

УДК 556.34(477)

## РОЛЬ СИСТЕМЫ «ВОДА–ПОРОДА» В ПРОЦЕССАХ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

**Хвощевская Альбина Анатольевна**<sup>1</sup>,  
hvashevskaya@tpu.ru

**Новиков Дмитрий Анатольевич**<sup>2,3</sup>,  
NovikovDA@ipgg.sbras.ru

**Копылова Юлия Григорьевна**<sup>1</sup>,  
kyg@tpu.ru

**Сметанина Ирина Валерьевна**<sup>1</sup>,  
siv@tpu.ru

**Черных Анатолий Витальевич**<sup>2</sup>,  
ChernykhAV@ipgg.sbras.ru

**Дульцев Федор Федорович**<sup>2</sup>,  
DultsevFF@ipgg.sbras.ru

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

<sup>2</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,  
Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3.

<sup>3</sup> Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,  
Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1.

**Актуальность** исследования связана с получением новых данных по геохимии природных родников и подземных вод Севастопольской городской агломерации как источников питьевого водоснабжения и оценки их качества с использованием современных аналитических методов.

**Цель:** выявить роль процессов взаимодействия в системе «вода – горная порода», континентального засоления и антропогенного загрязнения в формировании состава питьевых подземных вод Севастопольской городской агломерации.

**Методы.** Отбор проб выполнялся в соответствии с общепринятыми методиками. Лабораторное изучение химического состава методами титриметрии, ионной хроматографии, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой проводилось в ПНИЛ гидрогеохимии ИШПР ТПУ. Теоретические основы к решению поставленных в настоящем исследовании задач разработаны профессором С.Л. Шварцевым в Сибирской гидрогеохимической школе.

**Результаты.** В 2018–2019 гг. в пределах 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 рН от 7,52 до 8,39, характеризуются значительным геохимическим разнообразием по минерализации – от ультрапресных 207,4 до солоноватых 1268,8 мг/дм<sup>3</sup>, и химическому составу. Применение коэффициентов (Ca/Si, Mg/Si, Na/Si, Si/Na, Ca/Na, Ca/Mg, rNa/Cl и SO<sub>4</sub>/Cl) позволило впервые выделить однородные геохимические совокупности по процессам формирования состава питьевых вод. Наряду с ключевой ролью системы «вода–порода» в формировании 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-жильных 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 с. Колхозное, источник Фонтан Варналы, источник Странный) и в водах с антропогенной нагрузкой (с. Колхозное, Инкерманский и Орловский водозаборы).

### **Ключевые слова:**

Подземные воды, гидрогеохимия, система «вода–порода», равновесие, континентальное засоление, антропогенное загрязнение, Севастопольская городская агломерация, Крымский полуостров.

### **Введение**

Проблема питьевого водоснабжения Крыма активно обсуждается научной общественностью, и все единодушно в том, что имеющаяся инфраструктура

нуждается в масштабной реконструкции и развитии. Действующие водохранилища с трудом справляются со снабжением населения чистой водой. Ресурсов Чернореченского водохранилища, снабжающего во-

дой 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 Севастопольской городской агломерации (СГА) как источников водоснабжения и оценки их качества с использованием современных аналитических методов анализа и термодинамических расчетов. Поэтому основной целью настоящего исследования является выявление роли процессов взаимодействия в системе «вода – горная порода», континентального засоления и антропогенного загрязнения в формировании состава питьевых подземных вод города федерального значения Севастополь и его агломерации.

Проблема питьевого водоснабжения на планете стоит давно и нарастает с каждым годом в связи с изменением климата. Острый дефицит ресурсов пресных подземных вод для питьевого водоснабжения населения особенно ощущается в странах Азии, Африки, и Латинской Америки. Наиболее интересные результаты опубликованы по вопросам водоснабжения городских агломераций Алжира, Бангладеш, Индии, Израиля, Камеруна, Нигера и других стран [1–22].

#### Фактический материал и методика исследования

Теоретические основы к решению поставленных в настоящем исследовании задач разработаны профессором С.Л. Шварцевым в Сибирской гидрогеохимической школе [23, 24].

Природные воды рассматриваемого региона изучены крайне слабо [25–37]. В этой связи сотрудниками ИНГГ СО РАН на территории СГА в 2018–2019 гг. 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.

Особенности состава вод, используемых для водоснабжения территории СГА, исследованы на примере поверхностных вод (р. Черная, Чернореченское водохранилище, озера) и подземных вод (каптированные и некаптированные родники, 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, а. Изучение химического состава рассмотренных потенциальных объектов питьевых вод выполнено в ПНИЛ гидрогеохимии ТПУ, зарегистрированной в национальной системе аккредитации «Росаккредитация» методами титриметрии, спектрофотометрии, потенциометрии, пламенно-эмиссионной спектрометрии (инженеры Л.А. Ракул, А.С. Погуца, Н.В. Бублий, О.В. Чеботарева), масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (инженер В.В. Куров-

ская). Анализы проводились по аттестованным методикам, включенным в реестр нормативных документов РФ. Оценка состояния равновесия вод со вторичными минералами проведена по расчету параметра насыщенности [38, 39].

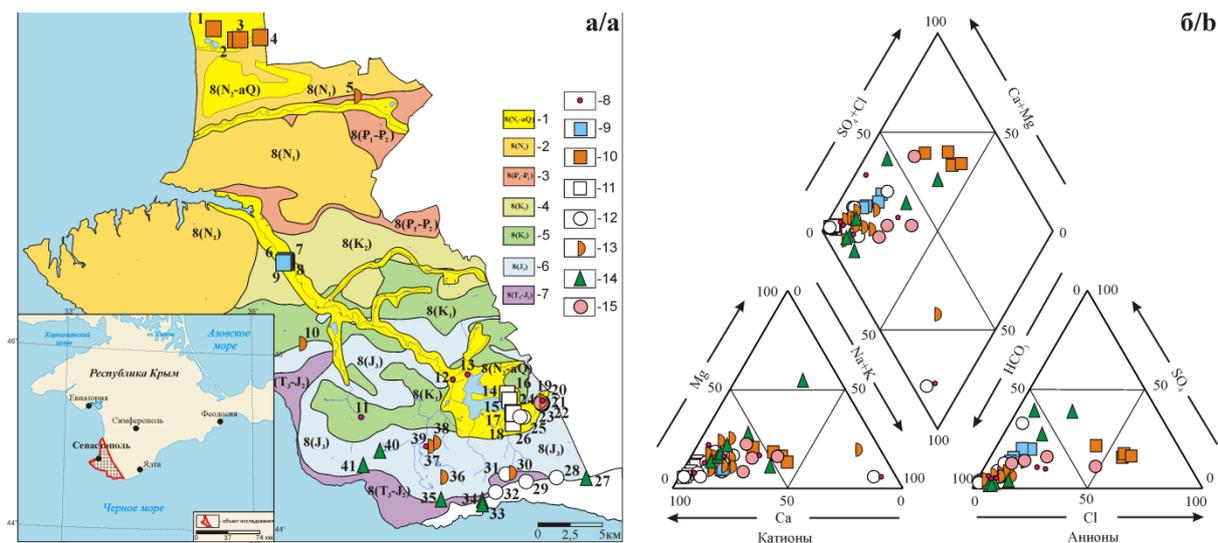
#### Результаты исследования и обсуждение

##### Геохимия природных вод

Изученные воды преимущественно слабощелочные – с рН от 7,52 до 8,39, характеризуются значительным геохимическим разнообразием по минерализации от ультрапресных 207,4 до солоноватых 1268,8 мг/дм<sup>3</sup> и химическому составу. Однако большинство изученных объектов характеризуется величиной общей минерализации не более 1 г/дм<sup>3</sup>, что связано с их распространением в сильно закислованных 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 (рис. 1, б). В катионном составе вод, наряду с доминированием Са, отмечается высокая доля Na – от 10 до 70 %-экв, и магния – от 10 до 54 %-экв. Названия химических типов вод приводятся по принципу оттенков цвета с величиной равной и превышающей 20 %-экв компонента в формуле Курлова.

Применение коэффициентов (Ca/Si, Mg/Si, Na/Si, Si/Na, Ca/Na, Ca/Mg, rNa/rCl и SO<sub>4</sub>/Cl) позволило впервые выделить однородные геохимические совокупности по процессам формирования состава питьевых вод. Разделение данных на однородные геохимические совокупности по процессам формирования состава с оценкой интенсивности их проявления выполнено на основе соотношения химических элементов в водах. Коэффициенты Ca/Na, Ca/Mg, Ca/Si, Mg/Si, Na/Si использованы для оценки особенности обогащения вод за счет процессов гидролиза алюмосиликатов; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Cl<sup>-</sup>>>1 и rNa<sup>+</sup>/rCl<sup>-</sup>>>1 – гидролиза алюмосиликатов и окисления сульфидных минералов; эквивалентные соотношения натрия и хлора в водах rNa<sup>+</sup>/rCl<sup>-</sup>=1, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Cl<sup>-</sup><<1 – гидролиза алюмосиликатов с растворением эвапоритов или процессов потенциального смешения подземных и морских вод; пропорциональное увеличение значений SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Cl<sup>-</sup>=1, rNa<sup>+</sup>/rCl<sup>-</sup>≥1, Ca/Na>0 – испарительного концентрирования.

Состав поверхностных вод (I группа) характеризуется слабощелочной реакцией среды с рН=7,9, низкими концентрациями Si – 0,69 мг/дм<sup>3</sup>, и малой минерализацией вод 257 мг/дм<sup>3</sup>, соизмеримыми концентрациями Na и Mg при десятикратном преобладании концентраций Са и близкими отношениями Mg/Si и Na/Si. Воды Чернореченского водохранилища слабощелочные с рН=8, ультрапресные с минерализацией 212 мг/дм<sup>3</sup> HCO<sub>3</sub>-Са состава с 13 %-экв Mg. Сохранению качества водных ресурсов водохранилища способствуют благоприятные условия его расположения на меловых глинистых образованиях его ложа, защищающего от инфильтрации вод в нижележащий горизонт.



**Рис. 1.** Местоположение изученных водоупунктов (1–41) (а) и диаграмма Пайпера питьевых вод (б) в пределах Севастопольской городской агломерации. Водонасыщенные комплексы (по [32]): 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 Узужинское, с. Колхозное; 11 – озеро с. Гончарное; 39 – оз. Конюшня, с. Орлиное; 9 – Аллювиальные воды палеоруслa 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. № 5574; 3 – скв. № 3; 4 – скв. № 5561, 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 Кую-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-жильные 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

**Fig. 1.** Location of the studied wells (1–41) (a) and Piper diagram of drinking water (b) within the Sevastopol city. Aquifer complex (according to [32]): 1 – Pliocene and Quaternary, 2 – Miocene, 3 – Paleocene-Eocene, 4 – Upper Cretaceous, 5 – Lower Cretaceous, 6 – Upper Jurassic, 7 – Upper Triassic–Middle Jurassic; 8 – Surface waters (group I): 13 – Chernorechenskoe water storage reservoir, 12 – Chernaya river near the bridge, 20 – Uzuzhinskoe lake, Kolkhoznoe v.; 11 – lake at Goncharnoe v.; 39 – Konyushnya lake, Orlineo v.; 9 – Alluvial waters of the Chernaya river paleochannel, Inkerman water intake (group II): 8 – well no. 15; 9 – well no. 5; 7 – well no. 6; 6 – open well no. 2; 10 – waters of the zone of regional fracturing of carbonate-terrigenous formations of the Middle Miocene horizon, Orlovsky water intake (conserved) (group III): 2 – well no. 10; 1 – well no. 5574; 3 – well no. 3; 4 – well no. 5561, Vishnevoe v.; 11 – Fracture-karst water of carbonate formations of the Upper Jurassic horizon, Rodnikovsky water intake (IV group): 16 – well no. 103; 17 – well no. 53; 26 – well no. 55 (5760); 15 – well no. 5775; 14 – well no. 5776; 18 – well no. 5531; 12 – waters of the zone of regional fracturing of carbonate formations of the Upper Jurassic horizon and in the zone of their jointing with carbonate-terrigenous formations of the Triassic-Jurassic horizon (group V): 24 – Skelsky spring, 28 – Merdven-Kayasy spring, 32 – Kilsa-Burunum spring, 29 – Q 044 spring, 31 – Kuyu-Alan well, 25 – Fуска-Chokrak well; 13 – waters of the zone of regional fracturing of carbonate-terrigenous formations of the Triassic-Jurassic horizon (group VI): 30 – Chertova lestnitsa, 36 – Despit spring, 37 – Varnaly fountain, Goncharnoe v., 38 – Kara-Agach spring, 10 – St. Panteleimon spring, Oboronnoe v., 5 – well at the chapel of St. Nicholas the Wonderworker, 19 – south well, Kolkhoznoe v.; 14 – fissure-vein waters of leaching of aluminosilicates and oxidation of sulfides (group VII): 27 – Zhabya radost mineral spring, 34 – upper well, Sanatornoe v., 33 – lower well, Sanatornoe v., 40 – Stranny spring, 41 – well near Laspinskaya observation deck, 35 – well near the Church of the Resurrection of Christ; 15 – waters of the zone of regional fracturing, predominantly of sodium aluminosilicates, subject to continental salinization processes with anthropogenic influence Kolkhoznoe v. (group VIII): 23 – northern well, 22 – central drinking well, 21 – central shower well

Воды аллювиальных отложений Инкерманского водозабора (II группа) слабощелочные с  $pH=7,7$ , пресные с минерализацией от 517 до 646 мг/дм<sup>3</sup> и содержанием Si в среднем 4,6 мг/дм<sup>3</sup>. По составу воды гидрокарбонатные (с 16 %-экв SO<sub>4</sub>, 11 %-экв Cl и 4 %-экв NO<sub>3</sub>), кальциевые (с 18 %-экв Na и до 15 %-экв Mg). Состав вод аллювиальных образований характеризуется соизмеримыми отношениями Na/Si и Ca/Na. Концентрации 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  $pH 7,54$ , солоноватые с минерализацией 1158 мг/дм<sup>3</sup>, жесткие – 11,3 мг-экв/л. По химическому составу HCO<sub>3</sub>-Cl (с 17 %-экв SO<sub>4</sub> и 4 %-экв NO<sub>3</sub>) 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  $gNa/gCl$ , 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/дм<sup>3</sup> и средним содержанием Si 2,29 мг/дм<sup>3</sup>, по составу HCO<sub>3</sub>-Ca. В водах скважин 103 и 53 увеличиваются в химическом составе доли Mg до 13 %-экв и NO<sub>3</sub> 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 содержания Ca над Na и почти 20-ти кратное его превышение над Mg. Это показывает особенность формирования состава вод при взаимодействии их с существенно карбонатными породами.

В водах зоны региональной трещиноватости карбонатных образований верхнеюрского горизонта в зоне их сочленения с карбонатно-терригенными образованиями триас-юрского горизонта (V группа) сохраняется щелочная реакция среды  $pH 7,88$ , минерализация в среднем 429 мг/дм<sup>3</sup> и содержание Si 3,12 мг/дм<sup>3</sup>, HCO<sub>3</sub> Ca состав с 16 %-экв Mg и до 13 %-экв SO<sub>4</sub>, соизмеримые невысокие значения Mg/Si, Na/Si и более чем десятикратное значение отношения Ca/Mg. Необходимо отметить подверженность этих вод процессам испарительного концентрирования, что сопровождается пропорциональным увеличением концентраций SO<sub>4</sub> 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/дм<sup>3</sup> и содержанием Si 5,87 мг/дм<sup>3</sup>. Эти воды подвержены процессам континентального засоления, что отражается в

пропорциональном поступлении в воды SO<sub>4</sub> 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<sub>3</sub> с присутствием Cl до 15 %-экв и SO<sub>4</sub> 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 формируются Mg-Ca воды. Воды этого источника содержат высокие концентрации Si=6,12 мг/л, характеризуются повышенными значениями Na/Si=3,93 и Mg/Si=3,12 отношений, уменьшением Ca/Si=16 отношения и близкими значениями Ca/Na и Ca/Mg отношений. Длительное взаимодействие этой системы приводит к увеличению Na (до 71 %-экв) в водах и формированию содовых вод с  $pH=8,33$  и содержанием Si=7,83 мг/дм<sup>3</sup>, которые вскрыты скважиной у часовни Св. Николая Чудотворца.

В трещинно-жильных водах выщелачивания алюмосиликатов (VII группа) в условиях длительного взаимодействия системы «вода–порода» и возможного смешения с морскими водами происходит их обогащение Cl, Na и Mg и Si. При этом формируются слабощелочные, с  $pH 7,93$ , собственно пресные воды с минерализацией 729 мг/дм<sup>3</sup> и содержанием Si 6,34 мг/дм<sup>3</sup>, гидрокарбонатные воды (с 14 %-экв Cl) магниевые-кальциевые, содержащие до 18 %-экв Na. Средние концентрации Na составляют 31,8 мг/дм<sup>3</sup>, Mg – 25 мг/дм<sup>3</sup>, Cl – 36,6 мг/дм<sup>3</sup> и SO<sub>4</sub> – 9,8 мг/дм<sup>3</sup>. Наиболее ярко эти процессы проявляются на примере родника Жабья радость, что сопровождается увеличением Na, Mg и Cl и уменьшением отношения SO<sub>4</sub>/Cl при  $pH 7,35$  и минерализации 865 мг/дм<sup>3</sup> и содержании Si 6,52 мг/дм<sup>3</sup>, появлением HCO<sub>3</sub> Mg-Ca вод с 18 %-экв Na. Воды находятся в состоянии равновесия с каолинитом, насыщения по отношению к доломиту, кальциту, иногда сидериту и родохрозиту.

Взаимодействие трещинно-жильных вод и алюмосиликатов с вкраплениями сульфидов характеризуется повышением значений SO<sub>4</sub>/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  $pH=8,39$  и минерализации 1040 мг/дм<sup>3</sup>. С увеличением минерализации вод происходит изменение химического состава вод от SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> Ca в источнике Странном до Cl-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> Na-Ca в колодце возле Ласпинской смотровой площадки и SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> Na-Mg состава с 7 %-экв K в колодце храма Воскресения Христова. Сложный анионный состав этих вод может быть связан с влиянием природных и антропогенных факторов.

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 до 7,36, увеличение концентраций Na до 113 мг/дм<sup>3</sup>, Cl до 197 мг/дм<sup>3</sup>, SO<sub>4</sub> до 111 мг/дм<sup>3</sup>, NO<sub>3</sub> до 180 мг/дм<sup>3</sup>, повышается общая жесткость до 11,4 мг-экв/л. Этими обстоятельствами определяется появление солоноватых вод с общей минерализацией до 1269 мг/дм<sup>3</sup>. Благодаря дополнительному поступлению компонентов, в частности бария и сульфат-иона в воды, изменяются химические типы вод – от фоновых HCO<sub>3</sub> Ca в колодце южном до NO<sub>3</sub>-HCO<sub>3</sub>-Cl Na-Mg-Ca в колодце центральном для душа.

Выделенные геохимические разновидности вод по процессам формирования их химического состав могут быть использованы как возможные потенциальные источники обеспечения населения питьевой водой необходимого качества. С этих позиций воды Чернореченского водохранилища могут рассматриваться как соответствующие высшей категории качества, прежде всего по степени минерализации вод, содержаниям основных компонентов, и расцениваются как национальное достояние с заботой о сохранении их качества. Трещинно-карстовые воды карбонатных образований верхнеюрского горизонта Родниковского водозабора соответствуют первой категории качества питьевых вод.

#### 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 водах зоны региональной трещиноватости карбонатных и карбонатно-терригенных образований – по отношению к кальциту, доломиту, сидериту, редко родохрозиту, а в трещинно-жильных водах – доломиту, кальциту, сидериту, иногда родохрозиту и магнезиту (рис. 2).

Для системы «вода–алюмосиликаты» в поверхностных водах характерно состояние равновесия с гиббситом. С каолинитом равновесны воды озера Коношья с pH=7,56, минерализацией 756 мг/дм<sup>3</sup> и содержанием Si=4 мг/дм<sup>3</sup>. 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 мг/дм<sup>3</sup> наблюдается равновесие вод с каолинитом.

С увеличением времени взаимодействия вод с карбонатно-терригенными образованиями происходит их насыщение по отношению к каолиниту, Са- и Mg-монтмориллонитам при среднем содержании Si=5,88 мг/дм<sup>3</sup> и минерализации 675 мг/дм<sup>3</sup>. Трещинно-жильные воды терригенно-карбонатных образований находятся на стадии насыщения по отношению к каолиниту, Са- и Mg-монтмориллонитам, достигают состояния равновесия вод с кальцитом и карбонатными минералами (доломитом и сидеритом).

Более высокая стадия эволюционного развития и формирования состава вод с достижением равновесия с сульфатами отмечается только в отдельных водопунктах, в водах которых отмечается состояние равновесия вод с баритом (колодец южный с. Колхозное, источник Фонтан Варналы, источник Странный и Ласпинский) и в водах с антропогенной нагрузкой (с. Колхозное, Орловский и Инкерманский водозаборы).

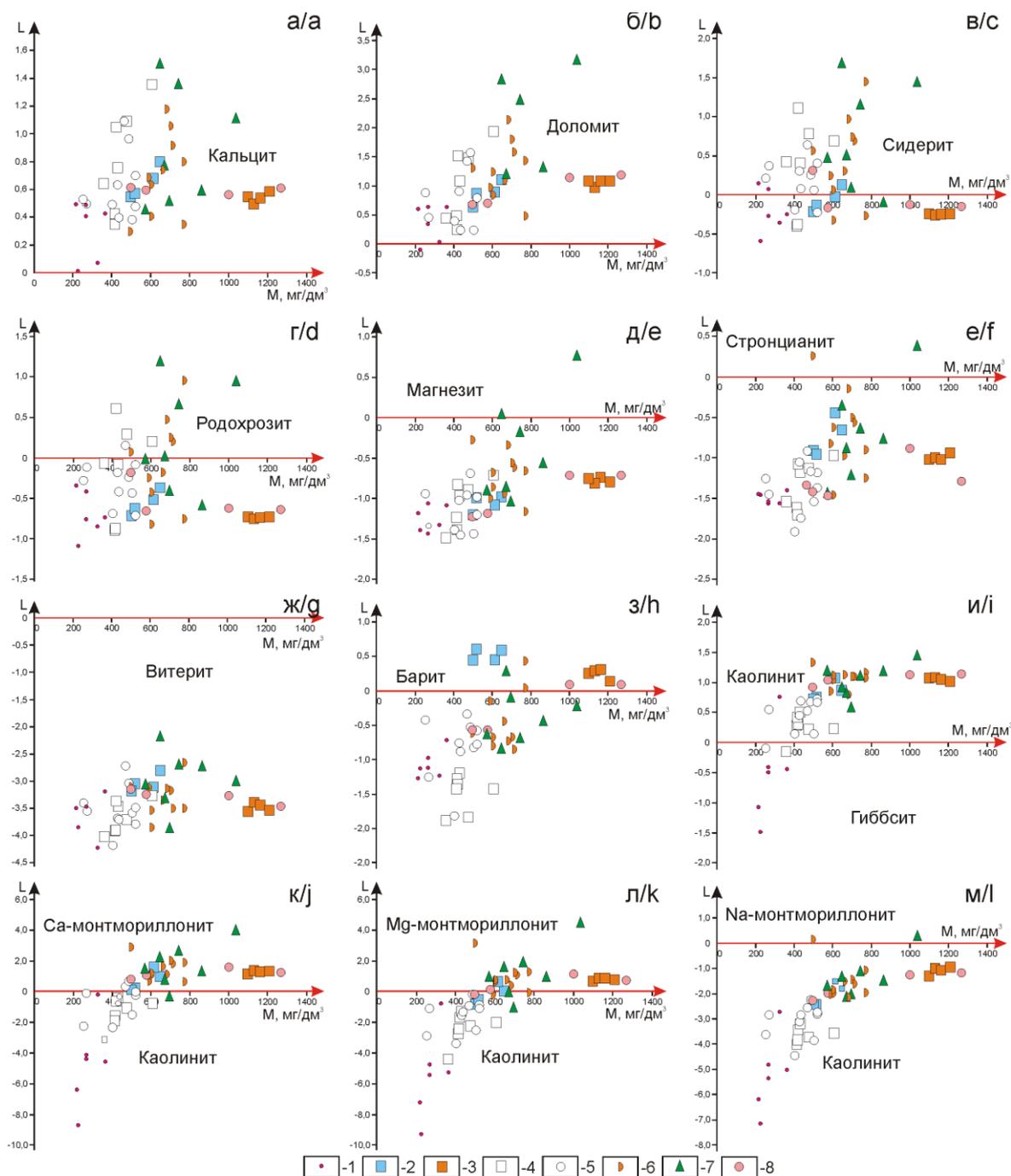
На Инкерманском и Орловском водозаборах, отличающихся повышенной минерализацией вод и средним содержанием Si 5,29 мг/дм<sup>3</sup>, наряду с насыщенностью вод по отношению к каолиниту, Са- и Mg-монтмориллонитам, равновесием вод с карбонатами, достигается состояние равновесия и насыщенности вод по отношению к бариту. Этому обстоятельству, наряду с природными процессами, способствует поступление в воды селитящих районов высоких концентраций сульфат-иона и бария.

Наибольшая степень насыщения вод по отношению к вторичным минералам выявлена в водах колодца у храма Воскресения Христова и скважины у часовни Св. Николая Чудотворца: каолиниту, Са-, Mg- и Na-монтмориллонитам и кальциту при взаимодействии вод с алюмосиликатами, а также доломиту, кальциту, сидериту, родохрозиту, стронцианиту и магнезиту при взаимодействии вод с карбонатными образованиями.

#### Заключение

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

Стадия насыщения вод по отношению к кальциту при их взаимодействии с алюмосиликатами достигается в водах выщелачивания в условиях длительного взаимодействия системы и отмечается в трещинно-жильных водах колодцев Санаторное и Q 044, Воскресения Христова и скважины у часовни Св. Николая Чудотворца при насыщении вод по отношению к каолиниту, Са-, Mg- и Na-монтмориллонитам.



**Рис. 2.** Расчетная степень насыщения ( $L$ ) питьевых вод Севастопольской городской агломерации карбонатными (а–з) и алюмосиликатными минералами (и–м) при стандартных условиях. Условные обозначения – на рис. 1  
**Fig. 2.** Calculated degree of saturation ( $L$ ) of drinking water of the Sevastopol city with carbonate (a–h) and aluminosilicate minerals (i–l) under standard conditions. For legend see Fig. 1

Равновесие вод с сульфатными минералами отслеживается только в отдельных водопунктах, в водах которых отмечается состояние равновесия вод с баритом (колодец южный, с. Колхозное, источник Фонтан Варналы, источник Странный и Ласпинский) и в водах с антропогенной нагрузкой (с. Колхозное, Орловский и Инкерманский водозаборы).

Выделенные геохимические разновидности природных вод с позиции качества питьевых вод могут рассматриваться как соответствующие высшей (поверхностные воды Чернореченского водохранилища) и пер-

вой категориям качества (подземные воды Родниковского водозабора). Воды зоны региональной трещиноватости карбонатно-терригенных образований триасюрского горизонта подвержены процессам континентального засоления, в связи с чем необходимо проведение мероприятий по улучшению качества питьевых вод.

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта ФНИ № 0331-2019-0025, Российского фонда фундаментальных исследований и города Севастополь в рамках гранта № 18-45-920032 р\_а и Государственного Задания РФ «Наука» в рамках проекта № FSWW-0022-2020.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Groundwater beneath the urban area of Khan Younis City, southern Gaza Strip (Palestine): assessment for multi-domestic purposes / M.S. Abu Jabal, I. Abustan, M.R. Rozaimy, H. El Najjar // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2017. – V. 10. – P. 257–272.
2. Aloni A., Brenner A. Use of cotton as a carbon source for denitrification in biofilters for groundwater remediation // *Water*. – 2017. – V. 9. – P. 714–725.
3. Asadi P., Ataie-Ashtiani B., Beheshti A. Vulnerability assessment of urban groundwater resources to nitrate: the case study of Mashhad, Iran // *Environmental Earth Sciences*. – 2017. – V. 76. – P. 41–56.
4. Mass balance of emerging contaminants in the water cycle of a highly urbanized and industrialized area of Italy / S. Castiglioni, E. Davoli, F. Riva, M. Palmiotto, P. Camporini, A. Manenti, E. Zuccato // *Water Research*. – 2018. – V. 131. – P. 287–298.
5. Hydrochemical characteristics and the impact of anthropogenic activity on groundwater quality in suburban area of Urmia city, Iran / M. Chitsazan, N. Aghazadeh, Y. Mirzaee, Y. Golestan // *Environment, Development and Sustainability*. – 2017. – V. 21 (4) – P. 1–21.
6. Spatial analysis and health risk assessment of heavy metals concentration in drinking water resources / R.A. Fallahzadeh, M.T. Ghaneian, M. Miri, M.M. Dashti // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2017. – V. 24. – P. 24790–24802.
7. Impacts of a large Sahelian city on groundwater hydrodynamics and quality: example of Niamey (Niger) / A.B. Hassane, C. Leduc, G. Favreau, B.A. Bekins, T. Margueron // *Hydrogeology Journal*. – 2016. – V. 24. – № 2. – P. 407–423.
8. Jangam C., Pujari P. Impact of on-site sanitation systems on groundwater sources in a coastal aquifer in Chennai, India // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2017. – V. 26 (10). – P. 1–10.
9. Combined hydrogeological and nitrate modelling to manage water resources of the Middle Soummam Aquifer, Northeast of Algeria / F. Kessasra, M. Mesbah, Z. Khemissa., N. Bouab, S. Khaled-Khodja, H. Lamari // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2017. – V. 10. – P. 368–388.
10. Lasagna M., De Luca D.A. Evaluation of sources and fate of nitrates in the western Po plain groundwater (Italy) using nitrogen and boron isotopes // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2017. – V. 26 (3). – P. 1–16.
11. Lins-de-Barros F.M. Integrated coastal vulnerability assessment: a methodology for coastal cities management integrating socioeconomic, physical and environmental dimensions – case study of Região dos Lagos, Rio de Janeiro, Brazil // *Ocean & Coastal Management*. – 2017. – V. 149. – P. 1–11.
12. Nitrate-nitrogen contamination in groundwater: spatiotemporal variation and driving factors under cropland in Shandong Province, China / J. Liu, L.H. Jiang, C.J. Zhang, P. Li, T.K. Zhao // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. – 2017. – V. 82. – 012059.
13. Passive sampling as a tool for identifying micro-organic compounds in groundwater / N. Mali, S. Cerar, A. Koroša, P. Auersperger // *Science of the Total Environment*. – 2017. – V. 593–594. – P. 722–734.
14. Occurrence of chemical contaminants in peri-urban agricultural irrigation waters and assessment of their phytotoxicity and crop productivity / A. Margenat, V. Matamoros, S. Diez, N. Cañameras, J. Comas, J.M. Bayona // *Science of the Total Environment*. – 2017. – V. 599–600. – P. 1140–1148.
15. Hydrogeochemical and isotopic signature of surface and groundwater in a highly industrialized sector of the Rio de la Plata coastal plain (Argentina) / L. Santucci, E. Carol, G. Borzi, M.G. García // *Marine Pollution Bulletin*. – 2017. – V. 120. – P. 387–395.
16. Selvakumar S., Chandrasekar N., Kumar G. Hydrogeochemical characteristics and groundwater contamination in the rapid urban development areas of Coimbatore, India // *Water Resources and Industry*. – 2017. – V. 17. – P. 26–33.
17. Spatial and seasonal variations of surface and groundwater quality in a fast-growing city: Lubango, Angola / M.M.V.G. Silva, E.M.C. Gomes, M. Isaías, J.M.M. Azevedo, B. Zeferino // *Environmental Earth Sciences*. – 2017. – № 76. – P. 790–817.
18. Evaluation of groundwater quality and health risks from contamination in the north edge of the Loess Plateau, Yulin City, Northwest China / H. Su, W. Kang, Y. Xu, J. Wang // *Environmental Earth Sciences*. – 2017. – V. 76. – P. 467–488.
19. Weaver J.W., Murray A.R., Kremer F.V. Estimation of the proximity of private domestic wells to underground storage tanks: Oklahoma pilot study // *Science of the Total Environment*. – 2017. – V. 609. – P. 1589–1599.
20. Wilson D.C. Potential urban runoff impacts and contaminant distributions in shoreline and reservoir environments of Lake Havasu, southwestern United States // *Science of the Total Environment*. – 2018. – V. 621. – P. 95–107.
21. Wyman D.A., Koretsky C.M. Effects of road salt deicers on an urban groundwater – fed kettle lake // *Applied Geochemistry*. – 2018. – V. 89. – P. 265–272.
22. Assessing risks at a former chemical facility, Nanjing City, China: an early test of the new remediation guidelines for waste sites in China / Y. Zhang, S. Ye, J. Wu, R.G. Stahl Jr. // *Water*. – 2017. – V. 9. – P. 657–672.
23. Шварцев С.Л. Прогрессивно самоорганизующиеся абиогенные диссипативные структуры в геологической истории Земли // *Литосфера*. – 2007. – № 1. – С. 65–89.
24. Шварцев С.Л. Взаимодействие воды с алюмосиликатными горными породами. Обзор // *Геология и геофизика*. – 1991. – № 12. – С. 16–50.
25. Амеличев Г.Н. Скельская пещера: состояние изученности, проблемы охраны и использования // *Спелеология и карстология*. – 2008. – № 1. – С. 94–99.
26. Гидрохимический режим и микроэлементный состав вод Чернореченского водохранилища в 1991–2004 гг. / В.М. Артеменко, Ю.П. Ильин, В.С. Кучеренко, А.И. Рябинин, С.А. Боброва, А.Н. Гуцалюк, Ю.А. Мальченко, Л.В. Салтыкова // *Экологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*: Зб. наук. пр. – 2005. – № 12. – С. 129–149.
27. Изотопный состав атмосферных осадков и карстовых источников северо-западного склона Крымских гор / Ю.В. Дублянский, А.Б. Климчук, Г.Н. Амеличев, С.В. Токарев, К. Шпётль // *Спелеология и карстология*. – 2012. – № 9. – С. 14–21.
28. Миньковская Р.Я., Ингерев А.В. Гидрохимическая характеристика рек севастопольского региона // *Экологическая безопасность прибережної та шельфової зон моря*. – 2010. – № 22. – С. 265–281.
29. 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. – Т. 4 (70). – № 4. – С. 268–288.
30. Особенности гидрогеохимии эксплуатируемых водоносных горизонтов Севастопольской городской агломерации / Д.А. Новиков, А.В. Черных, Ф.Ф. Дульцев, И.И. Юрчик, А.Ф. Сухорукова // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2018. – Т. 2. – С. 81–91.
31. 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. – Т. 23. – № 4. – С. 52–57.
32. 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. – Т. 330. – № 8. – С. 105–122.
33. Geochemistry of natural waters of the Baydar valley (Crimean Peninsula) / L.A. Nichkova, D.A. Novikov, A.V. Chernykh, F.F. Dultsev, G.A. Sigora, T.Yu. Khomenko // *E3S Web of Conferences*. – 2019. – V. 98. – № 01036.
34. Distribution of the stable isotopes ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$  and  $\delta^{13}\text{C}$ ) in natural waters of the Baydar valley (Crimean Peninsula) / D.A. Novikov, L.A. Nichkova, A.V. Chernykh, F.F. Dultsev, A.N. Pyryaev, G.A. Sigora, T.Yu. Khomenko // *E3S Web of Conferences*. – 2019. – V. 98. – № 01038.
35. Новые изотопно-гидрогеохимические данные по составу природных вод Байдарской долины (Крымский полуостров) / Новиков Д.А., Копылова Ю.Г., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф., Пыржев А.Н., Хва-

- щевская А.А., Ничкова Л.А., Сигора Г.А., Яхин Т.А. // Геология и геофизика. – 2020. – DOI: 10.15372/GiG2020137.
36. Геохимические типы природных вод Байдарской долины (Крымский полуостров) / Д.А. Новиков, Ю.Г. Копылова, А.В. Черных, Ф.Ф. Дульцев, А.А. Хвощевская // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2020. – № 17. – С. 401–405.
37. Новиков Д.А., Корнеева Т.В. Поведение природных радионуклидов в водах Байдарской долины (Крымский полуостров) // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология: Материалы XVI международной научной конференции. – Новосибирск, 20–24 апреля 2020. – С. 165–178.
38. Букаты М.Б. Разработка программного обеспечения для решения гидрогеологических задач // Известия ТПУ. – 2002. – Т. 305. – № 6. – С. 348–366.
39. Букаты М.Б. Рекламно-техническое описание программного комплекса HydroGeo «Инженерные, гидродинамические и гидрогеохимические расчеты, моделирование». Номер гос. регистрации алгоритмов и программ во Всероссийском научно-техническом информационном центре (ВНТИЦ) № 50200500605. – М.: ВНИИЦ, 2005. – 7 с.

Поступила 17.08.2020 г.

#### Информация об авторах

**Хвощевская А.А.**, кандидат геолого-минералогических наук, заведующая Проблемной научно-исследовательской лабораторией гидрогеохимии, Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

**Новиков Д.А.**, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН; доцент кафедры геологии месторождений нефти и газа и кафедры общей и региональной геологии Новосибирского национального исследовательского государственного университета.

**Копылова Ю.Г.**, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии, Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

**Сметанина И.В.**, ведущий инженер Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии, Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

**Черных А.В.**, научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук.

**Дульцев Ф.Ф.**, научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук.

UDK 556.34(477)

## THE ROLE OF THE «WATER–ROCK» SYSTEM IN FORMATION OF NATURAL WATER COMPOSITION OF THE SEVASTOPOL CITY

**Albina A. Khvashchevskaya**<sup>1</sup>,  
hvashevskaya@tpu.ru

**Dmitry A. Novikov**<sup>2,3</sup>,  
NovikovDA@ipgg.sbras.ru

**Yulia G. Kopylova**<sup>1</sup>,  
kyg@tpu.ru

**Irina A. Smetanina**<sup>1</sup>,  
siv@tpu.ru

**Anatoliy V. Chernykh**<sup>2</sup>,  
ChernykhAV@ipgg.sbras.ru

**Fedor F. Dultsev**<sup>2</sup>,  
DultsevFF@ipgg.sbras.ru

<sup>1</sup> National Research Tomsk Polytechnic University,  
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

<sup>2</sup> Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of SB of RAS,  
3, Koptuyug avenue, Novosibirsk, 630090, Russia.

<sup>3</sup> Novosibirsk State University,  
1, Pirogov street, Novosibirsk, 630090, Russia.

**The relevance** of the research consists in obtaining data on the geochemistry of springs and groundwater of the Sevastopol area as sources of drinking water supply and assessing their quality using modern analytical methods.

**The aim** of the research is to reveal the role of interaction in the «water–rock» system, processes of continental salinization and anthropogenic pollution in formation of drinking water composition in the Sevastopol urban agglomeration.

**Methods.** Sampling was carried out in accordance with generally accepted techniques. The laboratory study of the chemical composition by methods of titrimetry, ion chromatography, mass spectrometry with inductively coupled plasma, was carried out at the Problem Research Laboratory of Hydrogeochemistry of the Engineering School of Natural Resources of the Tomsk Polytechnic University. The theoretical foundations for solving the assigned tasks in this study were developed by professor S.L. Shvartsev at the Siberian Hydrogeochemical School.

**Results.** 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/dm<sup>3</sup>) and chemical composition. The application of the coefficients (Ca/Si, Mg/Si, Na/Si, Ca/Na, Ca/Mg, Si/Na, rNa/rCl and SO<sub>4</sub>/Cl) made it possible to identify homogeneous geochemical groups according to the formation of drinking water composition. 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 includes 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 Kolkhoznoe, the Varnaly Fountain source, Stranny spring) and in waters with anthropogenic effect (Kolkhoznoe, Inkermansky and Orlovskii water intakes).

**Key words:** Groundwater, hydrogeochemistry, «water–rock» system, equilibrium, continental salinity, anthropogenic pollution, Sevastopol area, Crimean peninsula.

The research was financially supported by the FSR no. 0331-2019-0025, the Russian Foundation for Basic Research and Sevastopol within the research project no. 18-45-920032 and State Assignment of the Russian Federation «Science» within the project no. FSWW-0022-2020.

## REFERENCES

- Abu Jabal M. S., Abustan I., Rozaimy M. R., El Najar H. Groundwater beneath the urban area of Khan Younis City, southern Gaza Strip (Palestine): assessment for multi-domestic purposes. *Arabian Journal of Geosciences*, 2017, vol. 10, pp. 257–272.
- Aloni A., Brenner A. Use of cotton as a carbon source for denitrification in biofilters for groundwater remediation. *Water*, 2017, vol. 9, pp. 714–725.
- Asadi P., Ataie-Ashtiani B., Beheshti A. Vulnerability assessment of urban groundwater resources to nitrate: the case study of Mashhad, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 2017, vol. 76, pp. 41–56.
- Castiglioni S., Davoli E., Riva F., Palmiotto M., Camporini P., Manenti A., Zuccato E. Mass balance of emerging contaminants in the water cycle of a highly urbanized and industrialized area of Italy. *Water Research*, 2018, vol. 131, pp. 287–298.
- Chitsazan M., Aghazadeh N., Mirzaee Y., Golestan Y. Hydrochemical characteristics and the impact of anthropogenic activity on groundwater quality in suburban area of Urmia city, Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 2017, vol. 21 (4), pp. 1–21.
- Fallahzadeh R.A., Ghaneian M.T., Miri M., Dashti M.M. Spatial analysis and health risk assessment of heavy metals concentration in drinking water resources. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, vol. 24, pp. 24790–24802.
- Hassane A.B., Leduc C., Favreau G., Bekins B.A., Margueron T. Impacts of a large Sahelian city on groundwater hydrodynamics and quality: example of Niamey (Niger). *Hydrogeology Journal*, 2016, vol. 24, no. 2, pp. 407–423.
- Jangam C., Pujari P. Impact of on-site sanitation systems on groundwater sources in a coastal aquifer in Chennai, India. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, vol. 24, no. 10, pp. 1–10.
- Kessasra F., Mesbah M., Khemissa Z., Bouab N., Khaled – Khodja S., Lamari H. Combined hydrogeological and nitrate modelling to manage water resources of the Middle Soummam Aquifer, Northeast of Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 2017, vol. 10, pp. 368–388.
- Lasagna M., De Luca D.A. Evaluation of sources and fate of nitrates in the western Po plain groundwater (Italy) using nitrogen and boron isotopes. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, vol. 26, no. 3, pp. 1–16.
- Lins-de-Barros F.M. Integrated coastal vulnerability assessment: a methodology for coastal cities management integrating socioeconomic, physical and environmental dimensions – case study of Região dos Lagos, Rio de Janeiro, Brazil. *Ocean & Coastal Management*, 2017, vol. 149, pp. 1–11.
- Liu J., Jiang L.H., Zhang C.J., Li P., Zhao T.K. Nitrate-nitrogen contamination in groundwater: spatiotemporal variation and driving factors under cropland in Shandong Province, China. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2017, vol. 82, 012059.
- Mali N., Cerar S., Koroša A., Auersperger P. Passive sampling as a tool for identifying micro – organic compounds in groundwater. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 593–594, pp. 722–734.
- Margenat A., Matamoros V., Díez S., Cañameras N., Comas J., Bayona J.M. Occurrence of chemical contaminants in peri-urban agricultural irrigation waters and assessment of their phytotoxicity and crop productivity. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 599–600, pp. 1140–1148.
- Santucci L., Carol E., Borzi G., García M.G. Hydrogeochemical and isotopic signature of surface and groundwater in a highly industrialized sector of the Rio de la Plata coastal plain (Argentina). *Marine Pollution Bulletin*, 2017, vol. 120, pp. 387–395.
- Selvakumar S., Chandrasekar N., Kumar G. Hydrogeochemical characteristics and groundwater contamination in the rapid urban development areas of Coimbatore, India. *Water Resources and Industry*, 2017, vol. 17, pp. 26–33.
- Silva M.M.V.G., Gomes E.M.C., Isaias M., Azevedo J.M.M., Zeferino B. Spatial and seasonal variations of surface and groundwater quality in a fast-growing city: Lubango, Angola. *Environmental Earth Sciences*, 2017, no. 76, pp. 790–817.
- Su H., Kang W., Xu Y., Wang J. Evaluation of groundwater quality and health risks from contamination in the north edge of the Loess Plateau, Yulin City, Northwest China. *Environmental Earth Sciences*, 2017, vol. 76, pp. 467–488.
- Weaver J.W., Murray A.R., Kremer F.V. Estimation of the proximity of private domestic wells to underground storage tanks: Oklahoma pilot study. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 609, pp. 1589–1599.
- Wilson D.C. Potential urban runoff impacts and contaminant distributions in shoreline and reservoir environments of Lake Havasu, southwestern United States. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 621, pp. 95–107.
- Wyman D.A., Koretsky C.M. Effects of road salt deicers on an urban groundwater – fed kettle lake. *Applied Geochemistry*, 2018, vol. 89, pp. 265–272.
- Zhang Y., Ye S., Wu J., Stahl Jr. R.G. Assessing risks at a former chemical facility, Nanjing City, China: an early test of the new remediation guidelines for waste sites in China. *Water*, 2017, vol. 9, pp. 657–672.
- Shvartsev S.L. Progressively self-organizing abiogenic dissipative structures in the geological history of the Earth. *Lithosphere*, 2007, no. 1, pp. 65–89. In Rus.
- Shvartsev S.L. Interaction of water with aluminosilicate rocks. Review. *Russian Geology and Geophysics*, 1991, no. 12, pp. 16–50. In Rus.
- Amelichev G.N. Skelskaya peshchera: sostoyanie izuchennosti, problemy okhrany i ispolzovaniya [Skelskaya cave: state of knowledge, problems of protection and use]. *Speleologiya i karstologiya*, 2008, no. 1, pp. 94–99.
- Artemenko V.M., Ilyin Yu.P., Kucherenko V.S., Ryabinin A.I., Bobrova S.A., Gutsalyuk A.N., Malchenko Yu.A., Saltykova L.V. Gidrokhimicheskiy rezhim i mikroelementnyy sostav vod Chernorechenskogo vodokhranilishcha v 1991–2004 gg. [Hydrochemical regime and microelement composition of the waters of the Chernorechensky reservoir in 1991–2004]. *Ekologichna bezpeka pribrezhnoy ta shelfvoyi zon ta kompleksne vikoristannya resursiv shelfu: Zb. nauk. pr.*, 2005, no. 12, pp. 129–149.
- Dublyansky Yu.V., Klimchuk A.B., Amelichev G.N., Tokarev S.V., Shpötl K. Izotopnyy sostav atmosferynykh osadkov i karstovykh istochnikov severo-zapadnogo sklona Krymskikh gor [Isotopic composition of precipitation and karst sources on the northwestern slope of the Crimean Mountains]. *Speleologiya i karstologiya*, 2012, no. 9, pp. 14–21.
- Minkovskaya R.Ya., Ingerov A.V. Gidrokhimicheskaya kharakteristika rek sevastopolskogo regiona [Hydrochemical characteristics of the rivers of the Sevastopol region]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfvoyi zon morya*, 2010, no. 22, pp. 265–281.
- Novikov D.A., Chernykh A.V., Dultsev F.F. Features of the hydrogeology of the Upper Jurassic deposits of the southwestern regions of the Crimean peninsula. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology*, 2018, vol. 4 (70), no. 4, pp. 268–288. In Rus.
- Novikov D.A., Chernykh A.V., Dultsev F.F., Yurchik I.I., Sukhorukova A.F. Features of hydrogeochemistry of exploited aquifers of the Sevastopol urban agglomeration. *Interexpo Geo-Siberia*, 2018, vol. 2, pp. 81–91. In Rus.
- Novikov D.A., Chernykh A.V., Dultsev F.F. Groundwater quality assessment of Upper Jurassic sediments in the southwestern districts of the Crimean Peninsula for drinking and agricultural water supply. *Ecology and Industry of Russia*, 2019, vol. 23, no. 4, pp. 52–57. In Rus.
- Novikov D.A., Chernykh A.V., Dultsev F.F. New look at hydrogeological conditions of the federal city of Sevastopol. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2019, vol. 330, no. 8, pp. 105–122. In Rus.
- Nichkova L.A., Novikov D.A., Chernykh A.V., Dultsev F.F., Sigora G.A., Khomenko T.Yu. Geochemistry of natural waters of the Baidar valley (Crimean Peninsula). *E3S Web of Conferences*, 2019, vol. 98, no. 01036.
- 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 ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$  и  $\delta^{13}\text{C}$ ) in natural waters of the Baidar valley (Crimean Peninsula). *E3S Web of Conferences*, 2019, vol. 98, no. 01038.

35. Novikov D.A., Kopylova Yu.G., Chernykh A.V., Dultsev F.F., Pyryaev A.N., Khvashchevskaya A.A., Nichkova L.A., Sigora G.A., Yakhin T.A. New isotope-hydrogeochemical data on the composition of natural waters of the Baydar Valley (Crimean Peninsula). *Russian Geology and Geophysics*, 2020. DOI: 10.15372/GiG2020137.
36. Novikov D.A., Kopylova Yu.G., Chernykh A.V., Dultsev F.F., Khvashchevskaya A.A. Geochemical types of natural waters of the Baidar valley, Crimean Peninsula. *Trudy Fersmanovskoy nauchnoy sessii GI KNTS RAN*, 2020, no. 17, pp. 401–405. In Rus.
37. Novikov D.A., Korneeva T.V. Povedenie prirodnykh radionuklidov v vodakh Baydarskoy doliny (Krymskiy poluostrov) [Behaviour of natural radionuclides in the waters of the Baydar valley (the Crimean peninsula)]. *Interespo GEO-Sibir. Nedropolzovanie. Gornoe delo. Napravleniya i tekhnologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh. Ekonomika. Geoekologiya. Materialy XVI mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Interespo GEO-Sibir. Subsurface management. Mining. Directions and techniques of searching, exploration and development of mineral deposits. Economics. Geoecology. Proc. of XVI International scientific conference]. Novosibirsk, 20–24 April 2020. pp. 165–178.
38. Bukaty M.B. Development of software for solving hydrogeological problems. *Bulletin of Tomsk Polytechnic University*, 2002, vol. 305, no. 6, pp. 348–366. In Rus.
39. Bukaty M.B. *Reklamno-tekhnicheskoe opisanie programmnoy kompleksa HydroGeo «Inzhenernye, gidrodinamicheskie i gidrogeokhimicheskie raschety, modelirovaniye». № 50200500605* [Advertising and technical description of the HydroGeo software package «Engineering, hydrodynamic and hydrogeochemical calculations, modeling». State registration number of algorithms and programs in the All-Russian Scientific and Technical Information Center (VNTIC) No. 50200500605]. Moscow, VNTIC Publ., 2005. 7 p.

Received: 17 August 2020.

#### Information about the authors

**Albina A. Khvashchevskaya**, Cand Sc., head of the laboratory, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Dmitry A. Novikov**, Cand Sc., head of the laboratory, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics; associate professor, Novosibirsk State University.

**Yulia A. Kopylova**, Cand Sc., senior researcher, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Irina A. Smetanina**, chief engineer, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Anatoliy V. Chernykh**, researcher, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences.

**Fedor F. Dultsev**, researcher, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences.