального Приазовья: I — известково-щелочной тренд; II — тронджемитовый тренд

Fig. 3. The Na — K — Ca diagram for Paleoproterozoic plagiogranitoids of Central Azov region: I — calc-alkaline trend; II — trondhjemite trend

толщи. В ее центральной части отобраны пробы из субогласных вмещающим породам тел плагиигранитов роговообманково-биотитовых (пр. 210/2) и тоналитов (пр. 211/1).

Результаты исследований. Тоналиты Каратюкского массива (пр. 2067, рис. 1). По химическому составу ($\text{SiO}_2 = 71,04\%$; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 6,3\%$; $(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 2,3)$) (табл. 2) принадлежат к семейству низкощелочных гранитов нормального ряда калий-натриевой серии [7]. На диаграмме О'Коннора-Баркера (*Ab — An — Or*) их фигуративная точка расположена в поле

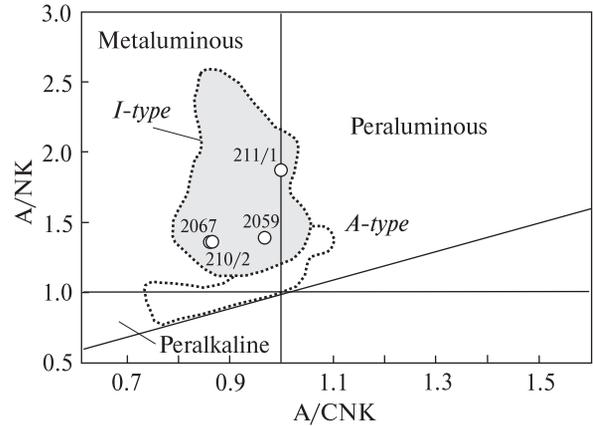


Рис. 4. Диаграмма *A/NK — A/CNK* [11] для плагиигранитоидов Центрального Приазовья (*A/NK* — молярное отношение $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$; *A/CNK* — молярное отношение $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$)

Fig. 4. The *A/NK — A/CNK* diagram [11] for plagiogranitoids of Central Azov region (*A/NK* — molar ratio of $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$; *A/CNK* — a molar ratio of $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$)

тоналитов (рис. 2), а на диаграмме Na — К — Са — на тронджемитовом тренде (рис. 3). На диаграмме *A/CNK — A/NK* [11] фигуративные точки тоналитов (пр. 2067) попадают в поле гранитов I типа (рис. 4). Характеризуются повышенной магнезиальностью $\text{Mg}\# = 52$. Весьма высокоглиноземистые ($a' = 3,05$).

Им свойственно низкое содержание Rb (54,6 ppm) и высокое — Sr (502 ppm). Имеют низкое содержание высокочargedных Y (6,6 ppm), Nb (3,3), Yb (0,55), Ta (0,22 ppm) и повышенное, по сравнению с ТТГ, — переходных (Ni (24,4 ppm), Cr (32,1 ppm) элементов [14]. Наблюдаются высокие значения отношения Sr/Y (76,1) и Nb/Ta (15) (табл. 3). На спайдердиаграмме выделяются отрицательные аномалии Nb, Ti и положительные Sr, Eu, Zr и Hf (рис. 5). График распределения РЗЭ сильно дифференцированный — $((\text{La}/\text{Yb})_N = 14,2$; $\text{Yb}_N = 3,2$) с положительной европейской аномалией — $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1,13$ (рис. 6). Их расплав мог образоваться в результате частичного плавления базитов. В реститовой фазе магматического источника были гранат и/или роговая обманка. На диаграммах Y — Sr/Y и $\text{Yb}_N — (\text{La}/\text{Yb})_N$ тоналиты Каратюкского массива попадают в поле адакитов (рис. 7).

Согласно геохимическим характеристикам, тоналиты Каратюкского массива близки к адакитам, которые могут образоваться в результате плавления водонасыщенных базитов слэба,

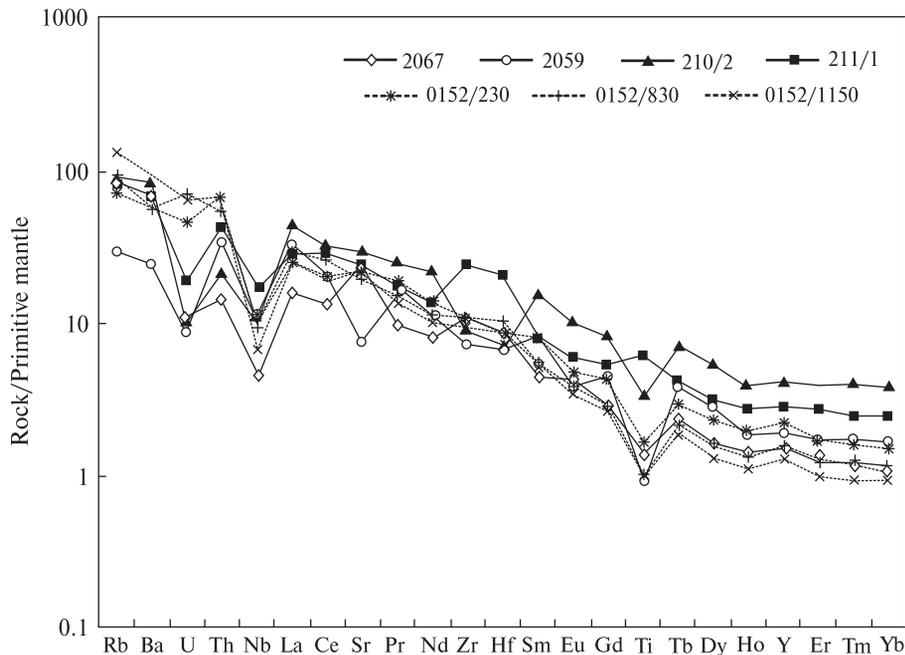


Рис. 5. Мультиэлементная диаграмма для палеопротерозойских плагиогранитоидов Центрального Приазовья. Нормировано на примитивную мантию [16]

Fig. 5. Multielement diagram for Paleoproterozoic plagiogranitoids of Central Azov region. Normalized by primitive mantle [16]

а их расплав реагировал с породами мантийного клина, или частичного плавления нижней части мощной коры в результате андерплейтинга базитовых расплавов в палеопротерозое [12, 15]. Они аналогичны по составу плагиогранитоидам усманского комплекса ВКМ [10].

Трондъемиты (пр. 2059). По химическому составу ($\text{SiO}_2 = 77,65\%$; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 5,0\%$; $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 4,3$) соответствуют семейству низкощелочных гранитов нормального ряда натриевой серии (табл. 2) [7]. На диаграмме

О’Коннора-Баркера ($Ab - An - Or$) их фигуративная точка расположена в поле трондъемитов (рис. 2), а на диаграмме $\text{Na} - \text{K} - \text{Ca}$ они расположены на трондъемитовом тренде (рис. 3). На диаграмме $A/\text{CNK} - A/\text{NK}$ фигуративная точка трондъемитов (пр. 2059) попадает в поле гранитов I типа (рис. 4). Характеризуются низкой магнезиальностью $\text{Mg}\# = 18$. Весьма высокоглиноземистые ($al' = 2,95$).

Они характеризуются низким содержанием Rb (18,38 ppm) и Sr (162,3 ppm) (табл. 3). Име-

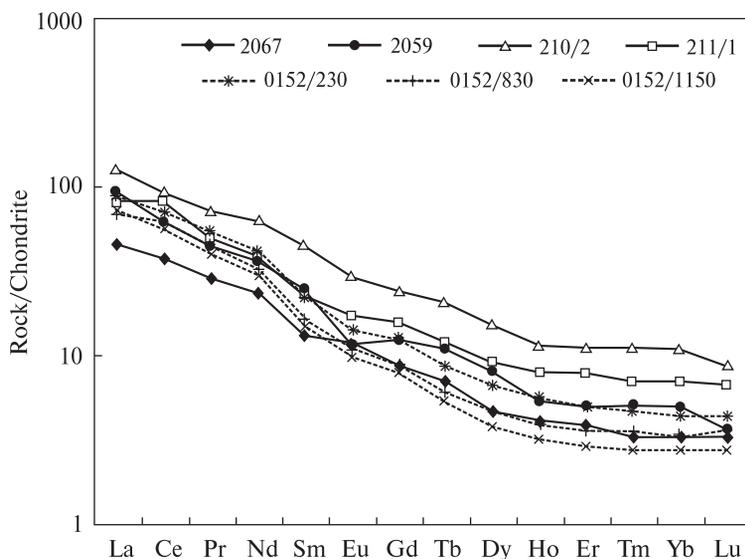


Рис. 6. График распределения РЗЭ для палеопротерозойских плагиогранитоидов Центрального Приазовья. Нормировано на хондрит C1 [16]

Fig. 6. The REE diagram for Paleoproterozoic plagiogranitoids of Central Azov region. Normalized by chondrite C1 [16]

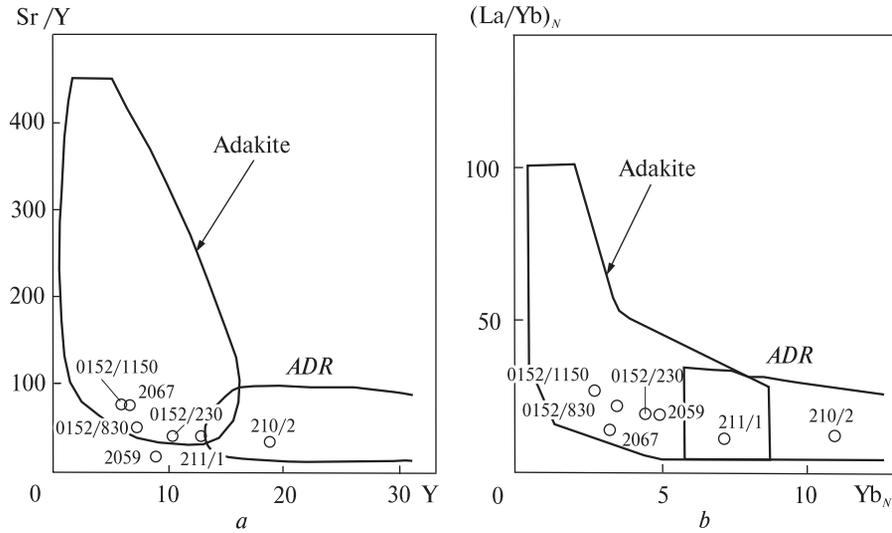


Рис. 7. Диаграммы Sr/Y — Y (a) и (La/Yb)_N — Yb_N (b) палеопротерозойских плагиогранитоидов Центрального Приазовья. Поля на диаграмме по [12]

Fig. 7. Sr/Y — Y (a) and (La/Yb)_N — Yb_N (b) diagrams for Paleoproterozoic plagiogranitoids of Central Azov region. Fields in the diagram from [12]

ют низкое содержание высокозарядных элементов (Y (8,75 ppm), Nb (7,155), Yb (0,829), Ta (0,182 ppm)). Наблюдается повышенное содержание Sr (35,64 ppm). В них высокое значение отношения Nb/Ta = 39,3 и низкое — Sr/Y = 18,6. На спайдер-диаграмме выделяются отрицательные аномалии Nb, Sr, Eu, Zr, Hf и Ti (рис. 5). График распределения РЗЭ сильно

дифференцированный — ((La/Yb)_N = 19,0; Yb_N = 4,9) с отрицательной европиевой аномалией — Eu/Eu* = 0,64 (рис. 6). Их расплав мог образоваться в результате частичного плавления базитов. В реститовой фазе их магматического источника были гранат и/или роговая обманка. Расплав, вероятно, претерпел кристаллизационную дифференциацию в промежуточной магматической камере, в рестите которой были плагиоклаз и амфибол, что могло обусловить уменьшение содержания Sr и магнезиальности породы. На диаграммах Y — Sr/Y и Yb_N — (La/Yb)_N трондьемиты попадают в поле адакитов (рис. 7).

Гранодиориты (пр. 210/2). По химическому составу (SiO₂ = 64,52 %; Na₂O + K₂O = 6,76 %; Na₂O/K₂O = 2,1) соответствуют семейству гранодиоритов-тоналитов нормального ряда калий-натриевой серии (табл. 2) [7]. На диаграмме Ab — An — Or их фигуративная точка расположена в поле гранодиоритов (рис. 2), а на диаграмме Na — K — Ca они расположены на трондьемитовом тренде (рис. 3). Имеют повышенную магнезиальность (Mg# = 47), высокоглиноземистые (a' = 1,96). На диаграмме A/NK — A/CNK их фигуративные точки попадают в поле гранитов I типа (рис. 4).

Характеризуются низким содержанием Rb (57,09 ppm) и высоким — Sr (640,5 ppm) (табл. 3). В них повышенное содержание Ni (42,28 ppm) и Cr (68,71 ppm). Содержание высокозарядных элементов составляет: (18,59 ppm),

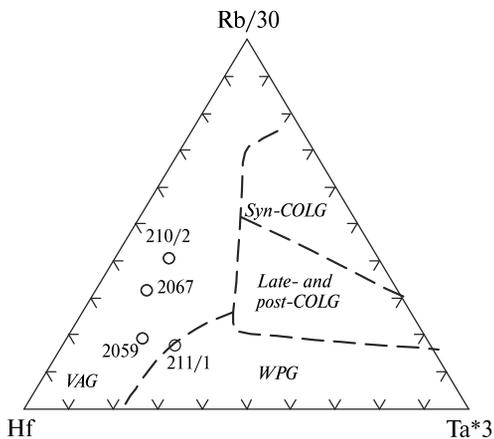


Рис. 8. Дискриминационная диаграмма Rb — Hf — Ta [13] для палеопротерозойских плагиогранитоидов Центрального Приазовья. Поля: VAG — островодужные, syn-COLG — синколлизийные, late- and post-COLG — поздние- и постколлизийные, WPG — внутриплитные (анорогенные)

Fig. 8. Discriminatory diagram Rb — Hf — Ta [13] for the Paleoproterozoic plagiogranitoids of Central Azov region. Fields: VAG — island arc, syn-COLG — sin-collisional, late- and post-COLG — late- and post-collisional, WPG — intraplate (anorogenic)

Nb (6,901), Yb (1,857) и Ta (0,187 ppm). На спайдер-диаграмме выделяются отрицательные аномалии Nb, Zr, Hf и Ti (рис. 5). График распределения P3Э сильно дифференцированный — $((La/Yb)_N = 11,8; Yb_N = 10,9)$ (табл. 3) с небольшой отрицательной европиевой аномалией — $Eu/Eu^* = 0,88$ (рис. 6).

По геохимическим данным, гранодиориты (пр. 210/2) могли образоваться при частичном плавлении метабазитов в нижней коре (<35 км). В рестите магматического источника были клинопироксен, амфибол и плагиоклаз. Гранат как ликвидусная фаза отсутствовал. На диаграммах Y — Sr/Y и $Yb_N - (La/Yb)_N$ гранодиориты попадают в поле островодужных пород (рис. 7).

Тоналиты (пр. 211/2). По химическому составу ($SiO_2 = 59,92\%$; $Na_2O + K_2O = 5,67\%$, $Na_2O/K_2O = 3,4$) (табл. 2) соответствуют семейству кварцевых диоритов нормального ряда калий-натриевой серии [7]. На диаграмме *Ab — An — Or* их фигуративная точка расположена в поле тоналитов (рис. 2), а на диаграмме Na — K — Ca они расположены на трондjemитовом тренде (рис. 3). Имеют повышенную магнезиальность ($Mg\# = 47$), весьма высокоглиноземистые ($al' = 2,12$). На диаграмме *A/NK — A/CNK* их фигуративная точка попадает в поле гранитов I типа (рис. 4).

Характеризуются низким содержанием Rb (54,8 ppm) и высоким — Sr (515 ppm) (табл. 3). В них повышенное содержание Ni (33,9 ppm) и Cr (34,1 ppm). Содержание высокозарядных элементов выше, чем в плагиогранитоидах Каратюкского массива: Y (12,8 ppm), Nb (11,9), Yb (1,2), Ta (1,0 ppm). На спайдер-диаграмме

выделяются отрицательные аномалии Nb и положительные — Zr, Hf и Ti (рис. 5). График распределения P3Э сильно дифференцированный — $((La/Yb)_N = 11,3; Yb_N = 7,06)$ (рис. 6). В тоналитах высокое значение Sr/Y отношения (40,2). На диаграмме Sr/Y — Y попадают в поле адакитов (рис. 7). Согласно геохимическим данным, расплав тоналитов (пр. 211/2) мог образоваться в результате частичного плавления базитов. В рестите магматического источника был гранат и/или роговая обманка.

На дискриминационной диаграмме Rb — Hf — Ta [13] изученные плагиогранитоиды Центрального Приазовья попадают в поле островодужных гранитов, что указывает на их метабазитовый источник (рис. 8).

Выводы. Палеопротерозойские плагиогранитоиды каратюкского комплекса Центрального Приазовья — это умереннокалиевые породы с низким содержанием рубидия, характеризующиеся трондjemитовым трендом. Согласно полученным данным, они имеют ювенильный источник и образовались, вероятно, при частичном плавлении базитов в мантийных и нижнекоревых магматических источниках. По геохимическим характеристикам близки к адакитам и аналогичны по составу плагиогранитоидам усманского комплекса Воронежского кристаллического массива.

Формирование интрузий плагиогранитоидов каратюкского комплекса Центрального Приазовья может быть связано с процессами субдукции на границах Сарматского микроконтинента или частичного плавления нижней части мощной коры в результате андерплейтинга базитовых расплавов в палеопротерозое.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артеменко Г.В., Демедюк В.В., Татарнинова Е.А., Бородыня Б.В., Довбуш Т.И.. Протерозойский возраст плагиогранитов Мангушского синклинория (Центральное Приазовье) // *Мінерал. журн.* — 2003. — 25, № 2/3. — С. 67—70.
2. Артеменко Г.В., Жданов Е.Н., Бородыня Б.В., Демедюк В.В., Довбуш Т.И. Новые геохронологические данные по Орехово-Павлоградской и Мангушской структурам Приазовского мегаблока // *Мінерал. журн.* — 2006. — 28, № 2. — С. 75—81.
3. Бородыня Б.В., Князькова І.Л., Єсипчук К.Ю., Глеваський Є.Б., Чубар Ж.В., Іваненко Т.Я. Державна геологічна карта України. Центральноукраїнська серія. L-37-VII (Бердянськ). — 1 : 200 000. — К., 2004. — 138 с.
4. Бородыня Б.В., Князькова І.Л., Іваненко Т.Я., Кисельов В.А. Звіт про геологічне вивчення надр. Геологічне довивчення площ 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 (Східно-приазовська площа). — 1 : 200 000. — Волноваха, 2007. — (Фонди Приазовської КГЕ).
5. Гранитоидные формации Украинского щита / И.Б. Щербаков, К.Е. Есипчук, В.И. Орс; Отв. ред. Н.П. Щербак. — Киев : Наук. думка, 1984. — 192 с.
6. Демедюк В.В. Вікова кореляція високометаморфізованих осадових товщ і гранітоїдів Середньопридніпровського і Приазовського мегаблоків Українського щита : Автореф. дис. ... канд. геол. наук. — К., 2006. — 20 с.

7. *Магматические* горные породы: классификация, номенклатура, петрография / Под ред. О.А. Богатикова, В.И. Гоньшаковой. — М.: Наука, 1983. — Т. 1, ч. 2. — С. 366—767.
8. Минц М.В., Филиппова И.Б., Сулейманов А.К., Замозжня Н.Г., Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Трусов А.А. Объемная модель глубинного строения Рязано-Саратовского и Восточно-Воронежского коллизионных орогенов (восточная часть Воронежского кристаллического массива, Восточно-Европейская платформа): профиль 1ЕВ, 2450—3500 км // Модели земной коры и верхней мантии по результатам глубинного сейсмопрофилирования: Материалы Междунар. науч.-практ. сем. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2007. — С. 120—125.
9. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н., Шумлянский Л.В. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой. — Киев: Наук. думка, 2008. — 240 с.
10. Шупанский А.А., Самсонов А.В., Петров А.Ю., Ларионова О.О. Геодинамика восточной окраины Сарматии в палеопротерозое // Геотектоника. — 2007 — № 1. — С. 43—70.
11. Chappell B.W., White A.J.R. Two contrasting granite types // *Pacif. Geol.* — 1974. — 8. — P. 173—174.
12. Defant M.J., Drummond M.S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere // *Nature.* — 1990. — 347. — P. 662—665.
13. Harris N.B.W., Pearce J.A., Tindle A.G. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism // *Collision tectonics.* — 1986. — P. 67—81. — (Geol. Soc. London. Spec. Publ.; No 19).
14. Martin H., Smithies R.H., Rapp R.R., Moyen J.F., Champion D.C. An overview of adakite, tonalite-trondhjemitic-granodiorite (TTG) and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution // *Lithos.* — 2005. — 79. — P. 1—24.
15. Paterno R. Castillo. An overview of adakite petrogenesis // *Chin. Sci. Bull.* — 2006. — 51, No 3. — P. 257—269.
16. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // *Magmatism in the Ocean Basins* / Eds. A.D. Saunders, M.J. Norry. — 1989. — P. 313—345. — (Geol. Soc. Spec. Publ.; No 42).

Поступила 16.09.2015

REFERENCES

1. Artemenko, G.V., Demedyuk, V.V., Tatarinova, E.A., Borodynya, B.V. and Dovbush, T.I. (2003), *Mineralogical Journal (Ukraine)*, Kyiv, Vol. 25 No 2-3, pp. 67-70.
2. Artemenko, G.V., Zhdanov, E.N., Borodynya, B.V., Demedyuk, V.V. and Dovbush, T.I. (2006), *Mineralogical Journal (Ukraine)*, Kyiv, Vol. 28 No 2, pp. 75-81.
3. Borodynya, B.V., Knyaz'kova, I.L., Yesypchuk, K.Yu., Glevaskiy, E.B., Choubar, G.V. and Ivanenko, T.Ya. (2004), *Derzhavna geolohichna karta Ukrainy. Tsentral'noukrayins'ka seriya, L-37-VII (Berdyans'k)*, 1:200 000, Kyiv, Ukraine, 138 p.
4. Borodynya, B.V., Knyaz'kova, I.L., Ivanenko, T.Ya. and Kysel'ov, V.A. (2007), *Zvit pro geolohichne vyvchennya nadr. Geologichne dovyvchennya ploshch pivdennikh polovyn arkushiv L-37-II (Donets'k), L-37-III (Ilovays'k) v mezhakh Ukrainy ta arkushiv L-37-VIII (Mariupol') i L-37-IX (Taganrog) v mezhakh Ukrainy za vylikom akvatoriyi Azovs'koho morya (Shkhidnopryazovs'ka ploshcha)*, 1: 200 000, Volnovakha, Fondy Pryazovs'koyi KGE, Ukraine.
5. Shcherbakov, I.B., Esipchuk, K.Yu. and Orsa, V.I. (1984), *Granitoidnye formacii Ukrainського Shchita*, in Shcherbak, M.P. (ed.), Nauk. dumka, Kiev, 192 p.
6. Demedyuk, V.V. (2006), *The Age correlation of highmetamorphic sedimentary thickness and granitoids of the Middle-Dnieper and Azov megablocks of the Ukrainian Shield*, Avtoref. dis. cand. geol. nauk, Kyiv, Ukraine, 20 p.
7. Bogatkov, O.A. and Gonshakova, V.I. (eds) (1983), *Magmaticheskie gornye porody: Klassifikacija, nomenklatura, petrografija*, Nauka, Moscow, Vol. 1 Pt. 2, pp. 366-768.
8. Minz, M.V., Filippova, I.B., Sulejmanov, A.K., Zamozhnjaja, N.G., Babajanc, P.S., Bloh, Ju.I. and Trusov, A.A. (2007), *Materialy Mezhdunar. nauch.-praktich. sem.*, Izd-vo VSEGEI, St.-Petersburg, Russia, pp. 120-125.
9. Shcherbak, M.P., Artemenko, G.V., Lesnaya, I.M., Ponomarenko, O.M. and Shumlyansky, L.V. (2008), *Geochronology of early Precambrian of the Ukrainian Shield. Paleoproterozoic*, Nauk. dumka, Kiev, 240 p.
10. Shchypanskiy, A.A., Samsonov, A.V., Petrov, A.Yu. and Laryonova, O.O. (2007), *Geotektonyka*, Kiev, Ukraine, No 1, pp. 43-70.
11. Chappell, B.W. and White, A.J.R. (1974), *Pacif. Geol.*, Vol. 8, pp. 173-174.
12. Defant, M.J. and Drummond, M.S. (1990), *Nature*, Vol. 347, pp. 662-665.
13. Harris, N.B.W., Pearce, J.A. and Tindle, A.G. (1986), *Collision tectonics*, Geol. Soc. London, Spec. Publ., No 19, pp. 67-81.
14. Martin, H., Smithies, R.H., Rapp, R.R., Moyen, J.F. and Champion, D.C. (2005), *Lithos*, Vol. 79, pp. 1-24.
15. Paterno, R. Castillo (2006), *Chin. Sci. Bull.*, Vol. 51 No 3, pp. 257-269.
16. Sun, S.S. and McDonough, W.F. (1989), *Magmatism in the Ocean Basins*, in Saunders, A.D. and Norry, M.J. (eds), *Geol. Soc., Spec. Publ.*, No. 42, pp. 313-345.

Received 16.09.2015

Г.В. Артеменко¹, Б.В. Бородиня², І.А. Швайка¹

¹ Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України
03680, м. Київ-142, Україна, пр. Акад. Палладіна, 34
E-mail: regul@igmof.gov.ua; ishvaika@gmail.com

² Приазовська КГП, КП "Південьукргеологія"
85700, м. Волноваха, Донецька обл., Україна, вул. Леніна, 20
E-mail: prkqp@rambler.ru

ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ГЕНЕЗИС ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСЬКИХ ПЛАГІОГРАНІТОЇДІВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРИАЗОВ'Я (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

Приазовський мегаблок — глибоко перетворений у палеопротерозої архейський кратон. Важливу роль у його будові відіграють палеопротерозойські гранітоїди. Найбільш ранні з них представлені плагіогранітоїдами каратюцького комплексу ($2,13 \pm 0,04$ млрд рр.), а пізніші — калієвими гранітоїдами анадольського і салтичанського комплексів ($2,08$ — $2,09$ млрд рр.). Виконано геохімічне дослідження плагіогранітоїдів каратюцького комплексу Центрального Приазов'я. Згідно з новими геохімічними даними, вони є ювенільними утвореннями і сформувалися за часткового плавлення метабазитів у мантийних і нижньокорових магматичних джерелах. За геохімічними характеристиками вони відповідають адакітам. Формування палеопротерозойських інтрузій плагіогранітоїдів каратюцького комплексу Центрального Приазов'я може бути пов'язано з процесами субдукції на межах Сарматського мікроконтиненту або часткового плавлення нижньої частини потужної кори у результаті андерплейтинга базитових розплавів.

Ключові слова: палеопротерозої, плагіогранітоїди, Центральне Приазов'я, Мангуський синклінорій, каратюцький комплекс, Сарматський мікроконтинент, адакіт, усманський комплекс.

G.V. Artemenko¹, B.V. Borodinya², I.A. Shvayka¹

¹ M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy
and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladina Pr., Kyiv-142, Ukraine, 03680
E-mail: regul@igmof.gov.ua; ishvaika@gmail.com

² Azov KGP, KP "Yuzhukrgeologiya"
20, Lenina Str., Volnovaha, Donetsk region, Ukraine, 85700
E-mail: prkqp@rambler.ru

GEOCHEMICAL FEATURES AND GENESIS OF PALEOPROTEROZOIC PLAGIOGRANITOIDS OF CENTRAL AZOV REGION (THE UKRAINIAN SHIELD)

The Azov megablock is deeply transformed in the Paleoproterozoic Archean craton. Paleoproterozoic granitoids play important role in its structure. The earliest of them are plagiogranitoids of Karatyuk complex (2.13 ± 0.04 Ga), and later ones — the potassic granitoids of Anadol and Saltych complexes (2.08 — 2.09 Ga). Geochemical studies of Paleoproterozoic plagiogranitoids of the Karatyuk complex of Central Azov region have been performed. According to the geochemical data, they are of juvenile genesis and formed during partial melting of metabasites in the mantle- and lower crustal magmatic sources. By geochemical characteristics they correspond to adakites. Formation of Paleoproterozoic intrusion of plagiogranitoids of the Karatyuk complex of Central Azov region may be associated with the processes of subduction at the boundaries of the Sarmatian microcontinent.

Keywords: Paleoproterozoic, plagiogranites, Central Azov region, Mangush synclinorium, Karatyuk complex, Sarmatian microcontinent, adakite, Usman complex.