Геополитика и экогеодинамика регионов.
Том 8 (18). Вып. 4. 2022 г. С. 205–214.

УДК 556.18 + 626/627

И. В. Николенко[1]
Э. А. Каримов[2]
С. А. Боков[1]
Д. В. Авдеева[1]

Оценка влияния потерь водных ресурсов на экосистемы водохранилищ естественного стока Крымского полуострова

[1] ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского», Институт «Академия строительства и архитектуры», г. Симферополь, Российская Федерация
[2] Симферопольский филиал ГБУ РК «Крыммелиоводхоз», г. Симферополь, Россиская Федерация
[1] *e-mail: nikoshi@mail.ru*
[2] *e-mail: karimov_ervin@mail.ru*

Аннотация. *В статье выполнена оценка степени наполнения водохранилищ естественного стока Крымского полуострова в 2021 и 2022 г. и анализ потерь водных ресурсов, для обоснования возможных способов решения проблем дефицита водных ресурсов в Крыму в периоды маловодных лет. Несмотря на разблокирование Северо-Крымского канала и восстановление подачи на полуостров Крым днепровской воды для вододефицитных периодов региона необходим поиск методов обеспечения водной безопасности на основе современных технологий по снижению потерь водных ресурсов. Представлены сводные графики потерь водных ресурсов за счет фильтрации и испарения.*

Выполненный анализ наполняемости водохранилищ естественного стока Крыма за многолетний период, потерь воды в 2021-2022 годах показал, что дефицит воды наиболее часто возникает при двух и более маловодных годах подряд, когда приток в водохранилища меньше годового водозабора. Исследованиями закономерностей степени наполнения водохранилищ естественного стока Крымского полуострова за многолетний период установлено, что одним из способов решения проблем дефицита водных ресурсов в Крыму является снижение потерь водных ресурсов на испарение. Для оценки способов решения проблем дефицита водных ресурсов путем сокращения испарения воды с поверхности водохранилищ естественного стока необходимо исследование потерь воды на испарение различными экспериментальными методами, а также расчетными формулами, учитывающими большинство факторов, влияющих на потери на испарение воды.

Ключевые слова: *водные ресурсы, потери, дефицит, водохранилище естественного стока, наполнение, испарение.*

Введение

Водный кризис – данное словосочетание становится все более актуальным во многих регионах Земли. Учеными определены такие факторы вододефицита, такие как нерациональное использование водных ресурсов, антропогенная нагрузка на объекты пресной воды, недостаточная эффективность водоочистки, а также потери водных ресурсов по причинам их фильтрации и испарения с зеркал водохранилищ. Определением дефицита по воде страны или региона в других исследованиях принимается удельная водообеспеченность менее 1000 м^3 в год или 2740 л на человека в день, при котором нехватка воды становится серьезным

препятствием для устойчивого развития, то есть для производства продовольствия, экономического развития и защиты природных систем [1].

Собственные водные ресурсы Республики Крым (РК) весьма ограничены, а восстановление доступа днепровской воды по Северо-Крымскому каналу позволяет эффективно решать проблемы сельскохозяйственного водопользования, а также обеспечения водной население Восточного Крыма. В связи с ярко выраженной территориальной и сезонной неравномерностью осадков и речного стока – одного из основных источников пресной воды – для ее сезонного накопления и дальнейшего использования на территории Крымского п-ова сооружено 15 водохранилищ естественного стока общим полным объемом до 253,0 млн $м^3$. Из этих водохранилищ осуществляется водоснабжение населенных пунктов Южного берега Крыма, Симферополя и Севастополя [3]. Из наливных водохранилищ СКК идет водоснабжение населенных пунктов Керченского полуострова, Феодосийско-Судакского региона.

Особенностью Крымского полуострова являются его природно-климатических условия, которые в маловодные годы создают локальные дефициты водных ресурсов для обеспечения нужд питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения. В эти периоды засуха, высокая температура воздуха, ветровая нагрузка лишь усугубляет данную проблему, повышая показатели испарения с поверхностей зеркал водохранилищ. В силу этих факторов РК является одним из регионов Российской Федерации, где вопросы дефицита водных ресурсов могут стоять чрезвычайно остро. В результате сильнейшего вододефицита в 2021 году стали применяться графики подачи воды населению. После введения ограничений на подачу воды ситуация изменилась. Количество людей, имеющих возможность принять душ несколько раз в день сократилось до 8,4%; стали принимать душ 1 раз в день - 60,7%; один раз в 2-3 дня – 19,6%; раз в 4 дня и реже – 11,3%. Изменилась частота мытья рук - 12,5% жителей города, из-за ограничения доступа к воде, стали мыть руки реже [2]. В связи с этим рассматриваются самые различные доступные способы экономии водных ресурсов, сокращения их потерь, а также совершенствование методов их добычи.

Таким образом, контроль за количеством водных ресурсов РК, их расходами, а также применение этих данных для будущих технических разработок и методов решения «водной проблемы» региона является первостепенной задачей для гарантированного обеспечения водой населения региона, а также ведения промышленной и рекреационной деятельности. Для минимизации потерь воды с поверхностных источников, необходимо в первую очередь провести анализ наполняемости Крымских водохранилищ, а также рассмотреть возможные причины изменения объема воды в них.

Объектом исследования статьи являются **в**одохранилища естественного стока РК, которые являются источниками централизованного водоснабжения (ИЦВ) г. Симферополя, г. Севастополя, г. Алушты и населенных пунктов, расположенных на Южном Берегу Крыма (ЮБК). К водохранилищам, питающих г. Симферополь, относятся: Симферопольское; Партизанское; Аянское; питающих г. Севастополь – Чернореченское; питающих населенные пункты, расположенные на южном берегу Крыма – Загорское и Счастливенское; питающих г. Алушта – Изобильненское и Кутузовское.

Предмет исследования: Анализ наполнения водохранилищ естественного стока Республики Крым; Испарение и фильтрация из водохранилищ естественного стока Республики Крым.

Материалы и методы

Работа выполнялась на основе данных сводок о ходе наполнения, испарения и фильтрации водохранилищ естественного стока, предоставленных Государственным бюджетным учреждением (ГБУ) РК «Крымское управление водного хозяйства и мелиорации». Одной из основных проблем государственного мониторинга водных объектов, для разработки мероприятий по повышению эффективности их использования является ограничение доступности информации о результатах анализа мониторинга водных объектов [4]. По разным источникам потребность Крыма в водных ресурсах составляет от 1,5 до 2 млрд м^3/год [5]. По данным атласа «Минеральные ресурсы Крыма» потребность в воде на 2000 г. составляла 2649,1 тыс. м^3 /сут., то есть 0,97 млрд м^3/год. Наибольшая потребность в воде населением и экономикой Крыма за прошедшие 30 лет была отмечена в 1990 г. – 3,9 млрд м^3/год [6].

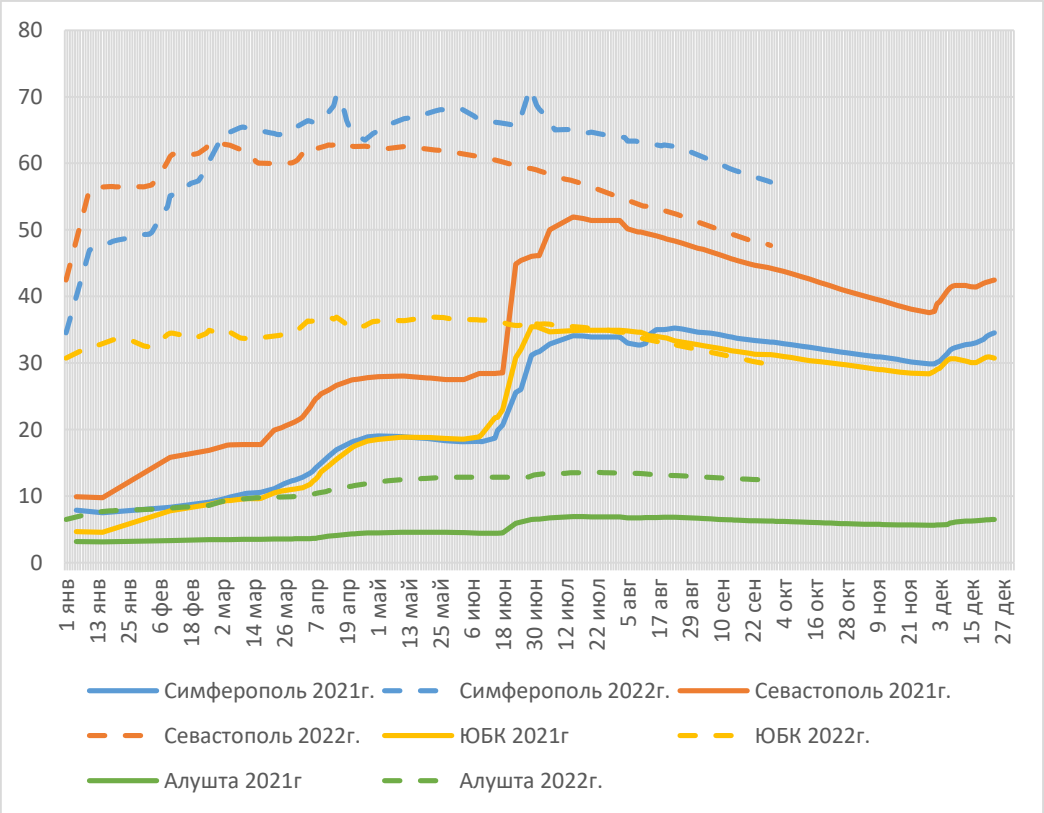

Рис. 1. Временной ход фактического суммарного наполнения водохранилищ естественного стока, которые являются ИЦВ городов Крыма в млн м^3

Составлено авторами

Основной приток в водохранилища естественного стока в 2021 году произошел в летние месяцы, а в 2022 году фактические объемы наполнения дополнительно увеличивался за счет притока первого квартала. Эти увеличения

фактического наполнения водохранилищ естественного стока в 2021 году были заметными для ИЦВ Симферополя, Севастополя и городов ЮБК. Для водохранилищ естественного сток городов ЮБК увеличения фактических объемов наполнения в 2022 года были не такими большими, так как в эти периоды процент наполнения этих водохранилищ достигал 90%, и большая часть обильного притока уходила в технологический сброс. Такой характер фактического наполнения водохранилищ естественного стока объясняется тем, что водные ресурсы по территории Крымского полуострова распределены крайне неравномерно ввиду различных, в том числе сложных форм рельефа, высотной поясностью Крымских гор, разнообразием климатических зон, сочетанием южного географического положения полуострова и влиянием морей и заливов. При этом распределение осадков по полуострову неравномерно как по временам года, так и по его регионам [7, 8, 9].

Выполненный анализ степени наполнения водохранилищ естественного стока, которые являются ИЦВ городов Крыма, показал, что к середине 2022 года они были наполнены на 85-90%. Такие высокие уровни фактического наполнения обеспечены большими осадками 2021 и 2022 года, которые существенно были больше чем за предыдущие три года. Цикличные изменения по сумме атмосферных осадков в 2019 и 2020 г. на Крымском полуострове вызвали аномально малый приток в наливные водохранилища, что привело к серьезным проблемам нехватки пресной, в том числе и питьевой воды.

На рис. 2 показан суммарный годовой приток в водохранилища естественного стока на Крымском полуострове за период с 1983 по 2020 г., представленные по информации Государственного комитета по водному хозяйству и мелиорации Республики Крым.

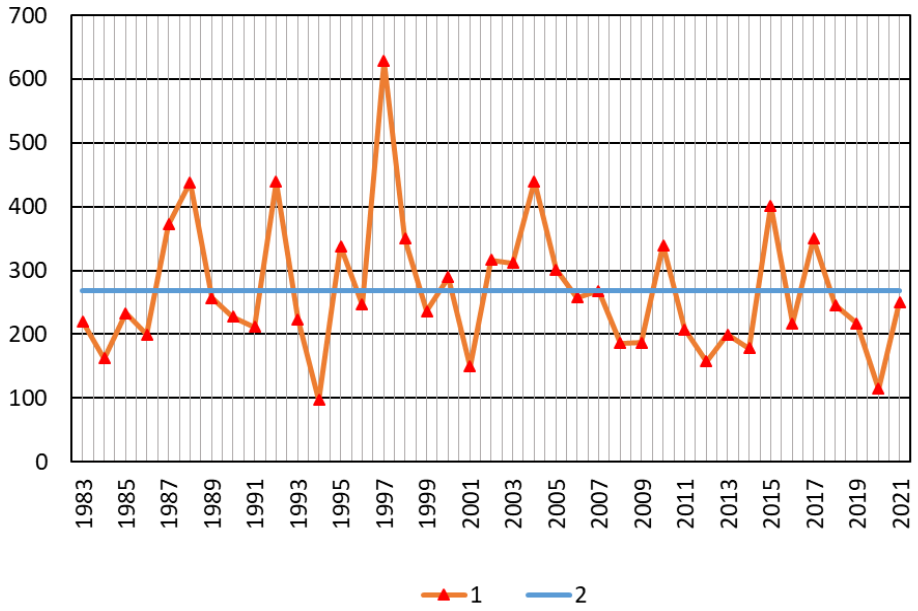

Рис. 2. Суммарный годовой приток (млн м^3) в водохранилища естественного стока Крымского полуострова за 1983–2021 г.: 1 – приток в водохранилища естественного стока; 2 – среднемноголетний приток в водохранилища естественного стока

Составлено авторами по [7]

Анализ представленных на рис. 2 данных позволяет сделать вывод, что риск дефицита воды на Крымском полуострове возникает при двух и более маловодных годах подряд, когда приток в водохранилища естественного стока в течении двух лет меньше годового водозабора. Наиболее характерными примерами стали вододефицитные 1994 и 2020 годы. Из представленной на рис. 2 зависимости видно, что годовой приток в водохранилища естественного стока в 2021 году впервые приблизился к отметке среднемноголетнего притока за последние 4 года, а годовой приток в 2020 году стал самым минимальным с 1994 года.

Вопрос преодоления вододефицитных периодов на Крымском полуострове с большой вероятностью будет оставаться важным на протяжении ближайших десятков лет. Поэтому рассматриваются различные пути решения водной проблемы [8, 9]. Природно-климатических условия Крымского полуострова обуславливают потери воды за счет ее испарения с поверхностей водохранилищ, а также фильтрационные потери.

Результаты и обсуждение

На рис. 3 представлен временной ход суточных значений потерь на испарение и фильтрацию из водохранилищ естественного стока ИЦВ городов Крыма в 2021 году и за 9 месяцев 2022 года. В результате анализа представленных зависимостей установлено, что максимальные потери водных ресурсов, вызванные этими причинами, наблюдаются в летние месяцы.

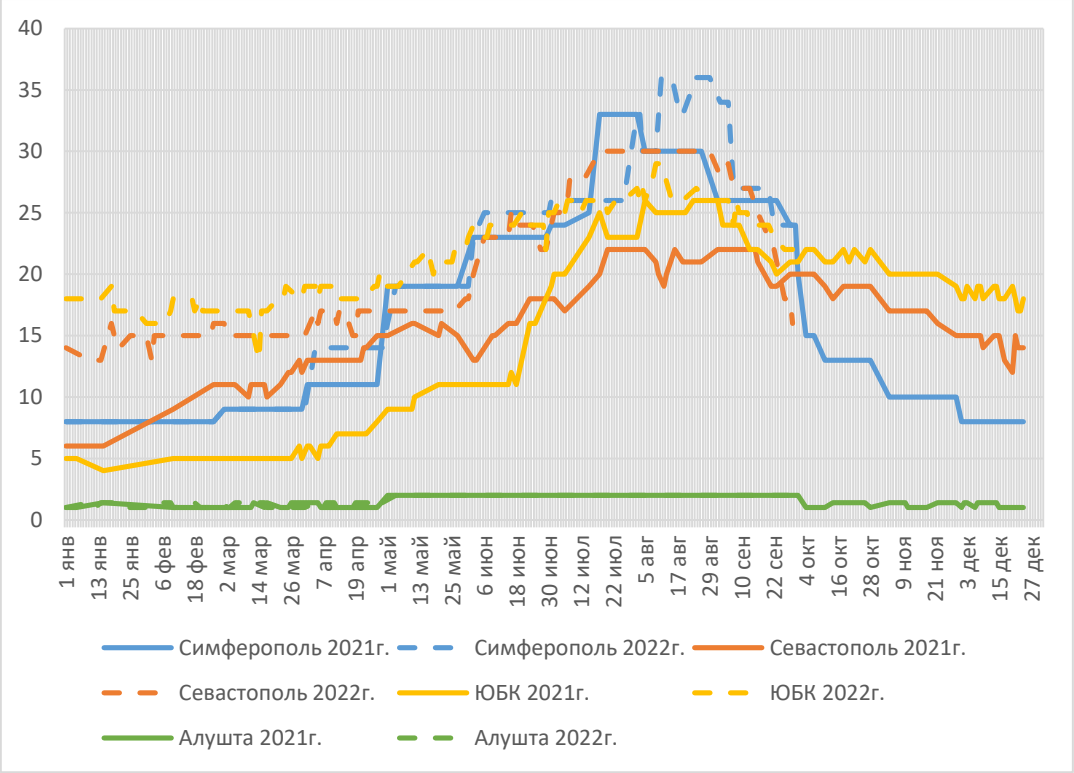

Рис. 3. Временной ход потерь на испарения и фильтрации из водохранилищ естественного стока ИЦВ городов Крыма в тыс. м^3

Составлено авторами

Максимальные потери величиной 36 тыс. м^3 установлены в августе 2022 года в водохранилищах естественного стока ИЦВ Симферополя и превышают показатели потерь воды в 2021 году на 3 тыс. м^3. Согласно графику, на рис 5 на 24 августа 2022г. суммарное наполнение водохранилищах естественного стока ИЦВ Симферополя составляло 62,5 млн м^3, тогда как на аналогичную дату в 2021г. данный показатель был 35,2 млн м^3. Показатели потерь воды на испарение и фильтрацию из водохранилищ естественного стока ИЦВ для Севастополя и городов, расположенных на южном берегу Крыма в 2022 году также увеличились по сравнению с 2021 годом. Для Севастополя Данный показатель увеличился с 22 тыс. м^3 в 2021 году до 30 тыс. м^3 в 2022 году. Для водохранилищ на южном берегу Крыма с 26 тыс. м^3 в 2021 году до 29 тыс. м^3 в 2022 году.

На основании выполненного анализа потерь на испарения и фильтрации из водохранилищ естественного стока ИЦВ городов Крыма можно сделать вывод что увеличение потерь воды в 2022 году увеличилось в том числе из-за более высокой наполняемости водохранилищ, а также с увеличением площадей зеркал водохранилищ.

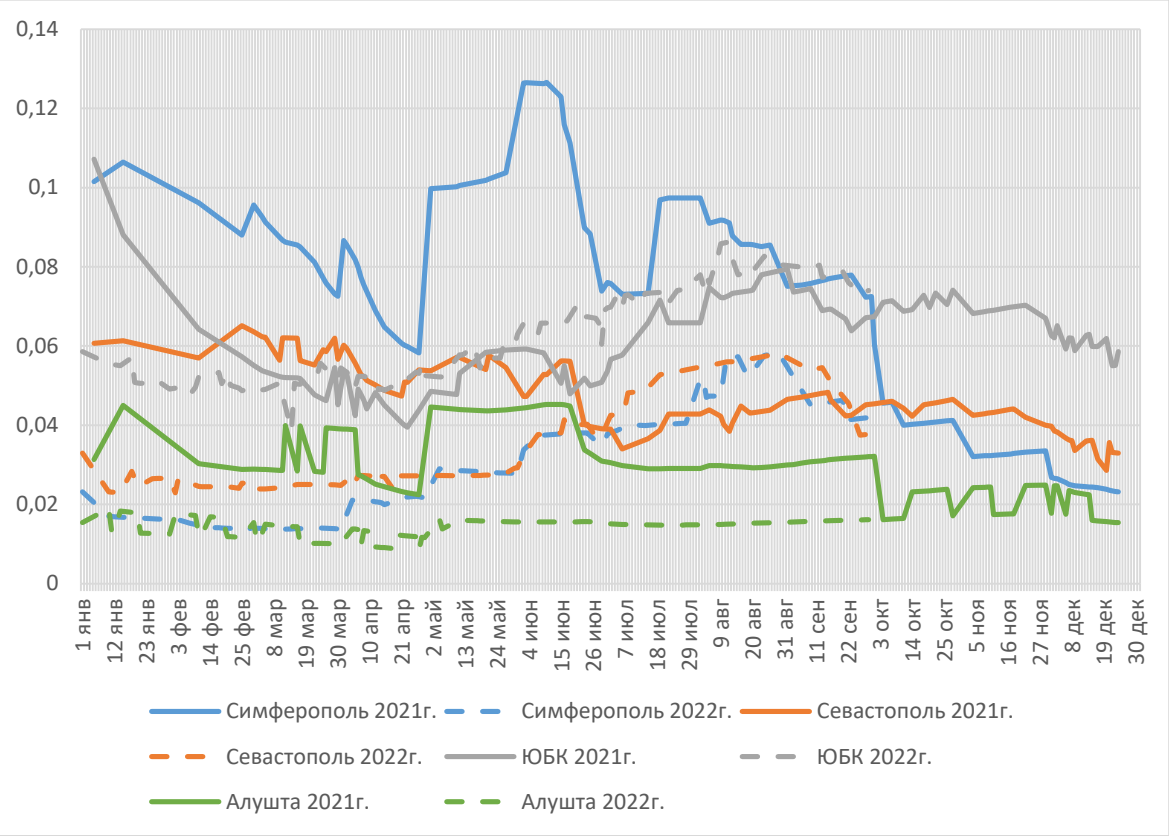

Рис. 4. Временной ход относительных суммарных потерь воды на испарение и фильтрацию по отношению к суммарным фактическим объемам наполнения водохранилищ естественного стока ИЦВ городов Крыма (%)

Составлено авторами

Анализ представленного временного хода суммарных потерь воды на испарение и фильтрацию показал, что ежесуточно потери воды могут достигать около 0,05% от суммарного фактического объема наполнения водохранилищ

естественного стока Крымского полуострова. Резкое увеличение отношения суммарных потерь воды на испарение и фильтрацию по отношению к суммарным объемам в водохранилищах, питающих г. Симферополь в 2021 году является следствием того, что в начале мая произошло увеличение испарения и фильтрации в водохранилищах в следствие увеличения температуры окружающей среды, тогда как резкое увеличение наполнения воды в водохранилищах происходило в июне 2021 года. Наибольшие потери воды происходят в летние месяцы, что показывает о большом влиянии на потери фактора испарения, ввиду увеличения температуры воздуха и температуры воды в самих водохранилищах. Представленные зависимости показывают лишь суммарные потери на фильтрацию и испарение, что требует дальнейших исследований для выявления потерь воды с учетом каждого фактора.

Ежегодно солнечная энергия поднимает с земной поверхности около 500 тысяч кубических километров воды – 86% из океанов и 14% с суши. Часть этой вводы выпадает на Землю в виде дождя и снега, но в других таких пропорциях. Ветер и погода переносят на сушу около 9% паров, поднятых с моря [10]. Перспектива глобального потепления, вызванного накоплением в атмосфере углекислого газа и других поглощающих тепло газов, вводит в глобальную водную систему новые неуправляемые факторы. Изменения режима осадков, обусловленные глобальным потеплением, для многих регионов России могут стать неблагоприятными, так как окажет негативное влияние на приток воды в водохранилища, а также изменит условия испарения воды с поверхностей водохранилищ. Поэтому в настоящее время необходимы комплексные оценки режимов наполнения водохранилищ естественного стока как источника водоснабжения, а также потерь воды, связанных с испарением для разработки экономически обоснованных рекомендаций по водным технологиям. Они будут необходимы для обеспечения рационального использования водных ресурсов, с учетом новых документов территориального планирования, новой нормативной базы Российской Федерации по вопросам водоснабжения и водоотведения. Для вододефицитных периодов Крымского полуострова, связанных с цикличностью и изменениями режимов осадков, сохраняется проблема поиска методов обеспечения водной безопасности на основе современных подходов по геоинформационным и водным технологиям, том числе с обеспечением экологической устойчивости водных объектов.

Выводы

Выпаленный анализ наполняемости за многолетний период, потерь воды водохранилищ естественного стока Крыма в 2021-2022 годах показал, что дефицит воды наиболее часто возникает при двух и более маловодных годах подряд, когда приток в водохранилища меньше годового водозабора из водохранилищ для коммунально-бытового водоснабжения. Однако за 2021 и 2022 года объем всех водохранилищ существенно увеличился.

Сводный график испарения и фильтрации водохранилищ, Крыма показал значение фактора испарения с поверхностей, а также показал значение потерь воды на испарение и фильтрацию. График отношения потерь воды на испарение и фильтрацию по отношению к объемам воды в водохранилищах показал, что около 0,05% воды ежесуточно тратится на испарение и фильтрацию. Суммарные потери

воды на испарения с поверхности Симферопольского водохранилища за май – сентябрь 2022 г. составили 1,8 млн. $м^3$, что больше водопотребления г. Симферополя за неделю из трех водохранилищ естественного стока.

Для оценки способов решения проблем дефицита водных ресурсов путем сокращения испарения воды с поверхности водохранилищ естественного стока необходимо исследование потерь воды на испарение различными экспериментальными методами, а также расчетными формулами, учитывающими большинство факторов, влияющих на потери на испарение воды.

Представленные результаты на основе фактических данных показывают, что актуальность данной проблемы, а также необходимость в продолжении исследований в данных направлений. Также требуется разработка и внедрение современных автоматизированных систем контроля за наполнением, контролем расхода и потерь воды, которые позволят создать основы современных методов сокращения потерь воды, а также повысит контроль за реальными расходами водных ресурсов.

Дальнейшие исследования по анализу изменения данных факторов, а также получение зависимости фактических потерь от них может стать ключом к выявлению наиболее эффективных методов сокращения потерь водных ресурсов с поверхностей водоемов Крымского полуострова.

Литература

1. Postel S. The last oasis. Facing water scarcity. London: Earthscan Publications Ltd., Worldwatch Institute, 1992. 226 p.
2. Козуля С. В., Гребенюк В. П., Новик А. Ю.. Водоснабжение Крыма, как фактор, влияющий на здоровье населения (засуха 2020 года) // Научный электронный журнал «Матрица научного познания» ISSN 2541-8084 № 11–2 /2020 с. 358
3. Итоги работы Государственного комитета по водному хозяйству и мелиорации Республики Крым за первое полугодие 2015 // Государственный комитет по водному хозяйству и мелиорации Республики Крым. Отчеты о деятельности Госкомводхоза. Статистические данные. Электронный ресурс: режим доступа. http://gkvod.rk.gov.ru/rus/info.php?id=617775 (Дата обращения 09.09.2022).
4. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года. Распоряжение Правительства РФ от 27 августа 2009 г. N 1235-р. Электронный ресурс: режим доступа http://government.ru/docs/10049/(дата обращения 10.03.2022 г.)
5. Каюкова Е. П., Барабошкина Т. А., Косинова И. И. Ресурсный потенциал пресных вод Крыма. Статья 1 // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2014. № 4.
6. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе в 2014 году». Симферополь. 2015. 136 с.
7. Николенко И. В., Каримов Э. А., Мельникова Н. С. Оценка способов решения проблем дефицита водных ресурсов в Крыму // Строительство и техногенная безопасность. 2022. № 25 (77). С. 103-115.
8. Боков В. А., Павлюк Н. Я., Устюгов Д. Л. Актуальные вопросы изучения природно-ресурсного потенциала Крыма // Учёные записки Крымского

федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. Том 7 (73). № 1. 2021 г. С. 128–153.
9. Данилов-Данильян В. И., Козлова М. А., Полянин В. О., Чесноков И. В. Научное обеспечение водной безопасности Крыма: проблемы и решения // Водные ресурсы, 2022, том 49, № 4, с. 363–371.
10. Николенко И. В., Копачевский А. М. Основные направления разработки комплекса мер по решению проблем дефицита воды в Крыму // Строительство и техногенная безопасность. №21(73). 2021. С. 147 – 160.

I. V. Nikolenko[1]
E. A. Karimov[2]
S. A. Bokov[1]
D. V. Avdeeva[1]

Analysis of water resource losses from natural runoff reservoirs of the Crimean peninsula

[1] V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute "Academy of Construction and Architecture", Simferopol, Russian Federation
[2] Simferopol branch of the State Budgetary Institution of the Republic of Crimea "Krymmeliovodkhoz", Russian Federation
[1] *e-mail: nikoshi@mail.ru*
[2] *e-mail: karimov_ervin@mail.ru*

Abstract. *The article deals with the evaluation of the degree of filling of reservoirs of natural runoff of the Crimean Peninsula in 2021 and 2022 and analyzes the loss of water resources for the substantiation of the possible ways to solve the problems of water scarcity in Crimea during periods of low-water years. Despite the unblocking of the North Crimean Canal and the restoration of the supply of Dnieper water to the Crimean Peninsula for water-deficient periods of the region, it is necessary to search for methods of ensuring water security based on modern technologies to reduce water resources losses. Summary graphs of water resource losses as the result of filtration and evaporation are presented. The analysis of the obtained results was performed, as well as recommendations on the possibility of their implementation were given.*

The analysis of the filling of reservoirs of the natural runoff of the Crimea over a long period and water losses in 2021-2022 showed, that water scarcity most often occurs in two or more low-water years in a row, when the inflow into reservoirs is less than the annual water intake. A research of the regularities of the degree of filling of reservoirs of the natural runoff of the Crimean Peninsula over a long period have established that one of the ways to solve the problems of water scarcity in the Crimea is to reduce the loss of water resources for evaporation. To assess the ways to solve the problems of water scarcity by reducing the evaporation of water from the surface of natural runoff reservoirs, it is necessary to study the evaporation losses of water by various experimental methods, as well as calculation formulas that take into account most of the factors affecting the evaporation losses of water.

Keywords: *water resources, losses, scarcity, reservoirs of the natural runoff, filling, evaporation.*

References

1. Postel S. The last oasis. Facing water scarcity. – London: Earthscan Publications Ltd., Worldwatch Institute, 1992. 226 p. (in Russian)
2. Kozulya S. V., Grebenyuk V. P., Novik A. YU.. Vodosnabzhenie Kryma, kak faktor, vliyayushchij na zdorov'e naseleniya (zasuha 2020 goda) // Nauchnyj elektronnyj zhurnal «Matrica nauchnogo poznaniya» ISSN 2541-8084 № 11–2 /2020 s. 358 (in Russian)
3. Itogi raboty Gosudarstvennogo komiteta po vodnomu hozyajstvu i melioracii Respubliki Krym za pervoe polugodie 2015 // Gosudarstvennyj komitet po vodnomu hozyajstvu i melioracii Respubliki Krym. Otchety o deyatel'nosti Goskomvodhoza. Statisticheskie dannye. URL: http://gkvod.rk.gov.ru/rus/info.php?id=617775 (in Russian)
4. Vodnaya strategiya Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 27 avgusta 2009 g. N 1235-r. URL: http://government.ru/docs/10049 (in Russian)
5. E. P. Kayukova, T. A. Baraboshkina, I. I. Kosinova. Resursnyj potencial presnyh vod Kryma. Stat'ya 1 // Vestnik VGU. Seriya: Geologiya. 2014. № 4 (in Russian)
6. Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Respublike Krym i gorode federal'nogo znacheniya Sevastopole v 2014 godu». Simferopol'. 2015. 136 s. (in Russian)
7. Nikolenko I. V., Karimov E. A., Mel'nikova N. S. Ocenka sposobov resheniya problem deficita vodnyh resursov v Krymu // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. 2022. № 25 (77). S. 103-115. (in Russian)
8. Bokov V. A., Pavlyuk N. YA., Ustyugov D. L. Aktual'nye voprosy izucheniya prirodno-resursnogo potenciala Kryma // Uchyonye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. Tom 7 (73). № 1. 2021 g. S. 128–153. (in Russian)
9. Danilov-Danil'yan V. I. Nauchnoe obespechenie vodnoj bezopasnosti Kryma: problemy i resheniya // Vodnye resursy, 2022, tom 49, № 4, s. 363–371 (in Russian)
10. Nikolenko I. V., Kopachevskij A. M. Osnovnye napravleniya razrabotki kompleksa mer po resheniyu problem deficita vody v Krymu // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. №21 (73). 2021. S. 147 – 160. (in Russian)

Поступила в редакцию 10.10.2022 г.