

## U-Pb ВОЗРАСТ (LA-ICP-MS) КЛАСТОГЕННОГО ЦИРКОНА ГЛЕЕВАТСКОЙ СВИТЫ КРИВБАССА (УКРАИНСКИЙ ЩИТ)

Г.В. Артеменко<sup>1</sup>, Л.В. Шумлянский<sup>2</sup>, А.Ю. Беккер<sup>1</sup>

(Рекомендовано акад. НАН Украины А.Н. Пономаренко)

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

Доктор геологических наук, профессор, заведующий отделом.

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

Доктор геологических наук, старший научный сотрудник.

<sup>3</sup> Геологический факультет Калифорнийского университета, Риверсайд, США,  
E-mail: andreymb@ucr.edu

Профессор.

В области сноса метатерригенных пород глееватской свиты, слагающей верхнюю часть разреза Криворожско-Кременчугской структуры, значительно преобладали породы тоналит-трондьемит-гранодиоритовой серии Среднеприднепровского кратона (с возрастом 3,0-3,1 млрд лет). В небольшом количестве, вероятно, присутствовали и останцы палеоархейских гнейсов фундамента (с возрастом 3,2; 3,3-3,4 и 3,5-3,7 млрд лет). В области сноса также могли находиться архейские калиево-натриевые граниты (с возрастом 2,85-2,87 млрд лет). Среди кластогенных цирконов палеопротерозойского возраста пять зерен с конкордантным возрастом 2,09-2,14 млрд лет указывают на присутствие в области сноса палеопротерозойских гранитов. Таким образом, нижняя возрастная граница метатерригенных пород глееватской свиты составляет около 2,1 млрд лет. Полученные данные дают основание выделить глееватскую и гданцевскую свиты в ранг отдельной серии.

*Ключевые слова:* Криворожско-Кременчугская структура; Среднеприднепровский мегаблок; глееватская свита; метапесчаники; кластогенный циркон; U-Pb изотопный возраст; палеопротерозой.

## U-Pb LA-ICP-MS AGE OF DETRITAL ZIRCON FROM THE HLEYEVATKA SUITE OF KRYVBASS (THE UKRAINIAN SHIELD)

G.V. Artemenko<sup>1</sup>, L.V. Shumlyansky<sup>2</sup>, A.Yu. Bekker<sup>3</sup>

(Recommended by academician A.N. Ponomarenko)

<sup>1</sup> Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, Kiev, Ukraine, E-mail: regulgeo@igmof.gov.ua  
Doctor of geological sciences, professor, head of Department.

<sup>2</sup> Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, Kiev, Ukraine, E-mail: lshumlyansky@yahoo.com  
Doctor of geological sciences, senior researcher.

<sup>3</sup> Department of Earth Sciences, University of California, Riverside, USA, E-mail: andreymb@ucr.edu  
Professor.

The 3.1-3.0 Ga tonalite-trondhjemite-granodiorite rocks of the Middle Dnieper craton were exposed in the provenance of meta-terrigenous rocks of the Hleyevatka Suite, which forms the upper part of the Krivoi Rog-Kremenchug structure. In addition, 3,2; 3,3-3,4 and 3,5-3,7 Ga gneisses were also present in the source area as well as the 2,87-2,85 Ga potassium-sodium granites. Among the Paleoproterozoic detrital zircons, five grains yielded an age of 2,14-2,09 Ga, which indicates the presence of Paleoproterozoic granites in the provenance. The maximum depositional age of the metamorphosed terrigenous rocks of the Hleyevatka Suite is thus about 2,1 Ga. These data gives ground to distinguish the Hdantsivska and Hleyevatka suites as a separate Series.

*Key words:* Krivoi Rog-Kremenchug structure, Middle-Dnieper megablock, Gleyevatka Suite, meta-sandstones, detrital zircon, U-Pb geochronology, Paleoproterozoic.

## U-Pb ВІК (LA-ICP-MS) КЛАСТОГЕННОГО ЦИРКОНУ ГЛЕЮВАТСЬКОЇ СВІТИ КРИВБАСУ (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

Г.В. Артеменко<sup>1</sup>, Л.В. Шумлянський<sup>2</sup>, А.Ю. Беккер<sup>3</sup>

(Рекомендовано акад. НАН України О.М. Пономаренком)

<sup>1</sup> Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України, Київ, Україна,  
E-mail: regulgeo@igmof.gov.ua  
Доктор геологічних наук, професор, завідувач відділу.

<sup>2</sup> Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України, Київ, Україна,  
E-mail: lshumlyanskyu@yahoo.com  
Доктор геологічних наук, старший науковий співробітник.

<sup>3</sup> Геологічний факультет Каліфорнійського університету, Ріверсайд, США,  
E-mail: andreyb@ucr.edu  
Професор.

В області знесення метатеригенних порід глеюватської світи, що складають верхню частину розрізу Криворізько-Кременчуцької структури, значно переважали породи тоналіт-тронд'єміт-гранодіоритової серії Середньопридніпровського кратону (з віком 3,0-3,1 млрд років). У невеликій кількості, ймовірно, були присутні і останці гнейсів фундаменту (з віком 3,2; 3,3-3,4 і 3,5-3,7 млрд років). У області знесення могли бути також архейські калієво-натрієві граніти (з віком 2,85-2,87 млрд років). Серед кластогенних цирконів палеопротерозойського віку виділяються п'ять зерен віком 2,09-2,14 млрд років, що вказує на присутність у області знесення підпорядкованої кількості палеопротерозойських гранітів. Таким чином, нижня вікова межа метатеригенних порід глеюватської світи становить близько 2,1 млрд років. Одержані дані дають підстави виділити глеюватську і гданцівську світи у ранзі окремої серії.

**Ключові слова:** Криворізько-Кременчуцька структура, Середньопридніпровський мегаблок, глеюватська світа, метапісковики, кластогенний циркон, U-Pb ізотопний вік, палеопротерозой.

### Введение

Криворожско-Кременчугская структура расположена в западной части Среднеприднепровского фрагмента мезоархейского кратона и простирается более чем на 200 км. Она представляет собой узкую (шириной до 7 км) синформную структуру, расположенную среди архейских тоналит-трондъемит-гранодиоритовых (ТТГ) ассоциаций и включающую серию сопряженных чешуйчатых моноклиналильных структур или асимметричных синклиналей, сложенных пестрой по составу толщей слабометаморфизованных вулканогенно-осадочных пород криворожской серии [Белевцев и др., 1989; Єсипчук та ін., 2004]. По хорошей обнаженности и высокой степени изученности разрезы свит криворожской серии рассматриваются как стратотипические для Восточно-Европейской платформы.

К настоящему времени получены геохронологические данные о формировании пород криворожской серии (точнее, ее аналога на Воронежском кристаллическом массиве (ВКМ), курской серии) в интервале 2,6-2,06 млрд лет [Артеменко, 1995; Савко и др., 2014, 2015; Савко, Цыбуляев, 2017]. В Тим-Ястребовской

рифтогенной структуре ВКМ конгломераты и метапесчаники стойленской свиты курской серии со стратиграфическим и угловым несогласием перекрывают кислые метавулканиды лебединской серии. U-Pb возраст последних по циркону  $2613 \pm 10$  млн лет (SHRIMP-II) [Савко и др., 2015]. Верхняя граница курской серии определяется по возрасту прорывающих ее диоритов и гранодиоритов стойло-николаевского комплекса в Тим-Ястребовской структуре ( $2085 \pm 5$  млн лет, TIMS, циркон из диорита [Артеменко, 1995];  $2049 \pm 10$  млн лет, SHRIMP-II, циркон из гранодиорита [Савко и др., 2014]) и субщелочных гранитов Беленихинского массива (малиновский комплекс) в Белгородской структуре –  $2040 \pm 30$  млн лет [Артеменко, 1995]. Курская серия со стратиграфическим и угловым несогласием перекрывается породами оскольской серии, в составе которой выделяются нижняя роговская свита (аналог гданцевской свиты), и верхняя – тимская свита, подразделяемая на нижнетимскую подсвиту (аналог глееватской свиты) и верхнетимскую подсвиту. U-Pb изотопный возраст постколлизиионных кислых вулканитов из бимодальной базальт-риолитовой ассоциации

верхнетимской подсветы – 2,06 млрд лет (TIMS) [Артеменко, 1995] и курбакинской свиты – 2047±8 млн лет (SHRIMP-II; n = 12) [Савко, Цыбуляев, 2017].

В Криворожско-Кременчугской структуре стратиграфического аналога лебединской серии с кислыми вулканитами не выявлено. За нижнюю возрастную границу криворожской серии принята датировка кластогенного монацита – 2,8 млрд лет [Степанюк та ін., 2011; Щербак и др., 1969]. В глееватской свите, в отличие от оскольской серии ВКМ, кислые вулканиты отсутствуют, и она геохронологически изучена недостаточно. Породы глееватской свиты прорываются альбититами с возрастом 1890±75 млн лет [Сулова и др., 1988].

Глееватская свита сложена преимущественно метатерригенными породами – метаконгломератами, метапесчаниками, метаалевролитами с редкими маломощными линзами карбонатных пород (мраморизованных доломитов) (рис. 1). Максимальная мощность глееватской свиты составляет около 2000 м в центральной части Криворожской структуры. Глееватская свита

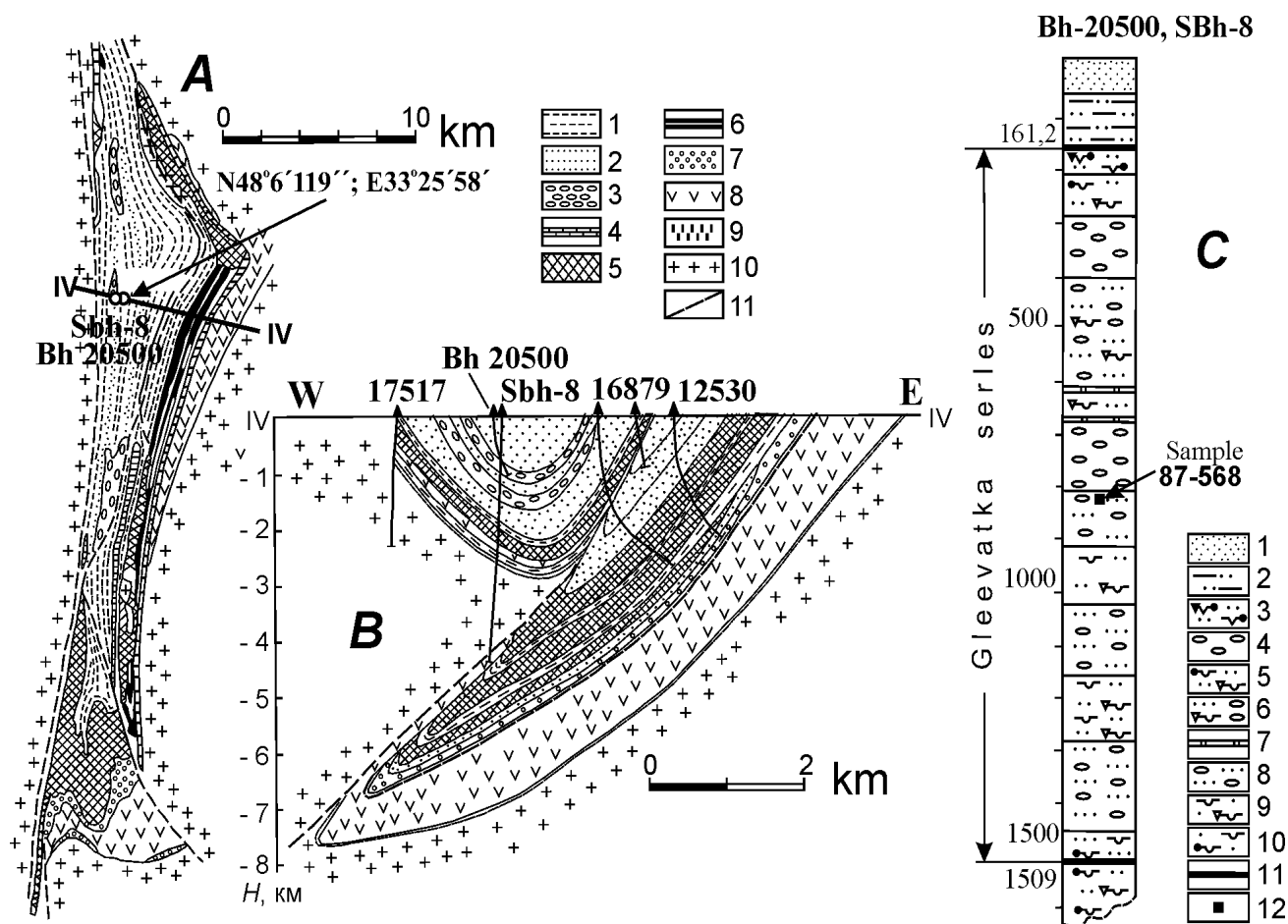
подстиляется без видимого несогласия метатерригенно-хемогенными отложениями гданцевской свиты криворожской серии. Породы глееватской свиты метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации; локально (в Анновском районе) степень метаморфизма повышается до эпидот-амфиболитовой фации.

### Постановка проблемы

Определение возраста формирования осадочно-вулканогенной толщи Криворожско-Кременчугского района, включающей богатую железорудную формацию, является важной задачей как с точки зрения хроностратиграфии докембрия, так и геодинамических реконструкций.

Железорудные толщи Криворожского бассейна, относящиеся к криворожской серии, сохранились в четырех прогибах – Западном, Южном, Центральном и Саксаганском, разделенных продольными поднятиями фундамента.

Ранее описывалось [Белевцев, 1955; Кулиш и др., 2010], что гданцевская и глееватская свиты криворожской серии отлагались на железорудной толще после значительного перерыва и со



стратиграфическим несогласием. Отложение грубообломочного материала глееватской свиты связывается авторами [Кулиш и др., 2010] с быстрым подъемом горных массивов со стороны Ингулецкого поднятия, на что указывают мощные толщи конгломератов в Западном прогибе.

Поскольку глееватская свита сложена главным образом слабометаморфизованными осадочными породами, а кислые магматические породы в их разрезе отсутствуют, то единственным объектом геохронологических исследований являются кластогенные акцессорные минералы – циркон и монацит. Таким образом, можно получить данные о возрасте пород архейского фундамента в области сноса и о формировании более поздних синтетектонических гранитоидов.

### Методика исследований

Циркон выделен из пробы массой 5 кг по стандартной методике в лаборатории обогащения ИГМР НАН Украины. Изучение морфологии циркона выполнено в проходящем и отраженном свете. Внутреннее строение циркона изучено методом катодлюминесценции.

Цирконы помещали в эпоксидную шайбу и приполировывали до вскрытия их внутренних участков. Далее их анализировали на изотопы U, Th и Pb методом LA-ICP-MS в лаборатории Калифорнийского университета, Санта Барбара. Измерения выполнены на приборе Nu Plasma HR MC-ICP-MS с использованием системы лазерной абляции Photon Machines *Excite 193* excimer ArF. Абляция выполнена на протяжении 15 с с частотой лазерных импульсов 4 Гц и энергией импульсов  $\sim 1$  Дж/см<sup>2</sup>. Глубина полученных кратеров составляла  $\sim 5$  мкм, а размеры кратера – 15 мкм. Измерения образцов проведены после холостых фоновых измерений продолжительностью 15 с. Полученные результаты корректировались с помощью стандартного циркона 91500 (возраст 1062 млн лет [Wiedenbeck et al., 1995]), который анализировался после каждых 10 измерений исследуемых цирконов. Точность измерений была лучше 2% для отношения <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U. Все погрешности измерений приведены на уровне 2σ.

Содержания РЗЭ в метапесчаниках глееватской свиты определены методом изотопного разбавления на масс-спектрометре МИ-1320 в лаборатории ИГМР НАН Украины.

**Рис. 1.** Схематический план геологического строения (А) и геологический разрез через северную часть Криворожской структуры (В) по [Белевцев и др., 1989; Кулиш и др., 2015] с изменениями и дополнениями

Глееватская и гданцевская свиты фрунзенской (верхнекриворожской) серии: 1 — сланцы, 2 — метапесчаники, 3 — метаконгломераты, 4 — мраморы; саксаганская свита криворожской серии: 5 — нерасчлененная, 6 — расчлененная на железисто-кремнистые (темные) и сланцевые (светлые) горизонты; 7 — метаобломочные породы скелеватской свиты; новокриворожская свита криворожской серии: 8 — метабазиты; латовский горизонт: 9 — кварциты; саксаганский комплекс: 10 — плагиогранитоиды фундамента, 11 — зоны крупных разломов. С — Геологическая колонка глееватской свиты по скв. 20500 и СГ-8 [Белевцев и др., 1989; Кулиш и др., 2015]: 1 — суглинки, пески, глины; 2 — кора выветривания кристаллических пород; 3 — сланцы андалузит-гранат-плагиоклаз-кварцевые; 4 — метаконгломераты полимиктовые с биотитом; 5 — сланцы гранат-биотит-плагиоклаз-кварцевые и актинолит-биотит-плагиоклаз-кварцевые; 6 — чередование метаконгломератов полимиктовых, сланцев актинолит-биотит-кварц-плагиоклазовых и метапесчаников; 7 — мраморы кальцит-доломитовые; 8 — чередование метаконгломератов и метапесчаников; 9 — переслаивание метаалевритовых сланцев биотит-кварц-плагиоклазовых и амфибол-биотит-кварц-плагиоклазовых; 10 — чередование метапесчаников и сланцев гранат-биотит-плагиоклаз-кварцевых, биотит-плагиоклаз-кварцевых; 11 — стратиграфические контакты глееватской свиты; 12 — интервал опробования

**Fig. 1.** Schematic map of the geological structure (A) and geologic cross-section through the northern part of the Krivoy Rog structure (B), according to [Белевцев и др., 1989; Кулиш и др., 2015] with changes and additions

The *Gdantzevo and Gleevatka suites of the Frunze (Upper Krivoy Rog) Series*: 1 — slates, 2 — metasandstones, 3 — meta-conglomerates, 4 — marbles; the *Saxagan Suite of the Krivoy Rog Series*: 5 — undivided, 6 — divided into iron- and silica-rich (dark) and slate (light) intervals; 7 — meta-siliciclastic rocks of the Skeleevat Suite; *Novo-Krivoy Rog Suite of the Krivoy Rog Series*: 8 — metabasalts; the Lativka Member: 9 — quartzites; *Saksagan complex*: 10 — plagiogranitoids of the basement, 11 — major faults. С — stratigraphic column of the Gleyevatka Suite in the drill hole 20500 and super-deep drill hole 8 [Белевцев и др., 1989; Кулиш и др., 2015]: 1 — loams, sands, clays; 2 — weathering crust on crystalline rocks; 3 — andalusite-garnet-plagioclase-quartz slates; 4 — metamorphosed polymictic conglomerates with biotite in the matrix; 5 — garnet-biotite-plagioclase-quartz and actinolite-biotite-plagioclase-quartz slates; 6 — interbedded, metamorphosed polymictic conglomerates, actinolite-biotite-quartz-plagioclase slates, and meta-sandstones; 7 — calcite-dolomite marbles; 8 — interbedded, meta-conglomerates and meta-sandstones; 9 — interbedded biotite-quartz-plagioclase and amphibole-biotite-quartz-plagioclase schists; 10 — interbedded meta-sandstones and garnet-biotite-plagioclase-quartz and biotite-plagioclase-quartz slates; 11 — stratigraphic boundaries of the Gleyevatka Suite; 12 — sampling intervals

## Результаты исследований и обсуждение результатов

**Характеристика разреза глееватской свиты по скв. “Спутник-1” (скв. 20500) и Криворожской сверхглубокой скважине СГ-8.** Наиболее полно геологический разрез этой свиты изучен по скв. “Спутник-1” (скв. 20500) и Криворожской сверхглубокой скважине СГ-8, которые пройдены на западном крыле Саксаганского (Криворожского) синклинория. Вскрытая мощность глееватской свиты составила около 750 м. Образцы для геохронологических исследований метапесчаников глееватской свиты (№ 3326, 3328, 3357, 3361, 3370, 3398, 3576, 3581) отобраны по скв. 20500 («Спутник-1»), инт. 814-864 м (рис. 1).

Главные разновидности пород этой свиты представлены метаконгломератами (50%), метаалевролитами (32%) и средне-тонкозернистыми метапесчаниками (18%) [Белевцев и др., 1989; Кулиш и др., 2010]. Метаконгломераты полимиктовые. Они включают гальки (%): серых, светло-серых кварцитов – 48; темно-серых кварцитов – 26; сахаровидных белых, светло-серых, буровато-серых кварцитов – 6,8; кварца – 2,9; плагиогранитоидов – 7,1; карбонат-тремолитовой породы – 4,5; доломитов и доломитовых мраморов – 3,5; амфиболитов (метабазитов) – 1,5; железистых кварцитов – 0,5; кварцевых метапесчаников-метатравелитов с базальным серицитовым цементом – 0,2. Заполнитель метаконгломератов представлен разнозернистым, преимущественно средне-тонкозернистым метапесчаником с большой примесью алевритовых зерен и слюдистого (исходного глинистого) цемента. Песчаные обломки в заполнителе метаконгломератов сложены главным образом зернами кварца, мозаичного кварцита, а также зернами мутного, пелитизированного плагиоклаза.

Метапесчаники характеризуются массивной, редко неяснотонкослоистой текстурой, средне-тонкопсаммит-алевритовым гранулометрическим составом. Так же, как и в заполнителе метаконгломератов, в них доминирует мелко-тонкопсаммитовая фракция (0,25–0,05 мм) [Белевцев и др., 1989; Кулиш и др., 2010].

### Геохимические особенности метапесчаников глееватской серии

По индикаторному отношению  $Al_2O_3/Na_2O = 4,0-8,2$  (табл. 1) метапесчаники глееватской свиты относятся к незрелым осадкам [Петтид-

жон, 1976]. На диаграмме  $\log(SiO_2/Al_2O_3) - \log(Na_2O/K_2O)$  [Dennen, Moore, 1971] большинство их фигуративных точек попадает в поле литоаренитов, и по одной точке – в поле граувакк и субграувакк. Литоарениты являются индикаторами супракрустальной области размыва, сложенной вулканическими, гранитоидными и осадочными породами. Они формировались, вероятно, на флангах крупных поднятий в прибрежной части пресноводного или морского бассейна [Петтиджон, 1976]. Граувакки образуются в обстановке, в которой эрозия, перенос и отложение происходят настолько быстро, что полного химического выветривания материала не происходит.

Метапесчаники глееватской свиты (проба 1424/2, скв. 20500, инт. 421,6–421,8 м) характеризуются сильно дифференцированным распределением РЗЭ:  $Ce_N/Yb_N = 15,24$ , что указывает на преобладание гранитоидов в области их сноса. Содержания РЗЭ в метапесчаниках составляют (ppm): La – 22,26; Ce – 60,12; Nd – 21,32; Sm – 3,50; Eu – 0,63; Gd – не опр.; Dy – 2,41; Er – 1,09; Yb – 1,03; Lu – 0,10.

### Минералогическая характеристика и изотопный возраст циркона

Результаты геохронологических исследований кластогенного циркона из метапесчаников глееватской свиты приведены в табл. 2. Было проанализировано 124 зерна циркона, из них три анализа выполнены с невысокой точностью и восемь анализов оказались сильно дискордантными. Эти результаты анализов (11) были проигнорированы и не использованы в дальнейшем обсуждении. Результаты датирования 113 кристаллов циркона приведены в табл. 2 и на рис. 2, 3.

Среди 113 продатированных кристаллов три кристалла имеют  $^{207}Pb/^{206}Pb$  возраст в диапазоне 3520–3685 млн лет (рис. 3), еще три – в пределах 3325–3371 млн лет, семь кристаллов – в диапазоне 3205–3264 млн лет. Самая многочисленная группа (90 зерен) проанализированных цирконов имеет  $^{207}Pb/^{206}Pb$  возраст в 2841–3151 млн лет. Более молодые кристаллы сравнительно малочисленны, из них три зерна имеют  $^{207}Pb/^{206}Pb$  возраст в пределах 2702–2794 млн лет, одно зерно – 2548 млн лет и шесть зерен – 2087–2138 млн лет.

Исследованные нами кристаллы сравнительно слабо окатаны, независимо от возраста. Даже наиболее древние зерна часто угловатые и

**Таблица 1.** Результаты силикатных анализов метапесчаников глееватской свиты, мас. %**Table 1.** Results of silicate analyses of metasandstones of the Gleyevatka Suite, wt. %

№ анализа	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	58,0	61,82	64,36	57,62	70,98
TiO <sub>2</sub>	0,66	0,57	0,33	0,66	0,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,30	12,90	7,27	15,88	8,63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,90	1,05	8,67	3,00	3,32
FeO	8,60	7,54	6,97	8,21	6,07
MnO	0,14	0,12	0,08	0,05	0,05
MgO	4,94	3,50	2,50	4,67	2,35
CaO	2,15	4,50	3,40	1,47	2,38
Na <sub>2</sub> O	1,98	1,92	1,80	2,44	1,88
K <sub>2</sub> O	3,40	2,28	1,60	3,80	2,06
S <sub>общ</sub>	сл.	0,11	0,02	0,03	0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12	0,15	0,12	0,11	0,09
CO <sub>2</sub>	0,38	1,67	2,37	0,35	1,05
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,10	0,10	0,20	0,12	0,02
П.п.п.	1,86	1,49	0,72	1,28	1,18
Сумма	99,53	99,72	100,41	99,69	100,47
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	0,58	0,84	1,125	0,642	0,91
SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,558	4,79	8,85	3,628	8,22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Na <sub>2</sub> O	8,2	6,7	4,0	6,5	4,6

*Примечание:* 1 – метапесчаник, скв. 20500, инт. 190,0-190,4 м (обр. 237, 238, 239); 2 — то же, там же, инт. 247,8-248,1 м (обр. 545/2, 546, 547); 3 – то же, там же, инт. 421,6-421,8 м (обр. 1424/2); 4 – то же, там же, инт. 530,0-530,3 м (обр. 2023/2, 2023/3, 2023/4); 5 – то же, там же, инт. 825-825,2 м (обр. 3631). Силикатные химические анализы выполнены в лаборатории ИГМР НАН Украины.

*Note:* 1 — metasandstone, drill hole 20500, depth 190,0-190,4 m (samples 237, 238, 239); 2 — the same, ib., depth 247,8-248,1 m (samples 545/2, 546, 547); 3 — the same, ib., depth 421.6-421.8 m (sample 1424/2); 4 — the same, ib., depth 530,0-530.3 m (samples 2023/2, 2023/3, 2023/4); 5 — the same, ib., depth 825-825.2 m (sample 3631). Silicate chemical analyses were made in the laboratory of IGMR NAS of Ukraine.

имеют кристаллические грани неплохой сохранности (рис. 4). Форма кристаллов от овальной до слабо удлиненной призматической, с максимальным коэффициентом удлинения около 3. Размер изученных кристаллов варьирует от 30 до 200-250 μm, преобладают кристаллы размерами около 100 μm.

Кристаллы наиболее древней группы близкие к изометричным, темные на катодолуминесцентных (CL) изображениях, без зональности. Содержание урана в цирконах этой группы варь-

ирует от 244 до 508 г/т, а тория – от 7 до 217 г/т, при U/Th отношении от 0,01 до 0,65.

Цирконы возрастом 3325-3371 млн лет изометрические до призматических, среднеокатанные, на CL изображениях выглядят разнообразно – от кристаллов с ярким свечением и слабо проявленной зональностью до темных кристаллов с «пятнистой» зональностью. Цирконы этой группы сравнительно бедны ураном (35-107 г/т) и торием (27-67 г/т), при U/Th = 0,52-0,77.

**Таблица 2.** Отсортированные по убыванию  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  возраста результаты U-Pb изотопного датирования кластогенного циркона из метасечеников глееватской свиты (проба 85-568)  
**Table 2.** Results of U-Pb isotope dating of detrital zircon from metasandstones of the Gleyevatka Suite arranged in descending order of  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ages (sample 85-568)

Точка №	Концентрации, ppm		Изотопные отношения													Изотопный возраст, млрд лет					
	U	Th	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$2\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$2\sigma$	Rho	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$2\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$2\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$2\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$2\sigma$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
41	244	30	0,12	35,050	0,766	0,7363	0,02	0,97	0,3450	0,007	0,1877	0,006	3640	9	3557	22	3475	87	3685	3	
108	334	217	0,65	32,560	0,872	0,7520	0,02	0,99	0,3184	0,006	0,1891	0,005	3567	18	3616	46	3500	54	3562	3	
96	508	7	0,01	29,790	0,974	0,6980	0,02	1,00	0,3098	0,006	0,1880	0,017	3479	25	3413	66	3470	290	3520	3	
74	35	27	0,77	25,630	0,584	0,6654	0,02	0,94	0,2815	0,006	0,1696	0,005	3332	11	3288	31	3167	64	3371	10	
97	65	33	0,52	25,600	1,305	0,6770	0,03	1,00	0,2745	0,006	0,1724	0,008	3327	45	3330	120	3210	120	3332	7	
76	107	67	0,63	27,120	1,103	0,7200	0,03	0,99	0,2732	0,006	0,1746	0,007	3387	35	3497	85	3250	100	3325	9	
10	152	98	0,64	22,110	0,714	0,6110	0,02	0,89	0,2628	0,006	0,1388	0,007	3187	25	3072	54	2630	110	3264	15	
8	155	112	0,72	22,130	0,653	0,6190	0,02	0,93	0,2599	0,005	0,1571	0,005	3189	21	3104	49	2949	67	3246	6	
4	41	39	0,96	23,420	0,700	0,6540	0,02	0,97	0,2596	0,005	0,1540	0,006	3244	22	3244	58	2894	88	3244	7	
81	77	41	0,53	22,300	1,004	0,6320	0,03	1,00	0,2563	0,005	0,1738	0,010	3193	39	3150	100	3240	160	3224	7	
46	77	21	0,28	23,430	0,509	0,6680	0,01	0,93	0,2556	0,005	0,1726	0,007	3248	10	3298	21	3220	100	3220	5	
100	205	77	0,37	19,470	0,510	0,5615	0,01	0,84	0,2541	0,005	0,1581	0,005	3071	12	2873	30	2966	74	3211	13	
50	125	88	0,70	20,540	0,461	0,5862	0,01	0,88	0,2533	0,005	0,1668	0,005	3117	10	2974	21	3118	74	3205	7	
10	310	187	0,60	20,500	0,587	0,6100	0,02	0,99	0,2448	0,005	0,1540	0,004	3114	20	3070	46	2895	52	3151	3	
103	283	154	0,54	20,460	0,846	0,6190	0,03	1,00	0,2420	0,005	0,1697	0,007	3110	35	3103	87	3170	110	3133	4	
110	28	12	0,43	20,380	0,836	0,6320	0,03	0,99	0,2378	0,005	0,1580	0,011	3107	35	3155	90	2970	190	3106	7	
89	88	105	1,20	20,170	0,503	0,6181	0,02	0,93	0,2357	0,005	0,1622	0,004	3099	14	3102	35	3038	48	3091	6	
93	355	138	0,39	19,110	0,869	0,5880	0,03	1,00	0,2351	0,005	0,1574	0,009	3044	40	2976	96	2950	160	3087	6	
17	63	51	0,82	19,650	0,501	0,6098	0,02	0,97	0,2338	0,005	0,1472	0,005	3074	15	3069	38	2775	66	3078	6	
57	75	41	0,54	18,130	0,400	0,5689	0,01	0,89	0,2310	0,005	0,1466	0,003	2996	9	2903	23	2766	30	3059	6	
8	35	35	0,99	18,810	0,521	0,6029	0,02	0,91	0,2261	0,005	0,1544	0,007	3031	19	3041	40	2900	110	3024	13	
85	557	415	0,75	18,290	0,461	0,5850	0,02	0,99	0,2250	0,005	0,1595	0,004	3005	15	2969	40	2992	44	3017	4	
20	308	27	0,09	18,030	0,450	0,5840	0,02	0,78	0,2233	0,005	0,1563	0,006	2991	15	2964	45	2934	89	3004	17	
64	159	60	0,37	18,740	0,506	0,6112	0,02	0,99	0,2231	0,004	0,1535	0,005	3028	17	3074	39	2885	74	3003	4	

Продолж. табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
27	24	13	0,52	16,420	0,487	0,5330	0,01	0,95	0,2224	0,005	0,1478	0,009	2901	21	2754	43	2780	140	3002	12
28	44	33	0,74	18,300	0,408	0,5978	0,01	0,91	0,2214	0,005	0,1591	0,005	3005	10	3021	16	2983	61	2991	7
21	528	238	0,45	17,800	0,466	0,5911	0,01	0,99	0,2206	0,004	0,1452	0,004	2982	15	2993	36	2740	47	2985	2
45	23	15	0,67	18,110	0,424	0,5975	0,01	0,84	0,2199	0,005	0,1577	0,008	2995	12	3019	26	2960	120	2980	13
88	64	48	0,76	17,910	0,474	0,5900	0,02	0,96	0,2197	0,005	0,1588	0,005	2989	18	2989	44	2978	67	2980	8
44	718	399	0,56	16,250	0,387	0,5352	0,01	0,99	0,2198	0,004	0,1426	0,003	2891	13	2763	31	2695	26	2979	4
29	153	251	1,64	18,080	0,395	0,5976	0,01	0,94	0,2194	0,004	0,1562	0,003	2994	9	3020	20	2934	23	2976	4
9	483	193	0,40	17,880	0,454	0,5953	0,01	0,99	0,2188	0,004	0,1485	0,004	2983	15	3010	36	2798	41	2972	2
49	675	208	0,31	17,170	0,397	0,5712	0,01	0,98	0,2178	0,004	0,1506	0,003	2944	11	2913	21	2835	29	2965	3
105	640	348	0,54	16,780	0,457	0,5740	0,02	1,00	0,2157	0,004	0,1609	0,004	2921	18	2924	44	3016	41	2949	3
77	293	72	0,24	15,840	0,480	0,5370	0,02	0,99	0,2156	0,004	0,1519	0,004	2867	22	2769	54	2859	50	2948	6
11	32	5	0,15	17,100	0,436	0,5801	0,01	0,92	0,2153	0,005	0,1400	0,015	2940	15	2949	36	2650	260	2946	11
30	334	101	0,30	17,400	0,487	0,5820	0,02	0,99	0,2153	0,004	0,1602	0,004	2956	19	2957	45	3003	44	2946	4
21	159	57	0,36	16,580	0,497	0,5580	0,02	0,99	0,2151	0,004	0,1461	0,005	2910	21	2858	49	2755	81	2945	5
36	196	45	0,23	15,780	0,714	0,5260	0,02	0,96	0,2150	0,005	0,2230	0,069	2861	40	2722	86	3560	670	2944	16
84	277	99	0,36	16,920	0,398	0,5712	0,01	0,99	0,2148	0,004	0,1568	0,004	2930	12	2913	27	2944	36	2942	3
59	226	306	1,35	17,250	0,432	0,5825	0,01	0,98	0,2146	0,004	0,1487	0,004	2948	14	2958	32	2801	52	2941	4
87	249	203	0,82	16,920	0,509	0,5700	0,02	1,00	0,2145	0,004	0,1574	0,009	2929	21	2906	52	2950	150	2940	4
13	217	118	0,54	16,070	0,761	0,5390	0,02	1,00	0,2144	0,004	0,0922	0,008	2877	40	2800	92	1780	150	2939	3
39	272	146	0,54	16,950	0,367	0,5738	0,01	0,96	0,2141	0,004	0,1516	0,003	2932	8	2923	18	2853	30	2937	3
48	27	24	0,91	17,230	0,477	0,5832	0,02	0,95	0,2140	0,004	0,1489	0,005	2947	19	2961	40	2806	74	2936	9
83	173	18	0,10	16,560	0,475	0,5600	0,02	0,99	0,2140	0,004	0,1647	0,008	2915	15	2866	46	3080	120	2936	6
58	41	34	0,83	17,140	0,436	0,5832	0,01	0,93	0,2130	0,004	0,1518	0,004	2942	15	2961	31	2856	49	2928	10
86	58	55	0,95	16,750	0,561	0,5690	0,02	0,99	0,2128	0,004	0,1598	0,008	2919	26	2902	57	2990	120	2927	7
22	148	134	0,91	16,970	0,495	0,5830	0,02	0,99	0,2125	0,004	0,1476	0,004	2932	20	2958	52	2783	46	2925	5
56	116	79	0,68	17,760	0,386	0,6056	0,01	0,82	0,2121	0,004	0,1504	0,004	2977	8	3052	16	2832	36	2922	7
16	997	154	0,15	15,050	0,328	0,5189	0,01	0,99	0,2116	0,004	0,1345	0,003	2818	9	2694	18	2551	19	2918	2
107	588	55	0,09	15,090	0,949	0,5250	0,03	1,00	0,2117	0,004	0,1380	0,013	2814	54	2710	130	2610	220	2918	5
70	36	9	0,25	16,580	0,454	0,5735	0,01	0,93	0,2117	0,005	0,1570	0,012	2911	18	2922	34	2940	200	2918	12
9	82	51	0,63	16,150	0,462	0,5580	0,02	0,98	0,2114	0,004	0,1450	0,005	2885	19	2857	47	2736	63	2916	8

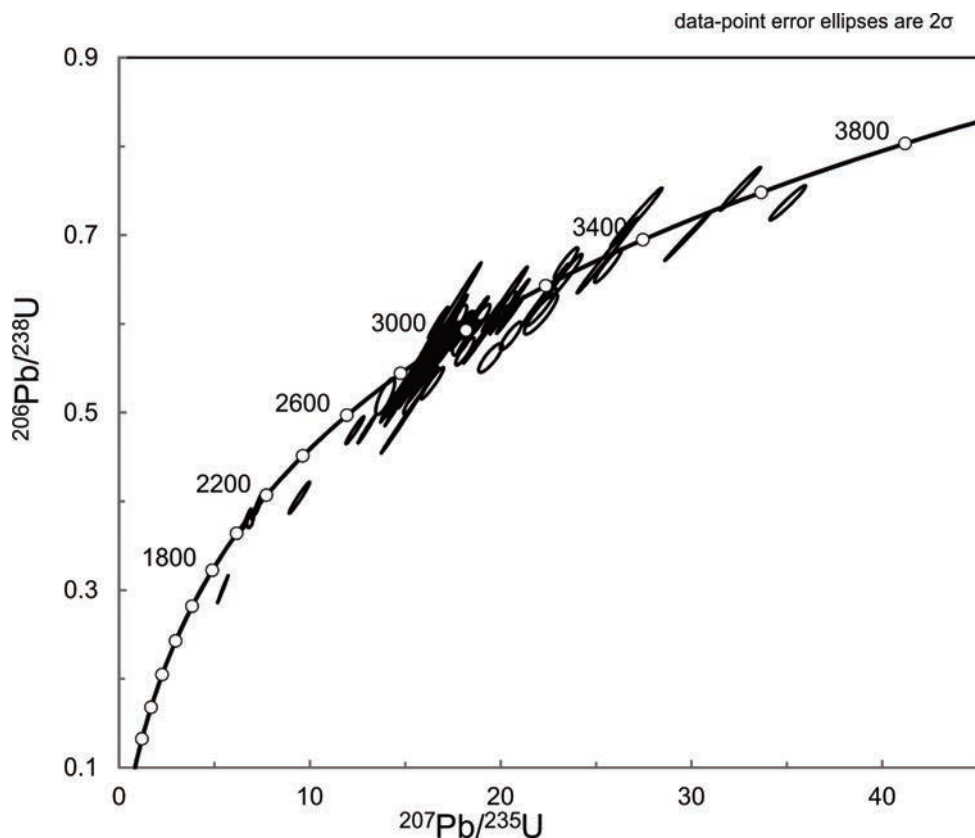


Продолж. табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
67	44	49	1,11	16,820	0,364	0,5806	0,01	0,85	0,2114	0,004	0,1464	0,004	2925	8	2951	20	2762	38	2916	6
78	15	15	1,02	16,120	0,506	0,5570	0,02	0,95	0,2113	0,005	0,1530	0,011	2883	23	2853	70	2870	200	2915	18
68	305	58	0,19	16,570	0,364	0,5715	0,01	0,95	0,2111	0,004	0,1485	0,004	2910	9	2914	16	2798	43	2914	5
94	131	90	0,69	16,540	0,474	0,5670	0,02	0,98	0,2109	0,004	0,1563	0,006	2908	20	2896	51	2934	87	2912	6
18	198	47	0,24	16,660	0,469	0,5790	0,02	0,98	0,2107	0,004	0,1504	0,006	2915	19	2943	44	2832	99	2911	6
98	84	151	1,81	17,520	0,602	0,6060	0,02	0,99	0,2105	0,004	0,1573	0,006	2962	27	3051	70	2952	93	2910	7
51	47	29	0,62	16,280	0,372	0,5612	0,01	0,90	0,2106	0,004	0,1461	0,004	2893	11	2871	23	2757	47	2910	8
19	615	36	0,06	15,900	0,567	0,5470	0,02	0,99	0,2105	0,004	0,1071	0,006	2869	28	2810	67	2056	96	2910	3
104	317	133	0,42	16,340	0,383	0,5701	0,01	0,98	0,2104	0,004	0,1571	0,004	2897	11	2908	27	2949	34	2908	4
33	66	54	0,82	16,830	0,562	0,5750	0,02	0,98	0,2103	0,004	0,1487	0,005	2924	25	2928	61	2802	70	2908	8
27	48	33	0,69	16,720	0,400	0,5780	0,01	0,97	0,2103	0,004	0,1505	0,004	2919	13	2941	26	2833	52	2907	6
6	39	43	1,11	17,180	0,425	0,5940	0,01	0,90	0,2099	0,004	0,1442	0,005	2945	14	3005	37	2722	62	2905	9
69	78	48	0,61	16,490	0,358	0,5750	0,01	0,92	0,2099	0,004	0,1472	0,004	2905	8	2928	21	2776	53	2905	7
54	116	142	1,22	16,700	0,389	0,5759	0,01	0,96	0,2097	0,004	0,1472	0,004	2918	11	2932	25	2776	36	2904	6
63	105	33	0,32	16,960	0,416	0,5879	0,01	0,94	0,2096	0,004	0,1681	0,005	2932	13	2980	29	3141	65	2902	5
109	63	102	1,63	15,780	0,422	0,5530	0,01	0,98	0,2096	0,004	0,1405	0,003	2863	17	2838	42	2657	34	2902	6
5	49	32	0,65	16,540	0,397	0,5747	0,01	0,96	0,2094	0,004	0,1401	0,004	2908	13	2927	30	2650	57	2901	7
15	137	56	0,41	15,930	0,393	0,5546	0,01	0,99	0,2093	0,004	0,1520	0,004	2872	14	2844	36	2859	42	2900	7
35	123	65	0,53	16,240	0,350	0,5628	0,01	0,94	0,2090	0,004	0,1245	0,005	2894	9	2878	22	2371	76	2898	6
91	55	46	0,84	16,140	0,448	0,5570	0,01	0,98	0,2088	0,004	0,1491	0,004	2884	19	2867	36	2809	57	2896	6
65	66	62	0,93	16,580	0,404	0,5756	0,01	0,94	0,2087	0,004	0,1459	0,005	2911	14	2930	39	2752	61	2895	8
7	707	8	0,01	16,090	0,401	0,5612	0,01	0,98	0,2086	0,004	0,1340	0,011	2882	14	2871	36	2530	200	2894	3
71	226	246	1,09	16,280	0,539	0,5670	0,02	0,97	0,2086	0,004	0,1459	0,004	2893	26	2895	53	2753	46	2894	6
11	99	49	0,49	15,700	0,414	0,5484	0,01	0,98	0,2085	0,004	0,1410	0,004	2858	16	2818	37	2666	48	2894	8
24	50	52	1,03	16,200	0,381	0,5651	0,01	0,87	0,2083	0,004	0,1467	0,003	2888	12	2888	20	2767	27	2893	12
47	383	30	0,08	16,360	0,369	0,5708	0,01	0,99	0,2080	0,004	0,1509	0,004	2898	10	2911	20	2841	53	2890	3
12	31	31	1,00	15,980	0,520	0,5630	0,02	0,96	0,2081	0,004	0,1457	0,006	2875	25	2878	46	2776	81	2890	12
40	43	23	0,53	16,650	0,369	0,5835	0,01	0,81	0,2079	0,004	0,1498	0,005	2915	9	2963	14	2822	70	2889	10
31	166	27	0,16	14,990	0,350	0,5204	0,01	0,97	0,2077	0,004	0,1414	0,004	2814	11	2701	22	2673	61	2887	4
55	219	30	0,13	15,200	0,369	0,5324	0,01	0,95	0,2075	0,004	0,1527	0,004	2827	13	2751	26	2871	43	2886	5
75	392	131	0,34	15,920	0,431	0,5600	0,02	0,99	0,2075	0,004	0,1485	0,004	2871	18	2867	46	2799	57	2886	3

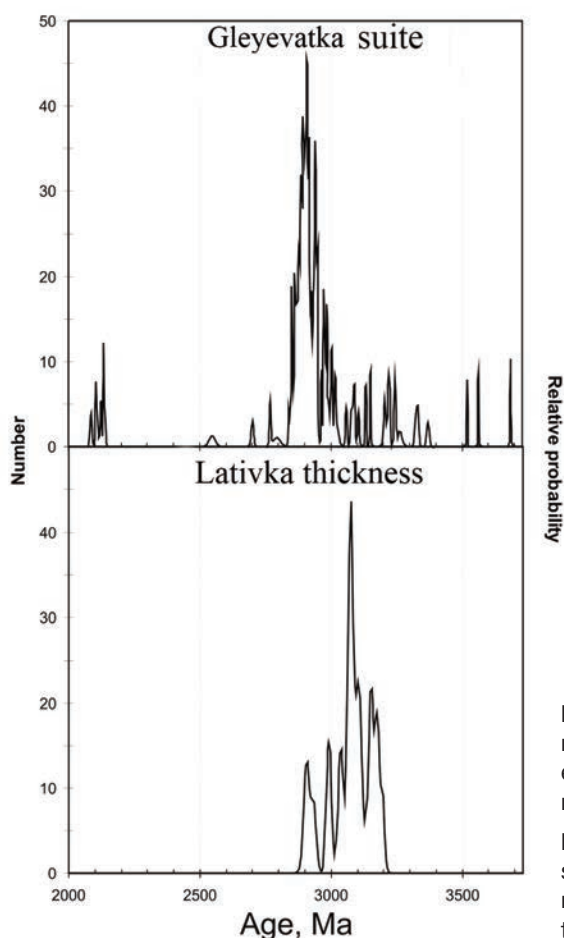
Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
30	99	30	0,30	15,480	0,353	0,5400	0,01	0,94	0,2072	0,004	0,1449	0,003	2845	11	2783	17	2735	29	2883	6
25	42	25	0,60	16,680	0,389	0,5832	0,01	0,89	0,2071	0,004	0,1494	0,005	2917	12	2962	28	2813	61	2883	10
3	80	44	0,55	16,400	0,401	0,5759	0,01	0,94	0,2068	0,004	0,1382	0,004	2904	14	2932	30	2616	61	2880	6
95	497	52	0,11	15,650	0,383	0,5484	0,01	0,99	0,2066	0,004	0,1494	0,004	2856	13	2818	31	2813	51	2879	2
79	168	87	0,52	15,400	0,497	0,5430	0,02	0,99	0,2063	0,004	0,1511	0,004	2839	24	2796	58	2844	58	2878	6
7	362	465	1,28	15,920	0,459	0,5630	0,02	0,99	0,2064	0,004	0,1470	0,004	2871	19	2878	43	2771	42	2877	4
80	84	50	0,59	15,400	0,521	0,5440	0,02	0,99	0,2059	0,004	0,1531	0,007	2839	26	2798	63	2880	110	2873	6
33	151	39	0,26	16,340	0,356	0,5750	0,01	0,91	0,2057	0,004	0,1556	0,004	2897	8	2928	14	2923	35	2872	5
66	162	357	2,20	16,290	0,347	0,5756	0,01	0,88	0,2057	0,004	0,1441	0,003	2894	7	2930	16	2721	19	2872	6
14	316	63	0,20	16,050	0,339	0,5693	0,01	0,96	0,2052	0,004	0,1488	0,003	2879	7	2905	15	2805	25	2868	3
101	265	164	0,62	14,180	0,392	0,5058	0,01	0,99	0,2049	0,004	0,1065	0,003	2761	18	2638	40	2045	32	2865	4
22	109	106	0,97	16,080	0,407	0,5681	0,01	0,98	0,2047	0,004	0,1450	0,004	2881	15	2899	36	2736	51	2864	6
32	225	194	0,86	15,200	0,413	0,5355	0,01	0,99	0,2045	0,004	0,1329	0,004	2827	17	2764	38	2522	40	2863	3
99	173	127	0,73	15,650	0,383	0,5562	0,01	0,98	0,2042	0,004	0,1523	0,004	2855	14	2851	27	2864	37	2860	5
29	447	117	0,26	15,310	0,395	0,5423	0,01	1,00	0,2036	0,004	0,1369	0,004	2834	15	2793	37	2594	42	2855	3
13	327	138	0,42	14,620	0,366	0,5231	0,01	0,99	0,2031	0,004	0,1417	0,004	2791	14	2712	28	2678	41	2851	2
26	138	135	0,98	16,730	0,424	0,6012	0,01	0,98	0,2029	0,004	0,1622	0,005	2919	15	3035	32	3038	62	2850	6
28	272	261	0,96	14,200	0,359	0,5077	0,01	0,96	0,2018	0,004	0,1364	0,004	2763	14	2646	35	2584	43	2841	6
60	210	70	0,33	13,950	0,410	0,5180	0,02	0,79	0,1962	0,005	0,1278	0,007	2746	20	2691	57	2430	110	2794	27
31	275	197	0,72	12,980	0,375	0,4811	0,01	0,99	0,1932	0,004	0,1461	0,004	2678	20	2532	37	2757	55	2769	5
35	40	25	0,62	12,360	0,389	0,4800	0,01	0,97	0,1854	0,004	0,1444	0,004	2631	23	2527	35	2726	60	2702	9
18	415	204	0,49	9,450	0,442	0,4040	0,01	0,98	0,1691	0,004	0,1089	0,005	2379	38	2188	55	2089	76	2548	22
60	306	207	0,68	7,141	0,163	0,3904	0,01	0,96	0,1330	0,003	0,1101	0,003	2129	10	2125	17	2112	26	2138	7
34	792	520	0,66	7,288	0,155	0,3951	0,01	0,94	0,1327	0,003	0,1071	0,002	2147	6	2146	12	2057	17	2134	3
23	382	196	0,51	7,257	0,171	0,3960	0,01	0,97	0,1320	0,003	0,1039	0,003	2143	11	2151	27	1999	34	2125	5
37	278	163	0,59	6,878	0,147	0,3800	0,01	0,46	0,1310	0,003	0,1051	0,002	2096	7	2076	13	2019	18	2111	8
24	324	137	0,42	5,440	0,228	0,3010	0,01	1,00	0,1305	0,003	0,0964	0,004	1888	32	1696	55	1860	58	2105	4
19	152	86	0,56	6,700	0,173	0,3801	0,01	0,97	0,1292	0,003	0,1020	0,003	2072	14	2076	24	1962	44	2087	7



**Рис. 2.** U-Pb диаграмма с конкордией для кластогенного циркона из метапесчаника глееватской свиты, скв. 22500, проба 87-568

**Fig. 2.** U-Pb diagram with concordia for detrital zircon from meta-sandstones of the Gleevatka Suite, drill hole 22500, sample 87-568



Цирконы следующей возрастной группы (3205-3264 млн лет) имеют овальную форму и преимущественно резкую зональность: на CL изображениях четко проявляются яркое ядро и сравнительно узкая темная внешняя оболочка. В ядре иногда удается проследить неясную либо хорошо выраженную концентрическую зональность. Некоторые из кристаллов, принадлежащих к этой возрастной группе, на CL изображениях выглядят темными с неясной, слабо проявленной зональностью. Содержание урана (41-205 г/т) и тория (21-112 г/т) в цирконах этой группы также сравнительно невелико, но в целом несколько выше, чем в цирконах предыдущей группы. Отношение U/Th варьирует от 0,28 до 0,96.

Цирконы наиболее распространенной возрастной группы (2841-3151 млн лет) весьма разнообразны по своим размерам, внешнему облику и CL характеристикам. Среди них несколько преобладают яркие либо умеренно-яркие на CL изображениях

**Рис. 3.** Кривые распределения возрастов кластогенных цирконов по изотопному отношению  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  для метапесчаников глееватской свиты, скв. 20500, проба 87-568, а также кластогенных цирконов из кварцитов латовского горизонта [Белевцев, 1955]

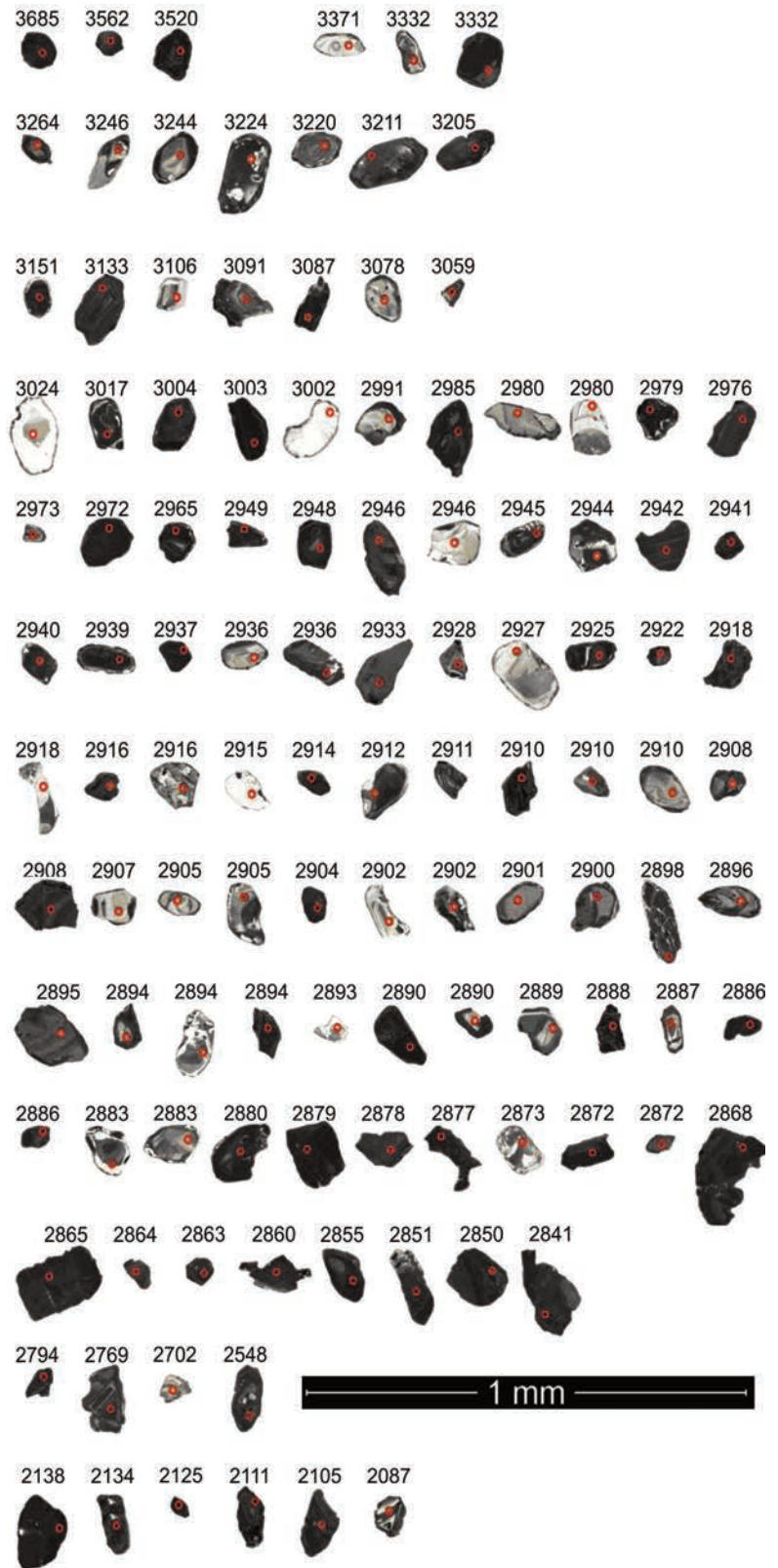
**Fig. 3.** Distribution curves of ages of detrital zircons from meta-sandstones of the Gleevatka Suite according to their  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  isotopic ratio (drill hole 20500, sample 87-568) and from quartzites of the Lativka Member [Белевцев, 1955]

кристаллы с четко проявленной тонкой ритмичной либо широкой полосчатой зональностью. Сравнительно темные на CL изображениях кристаллы также нередко проявляют тонкую ритмичную зональность. Лишь немногие кристаллы имеют пятнистую либо же незакономерную зональность. Отдельные кристаллы выглядят метамиктными, но при этом сохраняют конкордантность возраста. Очевидно, кристаллы этой группы представляют разнообразные магматические комплексы, тогда как зональность, характерная для метаморфогенных цирконов, не установлена. Цирконы этой возрастной группы имеют весьма широкий диапазон вариаций содержания урана (23-997 г/т) и тория (5-465 г/т) при вариациях U/Th от 0,01 до 2,20, еще раз подчеркивая гетерогенность цирконов, входящих в состав этой группы.

Немногочисленные цирконы возрастом 2702-2794 млн лет имеют неправильную, угловатую, совершенно неокатанную форму и сложное внутреннее строение, проявленное в незакономерной зональности на CL изображениях. Содержание урана (40-275 г/т) и тория (25-197 г/т) умеренное, отношение U/Th составляет 0,33-0,72.

Кристалл циркона с возрастом 2548 млн лет слабо окатан, имеет призматически-дипирамидальный габитус, довольно темное на CL изображение и ритмически-концентрическую зональность. Содержания урана (415 г/т) и тория (204 г/т) умеренно-высокие, отношение U/Th = 0,49.

Наконец, небольшая группа палеопротерозойских цирконов представлена изометрическими до короткопризматическими кристаллами, имеющими сравнительно темный вид на CL изображениях и неясную, до концентрической, зональность. Содержания урана (152-792 г/т) и тория (86-520 г/т) сравнительно высокие, отношение U/Th варьирует в узких пределах от 0,42 до 0,68.



**Рис. 4.** Катодолуминесцентные изображения цирконов из метапесчаников глееватской свиты, проба 87-568. Цирконы отсортированы по убыванию  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  возраста

**Fig. 4.** Cathodoluminescence images of zircons from meta-sandstone of the Gleevatka Suite, sample 87-568. Zircons are arranged in descending order of  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ages

По своему внешнему виду, CL характеристикам и содержанию урана, тория и их отношению изученные детритовые кристаллы циркона, скорее всего, первично-магматические. Цирконов явно метаморфогенного генезиса диагностировано не было. Поскольку изученные метапесчаники не испытывали метаморфизма высокой степени, то развитие метаморфогенных цирконов уже в осадочной породе представляется маловероятным. По крайней мере, никаких доказательств этого процесса нами установлено не было.

### **Возможные источники детритового материала и возраст осадконакопления**

Как отмечалось выше, цирконы из метапесчаника глееватской свиты сравнительно слабо окатанные, многие из них сохранили кристаллическую огранку и удлиненно-призматический или даже дипирамидальный габитус. Это дает возможность предположить преимущественно местный источник детритового материала.

По результатам многочисленных геохронологических исследований [Степанюк та ін., 2010, 2013; Щербак и др., 2005; Samsonov et al., 1993, 1996], в пределах Среднеприднепровского мегаблока Украинского щита (УЩ) преобладают породные комплексы с возрастом около 3000–3200 млн лет, относящиеся к конкской и акульской сериям, а также к сурскому и днепропетровскому комплексам. Очевидно, они являлись источником цирконов соответствующего возраста, присутствующих в метатерригенных породах глееватской свиты.

Цирконы значительно древнее 3200 млн лет практически отсутствуют и были встречены лишь в виде единичных кристаллов в метатерригенных породах зеленокаменных поясов мегаблока [Bibikova et al., 2010]. Породы с такими древними цирконами есть в Днестровско-Бугском районе [Claesson et al., 2006, 2015] и в пределах Орехово-Павлоградской зоны [Щербак и др., 2005], но эти структуры находятся за пределами Среднеприднепровского и Ингульского мегаблоков.

Наиболее значимый пик цирконов в метапесчаниках глееватской свиты имеет возраст около 2840–3000 млн лет (рис. 3). Гранитоиды саксаганского, демуринского, токовского и мокромосковского комплексов, широко распространенные в Среднеприднепровском мегаблоке, могли быть источниками циркона такого возраста. Вероятно, в момент образования метатер-

ригенных отложений глееватской свиты породы именно этих магматических комплексов обнажались на земной поверхности и подвергались активной денудации.

Немногочисленные цирконы с возрастом 2700–2800 млн лет не имеют прямых возрастных аналогов среди породных комплексов Среднеприднепровского мегаблока. В целом, породы этого возраста не характерны для УЩ [Щербак и др., 2005], хотя гранулитовый метаморфизм этого возраста предполагался многими исследователями [Claesson et al., 2006]. Единственный циркон с возрастом около 2550 млн лет также не характерен для УЩ [Щербак и др., 2005].

Наконец, небольшая группа палеопротерозойских цирконов примерно соответствует возрасту метаморфизма, связанного с коллизией Сарматского и Волго-Уральского сегментов Восточно-Европейской платформы, а также возрасту палеопротерозойских метаморфических пород и гранитидов, широко распространенных в пределах всей Сарматии [Шумлянський та ін., 2018; Claesson et al., 2006]. Очевидно, что эти гранитоидные массивы и связанные с ними вулканические породы были источником палеопротерозойского детритового материала в составе метапесчаников глееватской свиты. Наличие палеопротерозойского детритового материала в этих породах указывает на то, что их возраст, очевидно, не древнее чем 2090 млн лет. Следует отметить, что большинство палеопротерозойских гранитоидов в пределах УЩ имеет возраст моложе чем 2090 млн лет. Полное отсутствие цирконов моложе 2090 млн лет в песчаниках глееватской свиты, очевидно, указывает на их накопление до формирования этих гранитоидов. Соответственно, возраст свиты может быть определен примерно в 2090 млн лет.

Интересно сопоставить распределение возрастов цирконов из метапесчаников глееватской свиты и цирконов из кварцитов латовского горизонта криворожской серии [Бобров та ін., 2011]. Как видно на рис. 3, большинство цирконов из кварцитов латовского горизонта имеют  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  возраст в диапазоне 3000–3200 млн лет, цирконы древнее 3200 млн лет не были установлены. Относительно небольшая группа цирконов имеет возраст в интервале 2880–3000 млн лет, с четким пиком около 2900 млн лет. Более молодые цирконы совершенно отсутствуют. Таким образом, распределение возрастов цирконов в метапесчаниках глееватской и

латовской свит кардинально различается, что свидетельствует о различии источников детритового материала и о значительной разнице в возрасте осадконакопления этих осадочных пород.

### Выводы

Согласно полученным геохронологическим данным, в области сноса метаосадочных пород глееватской свиты находились породы мезоархейских (3,0-3,1 млрд лет) ТТГ Среднеприднепровского кратона, включавшие, вероятно, останцы гнейсов фундамента (3,2; 3,3-3,4 и 3,5-3,7 млрд лет). В области сноса также могли находиться архейские калиево-натриевые граниты (2,85-2,87 млрд лет). Среди кластогенных цирконов присутствуют и пять зерен детритового циркона с возрастом 2,09-2,14 млрд лет, что указывает на присутствие в области сноса незначительных выходов палеопротерозойских грани-

тов. Таким образом, нижняя возрастная граница метатерригенных пород глееватской свиты составляет около 2,1 млрд лет. Верхняя возрастная граница осадконакопления метатерригенных пород глееватской свиты определяется по датировке прорывающих ее альбититов  $1890 \pm 75$  млн лет. Косвенным указанием на возраст осадконакопления около 2,1 млрд лет является полное отсутствие в составе свиты цирконов моложе 2090 млн лет, хотя породы этого возраста весьма широко распространены в пределах УЩ. Полученные данные дают основание выделить гданцевскую и глееватскую свиты в составе отдельной серии, как это ранее предлагалось Я.Н. Белевцевым [Белевцев, 1955]. На ВКМ стратиграфические аналоги гданцевской и глееватской свит криворожской серии относятся соответственно к роговской и курбакинской свитам оскольской серии, залегающей несогласно на курской серии.

### Список литературы

- Артемченко Г.В.** Геохронологическая корреляция вулканизма и гранитоидного магматизма юго-восточной части Украинского щита и Курской магнитной аномалии. *Геохимия и рудообразование*. 1995. № 21. С. 129-154.
- Белевцев Я.Н.** Стратиграфічні підрозділи, стратиграфічна номенклатура докембрію Кривого Рогу. *Геол. журн.* 1955. Т. 15, № 4 (49). С. 30-40.
- 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.
- Белевцев Р.Я., Беляев О.Я., Ветренников В.В., Володичев О.И., Голованова Л.С., Дудко В.С., Клейн В.М., Кортникова Л.П., Кравченко Г.Л., Курлов Н.С., Лебедев И.П., Луговая И.П., Найденов И.В., Пап А.М., Петерсель В.Х., Решетняк В.В., Скорбун Г.В., Спивак С.Д., Степченко С.Б., Чубаров В.М., Шаркин О.П., Яковлев Б.Г.** Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Метаморфизм. Киев. Наук. думка, 1989. 148 с.
- Єсипчук К. Ю., Бобров О.Б., Степанюк Л.М., Щербак М.П., Глеваський Є.Б., Скобелев В.М., Дранник А.С., Гейченко М.В.** Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита. Київ: УкрДГРІ, 2004. 30 с.
- Кулиш Е.А., Покалюк В.В., Курлов Н.С., Мечников Ю.П.** Глееватские метаконгломераты Кривбасса – континентальные молассы или мелководно-бассейновые отложения? *Геохимия та екологія*: Зб. наук. пр. Ін-ту геохімії навколиш. середовища. Київ, 2010. Вип. 18. С. 7–26.
- Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р.** Пески и песчаники. Москва: Мир, 1976. 536 с.
- Савко К. А., Базиков Н. С., Козлова Е. Н., Самсонов А. В.** Палеопротерозойские гранитоиды Тим-Ястребовской структуры Воронежского кристаллического массива. *Вестн. ВГУ. Сер. Геология*. 2014. № 2. С. 56-78.
- Савко К.А., Холина Н.В., Холин В.М., Ларионов А.М.** Возраст неоархейских ультракалийевых риолитов – важный геохронологический репер эволюции раннедокембрийской коры Воронежского кристаллического массива. *Материалы VI Рос. конф. по изотопной геохронологии*. СПб.: Springer, 2015. С. 247–249.
- Савко К.А., Цыбуляев С.В.** Палеопротерозойские постколлизийные вулканиты бимодальной серии курбакинской свиты Воронежского кристаллического массива. Граниты и эволюция Земли: мантия и кора в гранитообразовании. *Материалы III Междунар. геол. конф.*, 28–31 августа 2017 г., Екатеринбург, Россия. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. 384 с.
- Степанюк Л.М., Бобров О.Б., Курило С.І., Паранько І.С., Сергеев С.А.** Час формування гранітоїдів саксаганського комплексу. *Мінер. ресурси України*. 2010. № 1. С. 21-26.
- Степанюк Л.М., Курило С.І., Бобров О.Б., Пономаренко О.М., Сергеев С.А.** Уран-свинцева радіогеохронологія за цирконом гранітоїдів Кудашівського масиву (Середньопридніпровський мегаблок Українського щита). *Мінерал. журн.* 2013. № 1. С. 78-87.

**Степанюк Л.М., Паранько І.С., Пономаренко О.М., Довбуш Т.І., Висоцький О.Б.** Уран-свинцевий вік кластогенного монациту із метапісковика скелюватської світи Криворізької структури. *Мінерал. журн.* 2011. Т. 33, № 4. С. 80-90.

**Сулова С.Н., Чухонин А.П., Прулицкий Р.Е.** Результаты геохронологического и изотопного исследования пород по КСГС. Отчет "Провести комплексное геологическое исследование по разрезам СГС Кольской, Криворожской, Саатлинской, Уральской, Мурунтауской". Отв. исп. Э.Б. Наливкина. Кн. 3, гл. 7. Криворожская СГС. Ленинград: Мин. геологии СССР; ВСЕГЕИ, 1988.

**Шумлянський Л.В., Степанюк Л.М., Claesson S., Руденко К.В., Беккер А.Ю.** Уран-свинцева за цирконом та монацитом геохронологія гранітоїдів житомирського та шереметівського комплексів, Північно-Західний район Українського щита. *Мінерал. журн.* 2018. Т. 40, № 2. С. 12-20

**Щербак Н.П., Артемченко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н.** Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Архей. Киев: Наук. думка, 2005. 242 с.

**Щербак Н.П., Половко Н.И., Левковская Н.Ю.** Изотопный возраст акцессорных минералов нижней свиты криворожской серии. *Геол. журн.* 1969. Т. 29, № 3 (126). С. 21–29.

**Bibikova E.V., Claesson S., Fedotova A.A., Artemenko G.V., P'inskii L.** Terrigenous zircon of Archean greenstone Belts as a Source of Information on the Early Earth's Crust: Azov and Dnieper Domains, Ukrainian Shield. *Geochemistry International*. 2010. Vol. 48, No. 9. P. 845-861.

## References

**Artemenko G.V.**, 1995. Geochronological correlation of volcanism and granitoid magmatism in the southeastern part of the Ukrainian Shield and the Kursk magnetic anomaly. *Geokhimiia i rudoobrazovanie*, No 21, p. 129-154 (in Russian).

**Bel'evtsev Ya.N.**, 1955. Stratigraphic subdivisions, stratigraphic nomenclature of Precambrian of Kryvyi Rig. *Geologichnyy zhurnal*, vol. 15, No 4 (49), p. 30-40 (in Ukrainian).

**Bobrov O.B., Stepaniuk L.M., Paranko I.S., Ponomarenko O.M., Shumlyanskyi L.V., Dhuime B.**, 2011. Genesis and age of zircon from the «Lativka» horizon of the Kryvyi Rig Series of the Ukrainian shield. *Mineralogichnyy zhurnal*, vol. 33, No 1, p. 30-40 (in Ukrainian).

**Belevtsev R.Ya., Belyaev O.Ya., Vetretnikov V.V., Volodichev O.I., Golovanova L.S., Dudko V.S., Klein V.M., Kortnikova L.P., Kravchenko G.L., Kurlov N.S., Lebedev I.P., Lugovaya I.P., Naidenov I.V., Pap A.M.,**

**Claesson S., Bibikova E., Bogdanova S., Skobelev V.** Archaean terranes, Palaeoproterozoic reworking, and accretion in the Ukrainian Shield, East European Craton. In: Gee, D. G. & Stephenson, R. A. (eds) *European Lithosphere Dynamics*. Geological Society. London, Memoirs, 2006. Vol. 32. P. 645–654.

**Claesson, S., Bibikova, E., Shumlyanskyi, L.V., Dhuime, B., Hawkesworth, C.J.** 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, M., Shirey, S., Clift, P.D. (Eds.) *Continental Formation Through Time*. Geological Society. London, Special Publications, 2015. P. 227–259.

**Dennen W.N., Moore B.R.** Chemical definition of nature detrital sedimentary rocks. *Nat. Phys. Sci.* 1971. Vol. 234. P. 127-128.

**Samsonov, A.V., Chernyshev, I.V., Nutman, A.P., Compston, W.** Evolution of the Archaean Aulian Gneiss Complex, Middle Dnieper gneiss-greenstone terrain, Ukrainian Shield: SHRIMP U-Pb zircon evidence. *Precambrian Research*. 1996. Vol. 78. P. 65-78.

**Samsonov, A.V., Zhuravlev, D.Z., Bibikova, E.V.** Geochronology and petrogenesis of the Archaean silicic volcanoplutonic series of the Verkhovtsevo greenstone structure, Ukraine. *International Geological Review*. 1993. Vol. 35. P. 1166-1181.

**Wiedenbeck M., Alle P., Corfu F., Griffin W.L., Meier M., Oberli F., Von Quadt A., Roddick J.C., Spiegel W.**, Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analysis. *Geostand. Newslett.* 1995. Vol. 19. P. 1-23.

**Petersel V.Kh., Reshetnyak V.V., Skorbut G.V., Spivak S.D., Stepchenko S.B., Chubarov V.M., Sharkin O.P., Yakovlev B.G.**, 1989. The iron-siliceous formations of the Precambrian of the European part of the USSR. Metamorphism. Kiev: Naukova Dumka, 148 p. (in Russian).

**Yesipchuk K.Yu., Bobrov O.B., Stepanyuk L.M., Shcherbak M.P., Glevasskiy E.B., Skobelev V.M., Drannik A.S., Geychenko M.V.**, 2004. Correlation chronostratigraphic chart of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield. Kyiv: UkrDGRI, 30 p. (in Ukrainian).

**Kulish E.A., Pokaluk V.V., Kurlov N.S., Mechnikov Yu.P.**, 2010. Hleyvatka metaconglomerates of the Kryvbas - continental molasses or shallow-water basin deposits? *Geokhimiia ta ekologiia*: Proceedings of the Institute of Geochemistry of the Environment. Kyiv, vol. 18, p. 7-26 (in Russian).

**Pettigton F., Potter P., Seaver R.**, 1976. Sands and sandstones. Moscow: Mir, 536 p. (in Russian).

- Savko K.A., Bazikov N.S., Kozlova E.N., Samsonov A.V.**, 2014. Paleoproterozoic granitoids of the Tim-Yastrebov structure of the Voronezh crystalline massif. *Vestnik Voronezhskogo Universiteta. Seriya: Geologiya*, No 2, p. 56-78 (in Russian).
- Savko K.A., Kholina N.V., Kholin V.M., Larionov A.M.**, 2015. The age of the Neo-Archaean ultrapotassium rhyolites is an important geochronological reference point for the evolution of the Early Precambrian crust of the Voronezh crystalline massif. *Materials VI Russ. Conf. by isotope geochronology*. SPb.: Springer, p. 247-249 (in Russian).
- Savko K.A., Tsybulyaev S.V.**, 2017. Paleoproterozoic post-collisional volcanics of the bimodal series of the Kurbakin suite of the Voronezh crystalline massif. Granites and evolution of the Earth: mantle and crust in granite formation. *Materials of the III International Geological Conference*, August 28-31, 2017, Yekaterinburg, Russia. Ekaterinburg: IGG UrB RAS. 384 p. (in Russian).
- Stepanyuk L.M., Bobrov O. B., Kurilo S.I., Paranko I.S., Sergeyev S.A.**, 2010. The time of formation of granitoids of the Saksagan Complex. *Mineralni resursy Ukrainy*, № 1, p. 21-26 (in Ukrainian).
- Stepanyuk L.M., Kurilo S.I., Bobrov O.B., Ponomarenko O.M., Sergeyev S.A.**, 2013. Uranium-lead zircon radiogeochronology of granitoids of the Kudashivka massif (Middle Dnieper Megablock of the Ukrainian Shield). *Mineralogichnyy zhurnal*, No 1, p. 78-87 (in Ukrainian).
- Stepanyuk L.M., Paran'ko I.S., Ponomarenko O.M., Dovbush T.I., Vysotskiy O.B.**, 2011. The Uranium-lead age of clustogenic monazite from metasandstone of the Skelyuvatka Suite of the Kryvyi Rih structure. *Mineralogichnyy zhurnal*, vol. 33, No 4, p. 80-90 (in Ukrainian).
- Suslova S.N., Chukhonin A.P., Prulutsky R.E.**, 1988. Results of geochronological and isotopic studies of rocks on the Superdeep hole. Report «Carry out a comprehensive geological survey on the sections of the SBh Kola, Krivoy Rog, Saatlin, Ural, Muruntauskaya». Responsible executor Nalivkina E.B. Book III, chapter 7. Krivoy Rog SDh. Leningrad: Min. geology of the USSR.; VSEGEI (in Russian).
- Shumlyansky L.V., Stepanyuk L.M., Claesson S., Rudenko K.V., Bekker A.Yu.**, 2018. Uranium-lead zircon and monazite geochronology of granitoids of the Zhytomyr and Sheremetiv complexes, North-Western region of the Ukrainian Shield. *Mineralogichnyy zhurnal*, vol. 40, No. 2, p. 12-20 (in Ukrainian).
- Shcherbak N.P., Artemenko G.V., Lesnaya I.M., Ponomarenko A.N.**, 2005. Geochronology of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield. *Archean*. Kyiv: Naukova Dumka, 242 p. (in Russian).
- Shcherbak N.P., Polovko N.I., Levkovskaya N.Yu.**, 1969. Isotopic age of accessory minerals of the lower suite of the Kryvyi Rig Series. *Geologichnyy zhurnal*, vol. 29, No 3 (126), p. 21-29 (in Russian).
- Bibikova E.V., Claesson S., Fedotova A.A., Artemenko G.V., Il'inskiy L.**, 2010. Terrigenous Zircon of Archean greenstonesbelts as a source of information on the early Earth's Crust: Azov and Dnieper Domains, Ukrainian Shield. *Geochemistry International*, vol. 48, No 9, p. 845-861 (in English).
- Claesson, S., Bibikova, E., Bogdanova, S., Skobelev, V.**, 2006. Archaean terranes, Palaeoproterozoic reworking, and accretion in the Ukrainian Shield, East European Craton. In: Gee, D. G. & Stephenson, R. A. (eds) *European Lithosphere Dynamics*. Geological Society. London, Memoirs, vol. 32, p. 645-654 (in English).
- Claesson, S., Bibikova, E., Shumlyansky, L.V., Dhuime, B., Hawkesworth, C.J.**, 2015. The oldest crust in the Ukrainian Shield – Eoarchaeon U-Pb ages and Hf-Nd constraints from enderbites and metasediments. In: Roberts, N.M.W., Van Kranendonk M., Parman M., Shirey S., Clift P.D. (Eds.) *Continental Formation-Through Time*. Geological Society. London, Special Publications, p. 227-259 (in English).
- Dennen W.N., Moore B.R.**, 1971. Chemical definition of nature detrital sedimentary rocks. *Nat. Phys. Sci.*, vol. 234. p. 127-128 (in English).
- Samsonov, A.V., Chernyshev, I.V., Nutman, A.P., Compston, W.**, 1996. Evolution of the Archaean Aulian Gneiss Complex, Middle Dnieper gneiss-greenstone terrain, Ukrainian Shield: SHRIMP U-Pb zircon evidence. *Precambrian Research.*, vol. 78, p. 65-78 (in English).
- Samsonov, A.V., Zhuravlev, D.Z., Bibikova, E.V.**, 1993. Geochronology and petrogenesis of the Archaean silicic volcanoplutonic series of the Verkhovtsevo greenstone structure, Ukraine. *International Geological Review.*, vol. 35, p. 1166-1181 (in English).
- Wiedenbeck, M., Alle, P., Corfu, F., Griffin, W.L., Meier, M., Oberli, F., Von Quadt, A., Roddick, J.C., Spiegel, W.**, 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analysis. *Geostand. Newslett.*, vol. 19, p. 1-23 (in English).

Статья поступила  
15.05.2018