

## Геохимические типы природных вод Байдарской долины (Крымский полуостров)

Новиков Д.А.<sup>1,2</sup>, Копылова Ю.Г.<sup>3</sup>, Черных А.В.<sup>1</sup>, Дульцев Ф.Ф.<sup>1</sup>, Хвашевская А.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, NovikovDA@ipgg.sbras.ru*

<sup>2</sup> *Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск*

<sup>3</sup> *Проблемная научно-исследовательская лаборатория гидрогеохимии инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, Томск, unpc\_voda@mail.ru*

**Аннотация.** Впервые приводятся результаты выделения геохимических типов природных вод Байдарской долины (Крымский полуостров). В регионе развиты пресные и ультрапресные воды преимущественно  $\text{HCO}_3$  Ca состава с величиной общей минерализации от 208 до 1269 мг/дм<sup>3</sup>. Изученные воды разделены на восемь геохимических групп: 1) зоны региональной трещиноватости карбонатно-терригенных пород подверженных процессам континентального засоления; 2) зоны региональной трещиноватости выщелачивания алюмосиликатов и окисления сульфидов; 3) зоны региональной трещиноватости преимущественно натриевых алюмосиликатов (длительного взаимодействия в системе вода – порода), подверженных процессам континентального засоления; 4) зоны региональной трещиноватости преимущественно натриевых алюмосиликатов, подверженных процессам континентального засоления в условиях антропогенного влияния; 5) трещинно-жилые выщелачивания натриевых алюмосиликатов и окисления сульфидов; 6) трещинно-жилые выщелачивания натриевых алюмосиликатов (длительного взаимодействия в системе вода – порода); 7) трещинно-карстовых; 8) поверхностных, подверженных влиянию процессов континентального засоления.

**Ключевые слова:** природные воды, гидрогеохимия, геохимический тип, Байдарская долина, Крым.

## Geochemical types of natural waters of the Baidar valley, Crimean Peninsula

Novikov D.A.<sup>1,2</sup>, Kopylova Yu.G.<sup>3</sup>, Chernykh A.V.<sup>1</sup>, Dultsev F.F.<sup>1</sup>, Khvashchevskaya A.A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of SB of RAS. NovikovDA@ipgg.sbras.ru*

<sup>2</sup> *Novosibirsk State University*

<sup>3</sup> *Tomsk Polytechnic University, Research Laboratory for Hydrogeochemistry, Tomsk, unpc\_voda@mail.ru*

**Abstract.** Results of the ascription of natural waters in the Baydar valley (Crimean Peninsula) to geochemical types are reported for the first time. Fresh and ultrafresh waters mainly with  $\text{HCO}_3$  Ca composition, with total mineralization 208 to 1269 mg/dm<sup>3</sup> are developed in the region. The studied waters were determined to belong to eight geochemical groups: 1) zones of regional fracturing of the carbonate-terrigenous rocks prone to the processes of continental salinization; 2) zones of regional fracturing due to aluminosilicate leaching and sulfide oxidation; 3) zones of regional fracturing, mainly with sodium aluminosilicates (under long-term water – rock interaction) prone to the processes of continental salinization; 4) zones of regional fracturing, mainly with sodium aluminosilicates prone to continental salinization under the conditions of anthropogenic influence; 5) fracture-vein leaching of sodium aluminosilicates and sulfide oxidation; 6) fracture-vein leaching of sodium aluminosilicates (under long-term water – rock interaction); 7) fracture-karst; 8) surface waters prone to the influence of continental salinization.

**Key words:** natural waters, hydrogeochemistry, geochemical type, Baidar valley, Crimea.

Изучение гидрогеологических условий Крымского полуострова проводится длительное время и связано с именами А.С. Моисеева, И.Г. Глухова, Е.А. Ришес, В.Г. Ткачук, С.В. Альбова, В.А. Куришко, Е.В. Львова, О.Е. Фесюнова, Н.М. Заезжева, В.И. Самулева, М.В. Чуринова, Н.А. Белокопытковой, В.Н. Дублянского, Г.Н. Дублянской, Н.Н. Капинос, А.В. Лущика, В.И. Морозова, Н.С. Огняника, А.Б. Ситникова, А.А. Сухороброва, В.М. Шестопалова, М.А. Шинкаревского, Ю.И. Шутова, Е.А. Яковлева и других. Наиболее крупное обобщение было выполнено в VIII томе «Гидрогеологии СССР» под редакцией академика А.В. Сидоренко (Гидрогеология..., 1970; Гидрогео-

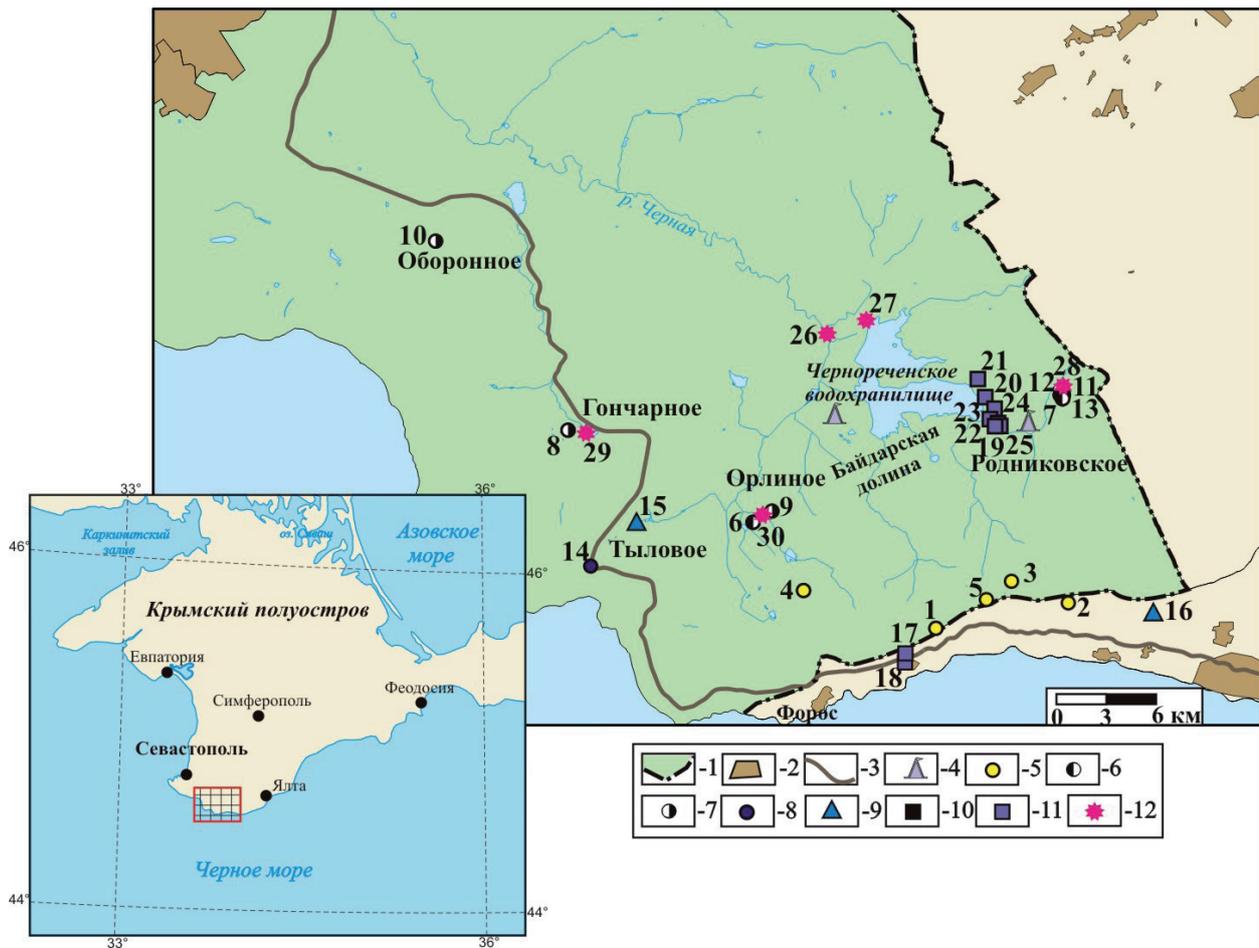


Рис. 1. Местоположение изученных водопунктов Байдарской долины и ее горного обрамления в пределах Крымского полуострова.

1 – граница Севастопольской городской агломерации; 2 – населенные пункты; 3 – автодорога Ялта — Севастополь (Н19); 4 – проявления марганцевых руд; 5 – (I группа): 1 – колодец Кильсе-Буруном; 2 – колодец Q-044; 3 – колодец Чертова лестница; 4 – источник Деспит; 5 – колодец Кую-Алан, 6 – (II группа): 6 – колодец Фуска-Чокрак; 7 – южный колодец, с. Колхозное, 7 – (III группа): 8 – источник Фонтан Варналы; 9 – источник Кара-Агач; 10 – источник Св. Пантелеймона, 8 – (IV группа): 11 – северный колодец, с. Колхозное; 12 – колодец центральный 1, с. Колхозное; 13 – колодец центральный 2, с. Колхозное; 14 – колодец возле Ласпинской смотровой площадки, 9 – (V группа): 15 – источник Странный; 16 – источник Мердвен-Каясы, 10 – (VI группа): 17 – колодец Санаторное верхний; 18 – колодец Санаторное нижний; 11 – (VII группа): 19 – 5760; 20 – 5775; 21 – 5776; 22 – 5531; 23 – 5566; 24 – 5595; 25 – источник Скельский основной, 12 – (VIII группа): 26 – оз. Кюнюшня в с. Орлиное; 27 – озеро в с. Гончарное; 28 – озеро Узужинское, с. Колхозное; 29 – Чернореченское водохранилище; 30 – река Черная.

Fig. 1. The location of the studied water points of the Baydar Valley and near mountains within the Crimean Peninsula.

1 – the border of the Sevastopol city agglomeration; 2 – settlements; 3 – highway Yalta – Sevastopol (H19); 4 – manifestations of manganese ores; 5 – (group I): 1 – Kils-Burunom; 2 – Q-044; 3 – Chertova Lestnica; 4 – Despit; 5 – Kuyu-Alan; 6 – group II: 6 – Fusk-Chokrak; 7 – south fountain, Kolkhoznoye; 7 – group III: 8 – Varnaly Fountain; 9 – Kara-Agach; 10 – St. Panteleimon; 8 – group IV: 11 – northern fountain, Kolkhoznoye; 12 – central fountain 1, Kolkhoznoye; 13 – central fountain 2, Kolkhoznoye; 14 – a fountain near the Laspinsky observation deck; 9 – group V: 15 – Strannyu; 16 – Merdven-Kayasy; 10 – VI group: 17 – Sanatornoye upper well; 18 – Sanatornoye lower well; 11 – group VII: 19 – well № 5760; 20 – well № 5775; 21 – well № 5776 – well № 5531; 23 – well № 5566; 24 – well № 5595; 25 – main Skelsky spring; 12 – group VIII: 26 – Lake Konyushnya in the Orlinoe village; 27 – lake in the Goncharnoie village; 28 – Lake Uzuzhinskoe, the Kolkhoznoie village; 29 – Chernorechenskoe reservoir; 30 – Chernaya river.

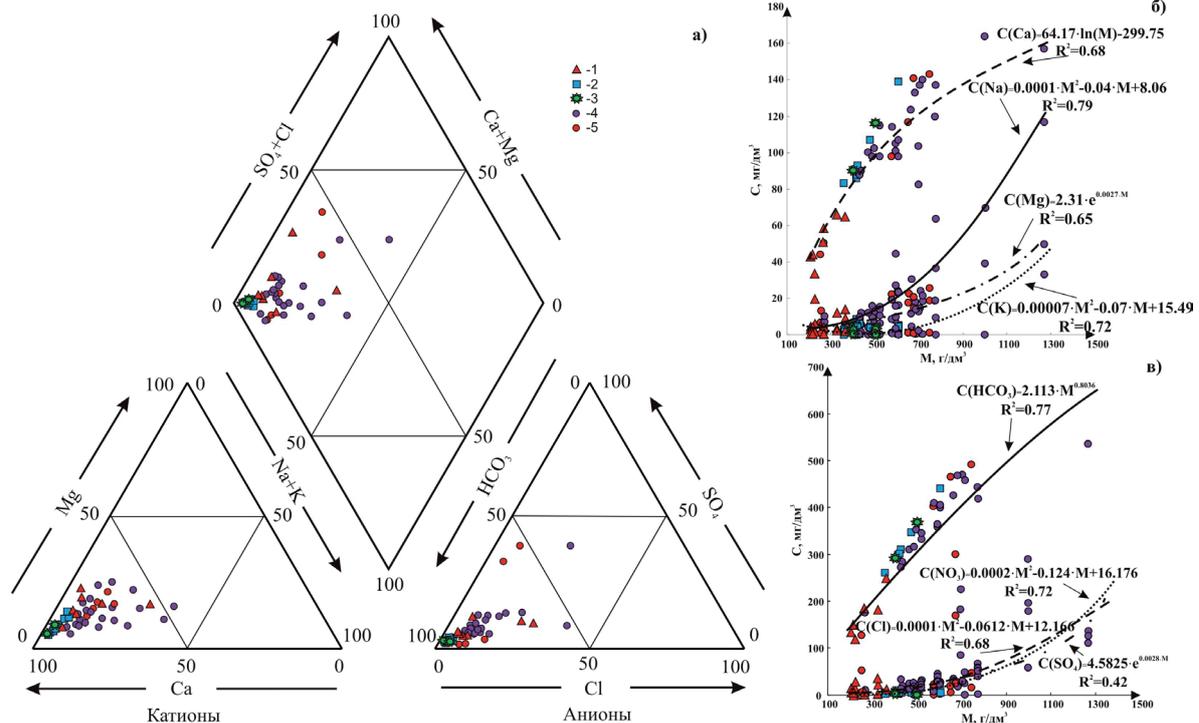


Рис. 2. Диаграмма Пайпера (а), зависимость содержаний основных катионов (б) и анионов (в) от общей минерализации природных вод Байдарской долины.

Типы вод: 1 – поверхностные, 2 – трещинно-карстовые, 3 – Скельский источник, 4 – зоны региональной трещиноватости, 5 – трещинно-жилые.

Fig. 2. Piper diagram (a), dependence of the contents of the main cations (b) and anions (c) on the total mineralization of natural waters of the Baidar Valley.

Types of water: 1 – surface, 2 – fracture-karst, 3 – Skelsky spring, 4 – zones of regional fracture, 5 – fracture-vein.

логия..., 1971). Из последних исследований следует отметить работы И.Б. Абрамова, Б.М. Данилишина, С.П. Иванюты, А.В. Лущика, Г.Г. Лютого, Н.С. Огняника, С.А. Рубана, В.М. Шестопалова, М.А. Шинкаревского, Е.А. Яковлева, Д.А. Новикова и других (Шестопалов и др., 2007; Тарасенко и др., 2013; Каюкова, Юровский, 2016; Лущик и др., 2016; Горобцов и др., 2017; Новиков и др., 2018 а, 2018 б; Новиков и др., 2019 а и другие).

Байдарская долина расположена в живописной области на юго-западе Крымского полуострова в пределах Балаклавского района Севастопольской городской агломерации. Долина с южной и восточной стороны примыкает к главной гряде Крымских гор (Форос, Ат-Баш, Ай-Петри и другие) (рис. 1). С гидрогеохимической точки зрения природные воды рассматриваемого региона являются слабо изученными (Новиков и др., 2018 в, 2019 б, 2019 в). В 2018-2019 годах нами были проведены полевые работы в изучаемом регионе. Всего было отобрано 43 пробы природных вод. Аналитические работы по изучению макро-, микроэлементного состава методами ICP-AES и ICP-MS были выполнены в Национальном исследовательском Томском политехническом университете.

Основные ресурсы подземных вод Байдарской долины приурочены к верхнеюрскому водоносному комплексу, имеющему особую роль, поскольку с ним связаны основные области питания для водонапорных систем: Равнинно-Крымского, Азово-Кубанского артезианских бассейнов и гидрогеологической складчатой области мегаантиклинория Горного Крыма. Его мощность достигает 2000 м. Детальная характеристика его гидрогеологических особенностей приведена в работах (Новиков и др., 2018 б, 2018 г, 2019 а).

В Байдарской долине развиты пресные и ультрапресные воды преимущественно гидрокарбонатного кальциевого состава (по С.А. Щукареву) с величиной общей минерализации от 208 до 1269 мг/дм³ (рис. 2 а). Отмечается закономерное поведение основных химических элементов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ ) с увеличением общей минерализации природных вод

и их химическим типом (рис. 2 б-в). Разделение имеющихся данных на однородные совокупности по геохимическим коэффициентам ( $\text{Ca}/\text{Na}$ ,  $\text{Ca}/\text{Mg}$ ,  $\text{Ca}/\text{Si}$ ,  $\text{Mg}/\text{Si}$ ,  $\text{Na}/\text{Si}$ ,  $\text{Si}/\text{Na}$ ,  $r\text{Na}/r\text{Cl}$  и  $\text{SO}_4/\text{Cl}$ ) позволило проследить источники поступления элементов при формировании вод в карбонатных, карбонатно-терригенных, алюмосиликатных, в том числе с вкраплениями сульфидов породах.

Дадим краткую характеристику выделенных типов вод по геохимическим разновидностям (группы I-VIII). *Воды зоны региональной трещиноватости карбонатно-терригенных пород, подверженные влиянию процессов континентального засоления (группа I)* – слабощелочные со средними значениями  $\text{pH} = 7.8$ ; собственно пресные с минерализацией  $543 \text{ мг/дм}^3$  (по классификации С.Л. Шварцева (1996)) и содержанием кремния  $4.3 \text{ мг/дм}^3$ . Воды гидрокарбонатные с долей сульфатов и хлоридов до 10 %-экв преимущественно кальциевые с долей магния до 24 %-экв в роднике Деспита, и до 10 %-экв натрия в родниках Чертова лестница и Q 044. По соотношению распространенности магния и натрия при близких значениях  $\text{Mg}/\text{Si}$  и  $\text{Na}/\text{Si}$  прослеживается взаимодействие вод с карбонатно-терригенными образованиями при значениях  $\text{Ca}/\text{Si} = 25.3$ ,  $\text{Ca}/\text{Na} = 7.4$ , значения  $\text{Ca}/\text{Mg} = 12.5$  говорят о начальных стадиях взаимодействия в системе вода – порода при средних значениях  $r\text{Na}/r\text{Cl} = 1.05$ .

При взаимодействии вод *зоны региональной трещиноватости с сульфидной минерализацией (группа II)* в условиях континентального засоления воды слабощелочные с  $\text{pH} = 7.63$ , собственно пресные со средней минерализацией  $506 \text{ мг/дм}^3$  и содержанием кремния  $4.3 \text{ мг/дм}^3$ . Эти воды практически не отличаются от вышерассмотренных и их следует включить в воды зоны региональной трещиноватости карбонатно-терригенных образований. Для них характерно только повышение средних значений  $\text{SO}_4/\text{Cl} = 1.9$  по сравнению с типичными водами зон региональной трещиноватости в условиях континентального засоления, где  $\text{SO}_4/\text{Cl} = 1.1$ .

*Воды зоны региональной трещиноватости преимущественно натриевых алюмосиликатов (длительного взаимодействия в системе вода – порода), подверженных процессам континентального засоления (группа III)*. По составу воды слабощелочные с  $\text{pH} = 7.66$ ; собственно пресные со средней минерализацией  $659 \text{ мг/дм}^3$  и содержанием кремния  $5.7 \text{ мг/дм}^3$ ; гидрокарбонатные с долей хлоридов до 15 %-экв в фонтане Варналы в с. Гончарное и долей сульфат-иона до 10.7-12.0 %-экв в источнике Кара-Агач и фонтане Варналы. При увеличении роли алюмосиликатных образований за счет взаимодействия с водами значения  $\text{Na}/\text{Si}$  превышают значения  $\text{Mg}/\text{Si}$  и снижаются значения  $\text{Ca}/\text{Mg} = 8.1$  и значения  $\text{Ca}/\text{Na}$  в среднем снижаются до 3.9, несколько уменьшаются значения  $\text{Ca}/\text{Si} = 20.7$  и повышаются средние значения  $r\text{Na}/r\text{Cl} = 1.4$ .

*Воды зоны региональной трещиноватости преимущественно натриевых алюмосиликатов, подверженных процессам континентального засоления в условиях антропогенного влияния (группа IV)* слабощелочные с  $\text{pH} = 7.59$  собственно пресные с минерализацией  $889 \text{ мг/дм}^3$  и содержанием кремния  $5.0 \text{ мг/дм}^3$ ; гидрокарбонатно-хлоридные кальциевые, сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридные кальциево-натриевые с долей хлорид-иона до 20-30 %-экв и до 20 %-экв нитратов в центральных колодцах № 1 и 2 в селе Колхозное. В условиях антропогенного влияния в грунтовых водах значения  $\text{Na}/\text{Si}$  в среднем повышаются до 16.5, значения  $\text{Mg}/\text{Si}$  до 4.3, снижаются значения  $\text{Ca}/\text{Na}$  до 1.8 и практически не меняющиеся значения отношений  $\text{Ca}/\text{Mg} = 7.5$  и  $r\text{Na}/r\text{Cl} = 1.5$ .

*Трещинно-жилые воды в алюмосиликатных образованиях (группы V и VI)* слабощелочные с  $\text{pH} 7.2-8.6$  (среднее значение – 7.7) со средней минерализацией  $580 \text{ мг/дм}^3$  и содержанием кремния  $4.6 \text{ мг/дм}^3$ ; гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-сульфатные кальциевые с долей хлоридов до 14 %-экв при содержании хлорид-иона  $48.6 \text{ мг/дм}^3$  в колодце Санаторный нижний. В источниках Мердвен Каясы и Странный отмечаются высокие доли сульфат-иона до 32.6-38.5 %-экв соответственно. Трещинно-жилые воды в алюмосиликатных образованиях по соотношению химических элементов проявляются с одной стороны высокими средними значениями  $\text{SO}_4/\text{Cl} = 7.3$  (при взаимодействии вод с сульфидами) и низкими значениями –  $\text{SO}_4/\text{Cl} = 0.3$  (в условиях длительного взаимодействия вод с алюмосиликатами). Характеризуются высокими значениями  $\text{Na}/\text{Si} = 5.3$ ,  $\text{Mg}/\text{Si} = 3.5$ ,  $\text{Ca}/\text{Mg} = 7.1$ , низкими значениями  $\text{Ca}/\text{Na} = 4.9$  и  $\text{Ca}/\text{Si} = 25.1$ .

*Трещинно-карстовые воды (группа VII)* формируются при взаимодействии с карбонатными образованиями и содержат фоновые значения  $\text{SO}_4$  которые в среднем составляют  $8.2 \text{ мг/дм}^3$ , а

Cl = 5.1 мг/дм<sup>3</sup>. Они слабощелочные с pH = 7.7; пресные с минерализацией 444 мг/дм<sup>3</sup> и невысокими концентрациями кремния – 2.29 мг/дм<sup>3</sup>; гидрокарбонатные кальциевые. Характерны значения Na/Si = 2.0, Mg/Si = 2.5, rNa/rCl = 1.0. Высокие средние значения отношения Ca/Si = 44.1, Ca/Mg = 18.5 и особенно по сравнению с другими разновидностями значения отношения Ca/Na = 23.3 являются отличительной чертой состава трещинно-карстовых вод. У Скельского источника Ca/Na = 34.7, а содержания кремния снижаются до 2.0 мг/дм<sup>3</sup>.

*Поверхностные воды (группа VIII)* подвержены влиянию процессов континентального засоления. Они слабощелочные с pH = 8.3 и окислительными условиями геохимической обстановки с содержаниями растворённого кислорода от 8.63 до 12.25 мг/дм<sup>3</sup>; умеренно-пресные с минерализацией 267 мг/дм<sup>3</sup> и содержанием кремния 1.2 мг/дм<sup>3</sup> гидрокарбонатного кальциевого состава в реке Черной и Чернореченском водохранилище, гидрокарбонатно-хлоридного кальциевого с повышенной долей натрия до 20 %-экв в озере села Гончарное и гидрокарбонатно-хлоридного кальциевого в озере Конюшня села Орлиное.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках гранта № 18-45-920032 p\_a.

## Литература

1. Гидрогеология СССР. Т. VIII. Крым. Гл. ред. ак. А.В. Сидоренко. Москва. Изд-во: Недра. 1970. 364 с.
2. Гидрогеология СССР. Т. VIII. Крым. Гл. ред. ак. А.В. Сидоренко. Москва. Изд-во: Недра. 1971. 55 с.
3. Горобцов Д.Н., Никулина М.Е., Пендин В.В., Фоменко И.К., Козловский С.С., Черепанский М.М., Чесалов Л.Е. Оценка современного состояния месторождений подземных вод нераспределенного фонда недр Республики Крым // Геология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2017. № 6. С. 8–16.
4. Каюкова Е.П., Юровский Ю.Г. Водные ресурсы Крыма // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2016. № 1. С. 25–32.
5. Лущик А.В., Горбатюк Н.В., Морозов В.И. Водоотбор и его влияние на подземные воды пригодные для хозяйственно-питьевого водоснабжения в Крыму // Строительство и техногенная безопасность. 2016. № 12 (54). С. 83–91.
6. Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф., Сесь К.В. Гидрогеология и гидрогеохимия Крымского полуострова в свете проблемы питьевого водоснабжения / Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России. Новосибирск: ИПЦ НГУ. 2018 а. С. 339–346.
7. Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф. Особенности гидрогеологии верхнеюрских отложений юго-западных районов Крымского полуострова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2018 б. Т. 4 (70). № 4. С. 268–288.
8. Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф., Юрчик И.И., Сухорукова А.Ф. Особенности гидрогеохимии эксплуатируемых водоносных горизонтов Севастопольской городской агломерации // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2018 в. Т. 2. С. 81–91. DOI: 10.18303/2618-981X-2018-2-84-91.
9. Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф. Новая схема гидрогеологической стратификации города федерального значения Севастополь // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России. Новосибирск. Изд-во: ИПЦ НГУ. 2018. С. 346–351.
10. Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф. Новый взгляд на гидрогеологические условия города федерального значения Севастополь // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019 а. Т. 330. № 8. С. 105–122. DOI: 10.18799/24131830/2019/8/2217.
11. Новиков Д.А., Ничкова Л.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф., Житова Л.М., Сигора Г.А. Гидрогеохимические аномалии Байдарской долины (Крымский полуостров) // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2019 б. Т. 2. № 1. С. 117–124. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-2-1-117-124.
12. Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф. Оценка качества подземных вод верхнеюрских отложений юго-западных районов Крымского полуострова для целей питьевого и сельскохозяйственного водоснабжения // Экология и промышленность России. 2019 в. Т. 23. № 4. С. 52–57. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-04-52-57.
13. Тарасенко В.С., Паштецкий В.С., Ляшевский В.И., Панютин В.М., Резников С.В., Тимченко З.В. Экологические проблемы водохозяйственного комплекса Украины и Крыма // Таврійський вісник аграрної науки. 2013. № 1. С. 115–119.
14. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология. М. Изд-во: Недра. 1996. 423 с.
15. Шестопалов В.М., Богуславский А.С., Бублясь В.Н. Оценка защищенности и уязвимости подземных вод с учетом зон быстрой миграции. Киев: Институт геологических наук НАН Украины. 2007. 120 с.