

УДК 551.8:902.66

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ U–Pb ДАТИРОВАНИЯ ЗЕРЕН ДЕТРИТОВОГО ЦИРКОНА ИЗ ОЛИГОЦЕНА ЮГО-ВОСТОКА ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПАЛЕОГЕОГРАФИИ

© 2020 г. Г. Н. Александрова^{1,*}, К. Г. Ерофеева², Н. Б. Кузнецов^{1,**}, Т. В. Романюк³, В. С. Шешуков¹, А. С. Дубенский¹, С. М. Ляпунов¹, А. И. Яковлева¹, В. Н. Паньков⁴

Представлено академиком К.Е. Дегтяревым 22.06.2020 г.

Поступило 22.06.2020 г.

После доработки 02.07.2020 г.

Принято к публикации 06.07.2020 г.

Представлены первые результаты U–Pb изотопного (LA–ICP–MS) датирования зерен детритового циркона (dZr) из полтавских слоев верхнего олигоцена юго-восточного склона Воронежской антеклизы, уточняющие области сноса осадков. Установлено, что набор возрастов dZr (провенанс-сигнал) характеризуется преобладанием датировок в диапазоне 1–2 млрд лет при второстепенных количествах фанерозойских, позднепротерозойских (моложе 1 млрд лет) и архейских. Показано, что совокупные возрасты комплексов Свекофеннского и Свеконорвежского орогенов и, в меньшей степени, кадомиды Центральной Европы, полностью обеспечивают зафиксированный в полтавских слоях провенанс-сигнал. Полученные данные уточняют палеогеографические реконструкции позднего олигоцена для северной периферии Паратетиса. Установлено, что формирование полтавских слоев происходило за счет морских коммуникаций, направленных из Северного моря в Скифское, осуществлявших транспортировку осадочного материала из интенсивно эродлируемых структур запада Фенноскандии.

Ключевые слова: Воронежская антеклиза, олигоцен, полтавские слои, U–Pb датирование, зерна детритового циркона, источники сноса, палеогеография, Днепровско-Донецкий бассейн

DOI: 10.31857/S2686739720090042

Кайнозойская эра отвечает принципиально новому этапу формирования чехла Восточно-Европейской платформы (ВЕП), когда после длительного периода накопления верхнемеловых карбонатных формаций начали формироваться терригенные, что может быть связано с появлением рельефа в областях эрозии, сопряженных с осадочным бассейном. В позднем олигоцене-раннем миоцене южная часть ВЕП являлась обширной областью развития мощных толщ песков, относимых к полтавским слоям (серии), ме-

стоположение областей сноса и характер источников осадочного материала которых до настоящего времени являются предметом дискуссии. Преобладает точка зрения о накоплении полтавских песков за счет эрозии раннедокембрийских комплексов фундамента платформы, слагающих Воронежский кристаллический массив, раннедокембрийских и палеозойских образований Орловско-Тамбовского сводового поднятия, а также палеозойских осадочных толщ Донбасса или кор выветривания по ним [2]. В то же время имеются данные (например, [11]), что осадочный материал поступал из промежуточных коллекторов, распространенных в центральных частях Русской плиты, в результате его миграции с севера на юг. С целью получения информации о возрасте кристаллических комплексов, являвшихся источниками осадочного материала, авторами выполнено изотопное U–Pb датирование зерен dZr из кварцевых песков полтавских слоев верхнего олигоцена юго-восточного склона Воронежской антеклизы.

Палеогеновые отложения изучены в скважине № 1238, пробуренной в окрестностях станицы

¹ Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

² Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Москва, Россия

³ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, Москва, Россия

⁴ Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, Москва, Россия

*E-mail: secretary_gin@ginras.ru

**E-mail: kouznicbor@mail.ru

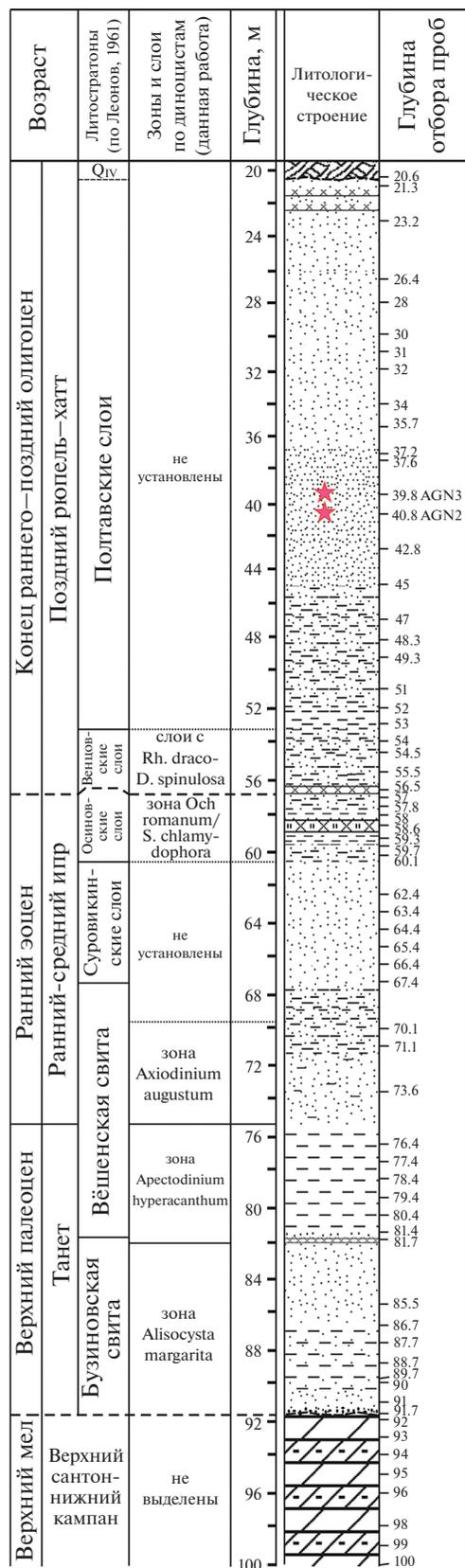


Рис. 1. Литолого-стратиграфическая колонка скважины № 1238 и уровень отбора проб (красные звезды) AGN2 и AGN3, для которых выполнено U–Pb изотопное датирование зерен dZr.

Базковская (Ростовская область) (54°89'10" с.ш. 77°27'47" в.д.). По данным палинологического анализа палеоген вскрыт в скважине в интервале глубин 20–91.7 м, и с перерывом залегает на мергелях верхнего сантона–нижнего кампана (рис. 1) [1]. В палеогеновых отложениях выявлены два седиментационных цикла. Нижний цикл установлен в интервале глубин 91.7–56.8 м, и соответствует бузиновской, вешенской свитам, суровикинским и осиновским слоям, представленных песками, глинами, алевролитами и охарактеризованных зональными комплексами диноцист позднего палеоцена–средней части раннего эоцена. Верхний – залегает с перерывом, и вскрыт в интервале 56.8–20.6 м. Ему отвечают венцовские и полтавские слои, представленные пестроцветной толщей мелкозернистых песков с подчиненными прослоями глин, приуроченных к нижней части цикла. Венцовские слои охарактеризованы диноцистами слоев с *Rhombodinium draco* – *Deflandrea spinulosa* верхнего рюпеля–нижнего хатта, на которых согласно залегают палеонтологически немые полтавские слои, несогласно перекрытые четвертичными суглинками. Из толщи, отнесенной к полтавским слоям, для изучения dZr были отобраны пробы AGN3 и AGN2 с глубин 39.8 и 40.8 м соответственно (рис. 1).

Для минералогического изучения из проб по стандартной методике были выделены тяжелая фракция и концентрат dZr, в которых размер отдельных зерен не превышал 0.16 мм. Морфологическая типизация и анализ микроанатомического строения проводились в приполюрованных оксидных шашках. Изотопное U–Pb датирование зерен dZr (LA–ICP–MS) выполнено в Лаборатории химико-аналитических исследований ГИН РАН. Примененные этапы пробоподготовки, описание аппаратуры, а также технологии измерений, методические приемы и константы, используемые для обработки первичных аналитических данных, приведены в работах [5, 8]. Обработка аналитических результатов выполнена в программах “GLITTER” [12] и Isoplot/Ex. Для количественного сопоставления полученных наборов возрастов dZr из проб применен тест Колмогорова–Смирнова (KS-тест) с использованием программы [13].

В результате минералогических исследований (изучалась размерная фракция –0.16...+0.1 мм) установлено, что фракция тяжелых минералов проб AGN2 и AGN3 имеет близкий минералогический состав (ильменит, лейкоксен, рутил, циркон, гранат, турмалин, силлиманит, дистен). Зерна dZr о представлены преимущественно (71–73%) обломками угловато-округлой формы, светло-желтого, бледно-розового и водяно-прозрачного цвета. Количество обломков dZr, непригодных для морфологической типизации, составляет 55–60%. Микроанатомический рисунок отдель-

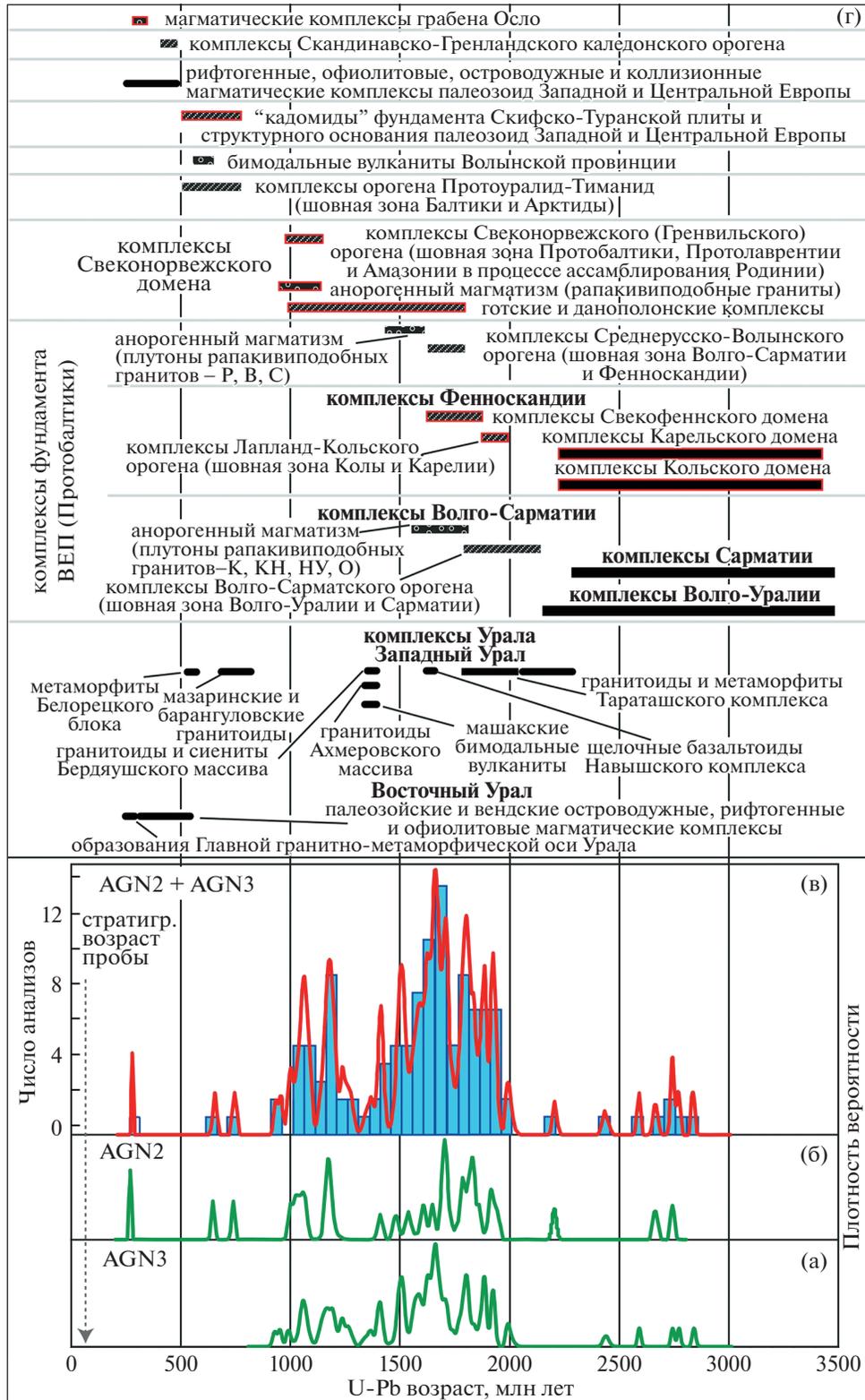


Рис. 2. Гистограммы и КПВ значений U–Pb возрастов dZr из проб AGN3 (а) и AGN2 (б) и суммарного набора возрастов по этим пробам (в). В верхней части рисунка (г) показана сводка известных диапазонов возраста архейско-раннепротерозойских кристаллических комплексов фундамента ВЕП и отдельных ее доменов, а также структур, осложняющих внутреннее строение ВЕП, и структур ее обрамления (построена с учетом данных, собранных в ([4, 5, 8–10, 14] с дополнениями). Красной обводкой отмечены комплексы Sveco-Fennian и Sveco-Norwegian доменов, а также структурного основания палеозойид Центральной Европы, полностью обеспечивающие зафиксированный в полтавских слоях набор возрастов dZr.



Рис. 3. Палеогеографическая схема бассейнов Западной Евразии в хатте (по [7] с изменениями). 1 – суша; 2 – море; 3 – суша, временно заливаемая морем; 4 – направление поверхностных течений водных масс в палеобассейнах; 5 – возвышенность Фенноскандии, в пределах которой широко распространены позднедокембрийские комплексы возрастом от 0.9 до 2 млрд лет (Свеко-норвежская и Свеко-феннская области); 6 – предполагаемое направление перемещения продуктов эрозии комплексов, экспонированных в пределах возвышенности Фенноскандии; 7 – предполагаемое направление вдольберегового разноса обломочного материала; 8 – местоположение скважины № 1238. ПД – Польско-Датский пролив; ВВ – Волынская возвышенность; УП – Украинский перешеек; ДБ – Донбасс.

ных зерен сохраняет первичные черты ростовой зональности, однако преобладающая часть зерен (до 95% от их общего числа) имеет следы наложенных метаморфических преобразований (нечеткие границы между зонами, пятна, регенерационные каймы).

В пробах AGN3 и AGN2 изучение U–Pb изотопной системы выполнено для 100 и 42 зерен dZr, соответственно. Среди них 14 анализов имеют дискордантность более 2%. Остальные характеризуются низкой дискордантностью ($-2\% < D < 2\%$), что свидетельствует о хорошей сохранности U–Pb изотопной системы в изученных зернах dZr. Такие особенности можно объяснить многократным переотложением осадочного материала, в результате которого были полностью разрушены зерна с механическими и иными дефектами, способствовавшими частичной потере радиогенного свинца. Поэтому все оценки возраста с приемлемым уровнем дискордантности были использова-

ны для построения гистограмм и кривых плотности вероятности (КПВ). Возрастной диапазон зерен dZr из пробы AGN2 составляет $265 \pm 8 \div 2738 \pm 18$ млн лет, а из пробы AGN3 – $921 \pm 20 \div 2832 \pm 16$ млн лет (рис. 2 а, б). В обеих пробах преобладают зерна протерозойского возраста (в диапазоне 1–2 млрд лет), менее распространены зерна фанерозойского, позднепротерозойского (моложе 1 млрд лет) и архейского возрастов.

При сопоставлении наборов значений U–Pb оценок возраста зерен dZr из проб AGN3 и AGN2 с применением KS-теста получено значение коэффициента p , равное 0.62. Это позволяет считать, что: (1) возрастные наборы зерен dZr из проб AGN3 и AGN2 с 95%-ной вероятностью сходны; (2) между источниками сноса из двух уровней разреза полтавских слоев нет значимых различий; (3) возрастные наборы зерен dZr из проб AGN3 и AGN2 можно объединить и рассматривать полу-

ченный набор как единый провенанс-сигнал полтавских слоев (рис. 2в).

Проведено сравнение провенанс-сигнала dZr из полтавских слоев с диапазонами возрастов раннедокембрийских комплексов фундамента ВЕП и более молодых образований, участвующих в строении позднедокембрийских и палеозойских складчатых поясов ее обрамления: гренилид Свеконорвежского орогена, тиманид Тимано-Печорского региона и западного Урала, кадомид фундамента Скифско-Туранской плиты, каледонид Скандинавско-Гренландского орогена, герцинид Европы и Урала, а также позднедокембрийских и палеозойских магматических образований платформы.

Анализ возрастных диапазонов комплексов всех элементов фундамента (Сарматия, Волго-Урاليا и Фенноскандия) платформы, а также восточного (Урал) и северо-восточного (Тимано-Печорский регион) ее обрамления показывает, что они не соответствуют возрастному диапазону dZr из полтавских слоев (рис. 2г). Наибольшая степень сходимости полтавского провенанс-сигнала по доминированию протерозойских возрастов в диапазоне 1–2 млрд лет установлена с комплексами Свеконорвежского орогена [14], кадомид Западной и Центральной Европы и фундамента Скифско-Туранской плиты ([5] и ссылки в ней).

Согласно существующим палеогеографическим и палеотектоническим реконструкциям, полтавские слои формировались в северной краевой зоне Паратетиса, а осадочный бассейн, в котором они накапливались, приурочен к Днепровско-Донецкому бассейну, являвшимся связующим звеном морских коммуникаций Северного и Скифского морей (рис. 3) [7]. Полученные авторами данные изотопного U–Pb датирования зерен dZr свидетельствуют о том, что в позднем олигоцене один из основных седиментационных потоков в пределах ВЕП был направлен из Свеконорвежской области и/или обусловлен рециклингом через промежуточные коллекторы из центра Русской плиты [3, 6, 11]. При этом из числа возможных промежуточных коллекторов исключаются пермо-триасовые и более молодые толщи, так как они содержат уральский провенанс-сигнал, а девонские толщи несут каледонский сигнал (рис. 2г). Это согласуется как с палеогеографией региона [7], так и с данными по тектонике Фенноскандии, которая в олигоцене испытывала воздымание [13] и сильную денудацию в условиях гумидизации климата.

Таким образом, выяснено, что формирование полтавских слоев в Днепровско-Донецком бассейне происходило за счет эрозии комплексов запада Фенноскандии, а транспортировку обломочного материала осуществляли течения, направленные из Северного моря в Скифское.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены при поддержке грантов РФФИ № 18–05–00505 (полевые и аналитические работы) и № 19–05–00284 (сбор геохронологических данных).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александрова Г.Н., Яковлева А.И., Орешкина Т.В.* Микропалеонтологическая характеристика нижнего эоцена бассейна среднего Дона (юго-восточное крыло Воронежской антеклизы) // Палеострат-2019 (ред. Алексеев А.С., Назарова В.М.). М.: ПИН РАН, 2019. С. 5–6.
2. Атлас литолого-палеогеографических карт Русской платформы и ее геосинклиального обрамления. Часть 2. Мезозой и кайнозой. Масштаб 1:5000000. Гл. ред. А.П. Виноградов. М.–Л.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1961. 104 с.
3. *Горецкий Г.И.* Палеопотамологические эскизы Палео-Дона и Пра-Дона. Минск: Наука и техника, 1982. 248 с.
4. *Кузнецов Н.Б., Орлов С.Ю., Миллер Е.Л. и др.* Первые результаты U/Pb датирования детритных цирконов из раннепалеозойских и девонских песчаников Южного Приладожья // ДАН. 2011. Т. 438. № 6. С. 787–793.
5. *Никишин А.М., Романюк Т.В., Московский Д.В. и др.* Верхнетриасовые толщи Горного Крыма: первые результаты U–Pb датирования детритовых цирконов // Вестник МГУ. Серия 4: Геология. 2020. № 2. С. 18–33.
6. *Патык-Кара Н.Г., Гореликова Н.В., Бардеева Е.Г.* К истории формирования титано-циркониевых песков месторождения Центральное в Европейской части России // Литология и полезные ископаемые. 2004. № 6. С. 585–601.
7. *Попов С.В., Ахметьев М.А., Лопатин А.В. и др.* Палеогеография и биогеография бассейнов Паратетиса. Часть I. Поздний эоцен-ранний миоцен. М.: Научный мир. 2009. 194 с.
8. *Романюк Т.В., Кузнецов Н.Б., Белоусова Е.А. и др.* Палеотектонические и палеогеографические обстановки накопления нижнерифейской айской свиты Башкирского поднятия (Южный Урал) на основе изучения детритовых цирконов методом “TerraneChrono®” // Геодинамика и тектонофизика. 2018. № 1. С. 1–37.
9. *Романюк Т.В., Кузнецов Н.Б., Маслов А.В. и др.* Геохимическая и Lu/Hf-изотопная (LA-ICP-MS) систематика детритных цирконов из песчаников базальных уровней стратотипа рифея // ДАН. 2014. Т. 459. № 3. С. 340–344.
10. *Рудько С.В., Кузнецов Н.Б., Белоусова Е.А., Романюк Т.В.* Возраст, Hf-изотопная систематика детритовых цирконов и источник сноса конгломератов г. Южная Демерджи, Горный Крым // Геотектоника. 2019. № 5. С. 36–61.
11. *Скляренко Г.Ю.* Титан-циркониевые россыпи в отложениях полтавской серии миоцена юго-восточной части Воронежской антеклизы // Автореф.

- дисс. ... канд. геол.-мин. н. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2010.
12. *Griffin W.L., Powell W.J., Pearson N.J., O'Reilly S.Y.* GLITTER: Data Reduction Software for Laser Ablation ICP-MS // *Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current Practices and Outstanding Issues* (ed. P.J. Sylvester). Mineralogical Association of Canada short course series 40. 2008. P. 308–311.
13. *Guynn J., Gehrels G.* Comparison of Detrital Zircon Age Distribution Using the K-S Test Visualization and Representation of Age-distribution Data Histograms. 2010. <http://sites.google.com/a/laserchron.org/laserchron/home>.
14. *Bingen B., Belousova E.A., Griffin W.L.* Neoproterozoic Recycling of the Sveconorwegian Orogenic Belt: Detrital-zircon Data from the Sparagmite Basins in the Scandinavian Caledonides // *Precambrian Research*. 2011. V. 189. P. 347–367.
15. *Eidvin T., Riis F., Rasmussen E.S.* Oligocene to Lower Pliocene Deposits of the Norwegian Continental Shelf, Norwegian Sea, Svalbard, Denmark and their Relation to the Uplift of Fennoscandia: A Synthesis // *Marine and Petroleum Geology*. 2014. V. 56. P. 184–221.

THE FIRST RESULTS OF U-Pb DATING OF DETRITAL ZIRCONS FROM THE OLIGOCENE OF THE SOUTH-EAST OF THE VORONEZH ANTECLISE AND THEIR CONSTRAINTS FOR PALAEOGEOGRAPHY

G. N. Aleksandrova^{a, #}, K. G. Erofeeva^b, N. B. Kuznetsov^{a, ##}, T. V. Romanyuk^c, V. S. Sheshukov^a, A. S. Dubensky^a, S. M. Lyapunov^a, A. I. Iakovleva^a, and V. N. Pan'kov^d

^a *Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

^b *Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

^c *Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

^d *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russian Federation*

[#] *E-mail: secretary_gin@ginras.ru*

^{##} *E-mail: kouznikbor@mail.ru*

Presented by Academician of the RAS K.E. Degtyarev June 22, 2020

The first results of U-Pb isotope (LA-ICP-MS) dating of detrital zircons (dZr) from the Upper Oligocene sands of Poltava Formation from the south-eastern slope of the Voronezh antecline are presented, providing information on the provenance. It was found that the set of ages dZr (provenance signal) is characterized by a predominance of ages within the range of 1–2 Ga with minor amounts of Phanerozoic, Late Proterozoic (younger than 1 Ga) and Archean datings. It is revealed that the combined ages of the complexes of the Svecofennian and Sveconorwegian orogens and, to a lesser degree, the Cadomides of the Central Europe provide entirely the provenance signal been fixed into the sands of Poltava Formation. The obtained data refine the palaeogeography of the northern periphery of the Paratethys during the Late Oligocene. It is shown that the forming of the Poltava Formation was due to sea communications directed from the North Sea to the Scythian Sea, been transporting sediment from intensively eroded structures of the western Fennoscandia.

Keywords: Voronezh antecline, Oligocene, Poltava Formation, U-Pb dating, detrital zircons, provenance sources, palaeogeography, Dnieper-Donetsk basin