

УДК 556.535.8+556.164

[DOI: 10.46698/VNC.2022.37.47.009](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.37.47.009)

Оригинальная статья

Временная изменчивость поверхностного гидрохимического стока в бассейне реки Большой Егорлык в условиях антропогенного воздействия и климатических изменений

А.Д. Сазонов^{1, 2}, В.Е. Закруткин¹, О.С. Решетняк²¹ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Россия, 344090, Ростовская обл., г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40, e-mail: alexei.sazonow2016@ya.ru;²Гидрохимический институт Росгидромета, Российская Федерация, 344090, Ростов-на-Дону, пр. Стачки, д. 198

Статья поступила: 15.04.2022, доработана: 19.05.2022, одобрена в печать: 24.05.2022

Резюме: Актуальность работы. В условиях недостаточного увлажнения территории роль водных ресурсов крайне важна в решении бытовых, сельскохозяйственных, рыбохозяйственных, энергетических и производственных задач. Изменчивость поверхностного гидрохимического стока рек служит индикатором процессов функционирования речного бассейна. **Цель исследования.** Целью работы являлось изучение временной изменчивости гидрохимического стока реки Большой Егорлык с учетом антропогенной составляющей и климатических изменений. **Методы исследования.** Для расчета объемов гидрохимического стока использована методика определения выноса (переноса) загрязняющих веществ с речным стоком, основанная на произведении объема стока воды и средней концентрации анализируемого вещества за определенный временной интервал. **Результаты работы.** Выполнен расчет стока главных ионов (по сумме ионов), органических веществ, биогенных элементов, тяжелых металлов за период 2003–2019 гг. Рассмотрены особенности многолетней изменчивости гидрохимического стока в бассейне реки Большой Егорлык. Особое внимание уделено влиянию климатических условий и региональных источников антропогенного воздействия на состояние водосбора и формирование химического стока реки. Анализ полученных результатов показал влияние региональных факторов на гидролого-гидрохимические процессы, происходящие в пределах речного бассейна. Показано, что ведущим фактором негативного воздействия в бассейне реки является интенсивная сельскохозяйственная деятельность и режим внесения удобрений, что вызвало возрастание стока азота нитритного и сокращение стока фосфора фосфатного. Влияние таких региональных факторов, как усиление процессов аридизации в пределах водосбора и снижение водности стало причиной значительного возрастания стока главных ионов и соединений железа. Влияние диффузного поступления отдельных компонентов в речную сеть проявилось в возрастающем тренде изменения стока соединений меди и цинка за счет истощения почвенного покрова в результате водной и ветровой эрозии. Динамика стока органических веществ и азота аммонийного не имеет четкой направленности. Наиболее выраженное превышение нормативного стока было характерно для главных ионов, азота нитритного, соединений железа и меди в бассейне реки Большой Егорлык.

Ключевые слова: река Егорлык, водный сток, гидрохимический сток, антропогенное воздействие, Ставропольский край, диффузное загрязнение, Нижний Дон, климатические изменения.

Благодарности: авторы выражают искреннюю благодарность м.н.с. ФГБУ «ГХИ» Р.С. Комарову за оказанную помощь в оформлении используемых графических материалов.

Для цитирования: Сазонов А.Д., Закруткин В.Е., Решетняк О.С. Временная изменчивость поверхностного гидрохимического стока в бассейне реки Большой Егорлык в условиях антропогенного воздействия и климатических изменений. *Геология и геофизика Юга России*. 2022. 12(2): 117–130. DOI: 10.46698/VNC.2022.37.47.009.

DOI: [10.46698/VNC.2022.37.47.009](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.37.47.009)

Original paper

Time variability of surface hydrochemical runoff in the Bolshoi Yegoryk River basin under anthropogenic influence and climate change

A.D. Sazonov^{1, 2}, V.E. Zakrutkin¹, O.S. Reshetnyak¹

¹Southern Federal University, 40 R. Zorge Str., Rostov-on-Don 344090, Russian Federation, e-mail: alexei.sazonow2016@ya.ru;

²Hydrochemical Institute of Roshydromet, Stachki Ave. 198, Rostov-on-Don 344090, Russian Federation

Received: 15.04.2022, revised: 19.05.2022, accepted: 24.05.2022

Abstract. Relevance. Under conditions of insufficient moisture in the territory, the role of water resources is extremely important in solving domestic, agricultural, fisheries, energy, and production tasks. The variability of the surface hydrochemical flow of rivers serves as an indicator of the processes of river basin functioning. **Aim.** The purpose of the study was to investigate the temporal variability of hydrochemical flow of the Bolshoi Yegoryk River, considering the anthropogenic component and climate change. **Methods.** To calculate the volume of hydrochemical runoff, a methodology was used to determine the removal (transport) of pollutants with river runoff, based on the product of the volume of water runoff and the average concentration of the analysed substance over a certain time interval. **Results.** The runoff of the main ions (on the sum of ions), organic substances, biogenic elements, and heavy metals for the period 2003-2019 was calculated. The peculiarities of long-term variability of hydrochemical runoff in the basin of the Bolshoi Yegoryk River are considered. Particular attention is paid to the influence of climatic conditions and regional sources of anthropogenic impact on the state of the watershed and the formation of the chemical runoff of the river. The analysis of the obtained results has shown the influence of regional facts on hydrological-hydrochemical processes within the river basin. It was shown that the leading factor of negative impact in the river basin is intensive agricultural activities and fertilizer regime, which caused the increase of nitrite nitrogen flow and reduction of phosphorus phosphate flow. The impact of regional factors such as increasing aridisation processes within the catchment area and decreasing water availability caused a significant increase in the discharge of major ions and iron compounds. The influence of diffuse inflow of certain components into the river network was manifested in an increasing trend of changes in the runoff of copper and zinc compounds due to depletion of the soil cover because of water and wind erosion. The dynamics of organic substances and ammonium nitrogen runoff has no clear direction. The most pronounced exceeding of the normative flow was characteristic of the main ions, nitrite nitrogen, iron and copper compounds in the basin of the Bolshoi Yegoryk River.

Key words: Egorlyk river, water runoff, hydrochemical runoff, anthropogenic impact, Stavropol region, diffuse pollution, lower Don River, climatic changes.

Acknowledgements: The authors would like to express their sincere gratitude to R.S. Komarov, researcher of Federal State Budgetary Institution "Hydrochemical Institute" for his assistance in the design of the graphical materials used.

For citation: Sazonov A.D., Zakrutkin V.E., Reshetnyak O.S. Time variability of surface hydrochemical runoff in the Bolshoi Yegoryk River basin under anthropogenic influence and climate change. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2022. 12(1): 117-130. DOI: 10.46698/VNC.2022.37.47.009.

Введение

Понимание процессов изменчивости гидролого-гидрохимических параметров речной системы, а также факторов этой изменчивости в бассейнах рек важно для разработчиков политики регионального планирования и для ученых, интересующихся гидрологическими циклами в засушливых средах и изменением климата в аридных регионах [Easterling et al., 2019; Zahmatkesh et al., 2019].

Согласно прогнозам, пустынные и полупустынные ландшафты в будущем станут крупнейшим наземным биомом на Земле, в котором уже проживает более 35% населения мира [Reynolds et al., 2007]. Рост численности населения и изменение климата оказывают значительное воздействие на водные ресурсы в аридных регионах по всему миру. В дополнение к количественному истощению водных ресурсов, здесь происходит трансформация химического состава воды рек, что представляет серьезную угрозу для сохранения и использования водных ресурсов [Borrok et al., 2014; Kingsford et al., 2006].

В пределах вододефицитных территорий водные ресурсы являются основным лимитирующим фактором сельскохозяйственного производства и поэтому большинство проектов развития и управления водными ресурсами связано прежде всего с переброской речного стока из бассейнов с избытком воды в районы с ее дефицитом [Широкова и др., 2018]. Вместе с тем современное негативное воздействие сельскохозяйственного водопользования на речные бассейны в засушливых климатических условиях с применением переброски стока изучено достаточно слабо.

С этой точки зрения бассейн реки Большой Егорлык (Егорлык) является уникальной природно-антропогенной системой, характеризующейся высокой степенью антропогенной преобразованности водосбора в условиях аридизации климата. На его территории ведется интенсивная сельскохозяйственная деятельность, осуществляется межбассейновая переброска стока, функционируют многочисленные ирригационные системы. Кроме того, в пределах речного бассейна находятся промышленные предприятия и многочисленные населенные пункты, что влечет за собой значительное антропогенное воздействие на водные ресурсы реки. Актуальность рассмотрения выбранного объекта исследования также обусловлена важной ролью водных ресурсов данного речного бассейна в решении бытовых, сельскохозяйственных, рыбохозяйственных, энергетических и производственных задач.

В качестве индикатора процессов функционирования речного бассейна был определен поверхностный гидрохимический сток, изучение которого дает представление об особенностях трансформации и перемещения веществ в водосборных бассейнах [Алекин, 1970; Savichev et al., 2005].

Характеристика бассейна реки Егорлык как объекта исследования

Река Егорлык берет начало на северо-восточном склоне г. Стрижамент и впадает в правый (западный) отсек Пролетарского водохранилища в пределах Ростовской области. Большая часть ее водосборного бассейна находится в пределах Ставропольского края. Длина реки составляет 422 км, площадь водосбора – 14600 км² [Лурье и др., 2001].

Южная часть водораздела бассейна примыкает к бассейну реки Кубань, а западная часть граничит с реками Приазовья. Восточный водораздел проходит по Западному склону Ставропольской возвышенности. Рельеф возвышенности холмистый,

на некоторых участках сильно расчленен многочисленными глубокими балками и долинами правых притоков реки. Речная сеть бассейна развита относительно слабо и состоит преимущественно из временных водотоков. Притоки в верхнем течении, берущие начало на Ставропольской возвышенности, характеризуются постоянным стоком. Ниже впадения реки Большая Кугульта рельеф представляет собой волнистую равнину, слабо понижающуюся к устью. К наиболее крупным притокам реки относятся Большая Кугульта (112 км), Калалы (111 км), Ташла (72 км), Рассыпная (62 км) (Лурье и др., 2001) (рис. 1).

Водный режим реки Егорлык значительно зависит от климатических факторов, что подтверждается полученной нами корреляционной зависимостью ($r=0,61$) между многолетними данными суммы атмосферных осадков и расходов воды на нижнем участке реки.

На территории речного бассейна наблюдаются региональные климатические изменения, характеризующиеся увеличением теплообеспеченности и существенными колебаниями влагообеспеченности, что способствует увеличению общей засушливости климата и повышению вероятности возникновения засух, суховеев и пыльных бурь [Антонов, Каторгин, 2021].

На фоне увеличения среднегодовой температуры воздуха наблюдалось сокращение годовой суммы атмосферных осадков и, соответственно, уменьшение водности реки. Отрицательные температуры воздуха начинали устанавливаться, как правило, в декабре и продолжались до апреля, часто сменяясь положительными температурами, что нарушает процесс накопления снеготазпасов.

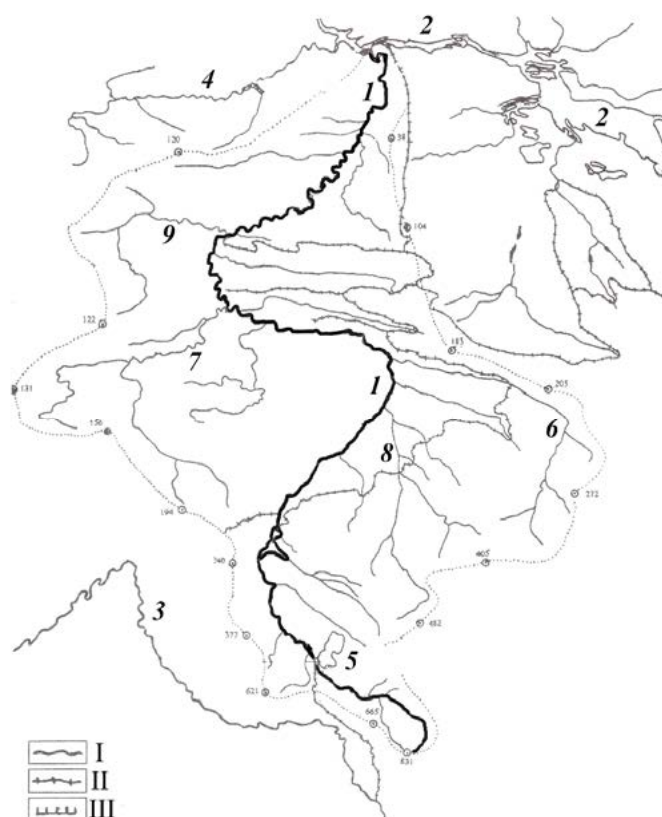


Рис. 1. Схема водосборного бассейна реки Егорлык (I – реки, II – каналы, III – плотины;

1 – р. Егорлык, 2 – Пролетарское водохранилище, 3 – р. Кубань, 4 – р. Средний Егорлык, 5 – Сенгилеевское водохранилище, 6 – Большая Кугульта, 7 – р. Калалы, 8 – р. Ташла, 9 – р. Рассыпная) [Лурье и др., 2001] /

Fig. 1. Scheme of the Egorlyk River watershed (I – rivers, II – canals, III – dams; 1 – Egorlyk River; 2 – Proletarian Reservoir; 3 – Kuban River; 4 – Middle Egorlyk River; 5 – Sengileyskoe Reservoir; 6 – Bolshaya Kugulta; 7 – Kalaly River; 8 – Tashla River; 9 – Rasyynaya River) [Lurie et al., 2001]

Почвенный покров рассматриваемого водосбора представлен преимущественно различными подтипами черноземов (обыкновенные карбонатные, южные карбонатные, солонцеватые и др.). Наблюдается достаточно высо-

кая степень заовраженности земель и интенсивности процессов водной и ветровой эрозии в пределах бассейна реки. Большая часть территории занята пашнями [Атлас..., 2000; Экологический..., 2000]. Водный режим почв в верхнем и среднем течении реки серьезно нарушен из-за малой глубины залегания водоупора на участках подтопления, интенсивных процессов искусственного орошения и обводнения [Клюшин и др., 2011].

Для водного стока Егорлыка и некоторых его притоков характерна значительная его зарегулированность водохранилищами и многочисленными прудами; действуют несколько электростанций. Река делится на два участка, разделенных глухой земляной плотиной, полностью разделяющей верхнюю и нижнюю части реки. Верхний участок характеризуется естественным стоком. Вода реки от плотины направлена в русло реки Соломатин Яр, посредством которой сброс воды осуществляется в Сенгилеевское водохранилище, принимающее также воду из реки Кубань посредством переброски стока. Из водохранилища производится сброс воды в реку Егорлык [Лурье и др., 2001].

Переброска кубанской воды в реку существенно изменила ее гидрологический режим, что отразилось на резком увеличении водного стока и переформировании русла в виде глубинной и боковой эрозии [Лурье и др., 2001]. Оценить масштаб переброски стока крайне сложно, так как поступление воды из реки Кубань происходит непосредственно в речную сеть и расходуется на функционирование весьма изношенных оросительно-обводнительных систем (ООС) в бассейне реки Егорлык, крупнейшими из которых являются Право-Егорлыкская и Невинномысская (табл. 1). На участке от плотины Новотроицкого водохранилища до границы Ставропольского края река Егорлык фактически представляет собой региональную сбросную дренажную систему Право-Егорлыкской ООС.

Таблица 1 / Table 1

Среднегодовой объем водозабора крупнейших оросительно-обводнительных систем в пределах бассейна р. Егорлык (2013-2019 гг.) (<https://inform-raduga.ru/gts>) / Average annual water withdrawal of the largest Irrigation and drainage systems within the Egorlyk River basin (2013-2019) (<https://inform-raduga.ru/gts>)

ООС / Irrigation and drainagesystem	Объем водозабора, млн м ³ / Water withdrawal volume, mln m ³	Фактический физический износ на 2021 г., % / Real physical wear and tear as of 2021, %
Право-Егорлыкская / Pravo-Egorlykская	569	95
Невинномысская / Nevinnomysskaya	658	66
Егорлыкская / Egorlykская	70,9	100
Междуречье Кубань-Егорлыкская / Mezhdurechye Kuban-Egorlykская	12,3	70

Перераспределение кубанской воды происходит преимущественно с учетом режима орошения. На территории Ставропольского края и Ростовской области период орошения длится с мая по август, что приводит к искусственному увеличению летней доли водного стока и трансформации гидролого-гидрохимического режима реки [Лурье и др., 2001].

Из локализованных источников воздействия следует отметить многочисленные предприятия, функционирующие в непосредственной близости от водотоков бассейна реки Егорлык: АО «Невинномысский азот», АО «Арнест», ООО «Невинномысский радиаторный завод» и другие, которые относятся к крупнейшим промышленным водопользователям Ставропольского края.

В целом, воздействие природно-климатических факторов способствует долгосрочному сокращению водности реки Егорлык. Непосредственное антропогенное воздействие на гидролого-гидрохимический режим рассматриваемого бассейна определяется, прежде всего, интенсивной сельскохозяйственной деятельностью и мероприятиями, направленными на ее поддержание.

Материалы и методы исследования

При проведении исследования были использованы многолетние (2003–2019 гг.) данные наблюдений за среднесуточными расходами воды и ее химическим составом по отдельным компонентам в нижнем течении реки Егорлык в пункте наблюдений с. Новый Егорлык (32 км от устья). Данные собраны из режимно-справочных изданий Росгидромета и автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов Российского информационно-аналитического и научно-исследовательского водохозяйственного центра (<https://gmvo.skniivh.ru/>). При расчете объемов гидрохимического стока использовалась «Усовершенствованная методика определения выноса (переноса) загрязняющих веществ с речным стоком» (РД 52.24.748-2010). Вычисления производились прямым способом по формуле:

$$G = \sum_{i=1}^m W_i \bar{C}_i$$

где G – количество перенесенного вещества за расчетный период, т или тыс. т;

m – число интервалов расчетного периода;

W_i – объем стока воды за i -й интервал расчетного периода, км³;

$\bar{C}_i$ – средняя концентрация вещества за i -й интервал расчетного периода, мг/дм³.

Выполнены расчеты объемов ионного стока (по сумме главных ионов), стока органических веществ (рассчитанных по ХПК), биогенных элементов (соединений железа, кремния, фосфора, минеральных форм азота), микрокомпонентов (соединений цинка и меди). Количество определений составляло порядка 4–7 раз в год.

В данном исследовании используется понятие «нормативный сток», который представляет собой произведение предельно допустимой концентрации (Приказ Минсельхоза России от 10.12.2016 №552) определяемого компонента на значение объема годового водного стока. Значения нормативного стока могут быть полезны при сравнительных оценках гидрохимического стока и планировании хозяйственных природоохранных мероприятий на водосборе.

В процессе обработки первичных данных использованы программы «ГХМ-вынос-2019», Microsoft Office Excel 2019 и Statistica 13.3.

Результаты работы и их обсуждение

Данных о поверхностном гидрохимическом стоке в бассейне реки Егорлык крайне мало. Первые обобщения были сделаны в 60–70-х гг. и касались в основном ионного стока рек европейской части России. По данным А.О. Алекина и Л.В. Бражниковой средний за период 1936–1955 гг. показатель ионного стока с водо-

сборов левобережных притоков Нижнего Дона составлял 10–20 т/км² в год, в то время как для р. Средний Егорлык он составлял 32,2 т/км² в год (при этом ионный сток был равен 73,2 млн т/год) [Алекин, Бражникова, 1964]. Дальнейшее обобщение ионного речного стока за период 1955–1980 гг. представлено в Гидрохимическом атласе [Гидрохимический..., 1990]. Для исследуемых водосборов показатель ионного стока (модуль химического стока) увеличился и составил 50–60 т/км² в год, модуль стока органических веществ – 1–2 т/км² в год и сток соединений меди – 0–0,5 т/км² в год. Данные за этот период можно рассматривать как «фоновые» для сравнения и выявления происходящих изменений на водосборе.

Полученные нами характеристики поверхностного гидрохимического стока реки Егорлык (с. Новый Егорлык) за современный период приведены в таблице 2.

Анализ результатов расчета гидрохимического стока показывает, что, несмотря на межбассейновую переброску менее минерализованных вод из реки Кубань, ионный сток в бассейне реки Егорлык превышает модуль химического стока условно фонового периода (до активного антропогенного воздействия) в среднем в 2–6 раз. При этом показатели стока органических веществ и стока соединений меди значительно не изменились и находятся в пределах естественных колебаний.

Таблица 2 / Table 2

**Характеристики поверхностного гидрохимического стока реки Егорлык
(с. Новый Егорлык) / Characteristics of surface hydrochemical runoff of the
Egorlyk River (Novy Egorlyk village)**

Показатель, размерность / Chemical component, measuring unit	Химический сток (тыс. т или т в год) / Chemical runoff (thsd ton or ton/year)	Модуль химического стока (т/км ² /год) / Chemical runoff modulus (ton/km ² /year)
Ионный сток, тыс. т / Major ions export, thsd ton	$\frac{1559-5716}{3112}$	$\frac{107-391}{213}$
Органические вещества (по ХПК), тыс. т / Organic matter export (by COD), thsd ton	$\frac{15,6-51,4}{32,6}$	$\frac{1,07-3,52}{2,23}$
Кремний, тыс. т / Silicon, thsd ton	$\frac{1,94-8,64}{4,42}$	$\frac{0,130-0,590}{0,300}$
Азот нитратный, т / Nitrate-nitrogen, ton	$\frac{118-723}{403}$	$\frac{0,008-0,049}{0,027}$
Соединения железа, т / Iron compounds, ton	$\frac{65,8-555}{277}$	$\frac{0,004-0,038}{0,019}$
Азот аммонийный, т / Ammonium-nitrogen, ton	$\frac{73,1-312}{193}$	$\frac{0,005-0,021}{0,013}$
Фосфаты, т / Phosphates, ton	$\frac{29,2-168}{68,5}$	$\frac{0,002-0,011}{0,005}$
Азот нитритный, т / Nitrite-nitrogen, ton	$\frac{12,2-53,7}{26,1}$	$\frac{0,001-0,037}{0,002}$
Соединения цинка, т / Zinc compounds, ton	$\frac{н.о.-9,93}{4,45}$	$\frac{н.о.-0,0007}{0,0003}$
Соединения меди, т / Copper compounds, ton	$\frac{н.о.-5,42}{1,62}$	$\frac{н.о.-0,0004}{0,0001}$

Примечание: В числителе представлен диапазон значений, в знаменателе – среднее значение за период 2003–2019 гг., н.о. – ниже пределов обнаружения используемых методик. / Note: Numerator represents the range of values; denominator represents the average value. н.о. – below the detection limits of the techniques used.

Для реки Егорлык в период 2003–2019 гг. значительно превышен нормативный сток главных ионов, а также наблюдается тенденция увеличения ионного стока на фоне отсутствия устойчивого изменения водности реки (рис. 2а).

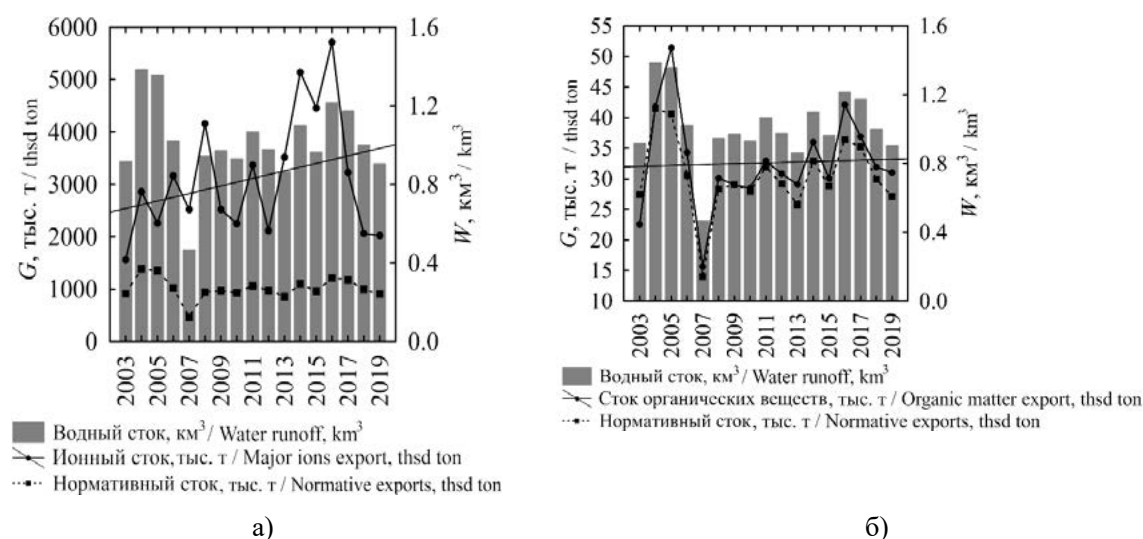


Рис. 2. Изменчивость ионного стока и стока органических веществ (по ХПК) в бассейне реки Егорлык, тыс. т /

Fig. 2. Variability of ionic runoff and organic matter runoff (by COD) in the Egorlyk River basin, thsd ton

В ионном составе воды преобладают сульфаты, что объясняется засушливыми климатическими условиями и литологическим составом пород в бассейне, которые способствуют вымыванию легкорастворимых солей сульфатов и магния [Матишов и др., 2005]. Прежде всего, это связано с наблюдаемой аридизацией в пределах речного бассейна, обусловленной увеличением среднегодовой температуры воздуха и сокращением годовой суммы атмосферных осадков. Отчетливо заметно повышение ионного стока в 2008 г. и его нормализация в 2009 г., что объясняется интенсивным растворением солей, накопленных в 2007 г. в засушливый период. Из антропогенных источников воздействия можно выделить хозяйственные обводнительно-оросительные мероприятия, которые приводят к увеличению содержания в почвах легкорастворимых минеральных солей, вызванному повышением уровня высокоминерализованных грунтовых вод [Аллабергенова, 2019; Зубков и др., 2019; Okur et al., 2020].

Сток органических веществ р. Егорлык в отличие от ионного стока показывает более значимую зависимость от водности реки, но в динамике не имеет выраженной направленности (рис. 2б). Незначительное превышение нормативного стока органических веществ, отсутствие существенных расхождений между изменчивостью водности реки и их стоком свидетельствует об устойчивости процесса поступления органических веществ в речную систему с водосборной территории, несмотря на климатические изменения и антропогенную трансформированность физико-химического состояния почв и режима грунтовых вод.

Сток биогенных компонентов является одним из ключевых факторов, определяющих биопродукционный потенциал водных объектов, поэтому его изучение имеет важное хозяйственное значение. В структуре биогенного стока, как и следо-

вало ожидать, преобладают соединения кремния (рис. 3). Сток соединений кремния имеет выраженную зависимость от водности, что свидетельствует об отсутствии заметного антропогенного воздействия на его содержание в воде.

Сток соединений железа не коррелирует с водностью и имеет отчетливый положительный тренд (рис. 3). Направленность изменчивости стока соединений железа может свидетельствовать о возрастании роли грунтовых вод в питании реки и увеличении объема сброса загрязненных вод из локализованных источников загрязнения. В ранее проведенном исследовании [Сазонов и др., 2021] выявлено увеличение содержания соединений железа в реках Западный Маныч и Сал, находящихся в аналогичных условиях засушливого климата и нарушенного режима грунтовых вод в связи с активной мелиоративной деятельностью на водосборах. Увеличение стока соединений железа в реке Егорлык вызвано аналогичными процессами. В связи с отсутствием достоверных качественных и количественных данных о сбросе загрязненных вод в бассейн реки Егорлык от точечных источников, установление их роли в формировании стока данных ингредиентов не представляется возможным.

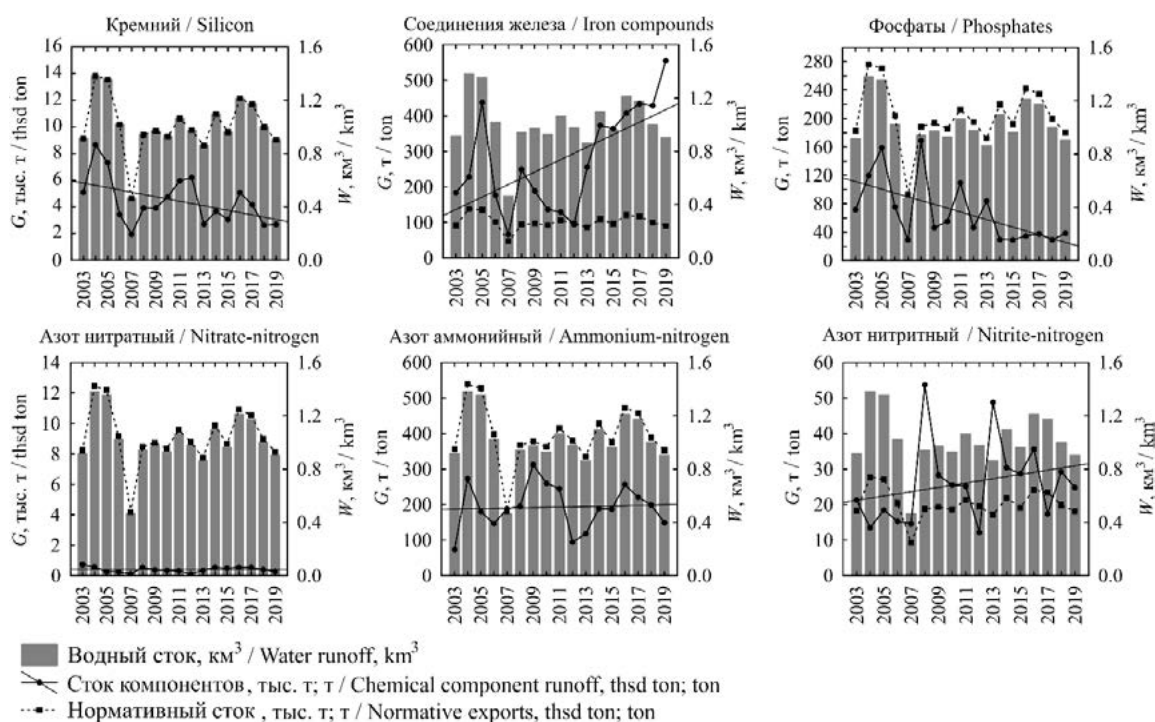


Рис. 3. Изменчивость стока биогенных веществ в бассейне р. Егорлык (т или тыс. т) /

Fig. 3. Variability of nutrient runoff in the Egorlyk River basin (ton or thousand ton)

В стоке минеральных форм азота преобладает азот нитратный, но его содержание не превышает нормативный сток. В изменении стока азота аммонийного четкой тенденции не наблюдается. Абсолютные значения стока ниже нормативных значений (кроме маловодного 2007 г.). Зависимость стока азота аммонийного от водности реки слабо выражена.

Сток фосфора фосфатного не превышает допустимый уровень и имеет отрицательный тренд, в то время как для стока азота нитритного наблюдается противоположная тенденция (рис. 3), что вызывает большой интерес.

В связи с существенной сельскохозяйственной освоенностью водосбора реки, основным источником поступления этих биогенных компонентов является вымывание из почвы внесенных азотных и фосфорных удобрений. Возрастание стока азота нитритного прежде всего обусловлено увеличением объемов вносимых в почву минеральных удобрений (табл. 3), а снижение при этом стока фосфора фосфатного происходит за счет сокращения доли использования фосфорных удобрений [Сычев и др., 2015], недостаток которых может приводить к низкой усвояемости азота сельскохозяйственными культурами и в итоге к его накоплению в почве.

В диапазоне 2007–2009 гг. (рис. 3) наблюдалось двукратное увеличение водного стока в 2008 г., которое вызвало несоизмеримое повышение стока азота нитритного в 3,8 раз, а также фосфора фосфатов – в 5,8 раз. Данное явление может быть вызвано накоплением азотных и фосфорных удобрений за счет резкого сокращения поверхностного водного стока в засушливом 2007 году.

Таблица 3 / Table 3

**Внесение минеральных удобрений на территории сельхозугодий
Ставропольского края [Сычев и др., 2021] /
Mineral fertilizer application in the Stavropol Krai farmland [Sychev et al., 2021]**

<i>Период / Period</i>	<i>Количество, кг/га / Quantity, kg/ha</i>
1996–2000	11,2
2001–2005	19,6
2006–2010	41,5
2011–2015	47,0
2016–2020	56,9

За период исследования в бассейне реки Егорлык выявлено интенсивное сокращение стока соединений цинка и меди. Зависимости стока рассматриваемых микроэлементов от водности реки не наблюдается (рис. 4).

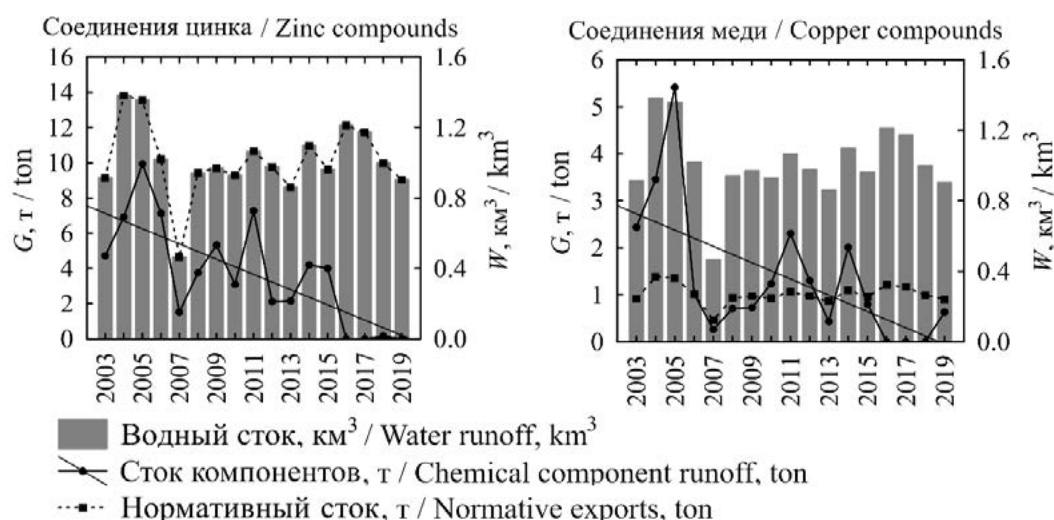


Рис. 4. Изменчивость стока микроэлементов в бассейне реки Егорлык, т /

Fig. 4. Variability of trace element runoff in the Egorlyk River basin, ton

Поверхностный водный сток считается основным источником поступления соединений меди и цинка в речные системы, причиной чему служит высокая их способность к водной миграции [Vink et al., 1999; Walaszek et al., 2018; Реутова и др., 2021]. Значительное превышение нормативного стока соединений меди в отдельные годы может быть вызвано влиянием межбассейновой переброски воды из реки Кубань, в воде которой регулярно отмечалось повышенное содержание данного компонента (до 20.0 ПДК) [Решетняк и др., 2021]. Анализ изменчивости содержания соединений цинка и меди в пахотном слое почв Ставропольского края показывает, что доля пашен со средним содержанием подвижных форм цинка сократилась в 6.6 раз, с высоким – в 13 раз, а содержание миграционных форм меди в пашнях региона в то же время понизилось примерно на 20% [Жученко и др., 2011]. Наблюдаемое уменьшение выноса с речным стоком соединений меди и цинка с водосбора реки Егорлык согласуется с тенденцией уменьшения их содержания в почвах.

Динамика изменчивости стока азота нитритного и фосфора фосфатного, соединений меди и цинка свидетельствует о преобладающей роли диффузных (площадных) источников поступления данных компонентов в реку Егорлык, о чем свидетельствуют результаты ранее проведенных исследований состояния почвенного покрова. Предполагается, что особенности применения сельскохозяйственных удобрений опосредованно влияют на разнонаправленные тренды стока фосфора фосфатного и азота нитритного. В то же время процессы водной и ветровой эрозии на водосборе (то есть обеднение почв отдельными микроэлементами) опосредованно воздействуют в сторону сокращения стока соединений меди и цинка.

ВЫВОДЫ

Основываясь на результатах проведенных исследований, можно сделать следующие выводы.

1. Положительная направленность динамики стока главных ионов и соединений железа свидетельствуют об увеличении роли грунтовых вод в питании реки и засолении почв, что, в свою очередь, вызвано процессами аридизации, снижением водности реки и функционированием обводнительно-оросительных систем в бассейне р. Егорлык.

2. Выявлена четкая зависимость стока органических веществ и соединений кремния от водности реки, что обусловлено доминированием природных источников их поступления в бассейне реки Егорлык.

3. Возрастание стока азота нитритного и сокращение стока фосфора фосфатного вызвано, прежде всего, особенностями применения удобрений: на исследуемой территории отмечено увеличение использования азотных удобрений на фоне сокращения применения фосфатных удобрений.

4. Выявлена тенденция снижения стока соединений меди и цинка, обусловленная истощением почв в результате водной и ветровой эрозии. Это может свидетельствовать о преобладающей роли диффузного поступления перечисленных компонентов в речную сеть.

Таким образом, в бассейне реки Егорлык за период исследования наблюдалось заметное увеличение стока главных ионов, соединений железа и азота нитритного на фоне сокращения стока кремния, фосфора фосфатного, соединений меди и цинка. Наиболее выраженное превышение нормативного стока было характерно для главных ионов, азота нитритного, соединений железа и меди.

Литература

1. Алекин О.А., Бражникова Л.В. Сток растворенных веществ с территории СССР. – М.: Наука, 1964. – 144 с.
2. Алекин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 417 с.
3. Аллабергенова Э.М. Некоторые гидрологические аспекты опустынивания Ногайского района Республики Дагестан. // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9. №4. – С. 6–12. DOI 10.23671/VNC.2019.4.44484.
4. Антонов С.А., Каторгин И.Ю. Картографирование характеристик изменения климата в Ставропольском крае. // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2021. – Т. 27. №3. – С. 171–182. DOI 10.35595/2414-9179-2021-3-27-171-182.
5. Атлас земель Ставропольского края. – Ставрополь, 2000. – 118 с.
6. Гидрохимический атлас СССР. / Под ред. А.М. Никанорова. – М.: Гидрометеиздат, 1990. – 110 с.
7. Жученко А.А., Трухачев В.И., Пенчуков В.М., Сотченко В.С., Агеев В.В., Ангилев О.Г., Баринцева В.Н., Войсковой А.И., Власова О.И., Гребенников В.Г., Дорожко Г.Р., Дридигер В. К., Есаулко А.Н., Жукова М.П., Зеленская Т.Г., Злыднев Н.З., Злыднева Р.М., Лобанкова О.Ю., Передериева В.М., Полоус Г.П., Подколзин А.И., Раков А.Ю., Сентябрьев А.А., Сирота М.А., Цховребов В.С., Шабалдас О.Г. Системы земледелия Ставрополья. – Ставрополь: АГРУС, 2011. – 844 с.
8. Зубков Е.А., Гарькуша Д.Н., Барцев О.Б., Никаноров А.М. Грунтовые воды юга Ростовской области и их влияние на подтопление территорий населенных пунктов. – Ростов н/Д.: ЮФУ, 2019. – 184 с.
9. Ключин П.В., Марьин А.Н. Антропогенное переувлажнение и заболачивание ландшафтов Ставропольского края. // Юг России: экология, развитие. – 2011. – №2. – С. 80–86.
10. Лурье П.М., Панов В.Д., Саломатин А.М. Река Маныч: гидрография и сток. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 160 с.
11. Матишов Д.Г., Гаргопа Ю.М. Формирование гидролого-гидрохимического режима водоемов Маныча. // Маныч-Чограй: история и современность (предварительные исследования) / Отв. ред. Г.Г. Матишов. – Ростов н/Д.: Эверест, 2005. – С. 20–36.
12. Реутова Н.В., Реутова Т.В., Дреева Ф.Р., Хутуев А.М. Микроэлементный состав поверхностных вод бассейна реки Малка и геохимические особенности региона. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – №3. – С. 172–184. DOI 10.46698/VNC.2021.20.60.014.
13. Решетняк О.С., Комаров Р.С. Тенденции изменчивости химического состава и степени загрязненности воды реки Кубань. // Вода и экология: проблемы и решения. – 2021. – №1. – С. 30–40. DOI: 10.23968/2305-3488.2021.26.1.30-40
14. Сазонов А.Д., Решетняк О.С., Закруткин В.Е. Изменчивость гидрохимических характеристик рек Сал и Западный Маныч в условиях современного антропогенного воздействия и климатических изменений (в пределах Ростовской области). // Наука Юга России. – 2021. – № 1. – С. 24–36. DOI: 10.7868/S25000640210103.
15. Сычев В.Г., Гречишкина Ю.И., Бурлай А.В., Матвиенко А.В. Анализ использования минеральных удобрений под озимую пшеницу в Ставропольском крае. // Плодородие. – 2021. – №2. – С. 3–6. DOI: 10.25680/S19948603.2021.119.01
16. Сычев В.Г., Есаулко А.Н., Агеев В.В., Подколзин А.И., Сигида М.С. Особенности применения систем удобрений под сельскохозяйственные культуры в Ставропольском крае. // Вестник АПК Ставрополья. – 2015. – №2. – С. 53–66.
17. Широкова В.А., Александровская О.А., Лихачева Э.А. Проблемы водных ресурсов и водопользования в аридных районах на примере древнего и современного Израиля. // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – №3. – С. 75–93. DOI: 10.23671/VNC.2018.3.16549.
18. Экологический атлас Ростовской области. / Глав. ред. В.Е. Закруткин. Ростов н/Д.: СКНЦВШ, 2000. – 120 с.
19. Borrok D.M., Engle M.A. The role of climate in increasing salt loads in dryland rivers. //

Journal of arid environments. – 2014. – Vol. 111. – pp. 7-13. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2014.07.001

20. Easterling W.E., Riebsame W.E. Assessing drought impacts and adjustments in agriculture and water resource systems. // *Planning for Drought*. – Routledge. – 2019. – pp. 189-213.

21. Kingsford R.T., Thompson J.R. Desert of dryland rivers of the world –an introduction. // *Ecology of desert rivers*. Cambridge University Press. – 2006. – pp. 3-10.

22. Okur B., Örcen N. Soil salinization and climate change // *Climate change and soil interactions*. / Prasad M., Pietrzykowski M. (eds.). Elsevier. – 2020. – pp. 331-350.

23. Reynolds J.F. Global desertification: building a science for dryland development. // *Science*. – 2007. – Vol. 316. Iss. 5826. – pp. 847-851. DOI: 10.1126/science.1131634

24. Savichev O.G., Mazurov A.K., Pipko I.I., Sergienko V.I., Semiletova I.P. Spatial patterns of the evolution of the chemical composition and discharge of river water in the Ob river basin. // *Doklady Earth Sciences*. – 2016. – Vol. 466. – No. 1. – pp. 59–63. DOI: 10.1134/S1028334X16010141

25. Vink R., Behrendt H., Salomons W. Development of the heavy metal pollution trends in several European rivers: an analysis of point and diffuse sources. // *Water Science and Technology*. – 1999. – Vol. 39. Iss. 12. – pp. 215-223. DOI: 10.1016/S0273-1223(99)00338-8

26. Walaszek M., Del Nero M., Bois P., Ribstein L., Courson O., Wanko A., Laurent J. Sorption behavior of copper, lead and zinc by a constructed wetland treating urban stormwater. // *Applied Geochemistry*. – 2018. – Vol. 97. – pp. 167-180. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2018.08.019

27. Zahmatkesh Z., Kumar J.S., Coulibaly, P., Stadnyk, T. An overview of river flood forecasting procedures in Canadian watersheds. // *Canadian Water Resources Journal*. / *Revue Canadienne des ressources hydriques*. – 2019. – Vol. 44. No.3. – pp. 213-229.

References

1. Alekin O.A., Brazhnikova L.V. Drainage of dissolved substances from the territory of the USSR. Moscow. Nauka, 1964. 144 p. (In Russ.)

2. Alekin O.A. Fundamentals of hydrochemistry. Leningrad. Gidrometeoizdat, 1970. 417 p. (In Russ.)

3. Allabergenova E.M. Some hydrological aspects of desertification in the Nogai region of the Republic of Dagestan. *Geology and geophysics of the South of Russia*. 2019. Vol. 9. No.4. pp. 6–12. DOI 10.23671/VNC.2019.4.44484. (In Russ.)

4. Antonov S.A., Katargin I. Yu. Mapping the characteristics of climate change in the Stavropol Territory. *InterCarto. InterGIS*. 2021. Vol. 27. No. 3. pp. 171–182. (In Russ.) DOI 10.35595/2414-9179-2021-3-27-171-182.

5. Atlas of the lands of the Stavropol Territory. Stavropol, 2000. 118 p. (In Russ.)

6. Hydrochemical Atlas of the USSR. Ed. A.M. Nikanorov. Moscow. Gidrometeoizdat, 1990. 110 p. (In Russ.)

7. Zhuchenko A.A., Trukhachev V.I., Penchukov V.M., Sotchenko V.S., Ageev V.V., et al. Farming systems of the Stavropol region. Stavropol, AGRUS, 2011. 844 p. (In Russ.)

8. Zubkov E.A., Garkusha D.N., Bartsev O.B., Nikanorov A.M. Ground waters of the south of the Rostov region and their influence on the flooding of the territories of settlements. Rostov-on-Don. SFU, 2019. 184 p. (In Russ.)

9. Klyushin P.V., Maryin A.N. Anthropogenic waterlogging and bogging of the landscapes of the Stavropol Territory. *South of Russia: ecology, development*. 2011. No. 2. pp. 80–86. (In Russ.)

10. Lurie P.M., Panov V.D., Salomatin A.M. The Manych River: hydrography and runoff. Saint Petersburg, Gidrometeoizdat, 2001. 160 p. (In Russ.)

11. Matishov D.G., Gargopa Yu.M. Formation of the hydrological and hydrochemical regime of the Manych reservoirs. *Manych-Chogray: history and modernity (preliminary research)*. Rostov-on-Don. Everest, 2005. pp. 20–36. (In Russ.)

12. Reutova N.V., Reutova T.V., Dreeva F.R., Khutuev A.M. Microelement composition of surface waters of the Malka river basin and geochemical features of the region. *Geology*

and geophysics of the South of Russia. 2021. Vol. 11. No. 3. pp. 172-184. DOI 10.46698/VNC.2021.20.60.014. (In Russ.)

13. Reshetnyak O.S., Komarov R.S. Trends in the variability of the chemical composition and degree of water pollution in the Kuban River. Water and ecology: problems and solutions. 2021. No. 1. pp. 30–40. (In Russ.) DOI: 10.23968/2305-3488.2021.26.1.30-40.

14. Sazonov A.D., Reshetnyak O.S., Zakrutkin V.E. Variability of the hydrochemical characteristics of the Sal and Western Manych rivers under the conditions of modern anthropogenic impact and climate change (within the Rostov region). Science in the South Russia. 2021. No. 1. pp. 24–36. (In Russ.) DOI: 10.7868/S25000640210103.

15. Sychev V.G., Grechishkina Yu.I., Burlai A.V., Matvienko A.V. Analysis of the use of mineral fertilizers for winter wheat in the Stavropol Territory. Plodorodie. 2021. No. 2. pp. 3–6. (In Russ.) DOI: 10.25680/S19948603.2021.119.01.

16. Sychev V.G., Esaulko A.N., Ageev V.V., Podkolzin A.I., Sigida M.S. Features of the use of fertilizer systems for agricultural crops in the Stavropol Territory. Agricultural Bulletin of Stavropol Region. 2015. No. S2. pp. 53–66. (In Russ.)

17. Shirokova V.A., Alexandrovskaya O.A., Likhacheva E.A. Problems of water resources and water use in arid regions on the example of ancient and modern Israel. Geology and geophysics of the South of Russia. 2018. No. 3. pp. 75–93. DOI: 10.23671/VNC.2018.3.16549.

18. Ecological atlas of the Rostov region. Ed. V.E. Zakrutkin. Rostov-on-Don. SKNTsVSH, 2000. 120 p. (In Russ.)

19. Borrok D.M., Engle M.A. The role of climate in increasing salt loads in dryland rivers. Journal of arid environments. 2014. Vol. 111. pp. 7-13. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2014.07.001.

20. Easterling W.E., Riebsame W.E. Assessing drought impacts and adjustments in agriculture and water resource systems. Planning for Drought. Routledge. 2019. pp. 189–213.

21. Kingsford R.T., Thompson J.R. Desert of dryland rivers of the world –an introduction. Ecology of desert rivers. Cambridge University Press. 2006. pp. 3–10.

22. Okur B., Örcen N. Soil salinization and climate change. Climate change and soil interactions. Prasad M., Pietrzykowski M. (eds.). Elsevier. 2020. pp. 331–350.

23. Reynolds J.F. Global desertification: building a science for dryland development. Science. 2007. Vol. 316. Issue 5826. pp. 847–851. DOI: 10.1126/science.1131634.

24. Savichev O.G., Mazurov A.K., Pipko I.I., Sergienko V.I., Semiletova I.P. Spatial patterns of the evolution of the chemical composition and discharge of river water in the Ob river basin. Doklady Earth Sciences. 2016. Vol. 466. No. 1. pp. 59–63. DOI: 10.1134/S1028334X16010141

25. Vink R., Behrendt H., Salomons W. Development of the heavy metal pollution trends in several European rivers: an analysis of point and diffuse sources. Water Science and Technology. 1999. Vol. 39. Issue 12. pp. 215–223. DOI: 10.1016/S0273-1223(99)00338-8.

26. Walaszek M., Del Nero M., Bois P., Ribstein L., Courson O., Wanko A., Laurent J. Sorption behavior of copper, lead and zinc by a constructed wetland treating urban stormwater. Applied Geochemistry. 2018. Vol. 97. pp. 167–180. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2018.08.019

27. Zahmatkesh Z., Kumar J.S., Coulibaly P., Stadnyk T. An overview of river flood forecasting procedures in Canadian watersheds. Canadian Water Resources Journal. Revue Canadienne des ressources hydriques. 2019. Vol. 44. No.3. pp. 213-229.