

## ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО СОСТОЯНИЯ В РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОНАХ Г. СЕВАСТОПОЛЯ

Сигора Г.А.<sup>1</sup>, Хоменко Т.Ю.<sup>2</sup>, Ничкова Л.А.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Политехнический институт (структурное подразделение), ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: sigoral@yandex.ru, tamara\_homenko93@mail.ru

**Аннотация.** Учитывая проблемы обеспечения экологически безопасного состояния зон организации рекреации и туризма на территории г. Севастополь в статье приводятся результаты исследования качества воды 76-и подземных источников Севастопольского региона. Результаты анализа полученных данных по химическому составу родниковых вод позволяют выявить наиболее загрязнённые источники и отследить динамику изменения содержания «маркеров загрязнённости» с последующим определением возможных причин загрязнения. Все источники условно разделены на три группы: «чистые», «условно чистые» и «загрязнённые», месторасположение которых представлено на картах. Исследования проведены по 23 показателям качества питьевой воды. Представлены средние значения измеряемых показателей для каждой исследуемой категории подземных источников. В 46% случаев выявлены значительные превышения содержания нитрат-ионов и хлоридов в подземных и родниковых водах Севастопольского региона, что позволяет судить о непригодности использования их в питьевых и сельскохозяйственных целях.

**Ключевые слова:** экологическое состояние, подземные воды, загрязнение, качество воды, химические исследования, мониторинг, город Севастополь.

### ВВЕДЕНИЕ

В Севастопольском регионе несмотря на развитый промышленный комплекс, успешно функционирует и развивается рекреационный сектор экономики: используются климатические (комфортные для рекреации характеристики климата), пляжные (освоены песчаные пляжи по побережью в городской черте), морские, культурно-познавательные (исторические объекты, объекты культурного наследия) ресурсы территории. Нарастает антропогенная нагрузка в том числе и в связи с ростом приезжающих рекреантов из материковой части России, а также из-за рубежа. Данный процесс проявляется в росте плотности застройки, уровня загрязнения воздуха выбросами автомобильного транспорта, росте объемов ТКО, выбросов загрязняющих веществ в водные источники. Также важным аспектом экологического состояния территории является водообеспеченность и качество воды. Учитывая сложившуюся систему водоснабжения (схема забора и транспортировки воды из поверхностных и подземных источников данного региона) и складывающиеся параметры процессов водообразования в регионе, который имеет ограниченные ресурсы и по рекам, и по объектам аккумуляции, в числе важных задач в данном регионе полуострова стоят проблемы обеспечения экологической чистоты источников подземных вод.

При этом воды из подземных источников и родников Крымского полуострова, и, в частности, Севастопольского региона, отличаются большим разнообразием своего состава, который определяется геолого-гидрогеологическими и географическими условиями их распространения и формирования, физико-химическими факторами в системе вода-порода, многообразным техногенным воздействием.

Масштабные исследования по качеству родниковых вод в городе Севастополе и его окрестностях с 2019 года проводятся впервые в рамках научного проекта «Наставник», при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства города Севастополя. Коллективом кафедры «Техносферная безопасность» Севастопольского государственного университета ведутся научные исследования по «Оценке экологического состояния родниковых вод г. Севастополя и созданию интерактивной экологической карты родников Севастопольского региона».

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данного исследования является в рамках выявления подходов к обеспечению экологической безопасности городского хозяйства провести оценку качества родниковых вод Севастопольского региона, мониторинг наиболее загрязнённых источников и размещение данных в доступной форме.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Севастопольский регион располагает довольно значительными запасами подземных вод, практическое значение которых особенно велико в связи с тем, что Крым в целом слабо обеспечен поверхностными пресными водами. Особенности рельефа и климата региона обусловили различие гидрографической сети подземных и родниковых вод. Впервые на единой методической основе получены данные по химическому составу воды более 75 источников (включая родники, скважины, колодцы) в пределах Севастопольского конгломерата, месторасположение которых представлено на рисунке 1.

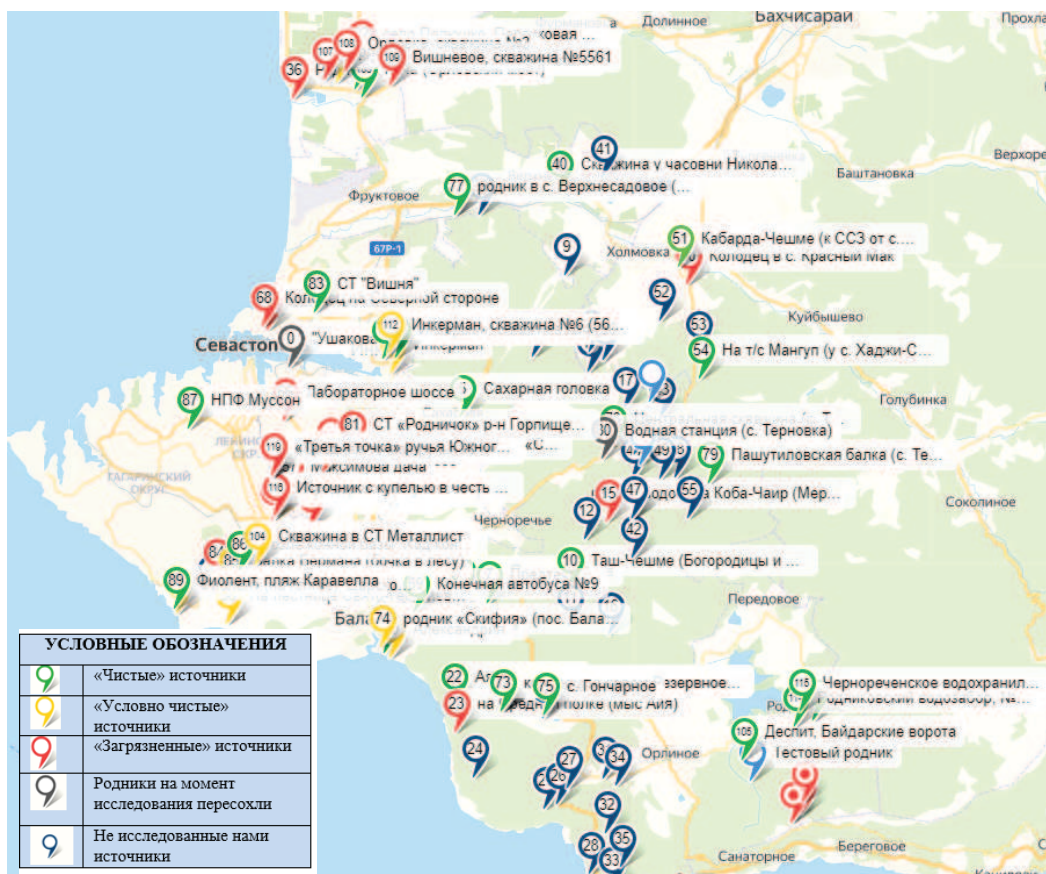


Рис. 1. Карта расположения родников Севастопольского региона

Исследования проводились в несколько этапов: построение модели проведения экспериментов по оценке качества подземных вод Севастопольского региона; выбор методов анализа; закупку необходимых приборов и расходных материалов для лабораторных исследований и полевых работ; подготовку календарного плана выездов на полевые работы с указанием ориентировочных мест расположения родников, маршрута, исполнителей.

Полевые исследования заключались в выезде на места расположения родников, составления плана местности, отборе проб, измерения, фотографирования. Фиксировались координаты места расположения источников, для последующего нанесения их на карту. Химико-аналитические исследования проводились как в полевых, так и стационарных условиях. Нестабильные параметры определялись непосредственно на точке отбора проб воды с помощью полевого оборудования. Правила отбора проб, их транспортировки и хранения отражены в разработанной исследователями памятке, где лаконично и доступно изложена последовательность пробоотбора.

Для полной гидрологической оценки определялись следующие характеристики: характер выхода источника, дебит, температура, органолептические показатели (запах, вкус, цветность, мутность), некоторые обобщенные показатели и компоненты, определяемые ионоселективными электродами (хлориды, нитраты, фториды, натрий, кальций, магний и др.).

Химический и физико-химический анализ проб воды проводился в лаборатории на базе кафедры «Техносферная безопасность» Севастопольского государственного университета с применением гравиметрических, титриметрических, спектрофотометрических, потенциометрических методов, а также с помощью портативных лабораторий и тест-комплектов. По результатам исследования для каждого источника составлялся экологический паспорт родника. Предварительные результаты были представлены в публикациях [1-4].

За период с марта 2019 по май 2020 года исследовано 76 источников подземных и родниковых вод Севастопольского региона по 23 показателям качества, включая органолептические свойства воды, обобщённые показатели (рН, минерализация (сухой остаток), щёлочность свободная и общая, жёсткость общая, окисляемость перманганатная), анионный и катионный состав.

Наблюдения за качеством подземных вод проводились в соответствии с требованиями ГОСТа 17.1.3.07-82 "Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков" [5], СанПиНа 2.1.4.1175-02 "Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников" [6] и СП 2.1.5.1059-01 "Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения" [7].

### ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

По результатам химического анализа все исследуемые родники были ранжированы по трём группам: «чистые», «условно чистые» и «загрязнённые». К «чистым» относятся источники, где превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) определяемых компонентов не выявлено. К группе «условно чистые» отнесены источники с превышением ПДК каких-либо из определяемых веществ в 1,5 – 2 раза. «Загрязнёнными» - более чем в 2 раза.

По результатам анализа выявлено, что из 76 исследуемых источников Севастопольского региона 27 родников являются «чистыми». Большая их часть находится за чертой города в южной и северо-восточной части региона. Это родники в селах Верхнесадовое, Орловка, Терновка, Мангуп (у села Хаджи-Сала), родники в балке Бермана, колодцы в селах Гончарное, Резервное, скважина в СТ «Вишня» (Северная сторона), родники в Балаклаве и др. На рисунке 2 отмечены места расположения исследуемых родников, которые отнесены к группе «чистые».

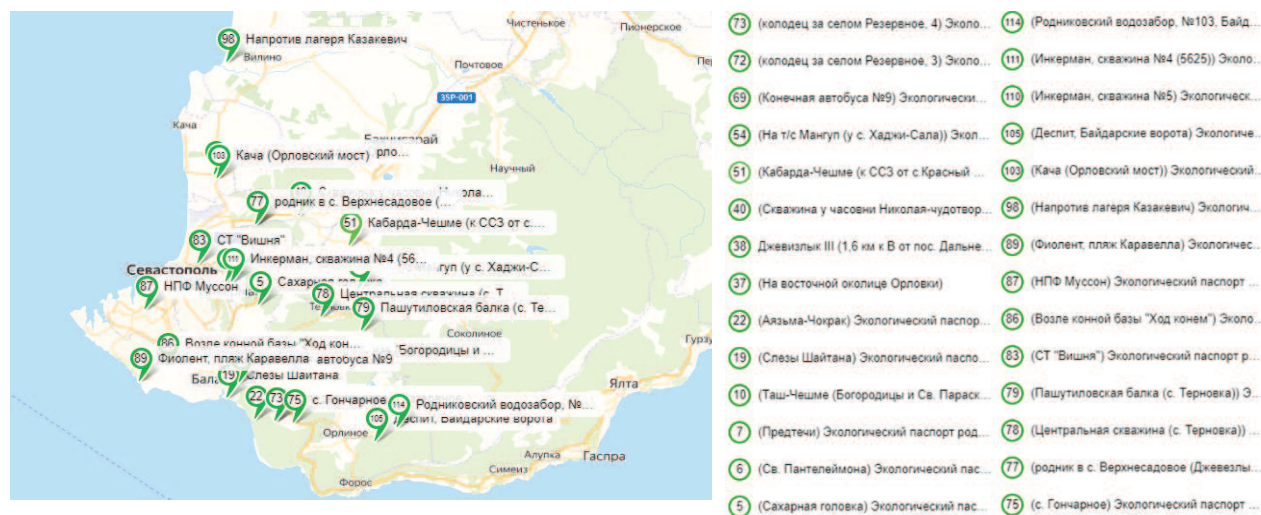


Рис. 2. Карта расположения родников (группа «чистые»)

По органолептическим свойствам родниковые воды исследуемых источников отвечают установленным нормам. Водородный показатель рН в группе «чистые» варьирует в пределах от 6,78 – 8,14. Воды характеризуются низкой щёлочностью и невысокой минерализацией – 350-880 мг/л, при норме 1000 мг/л. Жёсткость общая составляет от 1,5 до 7,3 мг-экв/л, окисляемость перманганатная – не более 1 мг/л, что, согласно [7], удовлетворяет установленным нормативам. Катионный и анионный состав группы «чистые родники» представлен в таблице 1.

По преобладанию основных ионных компонентов, воды в источниках данной группы насыщены катионами магния и натрия. В нашем исследовании главными маркерами загрязнённости подземных вод являются повышенное содержание нитрат-ионов, хлоридов и сульфатов. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что превышения данных показателей в вышеперечисленных источниках не выявлены. Качество родниковых вод, отнесённых к группе «чистые», полностью удовлетворяют санитарным нормам.

Таблица 1.  
Средние показатели катионного и анионного состава родниковых вод (группа «чистые»)

Среднее значение	Катионы					Анионы					
	Железо (общее)	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Карбонаты/ гидрокарбонаты
	Нормативные значения (ПДК)					Нормативные значения (ПДК)					
	7,0 мг-экв/л	25-130 мг/л	5-65 мг/л	не более 200 мг/л	не более 0,1 мг/л	не более 1,5 мг/л	не более 350 мг/л	не более 500 мг/л	не более 45 мг/л	не более 3,0 мг/л	не более 100 мг/л/ 1000 мг/л
не более 0,1	33,85	77	128	0,03	0,17	122,7	78,72	16,6	не более 1	Ск=0; Сгк=306,5	

\* В связи с ограниченным объемом опубликованной статьи, в таблицах 1,2,3 представлены средние значения показателей качества воды для всех исследуемых источников. Полученные результаты по 23 показателям качества хранятся в единой базе данных и часть из них представлены в экологических паспортах на сайте <https://sevrodnik.ru>.

К группе «условно чистые» отнесены 14 источников из 76 исследуемых, месторасположение которых показано на рисунке 3.

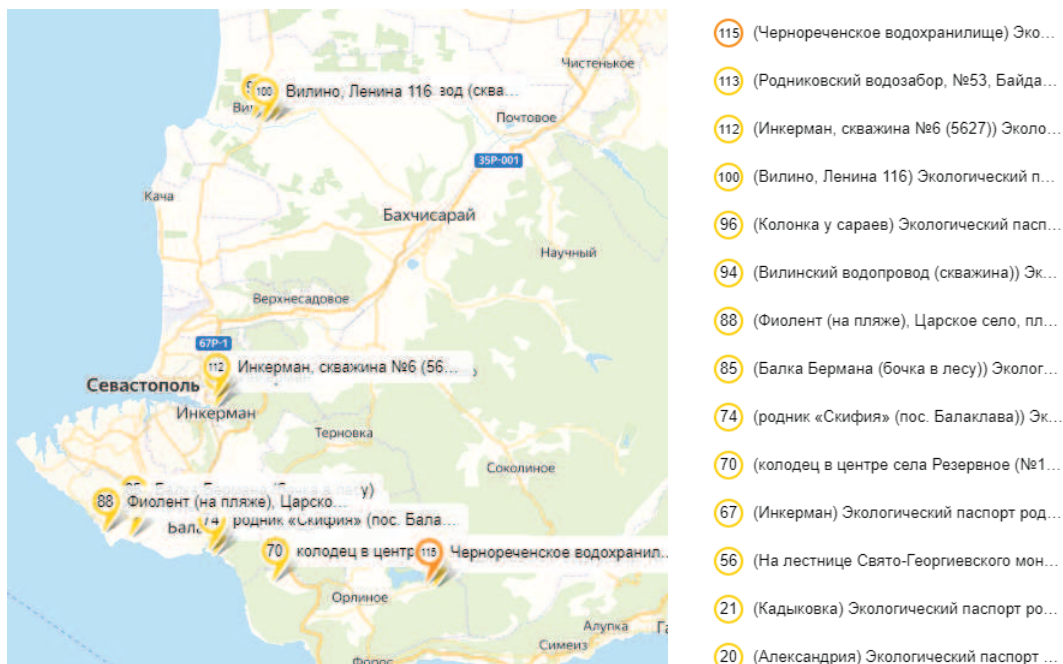


Рис. 3. Карта расположения родников (группа «условно чистые»)

«Условно чистые» родники в большей мере сосредоточены в южной части Севастопольского региона – район Балаклавы, Фиолент, а также в сёлах Резервное, балка Бермана и т.д. Показатели общей жёсткости в исследуемых родниках этой группы варьируются от 2 до 10 мг-экв/л, что объясняется, вероятно, повышенным содержанием магния в воде.

Данные по катионному и анионному составу родниковых вод данной группы представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Средние показатели катионного и анионного состава родниковых вод (группа «условно чистые»)

Средние значения	Катионы					Анионы					
	Железо (общее)	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Карбонаты/ Гидрокарбонаты
	Нормативные значения (ПДК)					Нормативные значения (ПДК)					
	7,0 мг-экв/л	25-130 мг/л	5-65 мг/л	не более 200 мг/л	не более 0,1 мг/л	не более 1,5 мг/л	не более 350 мг/л	не более 500 мг/л	не более 45 мг/л	не более 3,0 мг/л	не более 100 мг/л/ 1000 мг/л
	не более 0,1	50,6	91,4	162,6	0,05	0,2	191	100,5	88,6	не более 1	Ск=0; Сгк=316,5

Эта группа родников характеризуется повышенным содержанием нитрат-ионов в воде некоторых источников, что свидетельствует о непригодности использования её в питьевых целях. Также зафиксировано превышение содержание хлоридов в роднике № 88.

Особый интерес вызывают источники, отнесенные к группе «загрязнённые». Как правило, большая их часть сосредоточена в черте города и в крупных сёлах региона (рис. 4).

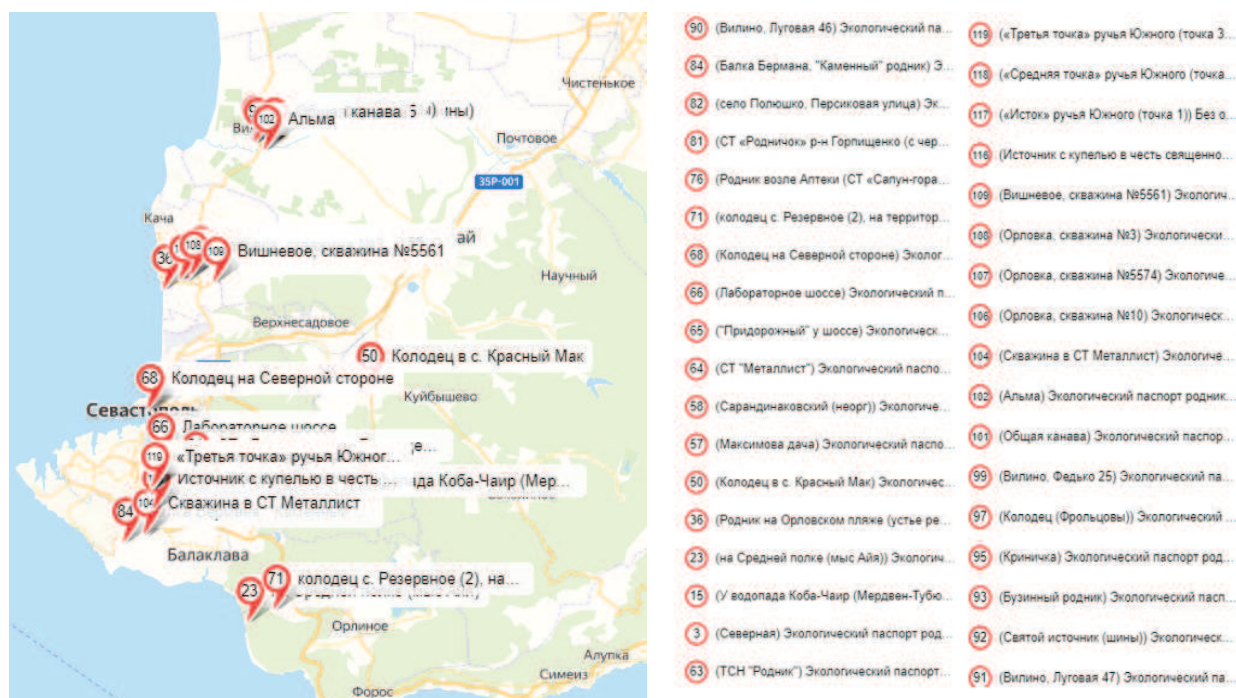


Рис. 4. Карта расположения родников (группа «загрязнённые»)

Из перечня определяемых обобщённых показателей, в группе «загрязнённые» выявлены значительные превышения общей жёсткости и общей минерализации, которые составляют от 6,95 до 17 мг-экв/л и от 380 до 1990 мг/л, соответственно. Связано это, в большей степени, вероятно, с повышенным содержанием катионов магния и натрия в воде. Водородный показатель варьируется в пределах 7-8. Показатели окисляемости перманганатной и общей щёлочности - в пределах установленных нормативов.

Результаты химического анализа по катионному и анионному составу родниковых вод данной группы представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Средние показатели катионного и анионного состава родниковых вод (группа «загрязнённые»)

Средние значения	Катионы					Анионы					
	Железо (общее)	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sub>2+</sub>	Na <sup>+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Карбонаты/ Гидрокарбонаты
	Нормативные значения (ПДК)					Нормативные значения (ПДК)					
	7,0 мг-экв/л	25-130 мг/л	5-65 мг/л	не более 200 мг/л	не более 0,1 мг/л	не более 1,5 мг/л	не более 350 мг/л	не более 500 мг/л	не более 45 мг/л	не более 3,0 мг/л	не более 100 мг/л/ 1000 мг/л
	не более 0,1	58,2	144,2	184,4	0,05	0,35	250,9	121,3	210	не более 1	Ск=0; Сгк=320,3

Из данных таблицы 3 следует, что все родники, отнесённые к группе «загрязнённые» характеризуются повышенным содержанием нитратов в воде. В родниках №3, №76, №68 также зафиксировано превышение концентрации хлоридов. Результаты исследования позволяют судить о непригодности использования воды этих родников в питьевых и сельскохозяйственных целях.

Обобщённый анализ результатов исследования даёт возможность оценить качество и степень загрязнённости родниковых и подземных вод Севастопольского региона. Установлено, что из всего перечня исследуемых показателей, превышения установленных нормативов не выявлено по следующим: органолептические свойства, pH, железо общее, фториды, окисляемость перманганатная, сульфаты, никель, марганец, нитриты, карбонаты и гидрокарбонаты. Кроме того, выявлено пониженное содержание анионов фтора и катионов кальция.

Согласно [8], основными коллекторами подземных вод юга Крыма являются средне-верхне-сарматские пористые, раковинные известняки, переслаивающиеся с глинами и песками. Одновременно, с процессом накопления происходит интенсивное выщелачивание и вынос легкорастворимых карбонатных соединений из отложений, от чего и зависит состав родниковых и подземных вод.

Источниками солей, помимо водосодержащих пород, являются атмосферные осадки. Почва является верхним слоем земной коры, сквозь который фильтруются вниз атмосферные осадки, становясь в зоне аэрации подземными водами. В результате большого испарения соли накапливаются в почве и заселяют водоносные горизонты [8]. В зависимости от конкретных условий формирования (климатических, геолого-литологических и др.) подземные воды Севастопольского региона в большей мере относятся к магниевонариевым и натриево-кальциевым. Родники группы «загрязнённые» имеют гидрокарбонатно-хлоридный и магниевонариевый состав, за счёт доминирующего содержания ионов хлора, сульфатов, магния и натрия.

Повышенное содержание магния и натрия в подземных водах Севастопольского региона определяет высокие показатели общей жёсткости для отдельных источников (до 17 мг-экв/л). Максимальное значение данного показателя зафиксировано в роднике №3, которое составляет 17 мг-экв/л, минимальное – 2,3 мг-экв/л.

Диапазон общей минерализации подземных и родниковых вод Севастопольского региона колеблется в пределах от умеренносолоноватых до солоноватых. Минерализация увеличивается с глубиной и с севера на юг.

Степень загрязнённости подземных вод оценивается по содержанию основных индикаторов загрязнённости, которые и определяют уровень её экологической комфортности. Загрязнение подземных вод в подавляющем числе случаев является прямым следствием загрязнения окружающей среды. Практически любое вмешательство человека в природу и любой вид хозяйственной деятельности (гидротехническое и гражданское строительство, разработка месторождений полезных ископаемых, вырубка леса, внесение удобрений в почву и др.) неизбежно сказывается на качестве и ресурсах подземных вод. Наиболее распространёнными является загрязнение сульфатами, хлоридами, соединениями азота и др. [9]. В настоящее время загрязнение подземных вод Севастопольского региона отмечено в 49 источниках, отнесённые к

группам «условно чистые» и «загрязнённые». На графике (рис. 5) приведены средние значения концентраций нитрат-ионов, сульфатов и хлоридов в родниках каждой из отдельных групп.

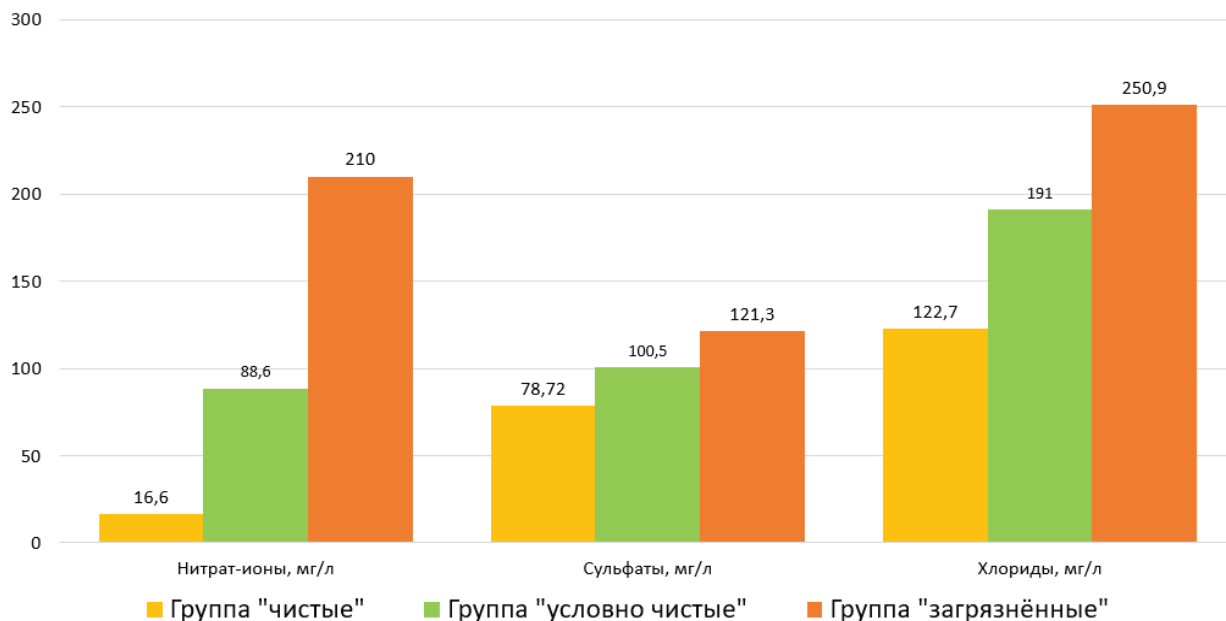


Рис. 5. Средние значения концентраций определяемых показателей

Среднее значение концентрации нитрат-ионов в родниках группы «условно чистые» составляет 88,6 мг/л, что в 1,5 раза превышает ПДК (45 мг/л). В группе «загрязнённые» превышение установлено почти в 5 раз. Как показано на рисунках 3 и 4, большая часть загрязнённых источников нитрат-ионами сосредоточены в черте города. Также ухудшение качества подземной воды отмечается по одиночным скважинам и колодцам, прежде всего в сельских населенных пунктах, где загрязнение в основном связано со сбросами хозяйственно-бытовых стоков, неправильно организованными канализационными системами, а также расположенными рядом несанкционированными свалками.

Повышенное содержание хлоридов зарегистрировано в источниках, расположенных у береговой линии, что может быть вызвано интрузией – смешивание морских вод с подземными. Система «солёная морская вода – пресная подземная вода» значительно влияет на качество подземных вод, вследствие процесса взаимодействия разгружающихся подземных вод с донными осадками и морскими водами [8]. Большие концентрации также указывают на загрязнение промышленными сточными водами, отходами сельскохозяйственных или коммунальных систем либо веществами, используемыми при обработке дорожных покрытий для предотвращения нарастания льда. Содержание хлоридов в родниковых водах Севастопольского региона варьируется в пределах от 35,5 мг/л до 620 мг/л, при норме 350 мг/л. Концентрация сульфатов – не превышает установленного ПДК.

## ВЫВОДЫ

В результате исследования химического состава подземных и родниковых вод Севастопольского региона выявлены наиболее «загрязнённые» источники, содержание маркёров загрязнённости в которых в значительной степени превышают установленные нормы. Установлено, что из 76 исследуемых источников в процентном соотношении число «чистых» родников составляет 36%. На долю «условно чистых» приходится 18%, а к группе «загрязнённые» отнесены 46%.

В результате проведённых исследований разработана интерактивная экологическая карта родников Севастопольского региона, где предоставлена вся полученная в ходе лабораторных анализов информация о качестве и степени загрязнённости каждого из отдельных источников (<https://sevrodnik.ru>). Ведется работа над созданием аншлагов (объявлений) с информацией о качестве родниковых вод, которые планируется разместить непосредственно рядом с источниками.

В целом проведенные исследования позволяют при разработке мероприятий по обеспечению экологической безопасности рекреационных зон города Севастополь учесть информационные базы о состоянии подземных источников воды.

*«Исследование выполнено при поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта №18-35-50004»*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сигора, Г.А. Изменение загрязненности нитрат-ионами родников города Севастополя / Г.А. Сигора, Т.В. Ляшко, Л.А. Ничкова, Т.Ю. Хоменко // Системы контроля окружающей среды. – 2018. – № 14 (34). – С. 150-156.
2. Сигора, Г.А. Проблема исследования экологического состояния родников Севастопольского региона / Г.А. Сигора, Т.Ю. Хоменко, Т.В. Ляшко, Л.А. Ничкова // Экономика строительства и природопользования. – 2019. – № 1 (70). – С. 115-123.
3. Сигора, Г.А. Методика составления экологических паспортов родников Севастопольского региона / Г.А. Сигора, Т.Ю. Хоменко, Л.А. Ничкова // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы». - Изд.-во «Научная книга». - г. Воронеж. – 2019 г. - С. 136-140.
4. Хоменко, Т.Ю. Мониторинг состояния родников Севастопольского региона / Хоменко Т.Ю., Сигора Г.А., Шевцова Ж.А. // Сборник докладов Международной научно-технической конференции «Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды». – Белгород, 2019. – С. 32-38.
5. Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. ГОСТ - 17.1.3.07-82. – М.: Стандартиформ. – 2010.
6. СанПиН 2.1.4.1175 – 02. Требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 17.11.02. – М.: МинюстРФ. – 2002. – 17 с.
7. СП 2.1.5.1059-01. Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 25.07.01. – М.: МинюстРФ. – 2001. – 9 с.
8. Зекцер, И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды. И.С. Зекцер. – М.: Научный мир. – 2001. – 328 с.
9. Лео М.Л. Ноллет. Анализ воды. Справочник: пер. с англ. 2-го изд. / Л.М.Л. Ноллет, Лин С.П. Де Гелдер; под ред. И.А. Васильевой, Е.Л. Пролетарской. – СПб.: ЦОП «Профессия». – 2012. – 920 с.

#### PROBLEMS OF ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY IN RECREATIONAL AREAS OF SEVASTOPOL

Sigora G.A.<sup>1</sup>, Khomenko T.Yu.<sup>2</sup>, Nichkova L.A.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

**Annotation.** Taking into account the problems of ensuring an environmentally safe state of recreation and tourism zones on the territory of Sevastopol, the article presents the results of a study of the water quality of 76 underground springs in the Sevastopol region. The results of the analysis of the obtained data on the chemical composition of spring waters allow us to identify the most polluted sources and track the dynamics of changes in the content of "pollution markers" with the subsequent determination of possible causes of pollution. All sources are divided into three groups: "clean", "relatively clean" and "polluted", the location of which is shown on maps. Studies were conducted on 23 indicators of drinking water quality. The average values of the measured indicators for each category of underground sources under study are presented. In 46% of cases, significant excess of the content of nitrate ions and chlorides in the underground and spring waters of the Sevastopol region was detected, which makes it possible to judge their unsuitability for drinking and agricultural purposes.

**Keywords:** ecological state, underground water, pollution, water quality, chemical research, monitoring, city of Sevastopol.

«The reported study was funded by RFBR and Sevastopol according to the research project №18-35-50004»