

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.72+552.311 (470.324)

К.А. САВКО, Р.А. ТЕРЕНТЬЕВ, А.Н. ЛАРИОНОВ

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ВОЗРАСТ
МЕЗОКРАТОВЫХ ПОРОД ОЛЬХОВСКОГО ИНТРУЗИВА
ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

Дана характеристика вещественного состава и U-Pb возраста мезократовых пород Ольховского интрузива, расположенного в полосе сочленения Сарматского и Волго-Уральского сегментов Восточно-Европейского кратона среди палеопротерозойских метатерригенных пород воронежской свиты. Выявлено, что породы внешнего магматического кольца Ольховского массива относятся к известково-щелочной кварцдиорит-кварцмонцодиорит-гранодиоритовой серии. На основании изотопно-геохимических исследований по цирконам оценено время кристаллизации — $2065 \pm 9,9$ млн. лет кварцевых диоритов внешнего магматического кольца, согласующиеся с временем кульминации гранитоидного магматизма в Воронцовском террейне Воронежского кристаллического массива.

Ключевые слова: Воронежский кристаллический массив; палеопротерозой; позднеорогенные диориты; изотопный возраст.

Ольховский интрузив расположен в Центрально-Европейской части России на площади Воронежского кристаллического массива. Считается, что он прорывает терригенные отложения воронежской свиты [2], которая со стратиграфическим несогласием залегает на палеопротерозойских образованиях Лосевского и Воронцовского террейнов Восточно-Сарматского орогена [6] в полосе сочленения Сарматского и Волго-Уральского сегментов Восточно-Европейского кратона [9]. Воронежская свита состоит из сланцев, метаалевролитов, метасаммитов, базальных и внутриформационных метаконгломератов, заполняющих так называемую Ольховско-Шукавскую грабен-синклиналь.

Ольховский массив имеет овальную форму диаметром около 20 км по длинной оси (рис. 1). Мезократовые породы внешней части интрузива, отнесённые к габбронорит-кварцмонцодиоритовой серии ранней фазы внедрения [2, 3], слагают прерывистое кольцо, в центре которого расположено тело лейкогранодиоритов. На основании изотопных соотношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,71676 \pm 7$ предположено коровое происхождение лейкогранодиоритов [8].

Ранее вещественный состав и геохронология комплекса исследовались в связи с возможной никеленосностью [2, 3, 7, 8]. Его геохронологическая характеристика важна для расшифровки эволюции магматизма на восточной части Воронежского кристаллического массива, а также для определения верхней возрастной границы накопления терригенной части воронежской свиты. Ретроспективные U-Pb изотопные определения возраста пород Ольховского массива осуществлены методом TIMS (Thermal Ionisation Mass Spectrometry). Оценки изотопного возраста составили 2050 ± 23 [7] и 2041 ± 49 [8] млн. лет для кварцевых монцогабброноритов (сохранена авторская номенкла-

тура породы) внешнего кольца и лейкогранодиоритов внутреннего тела соответственно. Большие погрешности верхних пересечений дискордии с конкордией не позволяют однозначно определить временной интервал магматической активности, соответствующий внедрению пород ольховского комплекса. В связи с неопределённостью ретроспективных изотопных дат, для решения вопроса о возрасте и уточнения вещественного состава Ольховского массива была проведена ревизия опубликованных ранее минералого-петрографических и петрохимических данных, а также изотопно-геохронологическое исследование пород внешнего магматического кольца.

Вмещающие породы. Контактная зона Ольховского массива установлена в верхней части скважины 8846. Здесь наблюдаются амфибол-биотитовые тонкозернистые роговики массивной текстуры, образованные по полевошпат-кварцевым метапесчанникам с известковистым цементом. Видимая мощность контактового ореола (от интрузивных пород до пород коры выветривания) около 20 м. Минеральный состав роговикиков и реликты метасаммитов свидетельствуют, что контактовому метаморфизму подвергались известково-силикатные метаосадочные породы.

Вещественный состав плутонических пород. Плутонические образования внешнего кольца рассматриваемого интрузива представляют собой светло-серые, серые до розовато-серых массивные мелкосреднезернистые породы. Содержания главных породообразующих минералов широко варьируют, по [2], и нашим данным (об., %): плагиоклаз 36,6–73,0, ортоклаз 0,8–22,9, кварц 4,5–23,3, клинопироксен 1,1–26,1, ортопироксен 0–23,9, амфибол 0–19,0, биотит 0,2–11,0. Низкие значения цветного индекса (M), как правило, не превышающие 40 %, позволяют применять диаграмму QAP для классифика-

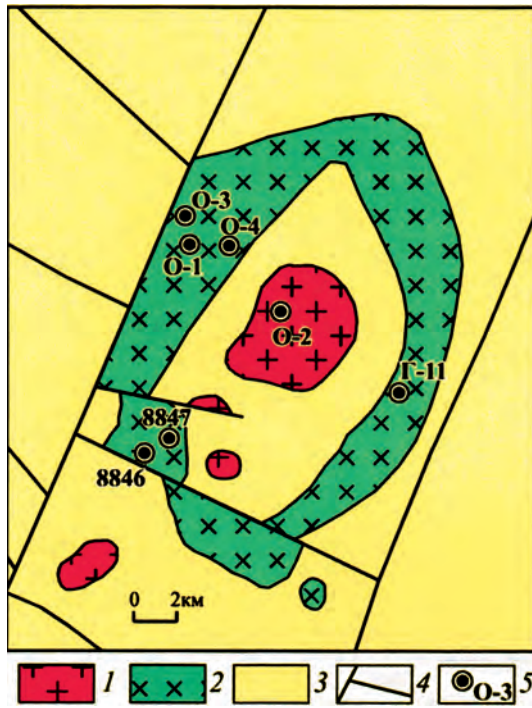


Рис. 1. Схематическая карта Ольховского массива [8]: 1 – лейкогранодиориты центрального тела, 2 – породы внешнего магматического кольца, 3 – вмещающие породы, предположительно терригенные отложения воронежской свиты, 4 – разрывные нарушения, 5 – скважины

ции мезократовых пород (рис. 2). Так как содержание An в плагиоклазе меньше 50, что подтверждено данными предшествующих [2], то корневым названием в нашем случае следует считать диорит, а породы внешнего кольца Ольховского массива



Рис. 2. Модальный минеральный состав пород Ольховского массива на фрагменте диаграммы QAP [13]. Q – кварц, A – щелочные полевые шпаты, P – плагиоклаз. Мелкие значки – количественно-минеральный состав пород заимствованный из работы [2], крупные значки – авторские данные. Цифра внутри значка соответствует порядковому номеру в таблице 1

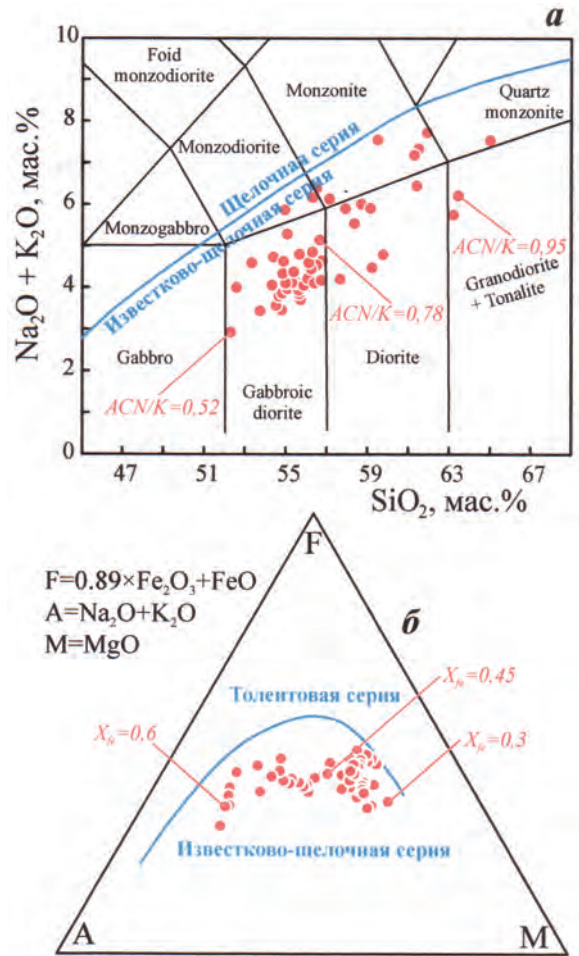


Рис. 3. Положение химических составов пород Ольховского массива на диаграммах $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ (a) и AFM (б). Границы петрохимических серий даны, по [10]. Границы семейств пород на рис. 3а даны, по [12]. В качестве исходных данных использованы фондовые химические анализы предприятия «Воронежгеология»

ва относить к кварциорит-кварцмонцодиорит-гранодиоритовой серии (рис. 2).

По петрохимическому составу (рис. 3) рассматриваемые породы являются средними и кислыми (SiO_2 52,25–65,0 мас. %) и относятся к семействам известково-щелочных, от умеренно- до высокоглиноземистых $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}+\text{MgO}) = 0,5-1,9$, низко-, умереннощелочных ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} < 8$ мас. %) габбродиоритов, диоритов, монцонитов и гранодиоритов с низким (< 1) $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ отношением в средних разновидностях. От средних к кислым дериватам постепенно растут отношения A/CNK ($\text{Al}/(\text{Ca}+\text{Na}+\text{K})$) от 0,52 до 0,95 и железистость X_{Fe} ($\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$) от 0,3 до 0,6.

Изотопный U-Pb возраст мезократовых пород Ольховского массива. Определение времени формирования Ольховского интрузива базируется на результатах U-Pb SIMS анализов цирконов из амфибол-клинопироксеновых кварцевых диоритов внешнего магматического кольца (скв. О-3, образцы О-3/7, О-3/11). Анализы выполнены в центре изотопных исследований ВСЕГЕИ на ионном микрозонде SHRIMP-II по стандартной методике следуя процедуре, описанной в [11].

Выделенные из образца весом около 1 кг цирконы (более 200 зёрен) представлены прозрачными и полупрозрачными призматическими кристаллами и обломками кристаллов. Около половины кристаллов содержат непрозрачные включения.

По внутреннему строению изученные цирконы близки и характеризуется тонкой осцилляционной зональностью (рис. 3),

Количественно-минеральный состав образцов типовых пород Ольховского массива

Но- мер п/п	Сква- жина	Глу- бина, м	Наименование породы	Pl	№ Pl	Орх	Срх	Bt	Hbl	Qtz	Fsp	Рудные	Акцес- сии
1	8847	477,0	Двупироксеновый кварцевый габбродиорит	57,5±4,8	45	13,2±3,1	9,5±4,1	1,5±0,4	4,2±1,0	6,9±0,6	5,2±1,6	1,6±0,9	0,5±0,3
2	О-3		Амфибол-клинопироксеновый кварцевый диорит	62,1±1,0		0,9±0,7	15,1±1,7	+	7,5±2,7	7,7±0,6	4,6±1,8	2,0±1,3	0,1±0,0
3	8847	411,0	Амфибол-двупироксеновый кварцевый диорит	56,6±6,2		6,6±1,6	11,0±3,9	2,8±1,1	7,1±2,1	7,9±2,8	5,7±0,9	1,6±0,9	0,3±0,1
4	8846	600,0	Ортопироксеновый амфибол-биотитсодержащий кварцевый монцодиорит	58,9±1,3	35	7,6±3,6	1,6±0,9	4,7±1,2	3,6±0,8	11,4±1,7	10,4±2,4	1,5±0,6	0,3±0,2
5	8846	532,0	Амфибол-ортопироксен-биотитовый кварцевый монцодиорит	50,5±3,1	31	1,6±0,5	6,2±2,0	8,7±2,3	5,1±1,6	14,9±1,2	12,0±1,7	0,8±0,3	0,2±0,1
6	8846	712,5	Биотит-амфибол-двупироксеновый кварцевый монцодиорит	45,9±5,3	37	8,7±2,7	4,8±1,3	5,6±1,8	7,0±1,3	11,6±1,8	12,6±2,1	3,5±2,8	0,2±0,2
7	8846	383,6	Биотит-амфибол-клинопироксеновый кварцевый монцодиорит	38,4±7,0	33	1,8±1,2	10,9±7,3	5,5±0,9	7,3±1,1	14,2±2,6	19,3±2,1	2,4±0,7	0,2±0,1
8	8846	422,0	Биотит-амфиболовый пироксенсодержащий гранодиорит	39,0±2,9	33	1,4±0,9	3,4±1,2	7,3±2,0	7,4±1,7	21,1±1,9	19,4±2,0	0,9±0,5	0,1±0,1
9	О-2	429,1	Амфибол-биотитсодержащий лейкогранодиорит	57,8±4,3	20	—	—	2,2±0,8	0,6±0,3	25,4±5,1	12,7±3,3	0,7±0,2	0,5±0,1

Примечание. Количественно-минеральный подсчет в шлифах осуществлен линейным методом (объектив 10^x, расстояние между линиями 1 мм, число линий в одном шлифе 10).

что предполагает их исходную магматическую природу. Все цирконы содержат умеренные количества Th и U (89—247 и 60—230 ppm соответственно), Th/U отношения варьируют от 0,89 до 0,57.

По возрастным характеристикам цирконы достаточно однородны. Условно можно выделить два кластера, эллипсы ошибок для которых перекрываются, что может быть связано как с погрешностью анализа, так и с двустадийностью кристаллизации пород. Это зёрна с конкордантными определениями U-Pb возраста 4, 5, 11 (средний Pb-Pb возраст 2053 млн. лет) и 6, 8, 9 (средний Pb-Pb возраст 2073 млн. лет).

Датированные цирконы (11 анализов в центральных частях кристаллов) образуют единую группу со средневзвешенным ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb возрастом 2070±4 млн. лет, СКВО = 1,01 при вероятности 0,43, что в пределах ошибки совпадает с конкордантным U-Pb возрастом 2065±9,9 млн. лет СКВО = 0,16 (рис. 4).

Минералогические и изотопные данные свидетельствуют о том, что полученная оценка изотопного возраста отражает время кристаллизации кварцевых диоритов Ольховского массива, которые формировались в период активного (2050—2070 млн. лет) постколлизийного магматизма в восточной части Воронежского кристаллического массива [4].

Относительный возраст терригенной части воронежской свиты составляет около 2065 млн. лет, так как конгломераты в ней содержат гальку трондьемитов усманского комплекса [1] с интервалом изотопных U-Pb конкордантных и дискордантных возрастов 2047±11—2066±28 млн. лет [5]. То есть, накопление конгломератов воронежской свиты происходило в относительно узкий интервал времени (постусманский, доольховский), вероятно, продолжительностью не более 1—2 млн. лет.

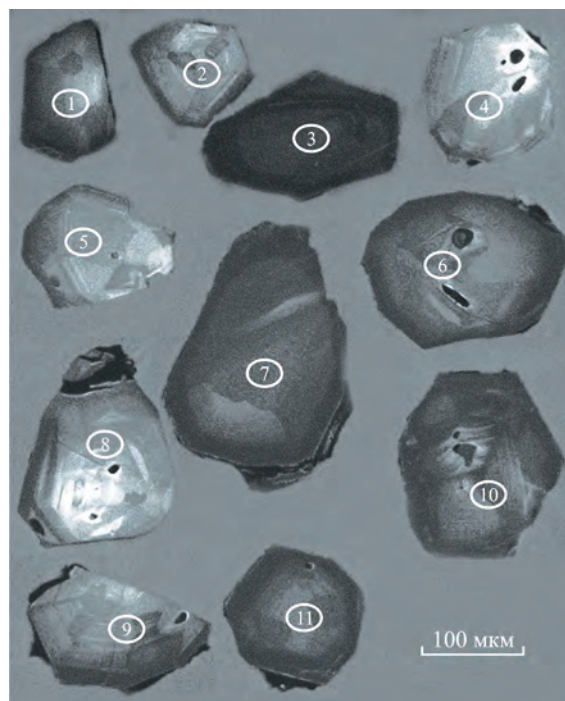


Рис. 4. Цирконы в кварцевых диоритах Ольховского массива (катодная люминесценция). Здесь и на рис. 5 номера аналитических точек соответствуют приведенным в табл. 2

Таблица 2

Результаты U-Pb исследований цирконов из кварцевых диоритов Ольховского массива (скв. О-3, образцы О-3/7, О-3/11)

Номер анализа	$^{206}\text{Pb}_c$, %	U, ppm	Th, ppm	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$^{206}\text{Pb}^*$, ppm	(1) Возраст $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ млн. лет	(1) Возраст $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$ млн. лет	D, %	(1) $\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{206}\text{Pb}^*}$	±, %	(1) $\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}}$	±, %	(1) $\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}}$	±, %	Корреляция ошибок
Зёрна с ненарушенной Pb-U изотопной системой															
4	0,10	96	86	0,92	31,1	2056±18	2055±17	-0,1	2,661	1,0	0,1268	0,96	6,571	1,4	0,3758
9	0,09	163	124	0,78	53,4	2075±16	2074±13	0,0	2,633	0,88	0,1282	0,72	6,712	1,1	0,3797
6	0,01	93	71	0,78	30,3	2069±19	2070±18	0,0	2,642	1,1	0,1279	0,99	6,676	1,5	0,3784
8	0,07	102	60	0,61	33,2	2075±18	2076±16	0,0	2,633	10	0,1284	0,90	6,721	1,3	0,3797
11	0,09	145	83	0,59	46,7	2049±16	2059±14	0,5	2,672	0,90	0,1272	0,77	6,563	1,2	0,3742
5	0,49	89	68	0,79	28,8	2054±19	2068±26	0,7	2,661	1,1	0,1278	1,40	6,61	1,8	0,3753
Зёрна с нарушенной Pb-U изотопной системой															
1	0,09	99	67	0,70	31,7	2040±18	2086±18	2,3	2,685	1,00	0,1291	1,00	6,629	1,5	0,3723
2	0,09	102	70	0,71	32,3	2024±18	2070±17	2,3	2,711	1,00	0,1280	0,94	6,507	1,4	0,3688
10	0,07	247	230	0,96	78,3	2022±14	2070±13	2,4	2,715	0,82	0,1280	0,71	6,498	1,1	0,3683
7	0,05	192	180	0,97	60,3	2008±15	2071±11	3,1	2,736	0,84	0,1280	0,65	6,451	1,1	0,3655
3	0,26	218	193	0,92	60,7	1806±13	2074±13	14,8	3,090	0,83	0,1282	0,73	5,719	1,1	0,3234

Примечание. Ошибки для интервала ±1 ; Pb_c и Pb^* — радиогенный и радиогенный свинец соответственно; (1) — коррекция на Pb_c по измеренному ^{204}Pb ; D, % — дискордантность 100 [(возраст $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$)/(возраст $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$) - 1]; ошибки калибровки — 0,39; анализы выполнены в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ, аналитик: А.Н. Ларионов.

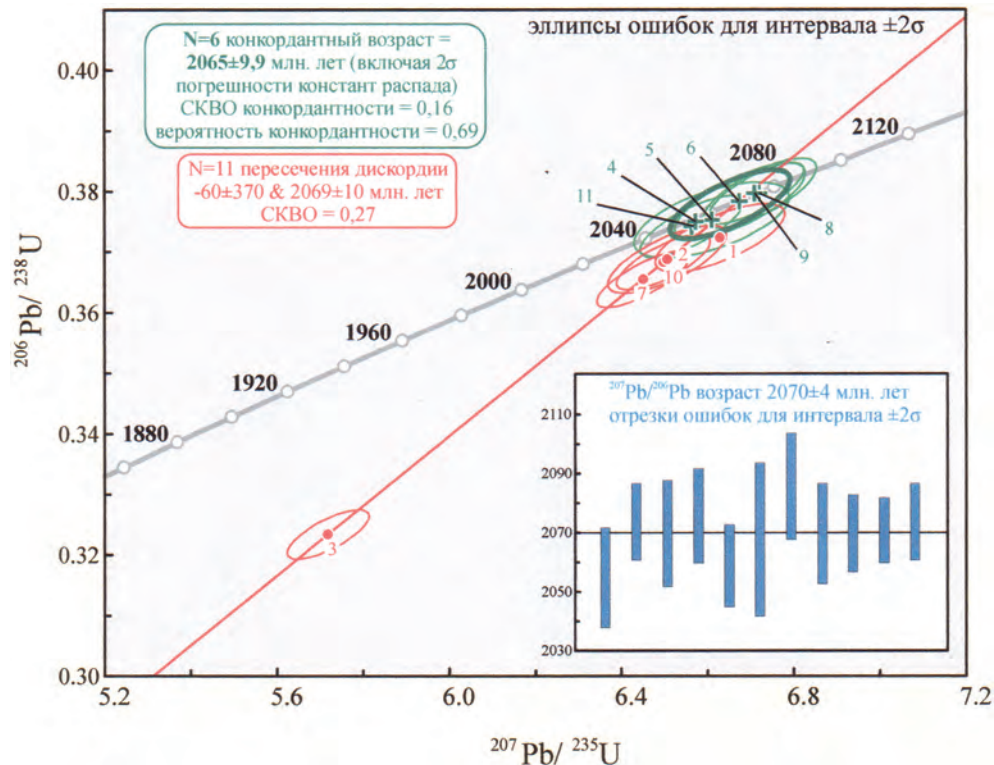


Рис. 5. Изотопные свинцово-урановые отношения и распределение $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраста (на врезке) в цирконах из кварцевых диоритов (скв. О-3)

Выводы

Приведённые петрографические, петрохимические и изотопные данные позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Породы внешнего магматического кольца Ольховского массива относятся к известково-щелочной кварцдиорит-кварцмонцодиорит-гранодиоритовой серии, в отличие от считавшегося ранее преобладания дериватов основного состава.

2. Время кристаллизации $2065 \pm 9,9$ млн. лет кварцевых диоритов внешнего магматического кольца, согласующиеся с временем кульминации гранитоидного магматизма в Воронежском террейне, позволяет относить Ольховский массив к позднеорогенным образованиям.

3. Относительный возраст конгломератов воронежской свиты, постусманский, доольховский, позволяет оценить время их накопления в абсолютном выражении около 2065 млн. лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев Ю.С. Докембрийские конгломераты восточной части Воронежского кристаллического массива // Известия АН СССР. Серия геол. 1979. № 11. С. 23–30.
2. Рыборак М.В. О минеральном составе и номенклатуре основных пород Ольховской кольцевой интрузии // Вестник ВГУ. Сер. геологическая. 1996. №2. С. 48–51.
3. Рыборак М.В. Геология, петрология и металлогеническая специализация Ольховского кольцевого габронорит-кварцмонцонит-гранитного плутона (Воронежский кристаллический массив). Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Воронеж, 1999. 24 с.
4. Савко К.А., Самсонов А.В., Ларионов А.Н., Ларионова Ю.О., Базиков Н.С. Одновозрастные А и S граниты востока Воронежского кристаллического массива: геохимия, петрогенезис, следствия для эволюции коры в палеопротерозое // Петрология. 2014. Т. 22. № 3. С. 235–264.
5. Скрябин В.Ю., Терентьев Р.А. Трондьемит-гранодиоритовый интрузивный магматизм Лосевской структурно-формационной зоны Воронежского кристаллического массива // Докл. РАН. 2014. Т. 458. № 3. (в печати).
6. Щипанский А.А., Самсонов А.В., Петрова А.Ю., Ларионова Ю.О. Геодинамика восточной окраины Сарматии в палеопротерозое // Геотектоника. 2007. № 1. С. 43–70.
7. Чернышов Н.М., Баянова Т.Б., Левкович Н.В., Рыборак М.В. Возраст пород ранней фазы Ольховского габронорит-кварцмонцонит-гранитного кольцевого комплекса Воронежского кристаллического массива // Докл. РАН. 1998. Т. 359. № 5. С. 680–682.
8. Чернышов Н.М., Рыборак М.В., Альбеков А.Ю., Баянова Т.Б. U-Pb-возраст гранитоидов Ольховского кольцевого плутона Воронежского кристаллического массива (северная часть зоны сочленения Сарматии и Волго-Урала) // Докл. РАН. 2012. Т. 444. № 2. С. 198–201.
9. Bogdanova S.V., Gorbatschev R., Garetsky R.G. East European Craton // Selley R.S., Robin L., Cocks M., Plimer I.R. (Eds.) Encyclopedia of Geology. V. 2. Amsterdam: Elsevier, 2005. P. 34–49.
10. Irvine T.N., Baragar W.R.A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks // Canadian J. Earth Sci. 1971. V.8. P. 523–548.
11. Larionov A.N., Andreichev V.A. & Gee D.G. The Vendian alkaline igneous suite Northern Timan: zircon ages of gabbros and syenites // Gee D.G., Pease V. (Eds.) The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Geological Society, London, Memoirs, 2004. V. 30, P. 69–74.
12. Middlemost, E.A.K. Naming materials in the magma/igneous rock system // Earth Sci. Rev. 1994. V. 37. P. 215–224.
13. Streckeisen A. To each plutonic rock its proper name // Earth Sci. Rev. 1976. V. 12. P. 1–33.

Воронежский государственный университет
(394006, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1;
e-mail: terentiev@geol.vsu.ru)

Рецензент – Л.Н. Липчанская

УДК 556.314; 556.332.4.042

Н.В. ФИСУН, А.А. ШАПИН

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОНИЖЕНИЯ И КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ ПРЕРЫВИСТОГО РЕЖИМА ВОДООТБОРА

Ключевые слова: прерывистый режим работы водозабора; динамический уровень; восстановление; железо; мутность воды.

Эксплуатация водозаборов в режиме прерывистого водоотбора на практике наблюдается достаточно часто. В таком режиме, например, работают заводы промышленного розлива подземных вод, водозаборы централизованного и нецентрализованного водоснабжения, в технологической схеме которых предусмотрено резервирование воды в накопительных ёмкостях. При этом частота включения и отключения насоса может быть самой различной – от нескольких десятков минут до нескольких часов. Наиболее сложная ситуация создаётся на заводах розлива, когда прерывистый водоотбор характеризуется частыми отключениями и запусками скважины в течение суток (через 10–30 мин.), что обычно регулируется работой цеха розлива в автоматическом режиме.

При оценке запасов подземных вод в таких случаях решается вопрос о методике проведения опытных работ. Общепринятой является технология проведения откачки в режиме постоянного дебита на две ступени понижения: при величине дебита, соответствующей среднесуточному водоотбору, и при дебите, равном реальной нагрузке на скважину в момент её включения. В этом случае возникает проблема отвода избыточных объёмов воды, особенно на второй ступени, а также оценки качества подземных вод при откачке, поскольку его формирование в прерывистом водоотборе может иметь специфику, в отличие от режима откачки с постоянным дебитом.

Сопоставление результатов опытных работ, выполненных в разных режимах водоотбора, показано на примере опытной от-