

УДК 504.4.054+504.45  
DOI: 10.7868/S25000640210103

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕК САЛ И ЗАПАДНЫЙ МАНЫЧ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ (В ПРЕДЕЛАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

© 2021 г. А.Д. Сазонов<sup>1,2</sup>, О.С. Решетняк<sup>1,2</sup>, В.Е. Закруткин<sup>2</sup>

**Аннотация.** Рассмотрена временная изменчивость гидрохимических характеристик рек Сал и Западный Маныч и влияние природных и антропогенных факторов на формирование и трансформацию химического состава речных вод. Материалом для исследования послужили первичные данные государственной наблюдательной сети Росгидромета (из режимно-справочного банка данных Гидрохимического института) и результаты ранее опубликованных работ. Целью исследования являлось изучение трансформации химического состава и качества воды рек Сал и Западный Маныч с учетом современного антропогенного воздействия и климатических изменений.

Был проведен сравнительный анализ двух многолетних периодов (2001–2007 и 2011–2017 гг.) и детально изучено изменение среднегодовых концентраций загрязняющих компонентов за 2010–2017 гг.

В химическом составе воды р. Сал наиболее существенные изменения в сторону роста концентраций произошли в содержании соединений железа, сульфатов, нефтепродуктов и азота аммонийного, р. Западный Маныч – в содержании органических веществ, азота аммонийного и нефтепродуктов.

В период с 2010 по 2017 г. наиболее четко прослеживаются две общие тенденции: увеличение содержания соединений железа и снижение концентраций меди в воде. Разнонаправленные тренды наблюдаются по ионам магния. Рассмотрены основные причины изменчивости химического состава речных вод – изменение водности и влияние грунтовых вод.

За исследуемый период качество воды в реках Сал и Западный Маныч не улучшилось и осталось на уровне 4 класса (степень загрязненности воды – грязная). В категорию критических показателей загрязненности воды для обеих рек ежегодно входили сульфат-ионы, по которым отмечается наибольшая кратность превышения предельно допустимой концентрации со 100%-й повторяемостью.

Результаты исследования могут быть использованы при планировании природоохранных мероприятий, а также для совершенствования существующего природопользования.

**Ключевые слова:** Сал, Западный Маныч, химический состав, экологическое состояние, загрязняющие вещества, климатические изменения, антропогенное воздействие.

### VARIABILITY OF HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SAL AND WEST MANYCH RIVERS UNDER CONDITIONS OF MODERN ANTHROPOGENIC IMPACT AND CLIMATIC CHANGES (WITHIN ROSTOV REGION)

A.D. Sazonov<sup>1,2</sup>, O.S. Reshetnyak<sup>1,2</sup>, V.E. Zakrutkin<sup>2</sup>

**Abstract.** The temporal variability of the hydrochemical characteristics of the Sal and West Manych rivers is considered. Attention is paid to the influence of natural and anthropogenic factors on the formation and transformation of the chemical composition of river waters. The materials of the study were the primary data of the state observation network of Rosgidromet (from the mode-reference data bank of the Hydrochemical

<sup>1</sup> Гидрохимический институт Росгидромета (Hydrochemical Institute of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 198, e-mail: alexei.sazonow2016@ya.ru

<sup>2</sup> Институт наук о Земле Южного федерального университета (Institute of Earth Sciences of the Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40, e-mail: olgare1@mail.ru

Institute), and the results of previously published studies. The aim of the study was to analyze the transformation of the chemical composition and water quality of the Sal and West Manych rivers, taking into account the modern anthropogenic impact and climatic changes.

During the study, a comparative analysis of two long-term periods (2001–2007 and 2011–2017) and a detailed survey of changes in the average annual concentrations of polluting components for 2010–2017 were carried out.

For the Sal River, the most significant upward changes of concentrations in the chemical composition of water occurred in the content of iron compounds, sulfates, oil products and ammonium nitrogen. In the transformation of the chemical composition of water for the West Manych River, the largest increase occurred in the content of organic matter, ammonia nitrogen and oil products.

In the period from 2010 to 2017, two general trends are most clearly observed: an increase in the content of iron compounds and a decrease in the concentration of copper in water. Multidirectional trends are observed for magnesium ions. The main reasons for the variability of the chemical composition of river waters are considered: the changes in water content and the influence of groundwater.

It was revealed that during the study period the water quality in the Sal and West Manych rivers had not improved. The quality class remained at the level of class 4 (the degree of contamination is “dirty”). The category of critical indicators of water pollution for both rivers annually included sulfate ions, for which the highest frequency of exceeding the maximum permissible concentration with 100 % repeatability is noted.

The research results can be used in planning environmental protection measures, as well as in improving the existing nature management.

**Keywords:** Sal River, West Manych River, chemical composition, ecological state, pollutants, climatic changes, anthropogenic impact.

## ВВЕДЕНИЕ

Реки Сал и Западный Маныч являются левобережными притоками Нижнего Дона. Водосборный бассейн р. Западный Маныч площадью 35,4 тыс. км<sup>2</sup> располагается в Ростовской области, Ставропольском крае и Республике Калмыкия. Бассейн р. Сал практически полностью размещается на территории Ростовской области, и лишь небольшая его часть находится в Республике Калмыкия, его общая площадь составляет порядка 21,3 тыс. км<sup>2</sup> [1].

Водно-ресурсный потенциал бассейна Нижнего Дона является одним из ключевых факторов развития расположенных на его территории регионов. Согласно данным Росгидромета среднемноголетняя водообеспеченность одного жителя Российской Федерации составляет около 29,0 тыс. м<sup>3</sup>/год, в то время как для Южного федерального округа этот показатель равен порядка 34,1 тыс. м<sup>3</sup>/год [2]. Однако необходимо учитывать неравномерное распределение водных ресурсов среди субъектов РФ и непосредственно на территории самих субъектов. Помимо водообеспеченности нельзя оставить без внимания качество водных ресурсов, о котором наиболее объективно свидетельствуют гидрохимические характеристики. Неравномерное распределение водных ресурсов требует исследования и мониторинга наиболее уязвимых водных объектов, находящихся на водоемных территориях. Бассейны рассматриваемых рек нуждаются в регулярной оценке их экологического состояния, обусловлен-

ного взаимодействием природных и техногенных факторов, а также пригодности качества водных ресурсов для ведения хозяйственной деятельности человека. Именно поэтому целью настоящего исследования является изучение трансформации химического состава и качества воды рек Сал и Западный Маныч с учетом современного антропогенного воздействия и климатических изменений.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании использованы данные многолетних наблюдений по отдельным компонентам химического состава и качества воды рек Сал и Западный Маныч в устьевой их части за период с 2010 по 2017 г. Источником этой информации послужили первичные данные государственной наблюдательной сети Росгидромета (из режимно-справочного банка данных Гидрохимического института). Дополнительно проанализированы и обобщены ранее опубликованные результаты исследований по данной тематике. При сравнении двух многолетних периодов (2001–2007 и 2011–2017 гг.) была использована информация проекта схемы комплексного использования и охраны объектов бассейна р. Дон (первый период) и режимно-справочного банка данных Гидрохимического института (второй период).

В ходе работы был рассмотрен химический состав речных вод по временной изменчивости концентраций следующих химических компонентов: суммы ионов, главных ионов (хлоридов и сульф-

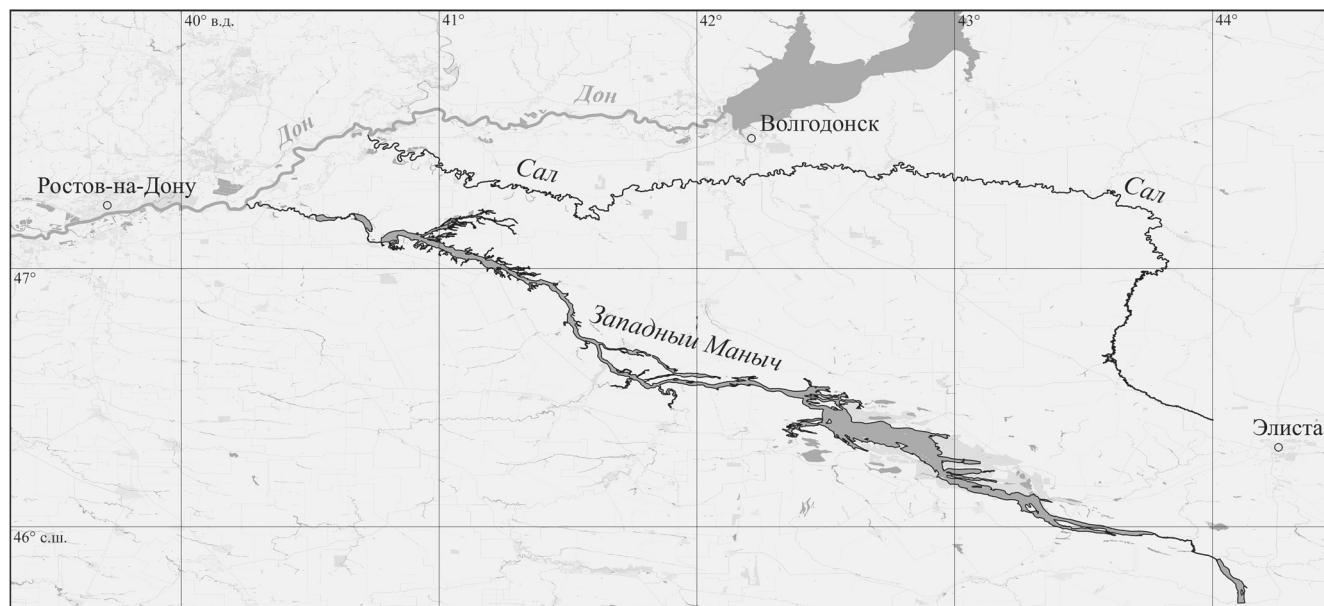


Рис. 1. Картограмма гидрографической сети рек Западный Маныч и Сал.

Fig. 1. Scheme of the hydrographic network of the West Manych River and the Sal River.

фатов), биогенных веществ (соединений азота аммонийного и азота нитритного), органических веществ (по БПК<sub>5</sub> и ХПК), нефтепродуктов и соединений некоторых металлов (магния, железа и меди). Был использован сравнительный анализ двух многолетних периодов (2001–2007 и 2011–2017 гг.) по среднемноголетнему содержанию химических компонентов в воде изучаемых водных объектов, а также статистический метод исследования с последующей визуализацией полученных результатов в виде графиков с применением программ MS Excel 2010 и Statistica 13.

#### ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Природно-климатическая характеристика бассейнов рек.** Бассейны рек Сал и Западный Маныч разделены Сальско-Маньчской грядой общей протяженностью около 240 км, протянувшейся от Весёловского водохранилища до р. Солёная. Абсолютные высоты гряды возрастают от 30–50 м в западной части до 180–220 м в восточной. В связи с распространением лессовидных суглинков мощностью до 50 м значительно развиты формы эолового и суффозионно-просадочного рельефа. Пойма р. Западный Маныч располагается в Маньчской низменности, протянувшейся от Весёловского водохранилища до нижней части Чограйского водохранилища. Протяженность низменности составляет порядка 345 км, ширина – от 20 до 30 км [1].

Сал на всем протяжении извилист, благодаря чему более чем в 2,5 раза длиннее расстояния по прямой от истока до устья (рис. 1). Протяженность реки составляет 776 км. Бассейн реки асимметричен – левая часть развита больше правой. Водосборная площадь представляет собой равнинную степь с элементами овражно-балочных образований, зачастую расположенных перпендикулярно руслу. Берега реки сложены лессовидными суглинками. Бассейн реки находится в зоне очень засушливого климата с недостаточным увлажнением. Годовая сумма осадков составляет на территории речного бассейна порядка 300 мм, а среднегодовая температура воздуха – около 8,5 °С. Из-за высоких летних температур и сухих продолжительных ветров испарение на водосборе чрезвычайно большое. Для верхнего течения реки характерна наибольшая засушливость климата, что приводит к весьма длительному (до 200 суток в год) пересыханию русла [1]. Роль летних осадков в питании реки невелика. В большинстве водотоков бассейна реки преобладают воды сульфатно-натриевого типа, которые сменяются водами хлоридно-натриевого типа в местах выхода грунтовых вод [3]. На степных засушливых площадях долины р. Сал распространены почвы каштанового типа, часто встречаются засоленные и солонцеватые почвы, а также солонцы [1].

Западный Маныч имеет протяженность 856 км (если считать истоком р. Калаус). Бассейн распола-

гается в степной зоне и соседствует с зоной прикаспийских полупустынь на востоке. Современный рельеф водных объектов Западного Маныча весьма сложен, так как включает в себя множество заболоченных территорий, островов, лиманов и протоков. От истока к устью река проходит через несколько озер и водохранилищ (рис. 1). Климат характеризуется относительно теплой короткой зимой и продолжительным жарким летом. Среднегодовая температура воздуха на территории водосборной площади колеблется в диапазоне 8,9–10,2 °С (увеличивается с северо-запада на юго-восток). Годовая сумма атмосферных осадков изменяется от 320 до 625 мм, увеличиваясь с востока на запад. Участок верхнего течения реки характеризуется максимальной засушливостью климата в пределах бассейна. В теплый период года выпадает более 60 % годовой суммы атмосферных осадков [1].

В водотоках и водоемах бассейна реки встречаются воды сульфатно-натриевого и хлоридно-сульфатно-натриевого типов [4]. В почвенном покрове преобладают черноземы различной мощности, которые постепенно замещаются каштановыми с солонцами почвами на юго-востоке [1].

**Антропогенное воздействие.** Расположенные на территории бассейна р. Сал районы Ростовской области являются преимущественно сельскохозяйственными, поэтому для них обеспеченность водными ресурсами играет ключевую роль. Суммарная плотность населения этих районов в 2017 г. составляла около 13 чел./км<sup>2</sup>, что более чем в 3 раза меньше плотности населения Ростовской области [5]. Однако, несмотря на относительно небольшую плотность населения на территории водосборного бассейна, степень антропогенного воздействия на реку в пределах ее водосборного бассейна весьма высока.

Бассейн реки отличается значительной зарегулированностью стока. В прилегающих балках и на

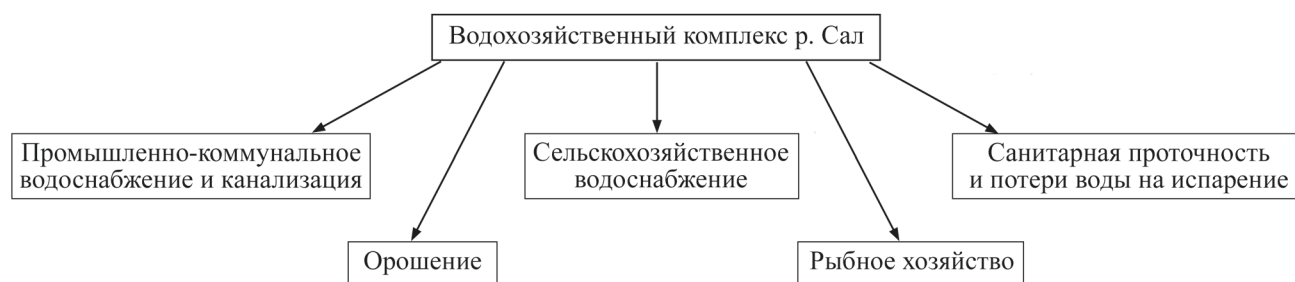
участках русла расположено более 200 различных гидротехнических сооружений. Основным источником водоснабжения на территории бассейна реки являются подземные воды. Водохозяйственный комплекс реки можно разделить на несколько основных пунктов (рис. 2).

Нужды пастбищного и сельскохозяйственного водоснабжения обеспечиваются в основном высокоминерализованными подземными водами и местным стоком, который значительно зарегулирован прудами. Изъятие подземных вод производится с использованием многочисленных шахтных колодцев и скважин. Обеспеченность подземными водами рассматриваемого района неравномерно низкая [1; 6].

Сточные воды коммунально-бытового и промышленного водоснабжения отводятся в ближайшие к населенным пунктам притоки Сала – Большую Куберле, Малую Куберле и Гашун. В некоторых крупных поселках городского типа система водоотведения находится в плохом состоянии, многие сооружения обладают недостаточной мощностью и работают с перегрузкой. В связи с этим степень очистки сточных вод этих населенных пунктов остается неудовлетворительной [6].

В р. Сал периодически поступает вода из Цимлянского водохранилища посредством Донского магистрального канала с целью повышения водности в период массового нереста рыбы, а также для орошения. Среднегодовое количество воды, подаваемое в р. Сал и ее притоки с 2013 по 2017 г., составило порядка 72 млн м<sup>3</sup>. Основным и самым крупным загрязнителем реки является Семикаракорский филиал ФГБУ «Управление Ростовмелиоводхоз», занимающийся мелиорацией земель и сельскохозяйственным водоснабжением в Ростовской области [5].

Суммарная плотность населения районов, расположенных на территории бассейна р. Западный



**Рис. 2.** Основные составляющие водохозяйственного комплекса р. Сал (по [6]).  
**Fig. 2.** The main components of the water management complex of the Sal River (by [6]).



Маныч, в 2017 г. составляла порядка 20 чел./км<sup>2</sup>, не считая крупных городских округов. Как и для р. Сал, на территории бассейна осуществляется преимущественно сельскохозяйственная деятельность. Гидрологический режим реки значительно трансформирован. Строительство нескольких крупных водохранилищ по длине реки в XX веке, а также перенаправление менее минерализованных вод из рек Дон и Кубань привели к существенному опреснению воды и росту годового стока [4; 5]. В настоящее время сток р. Западный Маныч и его внутригодовое распределение напрямую зависят от поступления воды по каналам из Кубани и Дона, а также от наполняемости различных искусственных водоемов.

Несмотря на переброску части стока из бассейнов других водных объектов, одной из главных проблем водохранилищ Западного Маныча является увеличение их минерализации, что было показано при анализе многолетних наблюдений изменчивости химического состава вод Пролетарского и Весёловского водохранилищ, где во всех створах характерными загрязнителями являлись сульфаты и соединения магния. В отдельные годы содержание данных компонентов достигало высокого, а иногда и экстремально высокого уровня. Степень минерализации значительно варьирует в межгодовом и сезонном разрезах, а также сильно зависит от пространственного расположения точек наблюдений [7]. Заслуживает внимания изученная ранее тенденция повышения минерализации крупнейшего озера Маныч-Гудило и его постепенный переход в класс соляных озер [4].

Основными причинами высокой минерализации водных объектов в бассейне р. Западный Маныч являются: засоление почв, наличие солончаковых почв, нехватка речного стока р. Дон и малый расход воды, а также сброс сточных высокоминерализованных коллекторно-дренажных вод с орошаемых территорий [1; 4; 7].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для изучения изменчивости химического состава воды рек Сал и Западный Маныч были выбраны два семилетних периода: 2001–2007 и 2011–2017 гг. Среднеголетние значения концентраций химических веществ приведены в таблице 1.

Сравнительный анализ данных за два исследуемых периода показал, что в химическом составе воды р. Сал произошли следующие изменения:

– увеличение органических веществ по БПК<sub>5</sub> (на 8 %), ионов магния (на 9 %), суммы ионов (на 37 %), соединений железа (на 40 %), содержания сульфатов (на 58 %), нефтепродуктов (на 150 %) и азота аммонийного (на 667 %);

– снижение содержания органических веществ по ХПК (на 9 %), фосфора фосфатного (на 9 %), азота нитритного (на 29 %) и соединений меди (на 75 %).

Аналогичный анализ трансформации химического состава воды р. Западный Маныч показал следующие изменения:

– увеличение суммы ионов (на 10 %), сульфатов (на 17 %), органических веществ по БПК<sub>5</sub> (на 71 %), азота аммонийного (на 188 %) и нефтепродуктов (на 400 %);

– уменьшение содержания ионов магния (на 13 %), органических веществ по ХПК (на 38 %) и ионов меди (на 67 %).

Анализ кратности превышения предельно допустимой концентрации (ПДК) по среднесезонным значениям концентраций химических компонентов в р. Сал за два периода показал, что:

– максимальное превышение отмечается по концентрациям ионов меди (до 4 ПДК), сульфатов (3,04 и 4,81 ПДК в каждом периоде соответственно) и нитритов (2,8 и 2 ПДК в каждом периоде соответственно);

– превышения на уровне 1–2 ПДК характерны для таких компонентов, как ионы магния, соединения железа, легкоокисляемые органические вещества по БПК<sub>5</sub>, органические вещества по ХПК.

Для устьевых участков р. Западный Маныч превышения предельно допустимых концентраций по среднесезонным значениям были характерны для следующих химических компонентов:

– максимальное превышение отмечается по содержанию сульфатов (7,5 и 8,74 ПДК в каждом периоде соответственно), соединений железа (4,1 и 2,2 ПДК в каждом периоде соответственно) и меди (до 3 ПДК);

– превышение ПДК в 1,5–3 раза характерны для таких компонентов, как органические вещества по ХПК и БПК<sub>5</sub>, ионы магния и сумма ионов.

Содержание нефтепродуктов в воде не превышало ПДК для обеих исследуемых рек.

Временная изменчивость химического состава воды рек Сал и Западный Маныч по некоторым компонентам, превышающим предельно допустимые концентрации, с 2010 по 2017 г. представлена на рисунке 3.

**Таблица 1.** Изменчивость химического состава воды рек Сал и Западный Маныч на устьевых участках (среднедолгосрочные значения концентраций, мг/дм<sup>3</sup>)**Table 1.** Variability of the chemical composition of water of the Sal River and the West Manych River by mouth sections (mean long-term concentration values, mg/dm<sup>3</sup>)

Компонент Chemical component	2001–2007 [8]		2011–2017		ПДК / Maximum permissible concentration
	Сал Sal River	Западный Маныч West Manych River	Сал Sal River	Западный Маныч West Manych River	
Сумма ионов / Mineralization	1137,0	1755,0	1556,0	1929,0	1000,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	304,0	750,0	481,0	874,0	100,0
Mg <sup>2+</sup>	58,0	89,0	63,5	77,2	40,0
Легкоокисляемые органические вещества (по БПК <sub>5</sub> ) Easily oxidizable organics (according to BOD <sub>5</sub> )	2,77	1,87	3,00	3,19	2,0
Органические вещества (по ХПК) Organic matter (according to COD)	34,0	49,0	30,8	30,6	15,0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,03	0,08	0,23	0,23	0,40
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,056	0,015	0,040	0,020	0,02
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,11	0,05	0,10	0,05	0,20
Железо / Iron compounds	0,15	0,41	0,21	0,22	0,10
Cu <sup>2+</sup>	0,004	0,003	0,001	0,001	0,001
Нефтепродукты / Petrochemical	0,02	0,01	0,05	0,05	0,05

В период с 2010 по 2017 г. наиболее четко прослеживаются две общие для исследуемых рек тенденции: увеличение содержания соединений железа и снижение концентраций меди в воде. Разнонаправленные тренды наблюдаются по ионам магния – в воде р. Западный Маныч наблюдается уменьшение среднегодовых концентраций ионов магния на фоне стабильного их содержания на устьевом участке р. Сал.

Возрастающий тренд содержания соединений железа в воде исследуемых рек появляется с 2012 г., с максимумом в 2016 г. Такая синхронная положительная динамика может свидетельствовать о наличии общих источников или факторов воздействия, ответственных за поступление этого компонента в речные системы.

Повышение содержания соединений железа в исследуемых реках и ионов магния в р. Сал может быть объяснено усилением влияния грунтовых вод в питании рек на фоне уменьшения их водности,

вызванного климатическими изменениями (рис. 4). Известно, в частности, что в летний период года уровень грунтовых вод в бассейне р. Сал может превышать меженный уровень воды в реке на 2–5 м [1; 9], что доказывает значительную, а иногда и ведущую роль грунтовых вод в формировании химического состава речной воды. Изучив динамику водности реки, в последние годы можно обнаружить тренд сокращения водного стока, происходящий исключительно за счет уменьшения доли стока в летний период (рис. 5).

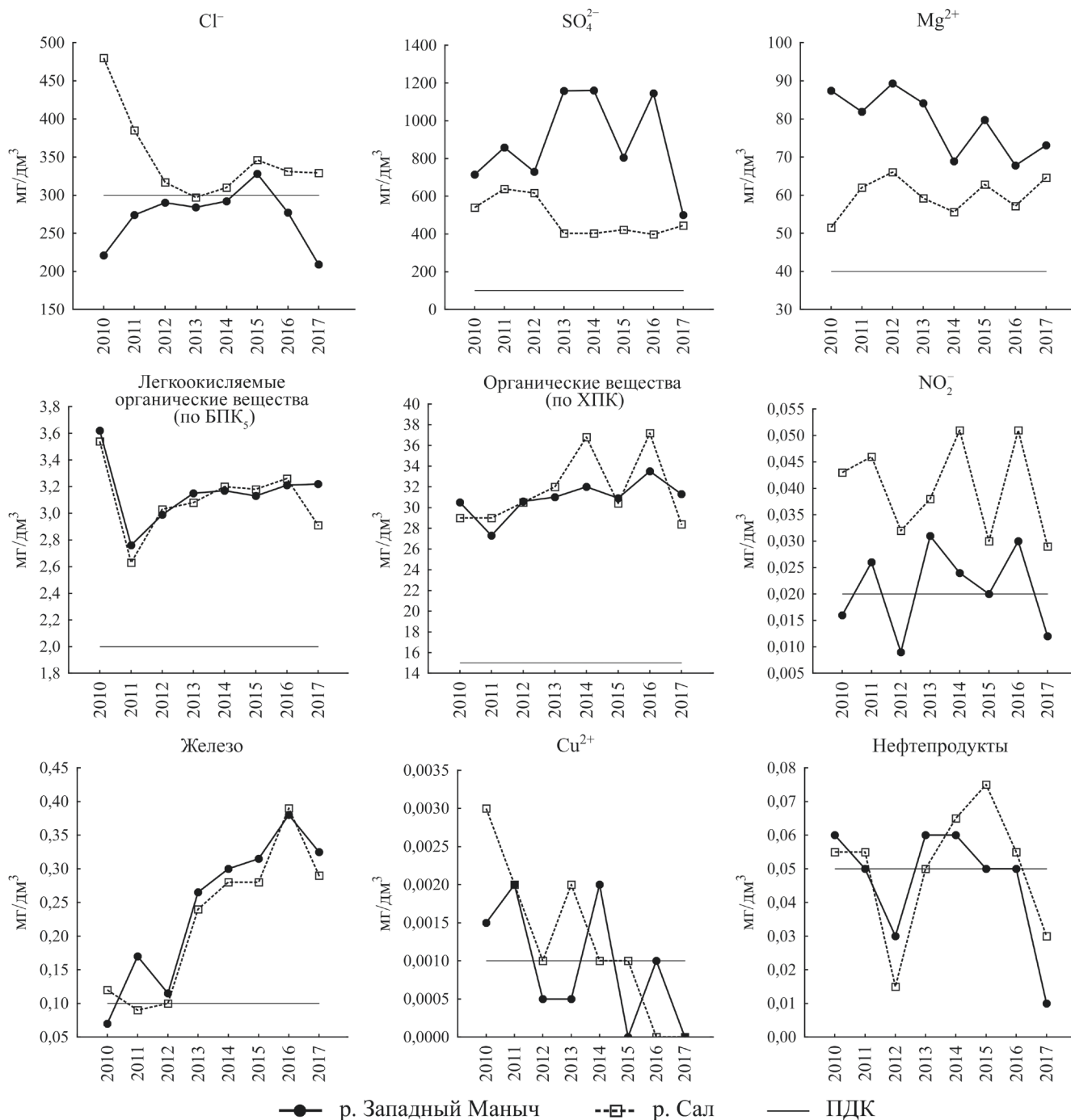
В химическом составе грунтовых вод водосборных бассейнов рек Сал и Западный Маныч предельно допустимые концентрации превышены по ряду компонентов (табл. 2). Наибольшее превышение ПДК для воды питьевого назначения отмечается по содержанию сульфатов и магния.

В отдельных населенных пунктах наблюдается нефтяное загрязнение грунтовых вод, что проявляется в превышении ПДК: содержание нефте-

продуктов выше в 6,9 раза (х. Денисов) и в 12 раз (г. Семикаракорск) в бассейне р. Сал; в 12,8 раза (ст. Егорлыкская) и в 13,1 раза (г. Пролетарск) в бассейне р. Западный Маныч.

Несмотря на то, что содержание некоторых химических компонентов (хлоридов, соединений же-

леза и др.) в грунтовых водах не превышало предельно допустимых концентраций для водоемов питьевого назначения в большинстве точек наблюдений, их содержание в поверхностных водах может быть выше, что может указывать на наличие другого источника их поступления.



**Рис. 3.** Изменчивость химического состава воды рек Сал и Западный Маныч с 2010 по 2017 гг. на устьевых участках (среднегодовые концентрации, мг/дм<sup>3</sup>).

**Fig. 3.** Variability of the chemical composition of water of the Sal River and the West Manych River from 2010 to 2017 by mouth sections (average annual concentrations, mg/dm<sup>3</sup>).

Бассейны исследуемых рек располагаются в зоне сульфатного типа грунтовых вод [11], что и обуславливает повышенное содержание сульфатов в речных водах. При этом значительное воздействие на изменчивость гидрохимических характеристик могут оказывать и глубоко залегающие межпластовые подземные воды.

Изучив схему тектонического районирования Восточного Донбасса и прилегающих структур [13], можно обнаружить, что территории бассейнов исследуемых рек пересечены несколькими глубинными разломами тектонических структур второго порядка, где возможен выход напорных подземных вод артезианского Азово-Кубанского бассейна на дневную поверхность или же непосредственно в русла исследуемых рек и их притоков. Выходы подземных вод различных водоносных комплексов могут являться причиной уменьшения содержания анионов ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ) и причиной увеличения содержания катионов ( $\text{Mg}^{2+}$ , растворенное железо). Степень и направленность влияния подземных вод на химический состав напрямую зависит от их роли в питании исследуемых рек. В данном случае воды каменноугольных отложений, выход которых отмечается в долинах исследуемых рек и балках, относятся к сульфатно-гидрокарбонатному (реже хлоридному) типу, среди катионов преобладают магний и железо [14; 15].

В 2012 и 2017 гг. наблюдалось уменьшение содержания нефтепродуктов в воде обеих рек. При этом концентрация нефтепродуктов в донных отложениях данных рек в 2011 г. значительно отличалась – их содержание в устьевой части р. Сал значительно превышало таковое в устьевой части р. Западный Маныч (18,6 г/кг сухой массы и 0,1 г/кг сухой массы соответственно) [16]. Такая большая разница, вероятно, свидетельствует о том, что сокращение или увеличение содержания нефтепродуктов в воде не связано с осадконакоплением или вторичным загрязнением в результате взмучивания донных отложений. Потенциальным источником загрязнения устьевой части р. Сал нефтепродуктами может являться подземная техногенная линза, образовавшаяся в результате многолетней эксплуатации нефтехранилищ. Данная линза находится всего лишь в 100 м от Сала возле его впадения в Дон. Это техногенное образование может представлять серьезную опасность возникновения кризисных экологических ситуаций в междуречье Сала и Дона [17].

Помимо высокоминерализованных сульфатных, хлоридно-сульфатных и сульфатно-хлоридных под-

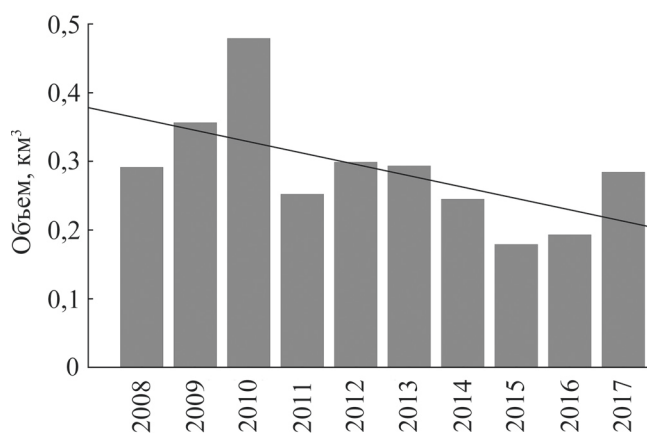


Рис. 4. Динамика водного стока р. Сал с 2008 по 2017 г. в х. Балабинка (составлено по [10]).

Fig. 4. Dynamics of the water flow of the Sal River from 2008 to 2017 in Balabinka village (volume,  $\text{km}^3$ ) (compiled according to data from [10]).

земных вод немаловажным фактором повышенного содержания сульфатов и хлоридов в воде рассматриваемых рек являются луговые и лугово-степные солонцы, распространенные в бассейнах Сала и Западного Маныча. Повышенное содержание хлоридов и сульфатов в р. Западный Маныч обусловлено смывом с поверхностным водным стоком почвенных частиц мелких фракций, сорбирующих различные ионно-солевые комплексы. Засоленные отложения второй террасы и поймы Западного Маныча являются главными источниками накопления в нем солей [1; 10]. Физико-химические свойства почв являются природным фактором формирования химического состава речных вод. Однако активное распахивание земель, распространенное на территориях водосборных бассейнов рассматриваемых рек, усиливает интенсивность водной эрозии. Это приводит к увеличению роли диффузного стока в загрязнении речных вод. Также имеют место интенсивные абразионные процессы на оз. Маныч-Гудило [18], в результате которых происходит поступление загрязняющих веществ с почвенными фракциями всех размерностей, так как абразия развивается по всему профилю с обвалом почво-материнских пород.

Кроме климатических изменений значительное влияние на водный режим рек Западный Маныч и Сал оказывает переброска части стока из бассейнов других рек – Дона и Кубани. В результате этого может происходить и трансформация химического состава воды. В связи с этим объем и химический состав перебрасываемых вод являются важным фактором формирования химического состава вод изучаемых рек.



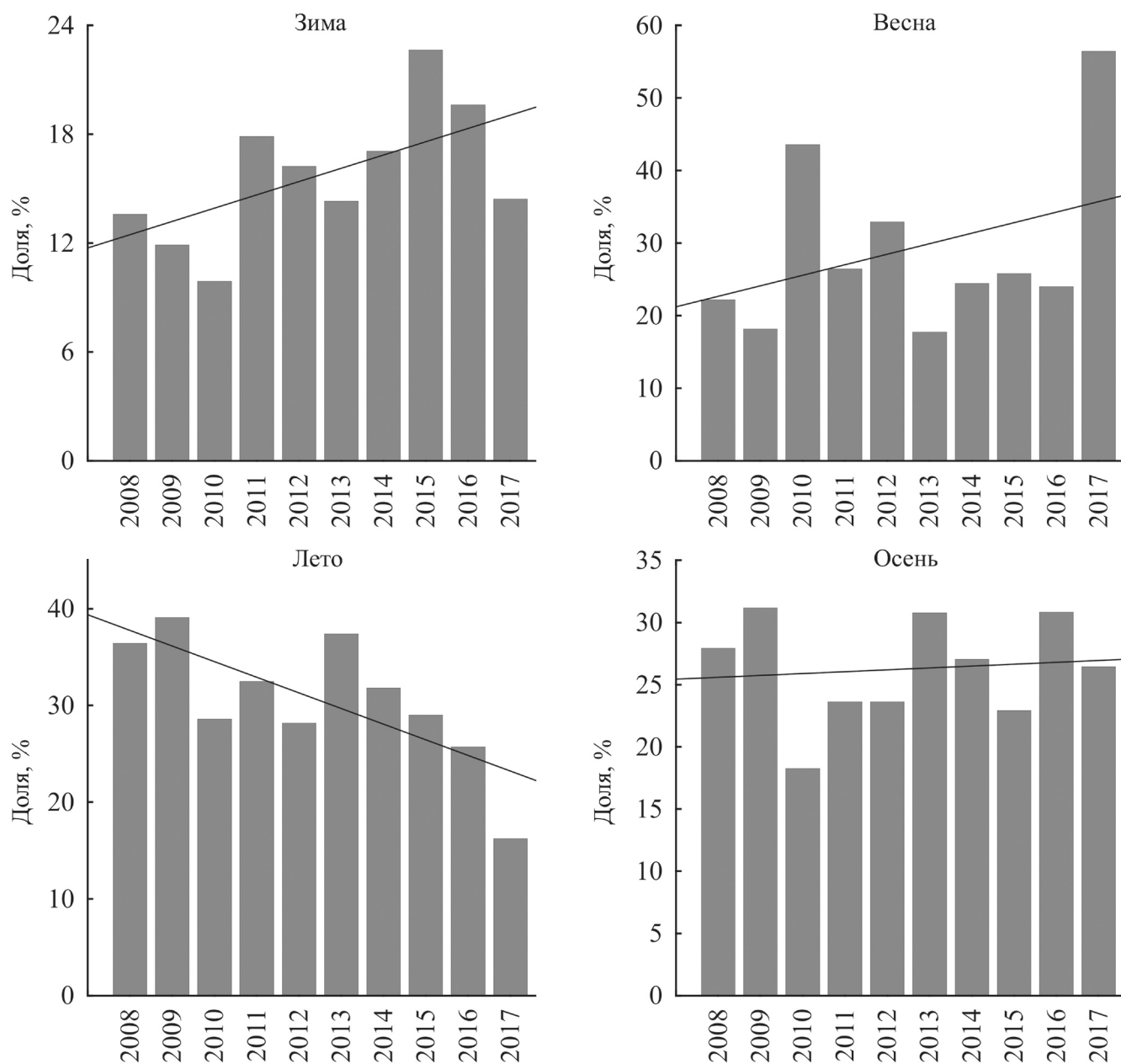


Рис. 5. Динамика водного стока р. Сал с 2008 по 2017 г. в х. Балабинка по сезонам года (составлено по [10]).

Fig. 5. Dynamics of the share of the water flow of the Sal River from 2008 to 2017 in Balabinka village by seasons of the year (share, %) (compiled according to data from [10]).

Аргументировать причины изменчивости содержания других загрязняющих компонентов крайне затруднительно в связи с многофакторностью воздействия различных источников поступления поллютантов. Выделить источники антропогенного воздействия, ответственные за изменение концентрации определенных химических компонентов в воде, не представляется возможным из-за недостатка достоверной и открытой информации. Выводы, основанные на имеющейся информации, были бы

некорректными. Однако можно предположить, что уменьшение содержания ионов меди в воде изучаемых рек, наблюдаемое как при сравнении двух исследованных периодов, так и при детальном анализе второго из них, может быть связано с сокращением или прекращением использования медьсодержащих пестицидов и удобрений.

Изучая поступление загрязняющих веществ в рассматриваемые реки, также стоит уделить внимание крупным предприятиям-загрязнителям.

Согласно данным работы [5] основным источником поступления загрязняющих химических компонентов в р. Сал являлся Семикаракорский филиал ФГБУ «Управление Ростовмелиоводхоз». В среднем за 2012–2013 гг. было сброшено 511 т ионов магния, 0,52 т нитритов, а также более 1 т соединений железа. Также к основным загрязняющим компонентам, сбрасываемым данным предприятием, относятся хлориды, сульфаты, органические вещества по БПК<sub>5</sub>, ионы меди и сухой остаток. В 2012–2013 гг. общий объем сбрасываемых вод и объем вод без очистки был равным [5]. К сожалению, открытые данные о количественных сбросах сточных вод за последние годы отсутствуют, что затрудняет установление роли данного предприятия в загрязнении р. Сал.

В настоящее время основным антропогенным источником загрязнения р. Западный Маныч можно считать Весёловский филиал ФГБУ «Управление Ростовмелиоводхоз», который осуществляет

сброс сточных вод и, таким образом, является одним из главных источников поступления фосфора [5]. В работе данного предприятия имеет место несоблюдение правил сброса сточных вод по причине отсутствия утвержденного проекта нормативов допустимых сбросов и разрешения на сброс загрязняющих веществ [19].

При определении качества воды исследуемых рек используется метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Расчет удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) осуществляется с учетом кратностей и частоты превышения ПДК основных компонентов (в обязательный перечень входит не менее 15 компонентов и показателей: растворенный в воде кислород, БПК<sub>5</sub>(O<sub>2</sub>), ХПК, нефтепродукты, соединения железа, ионы меди, хлориды, сульфаты и т.д.) [20].

По оценке состояния водотоков в бассейне р. Дон [8], средние значения УКИЗВ в период

**Таблица 2.** Среднемноголетнее содержание химических компонентов в грунтовых водах населенных пунктов Ростовской области, расположенных в бассейнах рек Сал и Западный Маныч с 2008 по 2013 г. (концентрация, мг/дм<sup>3</sup>) (по [11])

**Table 2.** Average long-term content of chemical components in groundwater of settlements of Rostov Region located in the basins of Sal and West Manych rivers from 2008 to 2013 (concentration, mg/dm<sup>3</sup>) (according to [11])

Населенный пункт Locality	Cl <sup>-</sup> (350)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (500)	Mg <sup>2+</sup> (50)	Железо Iron compounds (0,30)	Нефтепродукты Petrochemical (0,10)
Бассейн р. Сал Sal River basin					
Семикаракорск / Semikarakorsk	277	647	127	0,61	1,3
Денисов / Denisov	287	3620	310	<0,02	0,69
Большая Мартыновка / Bol'shaya Martynovka	263	68	82	0,53	0,12
Майорский / Mayorskiy	692	2100	244	<0,02	0,10
Зимовники / Zimovniki	1743	2427	336	<0,02	0,19
Орловский / Orlovskiy	848	1358	224	<0,02	0,06
Привольный / Privol'nyy	526	1932	179	<0,02	0,16
Ремонтное / Remontnoye	12	60	9	0,03	0,05
Дубовское / Dubovskoye	486	2710	341	<0,02	0,10
Бассейн р. Западный Маныч West Manych River basin					
Манычская / Manychskaya	268	678	96	0,02	0,37
Красный / Krasnyy	574	1281	143	0,69	0,50
Сальск / Salsk	248	1513	184	0,02	0,56
Веселый / Veselyy	214	1272	125	0,02	0,23
Егорлыкская / Egorlykskaya	391	1833	221	0,02	1,28
Целина / Tselina	337	1958	234	0,02	0,21
Пролетарск / Proletarsk	339	1666	231	0,02	1,31
Песчанокопское / Peschanokopskoye	274	1915	288	0,03	0,13
Верхнесоленный / Verkhnesolenyy	207	2245	293	0,05	0,14

*Примечание.* В скобках указаны значения ПДК для воды питьевого назначения [12].

*Note.* MPC values for drinking water are indicated in brackets [12].

**Таблица 3.** Обобщенные характеристики качества воды на устьевых участках рек Сал и Западный Маныч (2006–2017 гг.)  
**Table 3.** Generalized characteristics of water quality at the estuaries of the Sal and West Manych rivers (2006–2017)

Водный объект River	Показатели качества воды Water quality indicators			
	Значение УКИЗВ / Specific combinatorial index of water pollution	Класс качества воды / Water quality class	Степень загрязненности воды / Degree of water pollution	Критические показатели загрязненности (КПЗ) / Critical pollution indicator (CPI)
Сал, устье Sal River, mouth	2,83–5,36 (2008)*	3«б»–4«а» (4«б» – 2008)	очень загрязненная – грязная very polluted – dirty	сульфатные ионы** (2008 – соединения железа) / sulfates** (2008 – iron compounds)
Западный Маныч, станция Манычская / West Manych River, Manychskaya village	3,56–5,26 (2010)*	4«а»	грязная dirty	сульфатные ионы (2006 – хлориды) / sulfates (2006 – chlorides)

*Примечание.* \* – год с максимальным значением показателя; \*\* – ежегодно входили в разряд КПЗ.

*Note.* \* – the year with the maximum value of the indicator; \*\* – annually entered the category of CPI.

2000–2007 гг. для рек Сал и Западный Маныч равнялись 7,5 и 7,9 соответственно, что определяется как класс 4, разряд «б» (грязная вода).

Обобщенные нами данные (за период с 2006 по 2017 г.) по качеству воды и степени загрязненности рек Сал и Западный Маныч представлены в таблице 3. В целом качество воды соответствовало классу 4, разряду «а» (грязная). В устье р. Сал степень загрязненности была несколько выше, и вода стабильно отвечала градации «грязная», в то время как для р. Западный Маныч на устьевом участке отмечалось незначительное улучшение качества воды в 2017 г. до степени загрязненности «очень загрязненная» – класс 3, разряд «б». В категорию критических показателей загрязненности воды для обеих изучаемых рек ежегодно входят сульфат-ионы, по которым отмечается наибольшая кратность превышения ПДК со 100%-й повторяемостью.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что за долгосрочный период 2001–2017 гг. качество воды данных рек не улучшилось и осталось на уровне класса 4, что говорит о стабильно высокой их загрязненности.

## ВЫВОДЫ

Изучение трансформации гидрохимических характеристик рек Сал и Западный Маныч показало следующие результаты.

1. При детальном изучении химического состава воды за 2001–2007 и 2011–2017 гг. было отмечено явное и синхронное увеличение содержания соединений железа, что могло быть вызвано уменьшением водности и увеличением роли грунтовых и подземных вод в питании рек (особенно в меженные периоды) в современных условиях климатических изменений. Дополнительным источником поступления соединений железа в речную сеть мог быть сброс высокоминерализованных коллекторно-дренажных вод с орошаемых территорий. Изменение содержания нефтепродуктов в воде исследуемых рек также происходило синхронно, но при этом не имело четкой направленности. Динамика содержания всех других рассматриваемых химических компонентов не отличалась какой-либо явной тенденцией. Наблюдался четкий тренд снижения содержания ионов магния в р. Западный Маныч.

2. При сравнении двух исследованных периодов, 2001–2007 и 2011–2017 гг., было выявлено, что в обеих реках увеличилось содержание следующих химических компонентов: суммы ионов, сульфатов, органических веществ по БПК<sub>5</sub>, азота аммонийного и нефтепродуктов. При этом значительно уменьшилось содержание ионов меди.

3. Превышение предельно допустимых концентраций было характерно для следующих химических компонентов: суммы ионов, сульфатов, ионов магния, легкоокисляемых органических веществ по БПК<sub>5</sub>, органических веществ по ХПК, нитритов,

соединений железа и ионов меди. Качество воды за период 2001–2017 гг. не улучшилось и стабильно соответствовало классу 4.

4. Было выяснено, что разделить роль влияния климатических изменений и антропогенного воздействия на состояние данных рек крайне затруднительно, что осложнено выявлением причинно-следственных связей. С большой уверенностью можно утверждать, что на фоне климатических изменений степень влияния антропогенного воздействия на изменчивость химического состава

вод исследуемых рек только увеличивается. Климатические изменения приводят не только к ухудшению качества вод и сокращению их объема, но и к увеличению потребности населения в водных ресурсах.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность Р.С. Комарову за оказанную помощь при создании и оформлении графических материалов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лурье П.М., Панов В.С. 2018. *Река Дон: гидрография и режим стока*. Ростов н/Д, Донской издательский дом: 592 с.
2. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». 2019. М., НИИ-Природа: 290 с.
3. Саенко Е.М., Марушко Е.А., Горбенко Е.В. 2017. Предпосылки рационального природопользования водных объектов р. Сал. В кн.: *Стратегия устойчивого развития регионов России: сборник материалов XXXVII Всероссийской научно-практической конференции (Новосибирск, 12 января, 17 февраля 2017 г.)*. Новосибирск, ЦРНС: 91–99.
4. Матишов Д.Г., Орлова Т.А., Гаргопа Ю.М., Павельская Е.В. 2007. Многолетняя изменчивость гидрохимического режима водной системы Маньч-Чограй. *Водные ресурсы*. (34)5: 560–564.
5. Экологический вестник Дона. *Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области (минприроды РО)*. URL: <https://xn--d1ahaoghbjbc5k.xn--p1ai/projects/19/> (дата обращения 30.11.2020).
6. Гостищев В.Д., Пономаренко Т.С., Бреева А.В. 2018. Анализ водохозяйственного комплекса р. Сал. *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. 1(69): 67–71.
7. Коханистая Е.В., Хоружая Т.А. 2015. Современный уровень солевого загрязнения Пролетарского и Веселовского водохранилищ. *Известия вузов Северо-Кавказского региона. Естественные науки*. 2(186): 88–92.
8. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Дон. Книга 2: Оценка экологического состояния и ключевые проблемы речного бассейна. 2020. *Донское бассейновое водное управление Федерального агентства водных ресурсов*. URL: [http://www.donbv.ru/activities/use\\_and\\_protection\\_don/](http://www.donbv.ru/activities/use_and_protection_don/) (дата обращения 30.11.2020).
9. Закруткин В.Е., Решетняк О.С., Гибков Е.В. 2018. Эколого-гидрохимические особенности речных вод степной зоны юга России (в пределах Ростовской области). В кн.: *Степи Северной Евразии: материалы VIII международного симпозиума (Оренбург, 10–13 сентября 2018 г.)*. Оренбург, ИС УрО РАН: 379–383.
10. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. 2020. *Федеральное агентство водных ресурсов*. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения 29.11.2020).
11. Никаноров А.М., Барцев О.Б., Гарькуша Д.Н., Зубков Е.А. 2015. Масштабы подтопления, режим и качество грунтовых вод застроенных территорий юга Ростовской области. *Вестник Южного научного центра*. 11(3): 66–80.
12. *Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПин 2.1.4.1074-01*. 2002. М., Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России: 103 с.
13. *Геология СССР. Том 46. Ростовская, Волгоградская, Астраханская области и Калмыцкая АССР. Часть 1. Геологическое описание*. 1969. М., Недра: 666 с.
14. *Гидрогеология СССР. Том 28. Нижний Дон и Северо-Восточное Приазовье*. 1970. М., Недра: 224 с.
15. Складченко Г.Ю., Закруткин В.Е. 2019. Особенности качества подземных вод Ростовской области. В кн.: *Актуальные направления сбалансированного развития горных территорий в контексте междисциплинарного подхода: сборник материалов I международной научной конференции (Карачаевск, 27–29 сентября 2019 г.)*. Карачаевск, КЧГУ: 78–82.
16. Кудеевская Е.М., Сазыкина М.А., Сазыкин И.С. 2014. Нефтепродукты в донных отложениях Нижнего Дона. В кн.: *Теоретические и практические проблемы развития современной науки: сборник материалов 5-й международной научно-практической конференции (Махачкала, 31 июля 2014 г.)*. Махачкала, Апробация: 6–7.
17. Закруткин В.Е., Холодков Ю.И., Подольский А.Д. 2007. Экологические последствия эксплуатации нефтехранилищ в междуречье рек Дон и Сал. *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология*. 6: 506–517.
18. Беспалова Л.А., Ильина Л.П., Сушко К.С. 2012. Исследование процессов абразии берегов Пролетарского водохранилища (озеро Маньч-Гудило). В кн.: *Экологическая безопасность приморских регионов (порты, берегозащита, рекреация, марикультура): материалы Международной научной конференции, посвященной 150-летию Н.М. Книповича (Ростов-на-Дону, 5–8 июня 2012 г.)*. Ростов н/Д, ЮНЦ РАН: 68–71.
19. Решение № 2-245/2017 2-245/2017~М-144/2017 М-144/2017 от 11 апреля 2017 г. по делу № 2-245/2017. *Судебные и нормативные акты РФ*. URL: <https://sudact.ru/regular/doc/S7icySU1NrNB/> (дата обращения: 10.11.2020).
20. *РД 52.24.643–2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям*. 2002. СПб., Гидрометеоздат: I–V + 50 с.



## REFERENCES

- Lur'ye P.M., Panov V.S. 2018. *Reka Don: gidrografiya i rezhim stoka. [Don River: hydrography and flow regime]*. Rostov-on-Don, Don Publishing House: 592 p. (In Russian).
- Gosudarstvennyy doklad "O sostoyanii i ispol'zovanii vodnykh resursov Rossiyskoy Federatsii v 2018 godu". [State report "On the state and use of water resources of the Russian Federation in 2018"]. 2019. Moscow, NIA-Priroda: 290 p. (In Russian).
- Saenko E.M., Marushko E.A., Gorbenko E.V. 2017. [Prerequisites for the rational use of water bodies of the Sal River]. In: *Strategiya ustoychivogo razvitiya regionov Rossii: sbornik materialov XXXVII Vserossiysko nauchno-prakticheskoy konferentsii "Strategiya ustoychivogo razvitiya regionov Rossii". [Strategy of innovative development of Russian regions: Materials of the XXXVII All-Russian scientific and practical conference (Novosibirsk, Russia, 12 January, 17 February 2017)]*. Novosibirsk, Center for the Development of Scientific Cooperation: 91–99. (In Russian).
- Matishov D.G., Orlova T.A., Gargopa Yu.M., Pavel'skaya E.V. 2007. Long-term variability in the hydrochemical regime of the Manych-Chograi hydrological system. *Water Resources*. (34)5: 527–531. doi: 10.1134/S0097807807050065
- [Ecological Bulletin of Don]. *Ministerstvo prirodnikh resursov i ekologii Rostovskoy oblasti (minprirody RO)*. Available at: <https://xn--d1ahaoghbejbc5k.xn--p1ai/projects/19/> (accessed 30 November 2020). (In Russian).
- Gostishchev V.D., Ponomarenko T.S., Breeva A.V. 2018. [Water industry complex analysis of the river Sal]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya*. 1(69): 67–71. (In Russian).
- Kokhanistaya E.V., Khoruzhaya T.A. 2015. [Contemporary level of salt pollution of Proletarskoe and Veselovskoe reservoirs]. *Izvestiya vuzov Severo-Kavkazskogo regiona. Estestvennye nauki*. 2(186): 88–92. (In Russian).
- [Scheme of the integrated use and protection of water bodies in the Don River basin. Book 2: Environmental assessment and key river basin issues]. 2020. *Donskoe basseynovoe vodnoe upravlenie Federal'nogo agentstva vodnykh resursov*. Available at: [http://www.donbv.ru/activities/use\\_and\\_protection\\_don/](http://www.donbv.ru/activities/use_and_protection_don/) (accessed 30 November 2020). (In Russian).
- Zakrutkin V.E., Reshetnyak O.S., Gibkov E.V. 2018. [Ecological and hydrochemical features of river waters within the steppe zone of the Southern Russia (Rostov Region)]. In: *Stepi Severnoy Evrazii: materialy VIII mezhdunarodnogo simpoziuma. [Steppes of Northern Eurasia: Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Symposium (Orenburg, Russia, 10–13 September 2018)]*. Orenburg, Steppe Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences: 379–383. (In Russian).
- [Automated information system for state monitoring of water bodies]. 2020. *Federal'noe agentstvo vodnykh resursov*. Available at: <https://gmvo.skniivh.ru/> (accessed 29 November 2020). (In Russian).
- Nikanorov A.M., Bartsev O.B., Gar'kusha D.N., Zubkov E.A. 2015. [Scales of flooding, regime and quality of groundwater of the built-up territories of the southern Rostov Region]. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra*. 11(3): 66–80. (In Russian).
- Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva. Sanitarно-epidemiologicheskie pravila i normativy. SanPin 2.1.4.1074-01. [Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Sanitary and Epidemiological Rules and Regulations. SanPin 2.1.4.1074-01]*. 2002. Moscow, Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Ministry of Health of Russia: 103 p. (In Russian).
- Geologiya SSSR. Tom 46. Rostovskaya, Volgogradskaya, Astrakhanskaya oblasti i Kalmytskaya ASSR. Chast' I. Geologicheskoe opisaniye. [Geology of the USSR. Volume 46. Rostov, Volgograd, Astrakhan regions and Kalmyk ASSR. Part I. Geological description]*. 1969. Moscow, Nedra: 666 p. (In Russian).
- Gidrogeologiya SSSR. Tom 28. Nizhniy Don i Severo-Vostochnoe Priazov'e. [Hydrogeology of the USSR. Volume 28. Lower Don and North-Eastern Azov region]*. 1970. Moscow, Nedra: 224 p. (In Russian).
- Sklyarenko G.Yu., Zakrutkin V.E. 2019. [Features of quality of underground water of the Rostov Region]. In: *Aktual'nye napravleniya sbalansirovannogo razvitiya gornyykh territoriy v kontekste mezhdistsiplinarnogo podkhoda: sbornik materialov I mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. [Actual directions of balanced development of mountain areas in the context of an interdisciplinary approach: Materials of the I international scientific conference (Karachaevsk, Russia, 27–29 September 2019)]*. Karachaevsk, U.D. Aliev Karachay-Cherkess State University: 78–82. (In Russian).
- Kudeevskaya E.M., Sazykina M.A., Sazykin I.S. 2014. [Oil products in bottom sediments of the Lower Don]. In: *Teoreticheskie i prakticheskie problemy razvitiya sovremennoy nauki: sbornik materialov 5-y mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. [Theoretical and practical problems of the development of modern science: Materials of the 5<sup>th</sup> scientific and practical conference (Makhachkala, Russia, 31 July 2014)]*. Makhachkala, Aprobatsiya: 6–7. (In Russian).
- Zakrutkin V.E., Kholodkov Yu.I., Podol'skiy A.D. 2007. [Environmental consequences of oil storage facilities operation in the interfluvium of the Don and Sal Rivers]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. 6: 506–517. (In Russian).
- Bespalova L.A., Iljina L.P., Sushko K.S. 2012. [Investigation of processes of abrasion of coast line of Proletarskoe reservoir (Manych-Gudilo Lake)]. In: *Ekologicheskaya bezopasnost' primorskikh regionov (porty, beregozashchita, rekreatsiya, marikul'tura): materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 150-letiyu N.M. Knipovicha. [Ecological safety of coastal regions (seaports, coastal protection, recreation, mariculture): proceeding of the international scientific conference dedicated to 150-years anniversary of M.N. Kripovich (Rostov-on-Don, Russia, 5–8 June 2012)]*. Rostov-on-Don, Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences: 68–71. (In Russian).
- [The decision No 2-245/2017 2-245/2017-M-144/2017 M-144/2017 dated April 11, 2017 in case No 2-245/2017]. *Sudebnye i normativnye akty RF*. Available at: <https://sudact.ru/regular/doc/S7icySU1NrNB/> (accessed 10 November 2020). (In Russian).
- RD 52.24.643–2002. Metodicheskie ukazaniya. Metod kompleksnoy otsenki stepeni zagryaznennosti poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam. [Guidance document 52.24.643–2002. Methodical instructions. Method for a comprehensive assessment of the degree of pollution of surface waters by hydrochemical indicators]*. 2002. St Petersburg, Gidrometeoizdat: I–V + 50 p. (In Russian).

Поступила 11.12.2020