

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.2.199105>  
УДК 550.4 (477)

Г.В. АРТЕМЕНКО<sup>1</sup>, Л.В. ШУМЛЯНСКИЙ<sup>1,2</sup>, С.А. ВАЙЛД<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. Н.П. Семеново НАН України, Київ, Україна,  
E-mail: regulgeo@gmail.com

<sup>2</sup> Curtin University, School of Earth and Planetary Sciences, Perth, Australia

## НИЖНЯЯ ВОЗРАСТНАЯ ГРАНИЦА ОБРАЗОВАНИЯ МЕТАТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД ВЫСОКОПОЛЬСКОЙ ЗЕЛЕНОКАМЕННОЙ СТРУКТУРЫ (СРЕДНЕПРИДНЕПРОВСКИЙ РАЙОН УКРАИНСКОГО ЩИТА)

Стратиграфическое соотношение метатерригенных пород криворожской серии Криворожско-Кременчугской структуры с близкими по составу метаосадками верхней части разреза зеленокаменных структур (белозерской серии) Среднеприднепровского района остается не изученным. Особый интерес представляют прилегающие к ней “полосовидные” — Высокопольская, Восточно-Анновская и Желтореченская структуры, в которых наблюдается налегание метаосадков и железисто-кремнистых пород на метабазиты мезоархейских зеленокаменных структур. Высокопольская зеленокаменная структура (ЗС), сочленяющаяся с Лихмановской синклиналью Криворожской структуры, представляет собой моноклираль с крутым залеганием пород. Северная часть структуры сложена мощной однородной толщей метатолитов (сурская свита). Выше в стратиграфическом разрезе располагается чертомлыкская свита, представленная метаандезитами с подчиненными риодацитами и толеитовыми базальтами. Субвулканические тела риолит-дацитов (соленовская свита) наблюдаются в виде секущих тел и даек. Центральная и южная части Высокопольской ЗС сложены неоднородной толщей орто- и парагнейсов, среди которых выделяются осадочные (граувакки, субграувакки и мелановакки) и вулканогенные (туфопесчаники, лавобрекчи, метадациты и метаандезиты с подчиненным количеством метатолитов) образования. Среди граувакк присутствуют маломощные пачки силикатно-магнетитовых кварцитов и мощные (до 100 м) пласты кварц-магнетит-куммингтонитовых сланцев с гранатом. Нами методом LA-ICP-MS выполнено U-Pb датирование 102 кристаллов детритового циркона из биотит-кварцевых метапесчаников, а также определен изотопный состав гафния. Среди них 4 кристалла имеют  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  возраст древнее 3400 (до 3800) млн лет. Единичный кристалл циркона имеет возраст около 2930 млн лет. Остальные 97 кристаллов имеют возраст в диапазоне 3000—3360 млн лет, с четкими пиками в 3065 (15 кристаллов), 3185 (21 кристалл), 3260 (16 кристаллов) и 3320 млн лет (22 кристалла). Изотопный состав гафния в цирконах широко варьирует. Наиболее древний кристалл циркона возрастом около 3800 млн лет имеет величину  $\epsilon\text{Hf} = -0,8$ , тогда как следующие два по возрасту кристалла имеют положительные величины  $\epsilon\text{Hf} (+1,2$ , возраст 3645 млн лет;  $+2,2$ , возраст 3535 млн лет). Кристаллы циркона возрастом около 3320 млн лет имеют широкий диапазон вариаций  $\epsilon\text{Hf}$  — от  $+1,8$  до  $-6,1$ ; возрастом около 3260 млн лет — от  $+4,5$  до  $-2,5$ , возрастом около 3185 млн лет — от  $+3,3$

Цитирование: Артеменко Г.В., Шумлянський Л.В., Вайлд С.А. Нижня візвістна границя утворення метатерригенних порід Високопольської зеленокаменної структури (Середньопридніпровський район Українського щита). *Геологічний журнал*. 2020. № 2 (371). С. 03—17. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.2.199105>

Citation: Artemenko G.V., Shumlyansky L.V., Wilde S.A., 2020. Lower age boundary of the formation of meta-terrirogenous rocks of the Vysokopillya greenstone structure, Middle-Dnieper region of the Ukrainian shield. *Geological Journal (Ukraine)*, No. 2 (371), pp. 03—17. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.2.199105>

до  $-4,3$  и возрастом около  $3065$  млн лет — от  $+6,2$  до  $-3,9$ . Согласно полученным данным, толща метаосадочных пород Высокопольской ЗС начала формироваться в неогархее. Такой же возраст имеют метаморфизованные осадочные породы в Восточно-Анновской и Красноярско-Алферовской хвостоподобных структурах и в белозерской серии Белозерской ЗС. Таким образом, осадочные породы в этих структурах образовались при формировании пенеплена на мезоархейском кратоне. В области их сноса преобладали ТТГ сурского комплекса ( $3,1-2,96$  млрд лет). Впервые в Среднеприднепровском районе обнаружено значительное количество ( $38$  зерен) кластогенного циркона палеоархейского ( $3,3$  млрд лет) возраста, что указывает на присутствие в области сноса палеоархейских пород. Данные об изотопном составе гафния указывают на возможное присутствие хадейского материала (древнее  $4,0$  млрд лет).

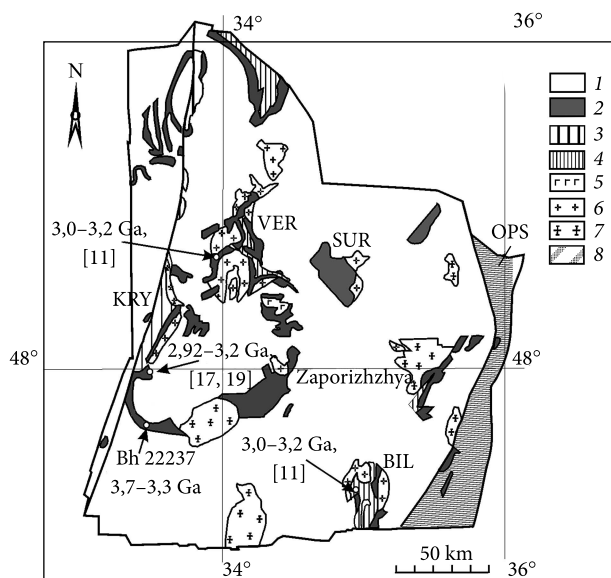
**Ключевые слова:** Высокопольская зеленокаменная структура; Криворожско-Кременчугская структура; Среднеприднепровский кратон; палеоархейский фундамент; метапесчаники; детритовый циркон, неогархей.

## Введение

Стратиграфическое соотношение метатерригенных пород криворожской серии Криворожско-Кременчугской структуры с близкими по составу метаосадками верхней части разреза зеленокаменных структур (белозерской серии) Среднеприднепровского района остается до настоящего времени не изученным. В этой связи особый интерес представляют прилегающие к ней “полосовидные” — Высокопольская, Восточно-Анновская и Желтореченская структуры, в которых наблюдается налегание метаосадков и железистых кварцитов на metabазиты мезоархейских зеленокаменных структур (Бобров, 1993; Змиевский, Мартынюк, 1994). Последние, таким образом, оказываются

элементами тектонического сооружения Криворожско-Кременчугской структуры (Змиевский, Мартынюк, 1994). В Высокопольской зеленокаменной структуре (ЗС), сочленяющейся с Лихмановской синклиналью Криворожской структуры, выделяется мощная толща метаосадочных пород с железистыми кварцитами в ее средней части. Стратиграфическое положение этой толщи остается не ясным. Для определения хроностратиграфического положения этой толщи нами выполнено U-Pb датирование кластогенного циркона из метапесчаников методом LA-ICP-MS.

Высокопольская ЗС (рис. 1) представляет собой моноклираль с крутым залеганием пород и тектоническими контактами между



**Рис. 1.** Схематическая карта Среднеприднепровского района с точками датирования кластогенного циркона белозерской и криворожской серий (показаны наиболее распространенные популяции): 1 — плагиогранитоиды днепропетровского комплекса и гнейсы аульской серии; 2 — вулканиды зеленокаменных структур (конкская серия); 3 — метаосадочные породы криворожской серии; 4 — метаосадочные породы белозерской серии; 5 — габброиды; 6 — тоналиты; 7 — калиево-натриевые гранитоиды; 8 — ультрабазиты. Геологические структуры: BIL — Белозерская, VER — Верховцевская, VYS — Высокопольская, SUR — Сурская, KRY — Криворожская, OPS — Орехово-Павлоградская

the Dnipro Complex and gneisses of the Auly Series; 2 — volcanic rocks in the greenstone belts (Konka Series); 3 — metasedimentary rocks of the Kryvyi Rih Series; 4 — metasedimentary rocks of the Bilozerka Series; 5 — gabbro; 6 — tonalite; 7 — K-Na granite; 8 — ultramafic rocks. Geological structures: BIL — Bilozerka; VER — Verkhovstevo; VYS — Vysokopillya; SUR — Sursky; KRY — Kryvyi Rih; OPS — Orekhiv-Pavlohrad

разными частями ее стратиграфического разреза (Змиевский, Мартынюк, 1994). Северная часть структуры сложена мощной и сравнительно однородной толщей метатоллеитов (сурская свита). Видимая мощность 2,5 км на западе и 1,0 км на востоке.

Эта толща осложнена тектоническими нарушениями, к которым приурочены интрузии ультрабазитов и дайки риолитов и дацитов. Под амфиболитами вскрыт комплекс гнейсов. Во всех пересечениях контакты тектонические. Более высокая часть стратиграфического разреза Высокопольской ЗС представлена метавулканиками чертомлыкской свиты, которые слагают полосу мощностью до 500 м в крайней южной части. Она сложена метаандезитами с подчиненными прослоями риодацитов и толеитовых базальтов. Субвулканические породы риолит-дацитового состава (соленовская свита), наблюдаются в виде секущих жил и даек в толще метатоллеитов. В средней и южной частях Высокопольской ЗС вскрыта толща, сложенная метаморфизованными осадочными (граувакки, субграувакки и мелановакки) и вулканогенными (туфопесчаники, лавобрекчии, дациты, андезиты, толеиты) породами. Среди граувакк присутствуют маломощные пачки силикатно-магнетитовых кварцитов и мощные (до 100 м) пласты кварц-магнетит-кумингтонитовых сланцев с гранатом, содержание которого в отдельных прослоях иногда достигает 30—40 % (Змиевский, Мартынюк, 1994). Эта толща была разбурена скважиной 22237, в которой вскрыты: железистые кварцито-сланцы карбонат-гранат-грюнерит-магнетитовые, магнетит-гранат-грюнеритовые, гранат-грюнеритовые; железистые кварциты гранат-грюнерит-магнетитовые (джеспилиты силикат-магнетитовые); сланце-кварциты гранат-грюнеритовые; сланцы гранат-кварц-биотитовые, биотит-гранатовые, кварц-биотитовые, мусковит-биотит-кварцевые и метапесчаники гранат-биотит-кварцевые, биотит-кварцевые. Для геохронологических исследований кластогенного циркона была отобрана проба из биотит-кварцевых метапесчаников (скв. 22237, инт. 246-258 м, проба 88-371).

### Методы исследований

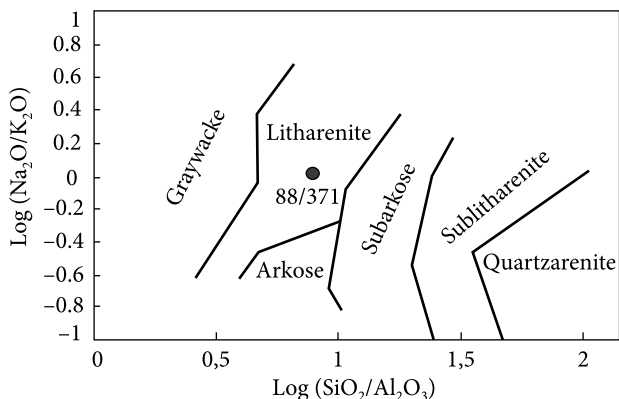
Уран-свинцовый изотопный возраст и изотопный состав гафния были определены с помощью

метода лазерной абляции цирконов с изотопными измерениями на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой (LA-ICP-MS) в центре им. John de Laeter в Curtin University, Перт, Австралия. Абляция проводилась с помощью системы Resonetics RESOLUTION M-50A-LR, которая включает COMPEX 102—193 nm. Изотопный состав урана и свинца определялся с помощью квадрупольного инструмента Agilent 7700 s в плазме высокочистого аргона. Изотопный состав гафния определялся в ходе отдельной аналитической сессии, кратеры абляции располагались непосредственно рядом с кратерами U-Pb датирования. Для измерений использовался мультиколлекторный инструмент Nu Plasma II. Расчет начальных отношений  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  и величин  $\epsilon\text{Hf}$  производился в соответствии с ранее определенным  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  возрастом. Для расчетов принята константа распада  $\lambda^{176}\text{Lu} = 1,867 \times 10^{-11}$  (Söderlund et al., 2004) и следующие современные отношения в универсальном хондритовом резервуаре (CHUR):  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0,282785$  и  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0,0336$  (Bouvier et al., 2008).

## Результаты исследований

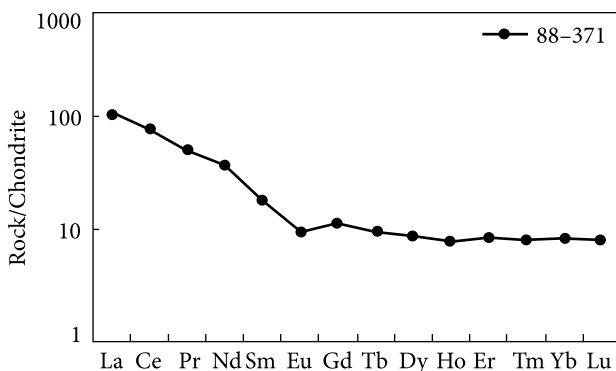
### Петрография

Метапесчаник биотит-кварцевый (проба 88-371) — мелкозернистая порода серого цвета со сланцеватой текстурой. Мин. состав (об. %): кварц 70; биотит 20; мусковит 2—3; плагиоклаз 3—5; рудный минерал <1. Структура породы бластопсаммитовая, текстура сланцеватая. Кварц в породе представлен двумя морфологическими разновидностями: а) первичный обломочный (псаммитовый) из первичного песчаника; б) кварц цемента микрозернистый. Первичный обломочный кварц имеет размер от 0,2 до 1,2 мм. Форма зерен от изометричной или неправильной (у мелких зерен) до удлинненно-овальной (у более крупных). Кварц цемента микрозернистый (0,02—0,08 мм), образует изометричные зерна и резко отличается по размеру от псаммитовых зерен. Метаморфогенный биотит микрочешуйчатый и микропластинчатый (0,01—0,04 мм) в основном входит в состав биотит-кварцевого цемента. Плагиоклаз образует зерна удлинненно-овальной или изометричной формы с размерами соизмеримыми с размером зерен обломочного кварца. Часто пойкилитовые с микровключениями зерен кварца. Мусковит наблюдается в составе аг-



**Рис. 2.** Диаграмма Петтиджона ( $\log (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - \log (\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}))$ ) (Петтиджон и др., 1976) для биотит-кварцевых метапесчаников Высокопольской ЗС

**Fig. 2.** Pettijohn's diagram ( $\log (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - \log (\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}))$ ) (Петтиджон и др., 1976) for biotite-quartz meta-sandstone of the Vysokopillya greenstone structure



**Рис. 3.** График распределения РЗЭ для биотит-кварцевых метапесчаников Высокопольской ЗС (проба 88-371)

**Fig. 3.** Chondrite-normalised REE pattern for biotite-quartz meta-sandstone of the Vysokopillya greenstone structure (sample 88-371)

регатов биотита. Рудный минерал встречается в виде зерен изометричной формы размером 0,04—0,2 мм.

**Химический состав**

Метапесчаники характеризуются низким отношением  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (3,3—5,2), высоким значением натриевого модуля  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,13—0,17) и низкой величиной индекса химического выветривания CIA (45—56) (таблица 1), что свидетельствуют о незрелом характере терригенного материала и очень слабой выветренности пород в области их сноса. На диаграмме  $\log (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log \text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  (Петтиджон и др., 1976) их фигуративная точка попадает в поле литаренитов (рис. 2).

Низкая величина отношения  $\text{Co}/\text{Th}$  (1,35) и высокие —  $\text{La}/\text{Sc}$  (3,5) и  $(\text{La}/\text{Yb})_N = 12,8$  показывают, что в области сноса метапесчаников преобладали тоналиты. В то же время отрицательная европиевая аномалия  $\text{Eu}/\text{Eu} = 0,64$  и недеплетированный спектр тяжелых РЗЭ (рис. 3) позволяют сделать вывод, что в области сноса могли присутствовать также коровые гранитоиды. Повышенные содержания Cr (372 ppm) и Ni (85,4 ppm) показывают также на присутствие в области сноса ультраосновных и основных пород (таблица 2).

**Таблица 1. Химические анализы железисто-кремнистых пород и метапесчаников**  
**Table 1. Chemical analyses of ferruginous-siliceous rocks and meta-sandstones**

№ анализа/ окислы	1 88/371	2 88/346	3 88/348	4 88/353
$\text{SiO}_2$	78,68	41,26	41,48	48,21
$\text{TiO}_2$	0,36	0,08	0,17	0,66
$\text{Al}_2\text{O}_3$	9,89	1,06	1,08	12,88
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,47	21,47	12,45	2,86
FeO	2,86	27,60	34,61	20,88
MnO	0,04	0,23	0,25	0,12
MgO	2,39	2,21	3,40	5,29
CaO	1,60	2,98	3,11	1,60
$\text{Na}_2\text{O}$	1,55	0,10	0,15	0,20
$\text{K}_2\text{O}$	1,58	0,15	0,30	3,90
$\text{S}_{\text{общ}}$	0,02	0,02	0,18	0,02
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,09	0,17	0,19	0,13
$\text{H}_2\text{O}$	0,06	<0,01	0,01	0,02
П.п.п.	0,36	2,24	2,25	2,76
Сумма	99,95	99,57	99,63	99,53
$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$	0,98	—	—	—
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	7,96	—	—	—
$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}$	6,38	—	—	—

*Примечание:* 1 — метапесчаник биотит-кварцевый, скв. 22337, инт. 246-258 м (обр. 88-371); 2 — железистый кварцито-сланец гранат-грюнеритовый, гл. 186 м (обр. 88-346); 3 — железистый кварцито-сланец магнетит-гранат-грюнеритовый, гл. 187 м (88-348); 4 — сланец гранат-кварц-биотитовый, гл. 208 м (обр. 88-353). Силикатные химические анализы выполнены в лаборатории ИГМР НАН Украины.

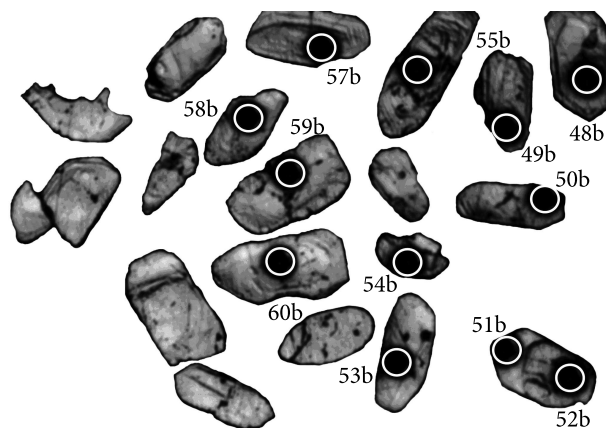
*Note:* 1 — biotite-quartz meta-sandstone, borehole 22337, depth 246-258 m (sample 88-371); 2 — ferruginous quartzite-schist garnet-grunerite, borehole 22337, depth 186 m (sample 88-346); 3 — ferruginous quartzite-schist magnetite-garnet-grunerite, borehole 22337, depth 187 m (88-348); 4 — garnet-quartz-biotite schist, borehole 22337, depth 208 m (sample 88-353). Silicate chemical analyses were carried out in the IGMOF NAS of Ukraine.

### Геохронология

Было проанализировано 102 зерна кластогенного циркона из метапесчаников Высокопольской ЗС. Исследованные кристаллы циркона преимущественно плохо окатаны, многие из них сохраняют огранку или даже индукционные грани. Кристаллы достигают размеров 0,20—0,25 мм, имеют призматическую форму и четко проявленную концентрическую зональность (рис. 4). Очевидно, что кристаллы циркона не подвергались дальней длительной транспортировке и неоднократному переотложению.

Среди датированных кристаллов циркона 4 имеют  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  возраст древнее 3400 (до 3800) млн лет (рис. 5, 6). Самый молодой единичный кристалл циркона имеет возраст около 2930 млн лет. Остальные 97 кристаллов имеют возраст в диапазоне 3000—3360 млн лет, с четкими пиками в 3065 (15 кристаллов), 3185 (21 кристалл), 3260 (16 кристаллов) и 3320 млн лет (22 кристалла).

Сравнение изотопных возрастов внутренних (ядерных) и краевых частей продатированных кристаллов показало, что в большинстве случаев они близки или возраст ядерных частей несколько более древний. Отсутствие систематических отличий в содержаниях U, Th



**Рис. 4.** Оптические изображения цирконов из биотит-кварцевых метапесчаников Высокопольской ЗС, проба 88-371. Размер кратеров лазерной абляции составляет 50  $\mu\text{m}$ . Номера соответствуют номерам анализов в табл. 3. Многие кристаллы проявляют концентрическую зональность

**Fig. 4.** Optical images of zircons from meta-sandstone of the Vysokopillya greenstone structure, sample 88-371. Laser ablation craters size is 50  $\mu\text{m}$ . Numbers correspond to the analyses listed in Table 3. Many of the crystals reveal concentric zoning

и в возрастах ядерных и краевых частей кристаллов циркона позволяет сделать вывод об отсутствии на них метаморфогенных обрастаний (оболочек), а наблюдаемая зональность является магматической.

**Таблица 2. Редкие и рассеянные элементы в биотит-кварцевом метапесчанике, Высокопольская ЗС**

**Table 2. Trace elements in biotite-quartz meta-sandstone, Vysokopillya greenstone belt**

Element, ppm	LOD, ppm	Smp. 88/371	Element, ppm	LOD, ppm	Smp. 88/371	Element, ppm	LOD, ppm	Smp. 88/371	Element, ppm	LOD, ppm	Smp. 88/371
Li	0,04	24,2	Y	0,05	11,5	Ce	0,03	48,5	Ta	0,02	1,6
Be	0,03	0,46	Zr	0,06	181	Pr	0,01	4,8	W	0,02	1,8
Sc	0,2	7,1	Nb	0,03	15,2	Nd	0,01	17,1	Re	0,007	<ПО
V	0,8	38,0	Mo	0,03	3,4	Sm	0,004	2,8	Ir	0,005	<ПО
Cr	0,6	372	Rh	0,09	<ПО	Eu	0,005	0,54	Pt	0,005	<ПО
Co	0,1	16,5	Pd	0,06	<ПО	Gd	0,005	2,4	Au	0,03	<ПО
Ni	0,8	85,4	Ag	0,03	0,065	Tb	0,005	0,36	Hg	0,005	—
Cu	0,8	82,6	Cd	0,04	0,099	Dy	0,005	2,2	Tl	0,005	0,28
Zn	0,7	63,1	Sn	0,09	1,4	Ho	0,002	0,45	Pb	0,06	14,1
Ga	0,03	9,9	Sb	0,07	0,66	Er	0,003	1,4	Bi	0,01	0,37
As	0,09	17,3	Te	0,06	<ПО	Tm	0,002	0,21	Th	0,02	12,2
Se	0,9	<1	Cs	0,01	1,4	Yb	0,003	1,4	U	0,01	5,9
Rb	0,1	66,5	Ba	0,06	543	Lu	0,006	0,21			
Sr	0,08	69,6	La	0,04	24,9	Hf	0,02	5,0			

Примечание: LOD — предел обнаружения.

Note: LOD — limit of detection.

Таблица 3. Результаты U-Pb изотопного датирования кластогенного циркона из метапесчаников Высокопилья  
 Table 3. Results of U-Pb isotope dating of detrital zircon from meta-sandstone of the Vysokopillya greenstone belt

# analysis	Crystal/location	Concentration, ppm				Isotope ratio							
		U	Pb	Th	Th/U	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	2 $\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2 $\sigma$	Rho	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	2 $\sigma$	
1p	1c	77	114	69	0,88	25,72	0,56	0,6800	0,004	0,25	0,2740	0,002	
2p	1r	303	73	44	0,14	24,91	0,53	0,6644	0,003	0,53	0,2705	0,001	
3p	2c	107	318	192	1,77	25,72	0,56	0,6800	0,004	0,40	0,2759	0,002	
4p	3r	104	83	52	0,50	23,65	0,52	0,6513	0,004	0,37	0,2628	0,002	
5p	4c	59	78	44	0,74	31,29	0,70	0,7234	0,005	0,38	0,3125	0,003	
6p	5c	140	93	47	0,33	42,11	0,91	0,8201	0,005	0,64	0,3720	0,002	
7p	6c	163	200	123	0,74	25,76	0,55	0,6738	0,004	0,38	0,2763	0,002	
8p	7c	147	64	38	0,26	25,64	0,55	0,6798	0,003	0,38	0,2723	0,002	
9p	8c	64	90	58	0,90	17,32	0,45	0,5428	0,007	0,75	0,2339	0,003	
10p	9c	457	482	264	0,58	21,99	0,48	0,6614	0,005	0,78	0,2390	0,001	
11p	10c	189	164	103	0,54	22,76	0,51	0,6414	0,005	0,68	0,2571	0,002	
12p	11c	837	1113	651	0,76	26,26	0,56	0,6984	0,004	0,71	0,2722	0,001	
13p	12c	155	421	255	1,60	25,73	0,56	0,6804	0,003	0,35	0,2745	0,002	
14p	13c	361	476	302	0,82	21,64	0,46	0,6390	0,003	0,56	0,2456	0,001	
15p	13r	166	243	162	0,96	22,30	0,48	0,6417	0,004	0,45	0,2518	0,002	
16p	14c	263	376	221	0,83	26,23	0,56	0,6888	0,004	0,53	0,2753	0,002	
17p	15c	127	150	93	0,73	22,59	0,49	0,6486	0,004	0,31	0,2514	0,002	
18p	16c	84	296	193	2,29	19,94	0,45	0,6138	0,004	0,29	0,2355	0,002	
19p	16r	90	205	133	1,47	19,65	0,45	0,6097	0,004	0,33	0,2326	0,002	
20p	17c	120	317	191	1,55	25,77	0,57	0,6808	0,003	0,38	0,2745	0,002	
21p	18c	104	107	64	0,61	24,22	0,53	0,6672	0,004	0,48	0,2628	0,002	
22p	19c	81	129	78	0,97	25,52	0,56	0,6806	0,003	0,29	0,2710	0,002	
23p	20c	215	168	107	0,48	23,41	0,51	0,6529	0,004	0,50	0,2602	0,002	
1b	1c	526	221	134	0,25	23,96	0,51	0,6570	0,003	0,56	0,2622	0,001	
2b	1r	498	49	33	0,07	23,69	0,52	0,6653	0,004	0,78	0,2568	0,001	
3b	2c	263	99	55	0,21	26,20	0,56	0,6850	0,004	0,52	0,2762	0,002	
4b	3c	419	444	298	0,73	20,27	0,44	0,6329	0,004	0,68	0,2315	0,001	
5b	3r	310	266	169	0,55	19,82	0,42	0,6168	0,003	0,40	0,2318	0,001	
6b	4c	318	405	240	0,77	22,67	0,50	0,6579	0,004	0,74	0,2480	0,001	
7b	4r	513	133	80	0,16	21,23	0,46	0,6521	0,005	0,69	0,2354	0,001	
8b	5c	229	163	104	0,46	19,68	0,42	0,6134	0,003	0,46	0,2316	0,002	
9b	6c	236	243	143	0,61	25,42	0,55	0,6794	0,004	0,51	0,2704	0,002	
10b	6r	984	525	338	0,33	21,41	0,46	0,6398	0,003	0,74	0,2411	0,001	
11b	7c	1297	1922	1094	0,85	23,98	0,52	0,6899	0,004	0,78	0,2505	0,001	
12b	7r	722	652	374	0,52	23,26	0,51	0,6777	0,004	0,77	0,2473	0,001	
13b	7m	434	374	214	0,49	24,13	0,53	0,6974	0,006	0,79	0,2507	0,001	
14b	8c	894	494	386	0,45	18,25	0,41	0,5681	0,005	0,90	0,2328	0,001	
15b	8r	719	328	231	0,33	16,95	0,43	0,5295	0,008	0,89	0,2303	0,001	
16b	9c	486	568	360	0,76	23,56	0,51	0,6456	0,004	0,77	0,2629	0,001	
17b	10c	116	75	47	0,41	20,35	0,45	0,6262	0,004	0,47	0,2334	0,002	
18b	11c	212	130	80	0,38	19,05	0,42	0,6056	0,004	0,55	0,2252	0,002	
19b	12c	1024	1102	654	0,64	24,70	0,52	0,6723	0,003	0,57	0,2656	0,001	
20b	13c	1114	519	305	0,27	21,23	0,56	0,5992	0,010	0,97	0,2542	0,001	
21b	14c	247	84	52	0,21	20,08	0,43	0,6216	0,003	0,46	0,2327	0,001	
22b	15c	1164	374	212	0,10	25,71	0,54	0,6914	0,003	0,67	0,2681	0,001	
23b	16c	618	862	492	0,79	19,95	0,45	0,6496	0,006	0,85	0,2223	0,001	
24b	17c	489	365	200	0,39	23,14	0,54	0,6789	0,007	0,91	0,2462	0,001	
25b	18c	609	726	382	0,63	27,95	0,62	0,7250	0,006	0,83	0,2785	0,001	
26b	19c	616	57	37	0,06	23,82	0,50	0,6539	0,003	0,69	0,2622	0,001	
27b	20c	513	286	184	0,35	18,88	0,40	0,5999	0,003	0,52	0,2265	0,001	
28b	20r	470	329	219	0,47	18,83	0,41	0,6061	0,005	0,74	0,2255	0,001	

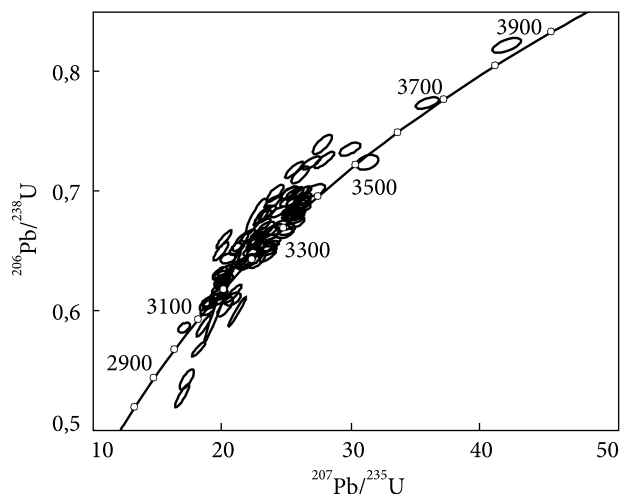
польской ЗС (проба 88-371)  
(sample 88-371)

		Isotopic age, Ma							
$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$	2 $\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	2 $\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2 $\sigma$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$	2 $\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	2 $\sigma$
0,1739	0,0016	3335,7	8	3344	16	3240	27	3329	13
0,1748	0,0019	3304,2	6	3284	12	3257	34	3307,7	8
0,1759	0,0011	3336,4	7	3344	15	3275	19	3337	12
0,1687	0,0019	3255,7	8	3233	15	3149	33	3263	12
0,1863	0,0021	3526,8	9	3508	18	3452	35	3533	13
0,2103	0,0019	3820,6	7	3860	18	3857	32	3797,8	9
0,1730	0,0013	3336,9	6	3321	15	3224	23	3342,0	10
0,1784	0,0021	3332,6	6	3343	12	3317	35	3321,0	10
0,1645	0,0016	2954	16	2793	28	3078	28	3075	18
0,1905	0,0026	3183,7	8	3272	19	3526	44	3113,5	8
0,1684	0,0017	3218,2	9	3195	19	3145	29	3229	11
0,1834	0,0014	3356,8	6	3414	14	3403	23	3317,9	7
0,1771	0,0001	3336,2	7	3347	13	3295	17	3331	11
0,1695	0,0014	3167,5	6	3185	12	3164	25	3156,5	8
0,1613	0,0011	3197,2	7	3195	14	3023	19	3195,0	10
0,1826	0,0014	3356,2	6	3380	15	3389	24	3334,6	9
0,1724	0,0015	3208,5	7	3222	14	3215	26	3192	12
0,1644	0,0010	3087,5	9	3086	14	3076	17	3089	15
0,1642	0,0011	3073,8	10	3071	15	3072	19	3074	15
0,1792	0,0012	3340,1	8	3347	13	3331	21	3331	12
0,1792	0,0018	3276,4	7	3295	14	3331	30	3262	11
0,1772	0,0015	3327,3	7	3346	13	3299	25	3310	13
0,1718	0,0018	3245,3	7	3239	17	3204	30	3246	11
0,1776	0,0013	3266,3	5	3255	12	3304	22	3259,7	8
0,1586	0,0028	3254,7	8	3287	16	2978	50	3225,3	8
0,1933	0,0020	3353,3	6	3363	13	3572	35	3341,7	9
0,1623	0,0014	3103,3	7	3160	16	3040	24	3060,8	8
0,1666	0,0012	3082,9	5	3097	12	3115	20	3062,5	9
0,1786	0,0019	3213,8	7	3258	16	3320	32	3171,7	8
0,1790	0,0023	3149,3	7	3236	17	3330	39	3088,5	8
0,1678	0,0014	3075,6	6	3084	12	3135	24	3062,6	10
0,1817	0,0014	3325,4	6	3343	14	3376	23	3307,3	9
0,1699	0,0013	3157,6	6	3189	11	3172	22	3126,5	6
0,1908	0,0017	3268,1	6	3381	16	3529	30	3187,2	6
0,1888	0,0016	3238,0	8	3335	17	3495	28	3166,2	7
0,1899	0,0020	3273,3	8	3409	21	3513	33	3188,1	8
0,1206	0,0038	3002,4	9	2899	21	2296	69	3071,1	9
0,1535	0,0015	2928	14	2736	32	2886	26	3052,8	8
0,1676	0,0015	3250,3	7	3210	17	3132	25	3263,5	7
0,1734	0,0018	3107,7	8	3134	14	3230	31	3074	11
0,1770	0,0020	3043,7	8	3053	15	3293	34	3017	11
0,1807	0,0001	3296,5	5	3314	12	3357	17	3278,6	7
0,1786	0,0037	3149	16	3026	40	3317	63	3209,8	7
0,1733	0,0019	3095,8	6	3116	13	3233	33	3069,0	10
0,1903	0,0016	3335,9	5	3388	13	3520	26	3293,7	6
0,1884	0,0028	3088,3	9	3229	24	3487	48	2995,8	7
0,2026	0,0025	3232	11	3338	27	3727	42	3159,7	8
0,2033	0,0021	3416,2	8	3515	21	3739	36	3354,2	7
0,1656	0,0026	3261,6	5	3243	13	3095	45	3258,8	7
0,1671	0,0013	3035,8	5	3031	11	3123	22	3027,6	8
0,1636	0,0015	3035,0	8	3055	18	3062	27	3018,6	9

#analysis	Crystal/location	Concentration, ppm				Isotope ratio							
		U	Pb	Th	Th/U	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	2 $\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2 $\sigma$	Rho	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	2 $\sigma$	
29b	<b>21c</b>	411	422	264	0,64	21,48	0,48	0,6573	0,006	0,80	0,2348	0,001	
30b	<b>22c</b>	529	501	315	0,60	20,10	0,44	0,6235	0,004	0,72	0,2328	0,001	
31b	<b>23c</b>	189	129	78	0,42	19,98	0,43	0,6234	0,003	0,37	0,2310	0,002	
32b	<b>24r</b>	711	166	87	0,12	26,09	0,57	0,7127	0,006	0,74	0,2647	0,002	
33b	<b>24c</b>	1800	717	333	0,12	19,76	0,88	0,6050	0,025	0,98	0,2303	0,002	
34b	<b>25c</b>	1150	626	369	0,32	22,71	0,65	0,6780	0,012	0,87	0,2407	0,002	
35b	<b>26c</b>	3600	345	592	0,16	6,95	0,24	0,2249	0,007	0,99	0,2228	0,001	
36b	<b>26r</b>	420	500	300	0,74	22,88	0,49	0,6639	0,004	0,68	0,2487	0,001	
37b	<b>27r</b>	312	336	206	0,67	19,87	0,43	0,6308	0,004	0,64	0,2280	0,001	
38b	<b>28c</b>	503	389	217	0,44	26,28	0,56	0,6976	0,005	0,73	0,2716	0,001	
39b	<b>29c</b>	193	177	105	0,55	23,44	0,52	0,6681	0,004	0,67	0,2528	0,002	
40b	<b>30c</b>	345	495	282	0,81	23,55	0,52	0,6814	0,005	0,75	0,2495	0,001	
41b	<b>31c</b>	190	283	160	0,87	25,68	0,55	0,6850	0,004	0,55	0,2703	0,002	
42b	<b>32c</b>	203	95	51	0,26	25,05	0,54	0,6674	0,004	0,41	0,2699	0,002	
43b	<b>33r</b>	228	176	108	0,47	22,06	0,47	0,6417	0,004	0,56	0,2474	0,001	
44b	<b>34c</b>	262	423	245	0,96	22,89	0,50	0,6603	0,004	0,62	0,2502	0,002	
45b	<b>35c</b>	629	714	362	0,58	35,97	0,76	0,7722	0,004	0,59	0,3360	0,002	
46b	<b>36c</b>	755	252	133	0,17	20,93	0,51	0,6143	0,006	0,87	0,2467	0,002	
47b	<b>37c</b>	308	183	103	0,34	25,65	0,55	0,6968	0,004	0,71	0,2662	0,001	
48b	<b>38c</b>	243	129	84	0,35	19,03	0,41	0,6074	0,003	0,44	0,2270	0,001	
49b	<b>39c</b>	281	381	226	0,82	25,61	0,55	0,6837	0,004	0,53	0,2709	0,002	
50b	<b>40c</b>	522	710	418	0,81	23,18	0,50	0,6712	0,004	0,71	0,2497	0,001	
51b	<b>41r</b>	920	127	73	0,08	25,30	0,54	0,6832	0,003	0,74	0,2678	0,001	
52b	<b>42c</b>	116	100	59	0,51	25,66	0,56	0,6773	0,004	0,25	0,2738	0,002	
53b	<b>43c</b>	807	498	296	0,39	22,55	0,50	0,6571	0,005	0,84	0,2487	0,001	
54b	<b>44c</b>	669	495	284	0,44	25,16	0,54	0,6974	0,005	0,80	0,2604	0,001	
55b	<b>45c</b>	194	191	118	0,62	20,12	0,43	0,6269	0,003	0,42	0,2327	0,002	
56b	<b>46c</b>	201	134	76	0,38	27,28	0,59	0,7002	0,004	0,50	0,2821	0,002	
57b	<b>47c</b>	312	166	97	0,31	26,28	0,56	0,6924	0,005	0,61	0,2747	0,002	
58b	<b>48c</b>	776	561	324	0,42	24,40	0,52	0,6822	0,004	0,71	0,2600	0,001	
59b	<b>49c</b>	390	1138	661	1,72	26,02	0,55	0,6877	0,003	0,59	0,2738	0,001	
60b	<b>50c</b>	731	456	259	0,36	25,28	0,54	0,6981	0,004	0,72	0,2628	0,001	
61b	<b>51c</b>	244	248	147	0,61	22,81	0,50	0,6598	0,004	0,64	0,2511	0,002	
62b	<b>52c</b>	231	273	147	0,64	29,95	0,65	0,7342	0,004	0,61	0,2964	0,002	
63b	<b>53c</b>	245	214	140	0,58	17,12	0,37	0,5858	0,003	0,50	0,2130	0,002	
64b	<b>54c</b>	242	217	121	0,51	27,81	0,62	0,7378	0,007	0,78	0,2724	0,002	
65b	<b>55c</b>	278	253	152	0,55	22,62	0,48	0,6578	0,003	0,44	0,2495	0,001	
66b	<b>56c</b>	82	60	52	0,64	20,90	0,48	0,6094	0,004	0,52	0,2502	0,002	
67b	<b>57c</b>	585	171	127	0,22	18,61	0,44	0,5873	0,007	0,89	0,2308	0,001	
68b	<b>58c</b>	669	1007	593	0,89	20,18	0,46	0,6594	0,006	0,89	0,2233	0,001	
69b	<b>59c</b>	846	1520	1247	1,48	20,77	0,58	0,6340	0,012	0,97	0,2377	0,001	
70b	<b>60c</b>	1022	924	500	0,50	26,92	0,58	0,7224	0,005	0,73	0,2711	0,001	
71b	<b>61c</b>	337	116	69	0,20	22,98	0,49	0,6552	0,004	0,52	0,2554	0,001	
72b	<b>62c</b>	118	103	70	0,60	20,28	0,49	0,6030	0,007	0,74	0,2456	0,002	
73b	<b>62r</b>	270	315	196	0,74	22,33	0,48	0,6491	0,003	0,47	0,2504	0,002	
74b	<b>63c</b>	287	260	164	0,57	19,98	0,43	0,6290	0,003	0,46	0,2311	0,001	
75b	<b>64c</b>	1389	545	308	0,23	25,19	0,53	0,6904	0,003	0,54	0,2650	0,001	
76b	<b>65c</b>	110	154	93	0,85	25,38	0,55	0,6789	0,004	0,38	0,2725	0,002	
77b	<b>66c</b>	218	257	160	0,74	20,50	0,44	0,6437	0,003	0,34	0,2308	0,002	
78b	<b>67c</b>	720	510	289	0,41	25,60	0,57	0,7169	0,006	0,85	0,2602	0,001	
79b	<b>68c</b>	270	194	119	0,44	21,77	0,47	0,6385	0,004	0,46	0,2477	0,001	



			Isotopic age, Ma							
$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$	2σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	2σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2σ	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$	2σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	2σ	
0,1777	0,0022	3159,8	8	3257	23	3307	37	3084,9	8	
0,1689	0,0016	3095,9	7	3126	16	3154	28	3069,9	8	
0,1781	0,0018	3090,9	7	3124	13	3312	31	3058	11	
0,2103	0,0029	3348,7	8	3467	21	3855	49	3274,1	9	
0,2790	0,0340	3099	41	3054	94	4680	450	3053	15	
0,1835	0,0065	3208	20	3333	46	3410	110	3122	14	
0,0637	0,0024	2094	24	1304	36	1246	46	3000,2	8	
0,1788	0,0014	3222,8	7	3281	16	3324	24	3176,8	8	
0,1750	0,0013	3084,3	7	3152	16	3259	23	3037,0	9	
0,1926	0,0017	3356,9	6	3410	18	3559	29	3314,5	7	
0,1820	0,0017	3245,1	8	3298	17	3379	30	3200,0	10	
0,1905	0,0016	3249,8	8	3348	19	3528	27	3180,0	8	
0,1865	0,0014	3333,6	7	3363	14	3457	23	3307,6	9	
0,2056	0,0045	3310,0	6	3295	13	3774	75	3305,3	10	
0,1733	0,0016	3186,8	6	3195	17	3230	27	3167,1	9	
0,1823	0,0017	3222,0	8	3267	17	3387	28	3187,8	10	
0,2103	0,0013	3665,5	5	3689	14	3857	22	3644,0	7	
0,2025	0,0035	3133	13	3087	23	3730	59	3162,5	10	
0,1899	0,0018	3333,1	6	3408	17	3513	31	3282,9	8	
0,1639	0,0015	3043,4	6	3059	12	3070	27	3029,5	10	
0,1794	0,0012	3332,3	7	3359	15	3336	21	3311,8	10	
0,1824	0,0015	3233,9	6	3311	16	3386	26	3182,5	7	
0,1837	0,0018	3319,4	6	3356	13	3408	31	3294,4	6	
0,1817	0,0019	3333,8	7	3335	15	3379	32	3329	13	
0,1823	0,0026	3206,9	9	3255	21	3383	45	3175,9	7	
0,1885	0,0018	3313,4	7	3412	18	3490	31	3247,9	7	
0,1713	0,0015	3096,5	6	3138	13	3194	25	3070,0	10	
0,1876	0,0017	3392,6	7	3421	16	3474	29	3373	11	
0,1839	0,0018	3356,7	6	3392	17	3413	31	3331,5	8	
0,1844	0,0011	3284,9	5	3352	14	3422	19	3246,0	7	
0,1828	0,0001	3346,8	5	3373	13	3395	16	3328,7	8	
0,1903	0,0020	3319,2	5	3413	16	3520	33	3263,8	7	
0,1774	0,0014	3218,3	7	3266	16	3300	24	3191,0	9	
0,1932	0,0016	3484,3	7	3551	16	3569	28	3449,5	10	
0,1624	0,0016	2943,6	7	2973	14	3041	28	2927	11	
0,1859	0,0022	3412,4	9	3560	25	3448	37	3318,7	9	
0,1773	0,0013	3211,6	6	3258	12	3298	22	3180,3	9	
0,1213	0,0018	3133,1	10	3072	18	2313	33	3184	14	
0,1301	0,0031	3021	12	2978	29	2469	55	3056,5	9	
0,1811	0,0024	3100,7	10	3263	24	3366	41	3003,0	8	
0,1322	0,0049	3123	18	3165	46	2510	86	3104,1	8	
0,1963	0,0014	3380,4	7	3504	17	3623	24	3312,4	8	
0,1750	0,0017	3226,1	6	3248	14	3261	29	3217,1	8	
0,1583	0,0025	3106	11	3042	26	2968	44	3154	14	
0,1690	0,0013	3198,0	7	3227	13	3156	22	3186,3	9	
0,1688	0,0012	3091,7	6	3145	12	3153	20	3057,6	10	
0,1854	0,0010	3315,5	4	3385	12	3437	18	3276,1	7	
0,1754	0,0014	3321,9	7	3339	14	3267	25	3319	11	
0,1722	0,0013	3115,3	6	3203	13	3211	23	3056,0	10	
0,1890	0,0019	3331,4	8	3483	21	3498	32	3246,5	6	
0,1724	0,0013	3174,4	6	3183	14	3215	22	3170,3	9	



**Рис. 5.** U-Pb диаграмма с конкордией для кластогенного циркона из биотит-кварцевого метапесчаника Высокопольской ЗС, скв. 22337, проба 88-371

**Fig. 5.** U-Pb diagram with concordia for detrital zircon from biotite-quartz metasandstone of the Vysokopillya greenstone structure, drill hole 22337, sample 88-371

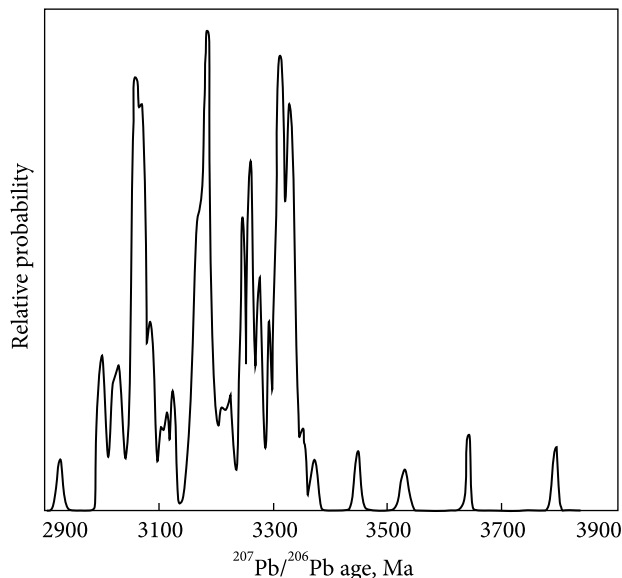
### Изотопный состав гафния

Изотопный состав гафния был определен в 55 кристаллах циркона. Кристаллы для анализа отбирались с целью представить все возрастные группы, анализировались наиболее конкордантные зерна. Результаты исследований приведены на рис. 7 и в таблице 4.

В целом, изотопный состав гафния в цирконах широко варьирует. Наиболее древний кристалл циркона возрастом около 3800 млн лет имеет величину  $\epsilon_{\text{Hf}} = -0,8$ , тогда как следующие два по возрасту кристалла имеют положительные величины  $\epsilon_{\text{Hf}}$  (+1,2, возраст 3645 млн лет; +2,2, возраст 3535 млн лет). Кристаллы циркона возрастом около 3320 млн лет имеют широкий диапазон вариаций  $\epsilon_{\text{Hf}}$  — от +1,8 до -6,1, возрастом около 3260 млн лет — от +4,5 до -2,5, возрастом около 3185 млн лет — от +3,3 до -4,3 и возрастом около 3065 млн лет — от +6,2 до -3,9.

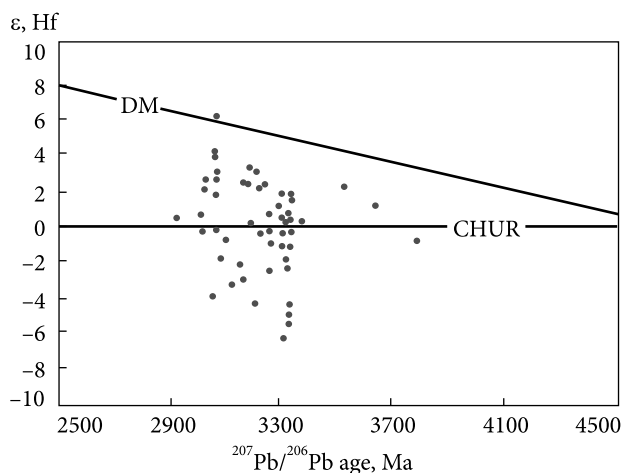
### Обсуждение результатов и выводы

В Высокопольской ЗС толща слабо метаморфизованных осадочных пород представлена железистыми кварцито-сланцами, железистыми кварцитами, сланце-кварцитами и метапесчаниками. Их возраст менее 3,0 млрд лет. Согласно ранее опубликованным данным, минимальный U-Pb возраст кластогенного циркона из метапесчан-



**Рис. 6.** Кривые распределения возрастов кластогенных цирконов по изотопному отношению  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  для биотит-кварцевых метапесчаников Высокопольской ЗС (скв. 22337, проба 88-371)

**Fig. 6.**  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  age distribution curves for detrital zircons from biotite-quartz meta-sandstones of the Vysokopillya greenstone structure (drill hole 22337, sample 88-371)



**Рис. 7.** Результаты измерения изотопного состава гафния в цирконах из биотит-кварцевых метапесчаников Высокопольской ЗС, скв. 22337 проба 88-371

**Fig. 7.** Results of Hf isotope composition measurements in zircons from biotite-quartz meta-sandstone of the Vysokopillya greenstone structure (drill hole 22337, sample 88-371)

ников скелеватской свиты криворожской серии — 2,92 млрд лет (Степанюк та ін., 2011; Щербак и др., 1969); из кварцитов “латовского” горизонта криворожской серии — 3,00 млрд лет (Бобров та ін., 2011); из кварцитов Восточно-

Таблица 4. Результаты измерений изотопного состава Hf в кластогенных цирконах из метапесчанников Высокотпольской ЗС (проба 88–371)

Table 4. Results of Hf isotope measurements in detrital zircons from meta-sandstone of the Vysokopillya greenstone belt (sample 88–371)

Spot	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb Age Ma	<sup>176</sup> Lu/ <sup>177</sup> Hf	<sup>176</sup> Yb/ <sup>177</sup> Hf	<sup>176</sup> Hf/ <sup>177</sup> Hf	±1 σ	<sup>176</sup> Hf/ <sup>177</sup> Hf <sub>T</sub>	εHf <sub>T</sub>	±2σ	T(DM) <sup>c</sup> <sub>felsic</sub> Ma	T(DM) <sup>c</sup> <sub>mafic</sub> Ma
1p	3329	0.000773	0.020320	0.280615	0.000035	0.280565	-2.3	3.1	3835	4009
2p	3308	0.000738	0.019400	0.280680	0.000032	0.280633	-0.4	2.8	3698	3831
3p	3337	0.000849	0.022020	0.280670	0.000033	0.280615	-0.3	3.0	3716	3846
4p	3263	0.001191	0.028280	0.280875	0.000036	0.280800	4.5	3.7	3349	3379
5p	3533	0.000338	0.008640	0.280580	0.000034	0.280557	2.2	2.6	3704	3763
6p	3798	0.000586	0.014790	0.280336	0.000034	0.280293	-0.8	2.9	4107	4213
7p	3342	0.001910	0.052600	0.280796	0.000037	0.280673	1.8	5.1	3581	3663
8p	3321	0.000168	0.003570	0.280651	0.000039	0.280640	0.2	2.8	3671	3791
11p	3229	0.001425	0.033320	0.280774	0.000033	0.280685	-0.4	3.9	3636	3776
13p	3331	0.000694	0.018640	0.280551	0.000041	0.280506	-4.4	3.3	3967	4185
14p	3157	0.000618	0.015670	0.280723	0.000031	0.280685	-2.1	2.6	3689	3871
15p	3195	0.000874	0.021820	0.280779	0.000034	0.280725	0.2	3.1	3570	3699
16p	3335	0.001217	0.031900	0.280672	0.000039	0.280594	-1.2	3.9	3767	3915
17p	3192	0.001035	0.025820	0.280877	0.000029	0.280813	3.3	3.1	3372	3433
18p	3089	0.000451	0.011380	0.280767	0.000034	0.280740	-1.8	2.6	3613	3793
19p	3074	0.000318	0.007915	0.280815	0.000035	0.280796	-0.1	2.6	3497	3642
20p	3331	0.000749	0.019800	0.280538	0.000032	0.280490	-5.0	2.8	4005	4235
21p	3262	0.001260	0.029100	0.280773	0.000036	0.280694	0.7	3.8	3593	3706
22p	3310	0.001044	0.026760	0.280722	0.000040	0.280655	0.4	3.7	3645	3760
23p	3246	0.000710	0.016500	0.280794	0.000036	0.280750	2.3	3.0	3477	3557
1b	3260	0.000404	0.008570	0.280695	0.000034	0.280670	-0.3	2.6	3649	3783
2b	3225	0.000407	0.009860	0.280784	0.000034	0.280759	2.1	2.6	3472	3557
3b	3342	0.000391	0.010260	0.280688	0.000028	0.280663	1.5	2.2	3605	3695
5b	3063	0.000948	0.023400	0.280974	0.000037	0.280918	3.9	3.3	3228	3284
8b	3063	0.000736	0.017640	0.280971	0.000037	0.280928	4.3	3.0	3206	3255
9b	3307	0.000812	0.020630	0.280749	0.000031	0.280697	1.9	2.8	3552	3636
10b	3127	0.000456	0.011500	0.280701	0.000040	0.280674	-3.3	3.0	3737	3946
16b	3264	0.001756	0.048200	0.280758	0.000040	0.280648	-0.9	4.8	3697	3845
17b	3074	0.000461	0.011240	0.280915	0.000037	0.280888	3.1	2.8	3289	3363
18b	3017	0.000593	0.014030	0.280891	0.000035	0.280857	0.7	2.8	3401	3533
20b	3210	0.002900	0.083300	0.280769	0.000043	0.280590	-4.3	7.1	3866	4091
21b	3069	0.000789	0.020000	0.280924	0.000031	0.280877	2.6	2.7	3316	3401
26b	3259	0.000873	0.024860	0.280663	0.000038	0.280608	-2.5	3.3	3789	3971
27b	3028	0.001084	0.026380	0.280954	0.000034	0.280891	2.1	3.3	3315	3414
28b	3019	0.001069	0.028400	0.280892	0.000029	0.280830	-0.3	3.0	3460	3612
30b	3070	0.000981	0.024300	0.281035	0.000035	0.280977	6.2	3.2	3088	3094
33b	3053	0.001535	0.034900	0.280796	0.000032	0.280706	-3.9	3.9	3717	3944
41b	3308	0.001604	0.040900	0.280718	0.000035	0.280616	-1.0	4.4	3737	3884
42b	3305	0.000620	0.015900	0.280676	0.000032	0.280636	-0.3	2.7	3691	3824
43b	3167	0.000627	0.015200	0.280693	0.000031	0.280655	-3.0	2.6	3750	3950
45b	3644	0.001670	0.044600	0.280571	0.000041	0.280453	1.2	5.1	3857	3930
48b	3030	0.000352	0.008360	0.280925	0.000034	0.280904	2.7	2.5	3283	3370
49b	3312	0.000813	0.022110	0.280522	0.000033	0.280470	-6.1	3.0	4063	4320
51b	3294	0.000345	0.007490	0.280707	0.000035	0.280685	1.1	2.6	3589	3690
52b	3329	0.000701	0.016180	0.280697	0.000055	0.280652	0.8	4.2	3639	3745
55b	3070	0.000961	0.022800	0.280909	0.000032	0.280852	1.8	3.0	3372	3476
56b	3373	0.001057	0.027410	0.280679	0.000044	0.280610	0.3	4.0	3701	3814
57b	3332	0.001900	0.051000	0.280760	0.000034	0.280638	0.3	5.0	3669	3784
59b	3329	0.001787	0.048500	0.280593	0.000044	0.280478	-5.4	5.2	4033	4273
63b	2927	0.000726	0.018950	0.280952	0.000031	0.280911	0.5	2.6	3342	3484
69b	3104	0.001786	0.048100	0.280866	0.000035	0.280759	-0.7	4.5	3559	3715
71b	3217	0.000960	0.022300	0.280852	0.000037	0.280793	3.1	3.4	3401	3464
73b	3186	0.001554	0.038200	0.280890	0.000043	0.280795	2.5	4.5	3418	3498
76b	3319	0.000870	0.022430	0.280641	0.000031	0.280585	-1.8	2.9	3797	3961

Анновской полосы — 3,05 млрд лет; из метаконгломератов и кварцито-песчаников Алферовско-Красноярской структуры, сочленяющейся с Желтореченской синклиналью — 3,06 млрд лет (Бибилова и др., 2010); из метапесчаников белозерской серии Белозерской ЗС — 3,05 млрд лет (Бибилова и др., 2010; Щербак и др., 2006). Таким образом, осадочные породы в этих структурах образовались при формировании пенеплена на мезоархейском кратоне. В области их сноса преобладали ТТГ сурского комплекса (3,1—2,96 млрд лет). Больше половины кристаллов возрастом от 3645 до 2930 млн лет имеют положительные величины  $\epsilon_{\text{Hf}}$ , что свидетельствует о значительном привносе ювенильного (мантийного) материала в процессе образования сиалической континентальной земной коры. В то же время многие кристаллы имеют резко отрицательные значения  $\epsilon_{\text{Hf}}$  и, соответственно, древние модельные возрасты — до 3800—4100 млн лет по модели кислого прекурсора ( $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0,015$  (Griffin et al., 2004)), и до 3800—4300 млн лет по модели мафического прекурсора ( $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0,021$  (Kemp et al., 2006)).

В целом, наличие ювенильного материала возрастом около 2900–3300 млн лет подтверждает сделанный ранее вывод о том, что один из главных этапов корообразования на Украинском щите имел место около 3200—3150 млн лет назад (Shumlyansky et al., 2015). Преимущественно ювенильный характер мезоархейских пород района подтверждается и данными об изотопном составе неодима (Samsonov et al., 1996; Claesson et al., 2019).

В Среднеприднепровском районе впервые обнаружена область сноса позднепалеоархейского (3,3 млрд лет) возраста. Ранее в метатерригенных породах, разделяющих нижнюю и среднюю

пачки железистых кварцитов на Чертомлыкском железорудном месторождении (сурская свита), был выявлен кластогенный циркон возрастом 3,17—3,19 млрд лет, который по минералогическим характеристикам аналогичен циркону из тоналитовых гнейсов аульской серии в обрамлении Чертомлыкской ЗС (Samsonov et al., 1996). Эти данные позволяют сделать вывод о том, что среди тоналитовых гнейсов аульской серии присутствовали блоки более древнего палеоархейского фундамента.

Данные об изотопном составе гафния указывают на наличие и значительно более древнего материала в источниках расплавов, из которых кристаллизовались некоторые из изученных нами цирконов. Модельные возрасты указывают на то, что этот материал отделился от мантии в эоархейское, или даже в хадейское, время (3800—4300 млн лет тому назад). Эоархейские породы до настоящего времени неизвестны в пределах Среднеприднепровского района Украинского щита и были ранее обнаружены только в Днестровско-Бугском и Приазовском районах (Claesson et al., 2019; Claesson et al., 2015; Бибилова и др., 2013). Более древний материал на Украинском щите до последнего времени был неизвестен. Однако, результаты исследования циркона из кислых метавулканитов Гуляйпольской структуры Приазовского района позволили установить наличие в них захваченных из коры цирконов возрастом 3805 и 3970 млн лет, изотопный состав гафния в которых свидетельствует об первичном отделении материала от мантии еще в хадейское время, не позднее 4,1 млрд лет тому назад (Артеменко и др., 2020; Shumlyansky et al., 2019). По своим гафниевым модельным возрастам они близки к изученным нами цирконам из метапесчаников Высокопольской ЗС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Артеменко Г.В., Шумлянский Л.В., Беккер А.Ю. Первые данные об эоархейских (3,95 млрд лет) породах в фундаменте Приазовского блока Украинского щита. *Фундаментальные вопросы тектоники и геодинамики*. Т. 1. Материалы ЛП Тектонического совещания. Москва: ГЕОС. 2020. С. 20—26.
- Бибилова Е.В., Клаэссон 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.
- Бибилова Е.В., Клаэссон С., Федотова А.А., Степанюк Л.М., Шумлянский Л.В., Кирнозова Т.И., Фугзан М.М., Ильинский Л. Изотопно-геохронологическое (U-Th-Pb, Lu-Hf) изучение цирконов архейских магматических и метаосадочных пород Подольского домена Украинского щита. *Геохимия*. 2013. Т. 51, № 2. С. 87—108.
- Бобров А.Б. Новые данные о возрасте отложений белозерской свиты (Среднее Приднепровье). *Геол. журн.* 1993. Т. 53, № 2. С. 73—79.

- Бобров О.Б., Степанюк Л.М., Паранько І.С., Пономаренко О.М., Шумлянський Л.В., Дьюйм Б. Генезис та вік циркону із "латівського" горизонту криворізької серії Українського щита. *Мінерал. журн.* 2011. Т. 33, № 1. С. 30–40.
- Змиєвський Г.Е. Мартынюк А.В. Геологическое строение и геодинамика Токовской площади: Отчет поисково-восемочного отряда о результатах глубинного геологического картирования м-ба 1:50 000 в пределах листов L-36-8-В, Г (южные половины), L-36-20-А, Б, проведенного в 1989–1993 гг. Днепропетровск: Южукр-геология, 1994.
- Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники. Москва: Мир, 1976. 536 с.
- Степанюк Л.М., Паранько І.С., Пономаренко О.М., Довбуш Т.І., Висоцький О.Б. Уран-свинцевий вік кластогенного монациту із метапісковиків скелюватської світи Криворізької структури. *Мінерал. журн.* 2011. Т. 33, № 4. С. 80–89.
- Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Архей. Киев: Наук. думка, 2006. 321 с.
- Щербак Н.П., Половко Н.И., Левковская Н.Ю. Изотопный возраст акцессорных минералов нижней свиты криворожской серии. *Геол. журн.* 1969. Т. 29. № 3. С. 21–29.
- Bouvier, A., Vervoort, J.D., Patchett, P.J. The Lu-Hf and Sm-Nd isotopic composition of CHUR: constraints from unequilibrated chondrites and implications for the bulk composition of terrestrial planets. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2008. Vol. 273, pp. 48–57.
- Claesson S., Artemenko G., Bogdanova S., Shumlyansky L. Archean crustal evolution in the Ukrainian shield. In: Van Kranendonk M., Bennett V., Hoffmann E. (Eds) Eds., *Earth's oldest rocks, second edition*. Elsevier, 2019, pp. 837-854.
- Claesson S., Bibikova E., Shumlyansky L., Dhuime B., Hawkesworth C. The oldest crust in the Ukrainian Shield — Eoarchean U-Pb ages and Hf-Nd constraints from enderbites and metasediments In: Roberts N.M.W., Van Kranendonk M., Parman S., Shirey S., Clift P.D. (Eds) Eds., *Continent Formation Through Time*. 2015. Geological Society, London, Special Publications, 389, pp. 227-259.
- Griffin W.L., Belousova E.A., Shee S.R., Pearson N.J., O'Reilly S.Y. Archean crustal evolution in the northern Yilgarn Craton: U-Pb and Hf-isotope evidence from detrital zircons. *Precambrian Res.* 2004. Vol. 131, pp. 231–282.
- Kemp, A.I.S., Hawkesworth, C.J., Paterson, B.A., Kinny, P.D. Episodic growth of the Gondwana supercontinent from hafnium and oxygen isotopes in zircon. *Nature*. 2006. Vol. 439, pp. 580–583.
- Samsonov A.V., Chernyshev I.V., Nutman A.P., Compston W. Evolution of the Archean Aulian gneiss complex, Middle Dnieper gneiss-greenstone terrain, Ukrainian Shield: SHRIMP U-Pb zircon evidence. *Precambrian Research*. 1996. Vol. 78, pp. 65-78.
- Shumlyansky L., Hawkesworth C., Dhuime B., Billström K., Claesson S., Storey C. <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb ages and Hf isotope composition of zircons from sedimentary rocks of the Ukrainian shield: crustal growth of the south-western part of East European craton from Archaean to Neoproterozoic. *Precambrian research*. 2015. Vol. 260, pp. 39-54.
- Shumlyansky L., Wilde S.A., Artemenko G., Bekker A., Whitehouse M.J., Nemchin A.A. First zircon evidence of Hadean material in the Ukrainian Shield. *Abstract volume of the Goldschmidt conference*. 2020.
- Söderlund, U., Patchett, J.P., Vervoort, J.D., Isachsen, C.E. The <sup>176</sup>Lu decay constant determined by Lu-Hf and U-Pb isotope systematics of Precambrian mafic intrusions. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2004. Vol. 219, pp. 311–324.

Поступила в редакцию 27.01.2020

Поступила в ревидованной форме 06.04.2020

Принята 07.04.2020

## REFERENCES

- Bouvier, A., Vervoort, J.D., Patchett, P.J., 2008. The Lu-Hf and Sm-Nd isotopic composition of CHUR: constraints from unequilibrated chondrites and implications for the bulk composition of terrestrial planets. *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 273, p. 48-57.
- Claesson S., Artemenko G., Bogdanova S., Shumlyansky L., 2019. Archean crustal evolution in the Ukrainian shield. In: *Earth's oldest rocks, second edition*. Eds: Martin J. van Kranendonk, Vickie Bennett, Elis Hoffmann, Elsevier, pp. 837-854.
- Claesson S., Bibikova E., Shumlyansky L., Dhuime B., Hawkesworth C., 2015. The oldest crust in the Ukrainian Shield — Eoarchean U-Pb ages and Hf-Nd constraints from enderbites and metasediments In: Van Kranendonk, N.M.W., Parman, S., Shirey, S. Clift, P.D. (eds) *Continent Formation Through Time*. 2015. Geological Society, London, Special Publications, V. 389, pp. 227-259.
- Griffin, W.L., Belousova, E.A., Shee, S.R., Pearson, N.J., O'Reilly, S.Y., 2004. Archean crustal evolution in the northern Yilgarn Craton: U-Pb and Hf-isotope evidence from detrital zircons. *Precambrian Res.*, Vol. 131, pp. 231-282.
- Kemp, A.I.S., Hawkesworth, C.J., Paterson, B.A., Kinny, P.D., 2006. Episodic growth of the Gondwana supercontinent from hafnium and oxygen isotopes in zircon. *Nature*, Vol. 439, pp. 580-583.
- Samsonov A.V., Chernyshev I.V., Nutman A.P., Compston W., 1996. Evolution of the Archean Aulian gneiss complex, Middle Dnieper gneiss-greenstone terrain, Ukrainian Shield: SHRIMP U-Pb zircon evidence. *Precambrian Research*, vol. 78, p. 65-78.

- Shumlyansky L., Hawkesworth C., Dhuime B., Billström K., Claesson S., Storey C., 2015.  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ages and Hf isotope composition of zircons from sedimentary rocks of the Ukrainian shield: crustal growth of the south-western part of East European craton from Archaean to Neoproterozoic. *Precambrian research*, Vol. 260, pp. 39-54.
- Shumlyansky L., Wilde S.A., Artemenko G., Bekker A., Whitehouse M.J., Nemchin A.A., 2020. First zircon evidence of Hadean material in the Ukrainian Shield. *Abstract volume of the Goldschmidt conference*.
- Söderlund, U., Patchett, J.P., Vervoort, J.D., Isachsen, C.E., 2004. The  $^{176}\text{Lu}$  decay constant determined by Lu-Hf and U-Pb isotope systematics of Precambrian mafic intrusions. *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 219, pp. 311–324.
- Artemenko G.V., Shumlyansky L.V., Becker A.Yu. 2020. The first data on the Eoarchean (3.95 Ga) rocks in the basement of the Azov block of the Ukrainian shield. In: *Fundamental issues of tectonics and geodynamics*. Vol. 1. Materials LII Tectonic meeting. Moscow: GEOS, pp. 20-26.
- Bibikova E.V., Claesson S., Fedotova A.A., Artemenko G.V., Il'inskii L., 2010. Terrigenous zircon of the Archean greenstone belts as a source of information on the early earth's crust: Azov and Dnieper domains, Ukrainian shield. *Geokhimiya*, № 9, pp. 899-916 (in Russian).
- Bibikova E.V., Claesson S., Fedotova A.A., Stepanyuk L.M., Shumlyansky L.V., Kernozova T.I., Fugzan M.M., Ilyinsky L. 2013. Isotope-geochronological (U-Th-Pb, Lu-Hf) study of the zircons from the Archean magmatic and meta-sedimentary rocks of the Podolia domain, Ukrainian shield. *Geochemistry*, vol. 51, No. 2, pp. 87-108 (in Russian).
- Bobrov A.B., 1993. New data on the age of sediments of the Belozerk Formation (the Middle Dnieper area). *Geologichnyy zhurnal*, vol. 53, No. 2, pp. 73-79 (in Russian).
- Bobrov O.B., Stepanyuk L.M., Paran'ko I.S., Ponomarenko O.M., Shumlyanskyj L.V., Dyujm B., 2011. Genesis and age of zircon from the "Lativka" horizon of the Kryvyi Rih Series of the Ukrainian Shield. *Mineralogichnyy zhurnal*, vol. 33, № 1, pp. 30-40 (in Ukrainian).
- Zmievsky G. E., Martynyuk A.V., 1994. Geological structure and geodynamics of the Tok area: Report of the geological survey team on the results of deep geological mapping at Scale 1: 50000 within sheets L-36-8-B, G (southern halves), L-36-20-A, B, carried out in 1989-1993. Dnepropetrovsk: Yuzhukrgeologiya. (in Russian)
- Pettijohn F., Potter P., Siver R., 1976. Sands and Sandstones. Moscow: Mir, 563 p. (in Russian).
- Stepanyuk L.M., Paranko I.S., Ponomarenko O.M., Dovbush T.I., Vysotsky O.B., 2011. The uranium-lead age of detrital monazite from metasandstones of the Skelyuvatka Suite of the Kryvyi Rih structure. *Mineralogichnyy zhurnal*, vol. 33, No. 4, pp. 80-89 (in Ukrainian).
- Scherbak N.P., Artemenko G.V., Lesnaya I.M., Ponomarenko A.N., 2006. Geochronology of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield. *Archean*. Kiev: Naukova dumka, 321 p. (in Russian).
- Shcherbak N.P., Polovko N.I., Levkovskaya N.Yu., 1969. The isotopic age of accessory minerals of the lower suite of the Kryvyi Rih Series. *Geologichnyy zhurnal*, vol. 29, No 3. pp. 21-29 (in Russian).

Received 27.01.2020

Received in revised form 06.04.2020

Accepted 07.04.2020

Г.В. Артеменко<sup>1</sup>, Л.В. Шумлянський<sup>1,2</sup>, С.А. Вайлд<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна,  
E-mail: regulgeo@gmail.com

<sup>2</sup> Curtin University, School of Earth and Planetary Sciences, Perth, Australia

## НИЖНЯ ВІКОВА МЕЖА УТВОРЕННЯ МЕТАТЕРИГЕННИХ ПОРІД ВИСОКОПІЛЬСЬКОЇ ЗЕЛЕНОКАМ'ЯНОЇ СТРУКТУРИ (СЕРЕДНЬОПРИДНІПРОВСЬКИЙ РАЙОН УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА)

Стратиграфічне співвідношення метатеригенних порід криворізької серії Криворізько-Кременчуцької структури з близькими за складом метаосадовими породами верхньої частини розрізу зеленокам'яних структур (білозерської серії) Середньопридніпровського району залишається не вивченим. Особливо цікавими є "хвостоподібні" структури — Високопільська, Східно-Ганнівська і Жовторіченська, в яких спостерігається налягання метаосадових і залізо-кременистих порід на метабази мезоархейських зеленокам'яних структур. Високопільська зеленокам'яна структура (ЗС), що причленовується до Лихманівської синклінали Криворізької структури, є моноклінальною з крутим заляганням порід. Північна частина структури складена потужною однорідною товщею метатолітів (сурська світа). Вище за стратиграфічним розрізом розташовується чортотлицька світа, представлена метаандезитами з підпорядкованими ріодацитами і толейтовими базальтами. Субвулканічні тіла ріоліт-дацитів (солонівська світа) спостерігаються у вигляді січних тіл і дайок. Середня і південна частини Високопільської ЗС складені неоднорідною товщею орто- і парагнейсів, серед яких виділяються осадові (грауваки, субграуваки і мелановаки) і вулканогенні (туфопісковики, лавобрекції, метадацити і метаандезити з підпорядкованою кількістю метатолітів) утворення. Серед граувак присутні малопотужні пачки силікатно-магнетитових кварцитів і потужні (до 100 м) пласти кварц-магнетит-кумінгтонітових сланців з гранатом. Нами методом LA-ICP-MS виконане U-Pb датування 102 кристалів детритового циркону з біотит-кварцових мета-

пісковиків, а також визначений ізотопний склад гафнію. Серед них, 4 кристали мають  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  вік древніше 3400 (до 3800) млн років. Одиничний кристал циркону має вік близько 2930 млн років. Решта 97 кристалів мають вік у діапазоні 3000—3360 млн років, з чіткими піками в 3065 (15 кристалів), 3185 (21 кристал), 3260 (16 кристалів) і 3320 млн років (22 кристали). Ізотопний склад гафнію в цирконах широко варіює. Найдавнійший кристал віком біля 3800 млн років має величину  $\epsilon\text{Hf} = -0,8$ , тоді як наступні за віком два кристали мають позитивні величини  $\epsilon\text{Hf}$  (+1,2, вік 3645 млн років; +2,2, вік 3535 млн років). Кристали циркону віком біля 3320 млн років мають широкий діапазон варіацій  $\epsilon\text{Hf}$  — від +1,8 до -6,1; віком біля 3260 млн років — від +4,5 до -2; віком біля 3185 млн років — від +3,3 до -4,3 і віком біля 3065 млн років — від +6,2 до -3,9. Згідно з отриманими даними, товща метасадових порід Високопільської ЗС почала формуватися у неоархеї. Такий же вік мають метаморфізовані осадові породи у Східно-Ганнівській та Красноярсько-Алферівській хвостоподібних структурах та в білозерській серії Білозерської ЗС. Таким чином, осадові породи в цих структурах утворилися при формуванні пенеппена на мезоархейському кратоні. В області їх знесення переважали ТТГ сурського комплексу (3,1—2,96 млрд років). Вперше в Середньопридніпровському районі виявлена значна кількість (38 зерен) класогенного циркону палеоархейського (3,3 млрд років) віку, що вказує на присутність у області зносу палеоархейських порід. Дані про ізотопний склад гафнію вказують на можливу присутність хадейського матеріалу (давнішого за 4 млрд років).

**Ключові слова:** *Високопільська зеленокам'яна структура; Криворізько-Кременчуцька структура; Середньопридніпровський кратон; палеоархейський фундамент; метапісковики; детритовий циркон; неоархеї.*

G.V. Artemenko<sup>1</sup>, L.V. Shumlyanskyi<sup>1,2</sup>, S.A. Wilde<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, Kyiv, Ukraine,  
E-mail: regulgeo@igmof.gov.ua

<sup>2</sup> Curtin University, School of Earth and Planetary Sciences, Perth, Australia

#### LOWER AGE BOUNDARY OF THE FORMATION OF METATERRIGENOUS ROCKS OF THE VYSOKOPILLYA GREENSTONE STRUCTURE, MIDDLE-DNIEPER REGION OF THE UKRAINIAN SHIELD

The stratigraphic relationships of meta-terrigenous rocks of the Kryvyi Rih Series belonging to the Kryvyi Rih-Kremenchuk structure with metasediments of similar composition belonging to the upper part of the greenstone belt section (the Bilozerka Series) in the Middle Dnieper Domain remain unexplored. The adjacent “strip-like” Vysokopillya, Skhidno-Hannivska and Zhovta Richka structures are of particular interest; in these structures, metasediments and ferruginous-siliceous rocks overlie metabasites of the Mesoarchean greenstone belts. The Vysokopillya greenstone belt (GB), which is adjacent to the Likhmanivka syncline of the Kryvyi Rih structure, is a steep-bedding monocline. The northern part of the belt comprises a thick homogeneous meta-tholeiite sequence (the Sura Suite). The Chertomlyk Suite is located higher in the stratigraphic section and includes meta-andesites with subordinate rhyodacites and tholeiitic basalts. They form the southern part of this structure. Subvolcanic rhyolite-dacite bodies (the Solenivka Suite) occur as crosscutting intrusions and dykes. The middle and southern parts of the Vysokopillya GB consist of a heterogeneous mass of orthogneisses and paragneisses, which developed after sedimentary (graywackes, sub-graywackes and melawackes) and volcanic (tuff sandstones, lava breccias, meta-dacites and meta-andesites with a subordinate amount of meta-tholeiites) rocks were deposited. Graywackes host thin beds of quartz-magnetite quartzites and thick (up to 100 m) beds of quartz-magnetite-cumingtonite shales with garnet. We applied LA-ICP-MS for U-Pb dating of 102 detrital zircons from biotite-quartz meta-sandstones and determined their Hf isotope compositions. Among them, four crystals have  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  age over 3400 (up to 3800) Ma. A single zircon crystal was dated at 2930 Ma. The remaining 97 crystals have ages in the range of 3000–3360 Ma, with distinct peaks at 3065 (15 grains), 3185 (21 grains), 3260 (16 grains), and 3320 Ma (22 grains). Hafnium isotope composition varies over a wide range. The oldest grain dated at 3800 Ma, has  $\epsilon\text{Hf} = -0,8$ , whereas the next two younger grains have positive  $\epsilon\text{Hf}$  values (+1,2 at 3645 Ma, and +2,2 at 3535 Ma). Crystals dated at ca. 3320 Ma demonstrate wide variations in  $\epsilon\text{Hf}$  — from +1,8 to -6,1; those dated at ca. 3260 Ma — from +4,5 to -2,5, those dated at ca. 3185 Ma — from +3,3 to -4,3, and those dated at ca. 3065 Ma — from +6,2 to -3,9. According to the obtained data, metasedimentary rocks of the Vysokopillya GB started to accumulate in the Neoproterozoic. The same age was established for the metamorphosed sedimentary rocks of the Skhidno-Hannivska and Krasnoyarsk-Alferivka structures, as well as for the Bilozerka Series of the Bilozerka GB. Thus, sedimentary rocks in these structures were formed during the denudation of the Mesoarchean craton. The source rocks were predominantly represented by the TTG of the Sura complex (3.1–2.96 Ga). For the first time, a significant number (38 grains) of Paleoproterozoic (3.3 Ga) detrital zircons were discovered in the Middle Dnieper Domain, which indicates the presence of Paleoproterozoic rocks in the denudation area. Data on Hf isotope systematics indicate the possible presence of Hadean (older than 4.0 Ga) material.

**Keywords:** *Vysokopillya greenstone belt; Kryvyi Rih — Kremenchuk structure; the Middle Dnieper Domain; the Paleoproterozoic basement; metasandstones; detrital zircon; Neoproterozoic.*