Роль системы вода – порода в процессах формирования состава питьевых вод Севастопольской городской агломерации

Хвашевская А.А., Копылова Ю.Г., Сметанина И.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия, E-mail: unpc_voda@mail.ru

Новиков Д.А.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия, E-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru

АННОТАЦИЯ: В 2018-2019 годах на территории Севастопольской городской агломерации были проведены полевые работы по изучению особенностей геохимии природных вод с целью оценки перспектив их использования для питьевого водоснабжения. Изученные воды преимущественно слабощелочные с pH от 7,52 до 8,39, характеризуются значительным геохимическим разнообразием по минерализации от ультрапресных 207,4 до солоноватых 1268,8 мг/дм³ и химическому составу. Применение коэффициентов (Ca/Na, Ca/Mg, Ca/Si, Mg/Si, Na/Si, Si/Na, rNa/rCl и SO₄/Cl) позволило впервые выделить однородные геохимические совокупности по процессам формирования состава питьевых вод. Наряду с ключевой ролью системы вода – порода на формирование их состава оказывают существенное влияние процессы континентального засоления и антропогенного загрязнения. Изученные воды находятся на начальных стадиях формирования химического состава с позиции геологической эволюции системы вода – порода. Состояние равновесия вод с карбонатными минералами достигается уже в маломинерализованных поверхностных водах и насыщенность ими природных вод повышается с увеличением времени взаимодействия с существенно-карбонатными и карбонатно-терригенными образованиями. Состав равновесных минералов в поверхностных водах представлен кальцитом и доломитом. В трещинно-жилльных водах и водах зоны региональной трещиноватости карбонатных и карбонатно-терригенных образований он значительно усложняется до насыщения доломитом, кальцитом, сидеритом, родохрозитом и магнезитом. Равновесие вод с сульфатными минералами прослеживается только в отдельных водопунктах (колодец южный пос. Колхозное, источник Фонтан Варналы, источник Странный) и в водах с антропогенной нагрузкой (пос. Колхозное, Инкерманского и Орловского водозаборов).

The role of the water-rock system in the formation of drinking water composition of the Sevastopol city

Khvashchevskaya A.A., Kopylova Yu.G., Smetanina I.V.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, E-mail: unpc_voda@mail.ru

Novikov D.A.

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia, E-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru

ABSTRACT: During 2018-2019, field work was carried out on the territory of the Sevastopol city agglomeration to study the geochemistry of natural waters in order to assess the prospects for their use for drinking water supply. The studied waters are predominantly slightly alkaline (pH from 7.52 to 8.39), characterized by significant geochemical diversity in mineralization (from ultra-fresh 207.4 to brackish 1268.8 mg/dm³) and chemical composition. The application of the coefficients (Ca/Na, Ca/Mg, Ca/Si, Mg/Si, Na/Si, Si/Na, rNa/rCl and SO₄/Cl) made it possible to identify homogeneous geochemical groups according to the processes of formation of the composition of drinking water. The formation of their composition is influenced not only by the water – rock system, but also by the processes of continental salinization and anthropogenic pollution. the formation of the chemical composition from the perspective of the geological evolution of the water-rock system is in the initial stages. The equilibrium state of waters with carbonate minerals is achieved already in low-mineralized surface waters and the saturation of natural waters increases with the time of interaction with carbonate and carbonate-terrigenous formations. The composition of equilibrium minerals varies from calcite and dolomite in surface waters to their saturation in fissure-vein waters. For the waters of the regional fracture zone of carbonate and carbonate-terrigenous formations, the composition of the equilibrium minerals is dolomite, calcite, siderite, rhodochrosite and magnesite. The equilibrium of waters with sulfate minerals can be traced only in some water points (the southern well in Kolkhoznoye, the Varnaly Fountain source, Stranny spring) and in waters with anthropogenic effect (Kolkhoznoye, Inkermansky and Orlovskii water intakes).

ВВЕДЕНИЕ

Проблема питьевого водоснабжения Крыма активно обсуждается научной общественностью, и все единодушны в том, что имеющаяся ин-

фраструктура нуждается в масштабной реконструкции и развитии. Действующие водохранилища с трудом справляются со снабжением населения чистой водой. Ресурсов Черноморчен-

ского водохранилища, снабжающего водой Севастополь и другие населенные пункты агломерации, в будущем может оказаться недостаточно. Среди многих вариантов обеспечения населения питьевой водой необходимого качества предлагалось использовать подземные воды, которыми богато южное побережье Крыма, где расположена область питания основных водоносных горизонтов, в том числе и родники подземных вод. В этой связи актуальными являются гидрогеохимические исследования состояния природных родников и подземных вод, как источников водоснабжения и оценки их качества с использованием современных аналитических методов анализа.

Методы и подходы к решению поставленных в настоящей работе задач были определены новыми теоретическими положениями, разработанными в Сибирской гидрогеохимической школе профессором С.Л. Шварцевым [10]. Воды, независимо от генезиса и состава, с момента попадания в осадочный бассейн вступают в сложнейшую цепь геохимических процессов в системе «вода – порода – газ – органическое вещество», которая носит четко выраженный равновесно-неравновесный характер [9].

До настоящего времени с гидрогеохимической точки зрения природные воды рассматриваемого региона являются все ещё слабо изученными [1-8, 11-12]. В этой связи сотрудниками ИНГГ СО РАН на территории Севастопольской городской агломерации (СГА) в 2018–2019 годах проведены полевые гидрогеохимические исследования состава подземных и поверхностных вод, положенные в основу настоящей публикации в связи с характеристикой их химического состава и перспектив использования для питьевого водоснабжения.

Рис.1. Местоположение изученных водопунктов (1-41) в пределах Севастопольской городской агломерации.

Водоносный комплекс (по [8]): 1 – плиоценовых и четвертичных отложений, 2 – миоценовых отложений, 3 – палеоцен-эоценовых отложений, 4 – верхнемеловых отложений, 5 – нижнемеловых отложений, 6 – верхнеюрских отложений, 7 – верхнетриасово-среднеюрских отложений; 8 – *Поверхностные воды (I группа):* 13 – Чернореченское водохранилище, 12 – р. Черная рядом с мостом, 20 – озеро Узунжинское, с. Колхозное; 11 – озеро с. Гончарное; 39 – оз. Конюшня, с. Орлиное; 9 – *Аллювиальные воды палеорусл р.Черной, Инкерманский водозабор (II группа):* 8 – скв. №15; 9 – скв. №5; 7 – скв. №6; 6 – шахта № 2; 10 – *Воды зоны региональной трещиноватости карбонатно-терригенных образований среднемиоценового горизонта, Орловский водозабор (законсервирован) (III группа):* 2 – скв. № 10; 1 – скв. №55-74; 3 – скв. №3; 4 – скв. №55-61, с. Вишневое; 11 – *Трещинно-карстовые воды карбонатных образований верхнеюрского горизонта, Родниковский водозабор (IV группа):* 16 – скв. №103; 17 – скв. №53; 26 – скв. №55 (5760); 15 – скв. №5775; 14 – скв. №5776; 18 – скв. №5531; 12 – *Воды зоны региональной трещиноватости карбонатных образований верхнеюрского горизонта и в зоне их сочленения с карбонатно-терригенными образованиями триас-юрского горизонта) (V группа):* 24 – источник Скульский, 28 – источник Мердвен Каясы 32 – источник Кильсе-Бурунум, 29 – источник Q 044, 31 – колодец Кюю-Алан, 25 – колодец Фуска-Чокрак; 13 – *Воды зоны региональной трещиноватости карбонатно-терригенных образований триас-юрского горизонта (VI группа):* 30 – Чертова лестница, 36 – родник Деспита, 37 – Фонтан Варналы, с. Гончарное, 38 – источник Кара-Агач, 10 – источник Св. Пантелеймона, с. Оборонное, 5 – скв. у часовни Св. Николая Чудотворца, 19 – колодец южный с. Колхозное; 14 – *Трещинно-жилые воды выщелачивания алюмосиликатов и окисления сульфидов (VII группа):* 27 – минеральный источник Жабья радость, 34 – Санаторное верхний, 33 – Санаторное нижний, 40 – источник Странный 41 – колодец возле Ласпинской смотровой площадки, 35 – колодец у храма Воскресения Христова; 15 – *Воды зоны региональной трещиноватости преимущественно натриевых алюмосиликатов подверженные процессам континентального засоления с антропогенным влиянием, с. Колхозное (VIII группа):* 23 – северный колодец, 22 – центральный колодец для питья, 21 – центральный колодец для душа

ГЕОХИМИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД

Особенности состава вод, используемых для водообеспечения территории СГА, исследованы на примере поверхностных вод (р. Черная, Чернореченское водохранилище, озера) и подземных вод (каптированных и некаптированных родников, колодцев и водозаборных скважин Инкерманского, Орловского и Родниковского водозаборов). Всего на исследуемой территории в 2018-2019 гг. отобрано и проанализировано 52 пробы воды. Схема мест отбора проб представлена на рис. 1. Изучение химического состава рассмотренных потенциальных

объектов питьевых вод выполнено в проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Томского политехнического университета, аккредитованной в национальной системе аккредитации «Росаккредитация» методами титриметрии, спектрофотометрии, потенциометрии, пламенно-эмиссионной спектрометрии (инж. Ракул. Л.А., Погуца А.С., Бублий Н.В., Чеботарева О.В.), масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (инж. Куровская В.В.). Анализ проводился по аттестованным методикам, включенным в реестр нормативных документов РФ.

Изученные воды преимущественно слабощелочные с pH от 7,52 до 8,39, характеризуются значительным геохимическим разнообразием по минерализации от ультрапресных 207,4 до соленоватых 1268,8 мг/дм³ и химическому составу. Однако, большинство изученных вод характеризуется соленостью, не превышающей 1 г/дм³, что связано с их распространением в сильно закарстованных известняках верхнеюрского возраста. Анионный состав вод характеризуется доминированием гидрокарбонат иона, местами в водах присутствует сульфат-ион от 10 до 38 %-экв и хлорид-ион от 10 до 17 %-экв. В катионном составе вод, наряду с доминированием Ca, отмечается высокая доля Na от 10 до 70 %-экв и магния от 10 до 54 %-экв.

Применение коэффициентов (Ca/Na, Ca/Mg, Ca/Si, Mg/Si, Na/Si, Si/Na, rNa/rCl и SO₄/Cl) позволило впервые выделить однородные геохимические совокупности по процессам формирования состава питьевых вод.

Состав поверхностных вод (I группа) характеризуется слабощелочной реакцией среды с pH=7,9 низкими концентрациями Si—0,69 мг/дм³ и малой минерализацией вод 257 мг/дм³, соизмеримыми (в пределах одного порядка отношениями Mg/Si и Na/Si) концентрациями Na и Mg при десятикратном преобладании концентраций Ca. Воды Чернореченского водохранилища слабо щелочные с pH=8, ультрапресные с минерализацией 212 мг/дм³ HCO₃ – Ca состава с 13 %-экв Mg. Сохранению качества водных ресурсов водохранилища способствуют благоприятные условия его расположения на меловых глинистых образованиях его ложа.

Воды аллювиальных отложений Инкерманского водозабора (II группа) слабощелочные с pH=7,7, пресные с минерализацией от 517 до 646 мг/дм³ при средних значениях 569 мг/дм³ и средним содержанием Si 4,6 мг/дм³. По составу воды гидрокарбонатные (с 16 %-экв SO₄, 11 %-экв Cl и 4 %- экв NO₃) кальциевые (с 18 %-экв Na и до 15%-экв Mg). Состав вод аллювиальных образований характеризуется соизмеримыми отношениями Na/Si и Ca/Na. Концентра-

ции Ca почти в 4 раза превышают концентрации Na и в 12 раз выше концентрации Mg, а концентрации Na почти в 2 раза выше Mg (Na/Si=4,23> Mg/Si=1,67).

Воды зоны региональной трещиноватости карбонатно-терригенных образований среднемиоценового горизонта (Орловский водозабор) (III группа) слабощелочные с pH 7,54, соленоватые с минерализацией 1158 мг/дм³, жесткие 11,3 мг-экв/л. По химическому составу – HCO₃-Cl (с 17%-экв SO₄ и 4%-экв NO₃) Na-Ca (с 17%-экв Mg), что обусловлено смешением вод с минерализованными водами сарматского горизонта. Геохимические коэффициенты Ca/Si, Mg/Si и Ca/Mg и Mg/Si характеризуются соизмеримыми значениями, обусловленными процессами гидролиза алюмосиликатов и близкими к единице значениями эквивалентного отношения rNa/rCl, что подтверждает возможность смешения вод.

Трещинно-карстовые воды карбонатных образований верхнеюрского горизонта Родниковского водозабора (IV группа) слабощелочные с pH 7,9, пресные с минерализацией 446 мг/дм³ и средним содержанием Si 2,29 мг/дм³, по составу HCO₃ – Ca. В водах скважин 103 и 53 увеличиваются концентрации Mg до 13%-экв и NO₃ – до 3%-экв. В пресных водах Родниковского водозабора отношения между компонентами характеризуются соизмеримыми (около двух) низкими значениями (Na/Si=1,87) Na и (Mg/Si =2,23) Mg. Вместе с тем, отмечается более чем двадцатикратное превышение содержаний Ca над Na и почти 20-ти кратным его превышением над Mg. Это показывает особенность формирования состава вод при взаимодействии их с существенно карбонатными породами.

В водах зоны региональной трещиноватости карбонатных образований верхнеюрского горизонта и в зоне их сочленения с карбонатно-терригенными образованиями триас-юрского горизонта (V группа) сохраняются щелочная реакция среды pH 7,88, минерализация в среднем 429 мг/дм³ и содержание Si 3,12 мг/дм³, HCO₃ – Ca состав с 16%-экв Mg и до 13%-экв SO₄, соизмеримые невысокие значения Mg/Si, Na/Si и более десятикратное превышение отношения Ca/Mg. Необходимо отметить подверженность этих вод процессам испарительного концентрирования, что сопровождается пропорциональным увеличением концентраций SO₄ и Cl, особенно в колодцах Q 44, Кую-Алан и Фуска-Чокрак. Вместе с этим несколько увеличиваются концентрации Na и Mg.

Воды зоны региональной трещиноватости карбонатно-терригенных образований триас-юрского горизонта (VI группа) слабощелочные с pH = 7,64, собственно пресные с минерализацией 668 мг/дм³ и содержанием Si 5,87 мг/дм³.

Эти воды подвержены процессам континентального засоления, что отражается в пропорциональном поступлении в воды SO_4 и Cl и сопровождается увеличением концентраций Na и Mg . В условиях испарительного концентрирования химических элементов в водах наблюдается превышение концентраций Na над Mg , десятикратное превышение Ca над Mg и восьмикратное над Na . По химическому составу воды HCO_3 с присутствием Cl до 15 %-экв и SO_4 до 13% -экв (в источниках Чертова лестница, фонтан Варналы) преимущественно Ca с присутствием Mg до 15 %-экв и Na до 12 %-экв. Наибольшее поступление Mg до 24 %-экв отмечено в источнике Св. Пантелеймона, где они Mg-Ca , а Na (до 71 %-экв) в водах скважины у часовни Св. Николая Чудотворца. Воды характеризуются повышенными значениями Na/Si отношения, повышенными содержаниями Si , уменьшением Mg/Si отношения и, соответственно, значений Ca/Na отношения. Длительное взаимодействие этой системы приводит к увеличению Na в водах и формированию содовых вод скважины у часовни Св. Николая Чудотворца с $\text{pH} = 8,33$ и содержанием $\text{Si} = 7,83 \text{ мг/дм}^3$.

В трещинно-жильных водах выщелачивания алюмосиликатов и окисления сульфидов (VII группа) в условиях длительного взаимодействия системы вода – порода и возможного смешения с морскими водами происходит обогащение Cl , Na и Mg и Si . При этом формируются слабощелочные с $\text{pH} 7,93$ собственно пресные воды с минерализацией 729 мг/дм^3 и содержанием $\text{Si} 6,34 \text{ мг/дм}^3$, разнообразного химического состава от HCO_3 с 14% Cl , Mg-Ca до 18 %-экв Na . Концентрации Cl при этом в среднем составляют $36,6 \text{ мг/дм}^3$, SO_4 – $9,8 \text{ мг/дм}^3$, Na – $31,8 \text{ мг/дм}^3$ и Mg – 25 мг/дм^3 . Наиболее ярко эти процессы проявляются на примере родника Жабья радость, что сопровождается увеличением Na , Mg и Cl и уменьшением отношения SO_4/Cl при $\text{pH} 7,35$ и минерализации 865 мг/дм^3 и содержания $\text{Si} 6,52 \text{ мг/дм}^3$ появлением $\text{HCO}_3 \text{ Mg-Ca}$ вод с 18%-экв Na . Воды находятся в состоянии равновесия с каолинитом, насыщены доломитом, кальцитом иногда сидеритом и родохрозитом.

Взаимодействие трещинно-жильных вод и алюмосиликатов с вкраплениями сульфидов характеризуется повышением значений SO_4/Cl и увеличением концентраций Mg и Na . В условиях слабощелочных вод происходит осаждение карбоната кальция, что показывает уменьшение концентраций Ca и значений Ca/Na и Ca/Mg . Это можно проследить на примере колодца возле храма Воскресения Христова в щелочных водах при $\text{pH} = 8,39$ и минерализации

1040 мг/дм^3 . С увеличением минерализации вод происходит изменение химического состава вод от $\text{SO}_4\text{-HCO}_3 \text{ Ca}$ в источнике Странном до $\text{Cl-HCO}_3\text{-SO}_4 \text{ Na-Ca}$ в колодце возле Ласпинской смотровой площадки и $\text{SO}_4\text{-HCO}_3 \text{ Na-Mg}$ состава с 7 %-экв K в колодце храма Воскресения Христова. Сложный анионный состав этих вод может быть связан с влиянием как природных, так и антропогенных факторов обогащения вод.

Антропогенное влияние на воды зоны региональной трещиноватости карбонатно-терригенных образований селитебных районов можно проследить на примере с. Колхозного (VIII группа). При высокой антропогенной нагрузке на подземные воды колодцев центральных («для питья» и «для душа»), наблюдается снижение pH , увеличение концентраций Na до мг/дм^3 , Cl до 197, SO_4 до 111 мг/дм^3 , NO_3 до 180 мг/дм^3 повышается общая жесткость до $11,4 \text{ мг-экв/л}$, что определяет появление соленоватых вод с общей минерализации до 1269 мг/дм^3 . Изменяются химические типы вод от фоновых $\text{HCO}_3 \text{ Ca}$ в колодце южном до $\text{NO}_3\text{-HCO}_3\text{-Cl Na-Mg-Ca}$ в колодце центральном для душа. Как выше это отмечалось в фонтане Варналы, благодаря дополнительному поступлению компонентов, в частности - бария и сульфат-иона в воды.

РАВНОВЕСИЕ ВОД С ВМЕЩАЮЩИМИ ГОРНЫМИ ПОРОДАМИ

Выделенные геохимические разновидности вод находятся на начальных стадиях формирования химического состава с позиции геологической эволюции системы вода – порода.

Преимущественно карбонатный состав водовмещающих пород определяет главенствующую роль процессов растворения хемогенных образований и прежде всего карбонатов в обогащении вод химическими элементами и формировании их химического состава. Состояние равновесия вод с карбонатными минералами достигается уже в маломинерализованных поверхностных водах и насыщенность ими природных вод повышается с увеличением времени взаимодействия с существенно-карбонатными и карбонатно-терригенными образованиями. Состав равновесных минералов усложняется от кальцита и доломита в поверхностных водах до их насыщенности в трещинно-жильных водах и водах зоны региональной трещиноватости карбонатных и карбонатно-терригенных образований доломитом, кальцитом, сидеритом, родохрозитом и магнезитом (рис. 2). Равновесие вод с сульфатными минералами прослеживается только в отдельных водопунктах (колодец южный, с. Колхозное,

источник Фонтан Варналы, источник Странный) и в водах с антропогенной нагрузкой (с. Колхозное, Орловского и Инкерманского водозаборов).

Для системы вода-алюмосиликаты в поверхностных водах характерно состояние равновесия с гиббситом. С каолинитом равновесны воды озера Конюшня с $pH=7,56$, минерализацией 756 мг/дм^3 и содержанием $Si = 4 \text{ мг/дм}^3$. В трещинно-карстовых водах Родниковского водозабора, а также в водах зоны региональной трещиноватости карбонатных образований и в зоне сочленения карбонатно-терригенных и карбонатных образований с содержанием Si от $1,5$ до $3,7 \text{ мг/дм}^3$ наблюдается равновесие вод с каолинитом.

С увеличением времени взаимодействия вод с карбонатно-терригенными образованиями происходит их насыщение каолинитом, Са- и Mg-монтмориллонитами при среднем содержании $Si = 5,88 \text{ мг/дм}^3$ и минерализации 675 мг/дм^3 . Трещинно-жильные воды терригенно-карбонатных образований находятся на стадии насыщения каолинитом, Са- и Mg-монтмориллонитами и в состоянии равновесия с кальцитом, доломитом и сидеритом. Более высокая стадия эволюционного развития и формирования состава вод с достижением равновесия с сульфатами отмечается редко в родниках Странный и Ласпинский и в подземных водах селитебных районов (с. Колхозное), где достигается равновесие с баритом.

На Инкерманском и Орловском водозаборах, отличающихся повышенной минерализацией вод и средним содержанием Si $5,29 \text{ мг/дм}^3$ наряду с насыщенностью вод каолинитом, Са- и Mg-монтмориллонитами, равновесием вод с карбонатами достигается состояние равновесия и насыщенности вод по отношению к бариту. Этому обстоятельству наряду с природными процессами способствуют и антропогенные факторы, в частности за счет высоких концентраций сульфат-иона и бария в водах селитебных районов.

Наибольшая степень насыщения вод вторичными минералами выявлена в водах колодца у храма Воскресения Христова и скважины часовни Св. Николая Чудотворца: каолинитом, Са-, Mg- и Na-монтмориллонитами и кальцитом при взаимодействии вод с алюмосиликатами, а также с доломитом, кальцитом, сидеритом, родохрозитом, стронцианитом и магнезитом при взаимодействии вод с карбонатными образованиями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные как потенциальные источники водоснабжения природные воды подвержены

процессам испарительного концентрирования и распространены в породах преимущественно карбонатного состава. В этой связи определяющим процессом формирования состава вод Севастопольской городской агломерации является взаимодействие их с карбонатными образованиями. Благодаря щелочным условиям геохимической среды достигается состояние равновесия природных вод с кальцитом, доломитом, сидеритом, родохрозитом, иногда стронцианитом, магнезитом и баритом.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Амеличев Г.Н. Скульская пещера: состояние изученности, проблемы охраны и использования // Спелеология и карстология – № 1. – 2008. – С. 94-99.
- 2 Артеменко В.М., Ильин Ю.П., Кучеренко В.С., Рябинин А.И., Боброва С.А., Гуцалюк А.Н., Мальченко Ю.А., Салтыкова Л.В. Гидрохимический режим и микроэлементный состав вод Чернореченского водохранилища в 1991-2004 гг. // Экологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу: 36. наук. пр. – № 12. – 2005. – С. 129-149.
- 3 Дублянский Ю.В., Климчук А.Б., Амеличев Г.Н., Токарев С.В., Шпётль К. Изотопный состав атмосферных осадков и карстовых источников северо-западного склона Крымских гор // Спелеология и карстология – №9. – 2012. – С. 14-21.
- 4 Миньковская Р.Я., Ингерев А.В. Гидрохимическая характеристика рек севастопольского региона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря – № 22. – 2010. – С. 265-281.
- 5 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 – Т. 4 (70). – № 4. – 2018. – С. 268-288.
- 6 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 – Т. 2. – 2018. – С. 81-91
- 7 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 – Т. 23. – № 4. – 2019. – С. 52-57.
- 8 Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф. Новый взгляд на гидрогеологические условия города федерального значения Севастополь // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов – Т. 330. – № 8. – 2019. – С. 105-122.
- 9 Шварцев С.Л. Взаимодействие воды с алюмосиликатными горными породами. Обзор // Геология и геофизика – № 12. – 1991. – С.16-50.

10 Шварцев С.Л. Прогрессивно самоорганизующиеся абиогенные диссипативные структуры в геологической истории Земли // Литосфера – № 1. – 2007. – С. 65-89.

11 Nichkova L.A., Novikov D.A., Chernykh A.V., Dultsev F.F., Sigora G.A., Khomenko T. Yu. Geochemistry of natural waters of the Baydar valley (Crimean

Peninsula) // E3S Web of Conferences – v. 98. – 2019. – № 01036.

12 Novikov D.A., Nichkova L.A., Chernykh A.V., Dultsev F.F., Pyryaev A.N., Sigora G.A., Khomenko T. Yu. Distribution of the stable isotopes ($\delta^{18}\text{O}$, δD и $\delta^{13}\text{C}$) in natural waters of the Baydar valley (Crimean Peninsula) // E3S Web of Conferences – v. 98. – 2019. – № 01038.

Рис. 2. Расчетная степень насыщения (L) питьевых вод Севастопольской городской агломерации карбонатными (а-з) и алюмосиликатными минералами (и-м) при стандартных условиях.

Условные обозначения см. рис. 1