Гидравлика и инженерная гидрология

Оригинальная статья
https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-95-102
УДК 556.53:631.6:504.4.05(470.41)

АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ДИФФУЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В БАССЕЙНЕ РЕКИ КАЗАНКА И РАЗРАБОТКА ПРЕВЕНТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Л.В. Кирейчева, Н.П. Карпенко✉, В.М. Яшин

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова»; 127434, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44, корп. 2, Россия

Аннотация. Проанализированы источники антропогенного загрязнения реки Казанка Республики Татарстан. Установлено, что диффузный сток формируется на водосборе в период половодья и летних паводков за счет поверхностных вод и эрозии почвы. Наибольший вклад в загрязнение водных объектов вносят сельскохозяйственные угодья, в частности, пашня, составляющая более 70% водосбора, сельскохозяйственные предприятия, включая животноводческие фермы, а также мелиоративные объекты. Выявлено, что основными загрязняющими элементами в речной воде являются азотные, фосфорные соединения, $БПК_5$, ХПК и др. Установлено, что содержание нитритного азота, аммонийного азота и фосфат-ионов в замыкающем створе реки Казанка в среднемноголетнем разрезе превышают предельно-допустимые концентрации (ПДК). Проведено научно-методическое обоснование и предложены превентивные меры, направленные на снижение негативного воздействия источников диффузного загрязнения на качество воды р. Казанка и ее притоков. Комплекс мероприятий по снижению загрязнения водных объектов включает организационно-хозяйственные, агротехнические, агромелиоративные, агролесолугомелиоративные мероприятия, гидротехнические и биологические методы очистки.

Ключевые слова: антропогенная нагрузка, водосбор, водные объекты, сельскохозяйственные и мелиорируемые земли, диффузные стоки, природоохранные мероприятия

Формат цитирования: Кирейчева Л.В., Карпенко Н.П., Яшин В.М. Анализ источников диффузного загрязнения в бассейне реки Казанка и разработка превентивных мероприятия // Природообустройство. 2025. № 4. С. 95-102. https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-95-102

Scientific article

ANALYSIS OF SOURCES OF DIFFUSE POLLUTION IN THE KAZANKA RIVER BASIN AND DEVELOPMENT OF PREVENTIVE MEASURES

L.V. Kireicheva, N.P., Karpenko✉, V.M. Yashin

Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov»; 127434, Moscow, B. Akademicheskaya str., 44, building 2.Russia

Abstract. The sources of anthropogenic pollution of the Kazanka River in the Republic of Tatarstan are analyzed. It is established that diffuse runoff is formed in the catchment area during high water and summer floods due to surface waters and soil erosion. The largest contribution to water pollution is made by agricultural land, in particular, arable land, which makes up more than 70% of the catchment area, agricultural enterprises, including livestock farms, as well as land reclamation facilities. It has been revealed that the main polluting elements in river water are nitrogen, phosphorous compounds, BPK_5, CPK, etc. It has been established that the content of nitrite nitrogen, ammonium nitrogen and phosphate ions in the closing section of the Kazanka River in the long-term average exceeds the maximum permissible concentrations (MPK). Scientific and methodological substantiation has been carried out and preventive measures aimed at reducing the negative impact of diffuse pollution sources on the water quality of the Kazanka River and its tributaries have been proposed. The complex of measures to reduce pollution

© Кирейчева Л.В., Карпенко Н.П., Яшин В.М., 2025

of water bodies includes organizational and economic, agrotechnical, agro-reclamation, agroforestry and agricultural reclamation measures, hydrotechnical and biological methods of purification.

Keywords: anthropogenic load, catchment area, water bodies, agricultural and reclaimed lands, diffuse runoff, environmental protection measures

Format of citation: Kireicheva L.V., Karpenko N.P., Yashin V.M. Analysis of sources of diffuse pollution in the Kazanka river basin and development of preventive measures // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 4. P. 95-102. https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-95-102

Введение. Ухудшающееся качество речной воды связано с антропогенным прессингом, результатом которого можно считать мало поддающееся регулированию диффузное загрязнение с сельскохозяйственных полей, мелиоративных систем, селитебных территорий, животноводческих предприятий и прочее, расположенных на водосборе. На формирование диффузного загрязнения водных объектов существенное влияние оказывают климатические, геоморфологические, почвенные условия, структура землепользования и наличие инфраструктуры. Наиболее подвержены загрязнению так называемые «малые» реки, в бассейнах которых активно развивается сельскохозяйственное производство и строительство мелиоративных систем, для которых необходимы значительные объёмы пресных вод. Потребление водных ресурсов приводит к сбросу отработанных загрязненных вод обратно в речную сеть. Кроме того, в ряде случаев, в бассейнах не соблюдаются экологические требования, связанные с запретом сельскохозяйственной деятельности на пойменных землях и в водоохранных зонах. Следует отметить, что загрязнённые воды малых рек наносят значительный ущерб основным водотокам: выявлено, что основной объем диффузного загрязнения в реку Волга поступает из ее притоков.

Важнейшей проблемой современного развития общества является приведение в порядок малых рек: очистка их от заиления и мусора, снижение поступления загрязняющих веществ, улучшение качества речных вод, формирование водоохранных и санитарных зон. Следует отметить, что сложность проблемы заключается в выявлении источников диффузного загрязнения, а диффузное загрязнение водных объектов не регулируется государственными водохозяйственными или природоохранными ведомствами. Ответственность несут, как правило, муниципальные органы, зачастую не понимающие его ключевой роли в загрязнении водных объектов из-за недостаточной изученности проблемы.

Особую опасность в речной воде представляют биогенные загрязнители, такие как азот нитритный, азот нитратный, азот аммонийный и фосфаты [1-3]. Поэтому оценка качества воды и разработка комплекса водоохранных и организационных мероприятий являются актуальной научной и практической задачей.

Цель исследований заключается в анализе основных источников диффузного биогенного загрязнения речных вод малой реки и разработке превентивных мер по его снижению.

Материалы и методы исследований. Объектом научных исследований был выбран бассейн малой реки Казанка (Республика Татарстан), имеющей длину 126 км, площадь водосбора составляет 2600 км^2 и являющейся левым притоком р. Волги. Речная сеть бассейна очень развита: основные правые притоки реки Казанка – Сула, Шимяковка, Красная, Атынка, Верезенка, Ия; левыми притоками являются Кисьмесь и боковые притоки р. Казанки. В процессе составления ГИС-проекта, выполненного отделом мелиоративно-водохозяйственного комплекса ФГБНУ ФНЦ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», был выделен водосбор реки, площадью 2002 км^2 и разделен на 8 подбассейнов по основным притокам реки Казанка (рис. 1).

Более 80% водосбора составляют антропогенно-изменённые территории. По литературным данным качество воды в реке в разные периоды оценивается по-разному: от среднего загрязнения до экстремально высокого [4].

В бассейне реки Казанка источниками диффузного биогенного загрязнения являются территории и предприятия агропроизводства, земли сельскохозяйственного назначения, мелиоративные объекты, животноводческие фермы, птицефабрики, селитебные территории, полигоны твёрдых бытовых отходов, несанкционированные свалки, которые располагаются как на водосборных территориях, так и в пойме. Кроме того, в реку попадают коммунальные стоки, санкционированные и несанкционированные стоки промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

Так, по данным СМИ (Lenta.ru 29.07.2023 г.) молокозавод ООО «Арча», находящийся в Арском районе, слил по трубе производственные стоки непосредственно в реку, вызвав ее экстремальное загрязнение [5].

Рассматриваемый водосбор характеризуется умеренно-континентальным климатом,

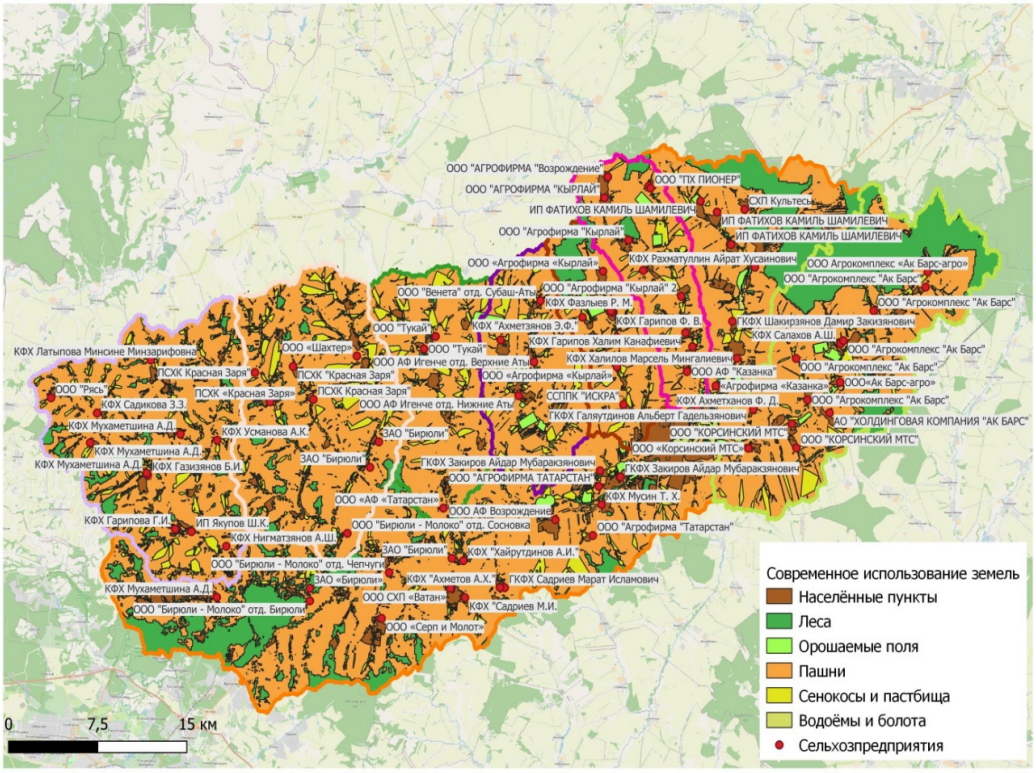

Рис. 1. **Интегрированная карта современного состояния территории бассейна реки Казанка**

Fig. 1. **Integrated map of the current state of the Kazanka River basin**

с годовым количеством осадков 530…570 мм. Годовой сток в бассейне Казанки для года 10% обеспеченности по осадкам составляет 136 мм для года 20% обеспеченности 107 мм. Основной сток наблюдается в период весеннего половодья, в период ливневых дождей сток не превышает 12…15 мм, то есть почти на порядок меньше.

Правобережная часть водосбора наклонена в сторону реки Казанки, преобладающие уклоны 2-3°, максимальные уклоны составляют около 5°. Территория бассейна имеет достаточно высокую антропогенную нагруженность. По данным Минсельхоза Республики Татарстан площадь сельскохозяйственных земель в бассейне составляет 1423,4 км^2, в том числе пашни – 1403,5, сенокосов и пастбищ – 179,33, экологический каркас составляет 13,5% или 272, 95 км^2, остальное составляют площади сельхозпредприятий, поселений, инфраструктуры и пр. (табл. 1).

Таблица 1. **Структура землепользования территории бассейна реки Казанка по подбассейнам**

Table 1. **Structure of land use of the Kazanka River basin by sub-basins**

Подбассейн *Sub-basin*	**Sсен, км^2**	**Sпаш, км^2**	**Sлес, км^2**	**Sвод, км^2**	**Sгор, км^2**	**Sор, км^2**	**Sarea, км^2**	**Средний уклон, грд** *Average slope, degrees*	**Sферм, км^2**
Сула / *Sula*	33,13	213,19	17,53	0,11	7,10	0,00	271,21	3,46	0,15
Шимяковка / *Shimyakovka*	33,68	206,77	12,69	0,21	5,12	0,00	258,59	2,81	0,12
Красная / *Krasnaya*	19,42	116,80	2,72	0,00	4,73	0,93	144,65	2,33	0,045
Атынка / *Atynka*	16,10	103,26	2,06	0,01	4,40	3,70	129,61	2,25	0,075
Верезинка / *Verezinka*	8,56	69,16	10,61	0,04	5,51	2,42	96,39	2,25	0,09
Ия / *Iya*	9,44	90,08	7,81	0,02	6,46	2,22	116,165	1,9	0,135
Кисьмесь / *Kisjmesj*	18,35	183,82	85,77	0,86	8,95	3,31	301,27	1,93	0,21
Казанка / *Kazanka*	40,65	452,44	129,53	2,98	51,92	6,61	684,52	2,39	0,39
Итого по бассейну *Total for the basin*	179,33	1403,52	268,72	4,23	94,19	19,19	2002,41		1,215

Примечание: *Sсен – площадь сенокосов; Sпаш – площадь пашни; Sлес – площадь леса; Sвод – площадь водных объектов; Sгор – площадь поселений; Sор – площадь орошаемых земель; Sarea – общая площадь; Sферм – площадь, занимаемая фермами.*

Note: *Sсен – area of hayfields; Sпашн – area of arable land; Sлес – area of forest; Sвод – area of water bodies; Sгор – area of settlements; Sор – area of irrigated land; Sarea – total area; Sферм – area occupied by farms.*

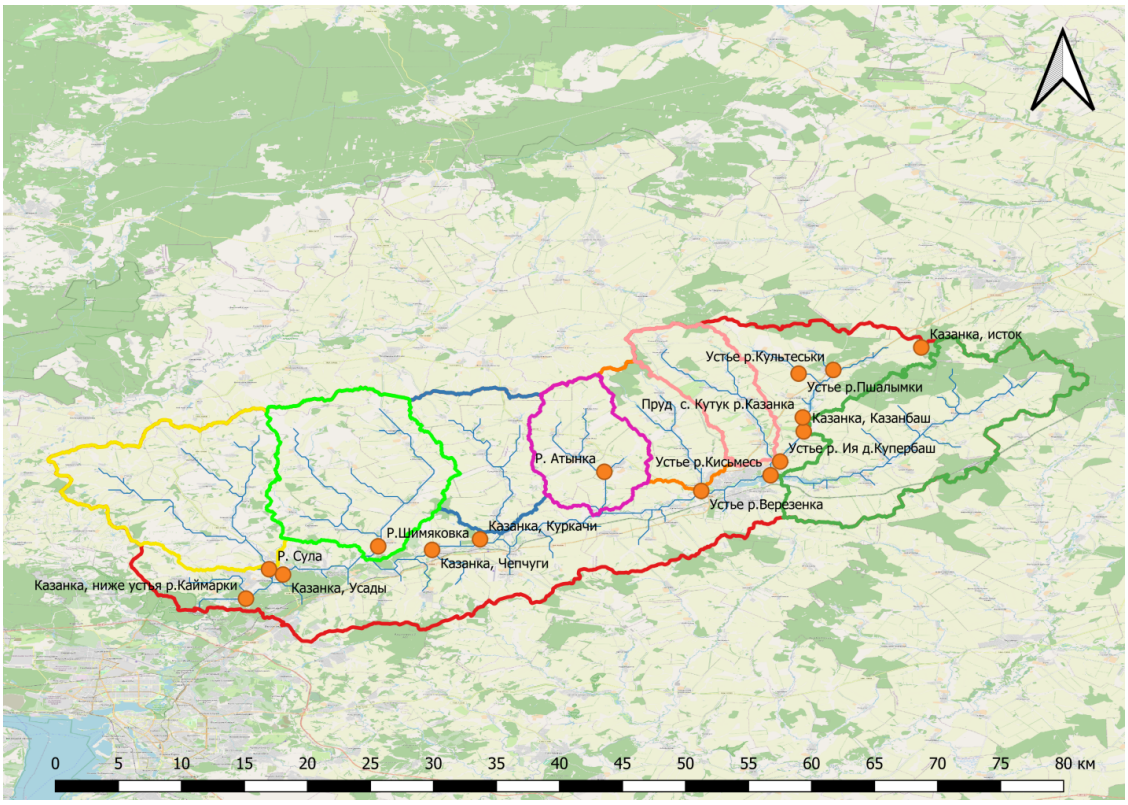

Рис. 2. **Схема размещения створов гидрохимического мониторинга**
Fig. 2. **Layout of hydrochemical monitoring sites**

В структуре сельскохозяйственного производства преобладают зерновые и зернобобовые культуры, доля которых составляет 40%.

В бассейне функционируют 85 сельскохозяйственных предприятий, включающих животноводческие фермы, птицефабрики, хозяйства для разведения овец и прочие (рис. 1). Кроме того, со сточными водами из точечных источников в реку поступают нитрат-ионы, фосфат-ионы, $БПК_5$, ХПК и прочие загрязнители. Анализ гидрохимических показателей воды проводился по створам р. Казанки, схема размещения которых приведена на рисунке 2.

По результатам систематического мониторинга качества речных вод в бассейне реки Казанка, осуществляемого с 2014 года Министерством экологии и природных ресурсов Республики Татарстан (МЭПР РТ) в створах Кутук, Казанбаш, Чепчуги и Усады (см. рис. 2), вода в реке по комбинаторному показателю биогенных веществ в многолетнем разрезе (2014-2024 гг.) оценивается в верхнем течении как слабо загрязненная, в среднем течении как очень загрязненная и в нижнем течении как грязная. Это свидетельствует о том, что в речную сеть с водосбора на всем протяжении реки с поверхностным, внутрипочвенным и подземным стоком поступает биогенные загрязнители из точечных и диффузных источников.

Результаты и обсуждение. Оценка степени текущего загрязнения воды в реке Казанка по биогенным загрязнителям (аммоний, нитраты, нитриты, фосфатный фосфор, $БПК_5$ и ХПК) проводилась за период январь – сентябрь 2023 г. по данным МЭПР РТ по 7 створам от истока до створа Усады, расположенного в нижнем течении реки. Основной механизм поступления диффузного загрязнения – поверхностный, внутрипочвенный и почвенно-грунтовый сток. Как видно из диаграмм, представленных на рисунке 3, содержание биогенных веществ в речной воде по продольному профилю различается для каждого ингредиента.

Диффузное поступление азотных соединений связано со смывом остатков удобрений с сельскохозяйственных полей. По данным Минсельхоза Республики Татарстан в качестве азотных удобрений используются аммиачная селитра и аммиачная вода, что определяет их высокую миграционную способность. Фосфаты поступают с твердым стоком за счет развития эрозионных процессов, а также с бытовыми сточными водами. В верхнем течении реки (створ Кутук и Казанбыш) отмечается повышенное значение $БПК_5$, что возможно связано с сельскохозяйственными и фекальными стоками. Для верхнего и среднего течения реки характерно превышение ПДК по содержанию ионов аммония и биологического

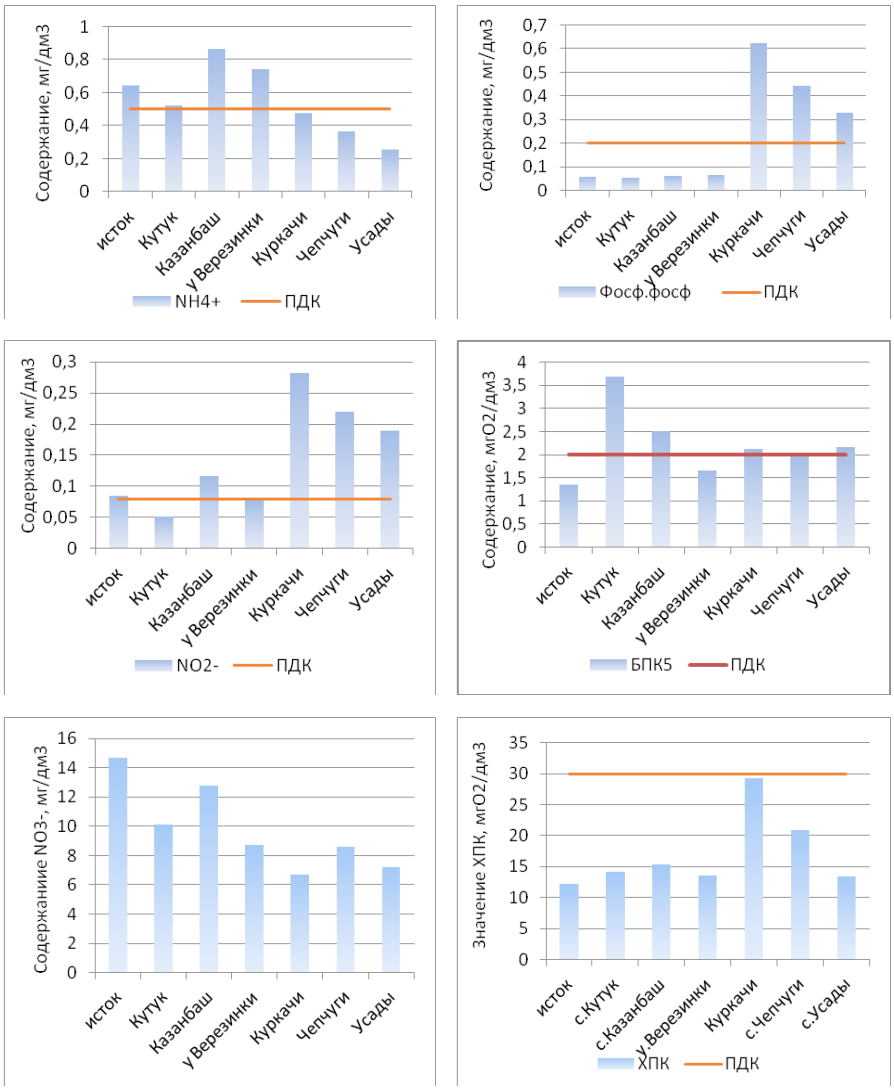

Рис. 3. **Распределение по продольному профилю р. Казанка средних концентраций загрязнителей за период январь – сентябрь 2023 г.**
(построено по данным МЭПР РТ, ПДК даны в соответствии с [6])

Fig. 3. **Distribution of average pollutant concentrations along the longitudinal profile of the Kazanka River for the period January – September 2023**
(built according to the data from the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Tatarstan, MPCs are given in accordance with [6])

потребления кислорода ($БПК_5$), что может быть связано со стоками промышленных и транспортный предприятий, мусорными свалками, так как как вблизи находится административный центр Арск с железнодорожной станцией и населением около 20 тыс. человек, а также молокозавод «Арча». В нижнем течении в речной воде наблюдается повышенные содержание нитритов и ХПК, что свидетельствует о высокой степени загрязнения трудно разлагаемыми органическими веществами. Учитывая огромное количество сельскохозяйственных предприятий, равномерно распределенных по всему бассейну (фермы, птицефабрики и т.д.), которые, как правило, не имеют очистных сооружений, то с животноводческими стоками и отходами их производства в поверхностные стоки, а затем в реку поступают различные биогенные вещества. Все это негативно влияет на качество речной воды.

Снижение диффузного стока представляется возможным путем организации и проведения мероприятий, которые позволяют свести до допустимых значений потери почвы на сельскохозяйственных землях и существенно снизить загрязнение поверхностных вод. Среди превентивных мер по снижению загрязнения водных объектов первостепенное значение имеют организационно-хозяйственные и нормативно-правовые меры, соблюдение которых должно стать безусловными к выполнению всеми производителями. К организационным мероприятиям относится соблюдение правил хранения и размещения отходов

животноводства, минеральных удобрений и мелиорантов, недопущение проведения сельскохозяйственных работ в водоохранных зонах, исключение сброса в реку сточных вод и животноводческих стоков без предварительной очистки, ликвидация несанкционированных свалок в водохранных зонах и на водоразделе [7-8]. К нормативно-правовым мерам относится содержание водоохранных зон и прибрежных защитных полос, на которых устанавливается специальный режим хозяйственной и иных видов деятельности с целью предотвращения загрязнения, засорения, заиления и истощения водных объектов.

На землях сельскохозяйственного назначения, особенно на пашне, следует применять известные противоэрозионные агротехнические приемы, включающие: почвозащитную обработку полей, повышение впитывающей способности почвы, кулисные посевы, мульчирование, снегозадержание и прочие приемы. Кроме того, рекомендуется увеличить долю многолетних трав в составе севооборотов не менее, чем на 15-20%. Агромелиоративные мероприятия выбираются в зависимости от характера сельскохозяйственного использования земель, от условий рельефа и почвы и включают узкозагонную вспашку, профилирование поверхности, выборочное бороздование, гребневание, грядование почвы, щелевание, кротование, глубокое рыхление и т.д. На землях с уклоном выше 5° рекомендуется проектирование специальных гидротехнических сооружений, обеспечивающих перехват поверхностных вод и исключающих размывы и овражкообразование [9].

Важное значение придается улучшению и дальнейшему развитию экологического каркаса, включающего дополнительное лесонасаждение; прибалочное лесонасаждение; поверхностное и коренное улучшение травостоя, залужение сенокосов и пастбищ, склонов овражной сети.

Биологические методы снижения диффузного стока направлены на перехват загрязняющих веществ посредством строительства биоплато, которое представляет собой агроинженерные сооружения, использующие естественные свойства природных сорбционных веществ, высшей водной растительности, бактериальных заселений зарослей, планктоновых водорослей, способных разлагать, поглощать органические соединения и выполнять очистку воды [10].

На основе анализа литературных источников и натурных исследований, выполненных в аналогичных природно-климатических условиях, проведено ранжирование мероприятий по возможному сокращению диффузного загрязнения (рис. 4).

Первоочередными превентивными мероприятиями для снижения диффузного стока с земель сельскохозяйственного назначения следует считать организационно-хозяйственные и агротехнические мероприятия, выполнение которых обязательно для всех сельскохозяйственных товаропроизводителей [11-12].

Кроме того, рекомендуется пересмотреть структуру севооборотов в плане увеличения доли многолетних трав, заменить использование хорошо растворимых в воде минеральных удобрений в виде аммиачной селитры на более экологичные и комплексные труднорастворимые (аммофос, аммофоска, нитрофоска и прочие) удобрения. Применение указанных мероприятий обеспечит снижение смыва остатков азота с пашни на 20%, а фосфора на 5%.

Для снижения смыва почвы рекомендуется проведение противоэрозионных мероприятий, особое внимание следует уделить подбассейнам Сула, Шимяковка, Красная, Атынка, Верезинка, Ия и левых притоков р. Казанки, где наибольший эффект может быть получен от проведения лесомелиоративных мероприятий, которые обеспечат

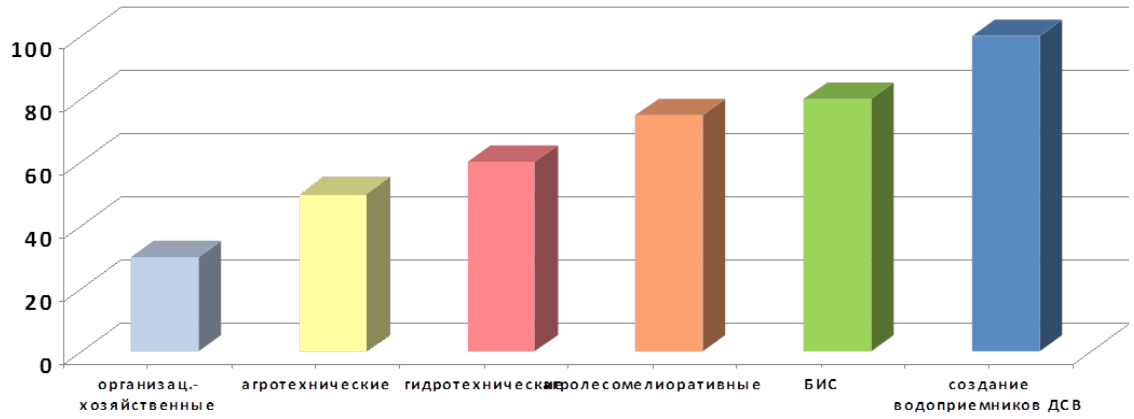

Рис. 4. **Ранжирование мероприятий по сокращению диффузного загрязнения речной воды**

Fig. 4. **Ranking of measures to reduce diffuse pollution of river water**

предотвращение эрозионного смыва и снижение поверхностного стока. Лесомелиорация в первую очередь должна быть направлена на восстановление действующих лесополос и в последующем на создание новых лесополос на землях сельскохозяйственного назначения, где наиболее ярко проявляется эрозия.

С целью предотвращения смыва животноводческих стоков поверхностными водами в период половодья и паводков первоочередным мероприятием является обвалование территории ферм, в дальнейшем переход на животноводческие комплексы с водооборотными системами.

Особое внимание следует уделить первоочередным мероприятиям в подбассейне р. Кисьмесь, на территориях которого располагается большое количество животноводческих предприятий и прудов полносистемного рыбоводного хозяйства, которые осуществляют несанкционированный сброс загрязняющих биогенных веществ без разработанного, утвержденного и согласованного в уполномоченном органе разрешения на сброс сточных вод и проекта нормативов допустимых сбросов. С целью предотвращения сброса загрязненных стоков в реку с водосбора р. Кисьмесь рекомендуется предусмотреть проектирование и строительство мало энергоемких инженерных биологических сооружений (БИОПЛАТО) для естественной биологической очистки сбрасываемых из рыборазводных прудов вод, что позволит провести рекультивацию и очистку водных объектов.

Выводы

На основе выполнения анализа природных условий и детального изучения современного состояния хозяйствования в бассейне реки Казанка установлены основные диффузные источники биогенного загрязнения реки Казанки, среди которых значительный вклад вносят сельскохозяйственные угодья, в частности, пашня. За счет развития эрозионных процессов с поверхностным стоком в реку поступают взвешенные частицы (твердый сток) и остатки смываемых с полей удобрений. Сельскохозяйственные предприятия, включая животноводческие фермы, а также мелиоративные объекты, расположенные на водосборных территориях и поймах рек, не имеют организованного стока, утилизации отходов и очистных сооружений, что приводит к выносу азотных, фосфорных и калийных соединений, а также органических загрязнителей. Выявлено, что содержание загрязняющих веществ (нитритного азота, аммонийного азота и фосфат-ионов) в замыкающем створе реки Казанка в среднемноголетнем разрезе превышают предельно-допустимые концентрации. Проведено научно-методическое обоснование превентивных водоохранных и организационных мероприятий, направленных на предотвращение негативного воздействия источников диффузного загрязнения на качество воды р. Казанка и ее притоков. Снижение диффузного стока возможно путем организации территории и проведения, соответствующих природным условиям, мероприятий, которые позволяют свести до допустимых значений потери почвы на сельскохозяйственных землях от эрозионных процессов и исключить загрязнение поверхностных вод, а также комплекс водоохранных мероприятий, снижающих поступление загрязнений непосредственно в водный объект. Комплекс мероприятий по предотвращению или уменьшению загрязнения водных объектов рекомендуется подразделить на группы, что позволит определить хозяйствующий субъект для выполнения указанных мероприятий: организационно-хозяйственных; агротехнических; агромелиоративных, агролесолугомелиоративных и биологических методов очистки сточных вод, которые непосредственно поступают в речную сеть.

Список использованных источников

1. Карпенко Н.П. Оценка риска поступления диффузного стока с сельскохозяйственных земель // Мелиорация и водное хозяйство. 2024. № 4. С. 15-19. EDN: TVNIVO

2. Кирейчева Л.В. Роль мелиорированных земель в диффузном загрязнении речных вод биогенными веществами / Л.В. Кирейчева, В.М. Яшин // Международный технико-экономический журнал. 2020. № 10. С. 28-32. EDN: LAFDKM

3. Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения. Коллективная монография под руководством В.И. Данилова-Данильяна. М.: РАН, 2020. 512 с.

4. Корчева Е.С. Оценка качества воды реки Казанка / Е.С. Корчева, С.В. Степанова, И.Г. Шайхиев

References

1. Karpenko N.P. Assessment of the risk of diffuse runoff from agricultural lands // Land reclamation and water management. 2024. No. 4. pp. 15-19. EDN: TVNIVO

2. Kireicheva L.V., Yashin V.M. The role of reclaimed lands in diffuse pollution of river waters by biogenic substances // International Technical and Economic Journal. 2020. No. 10. pp. 28-32. EDN: LAFDKM

3. Diffuse pollution of water bodies: problems and solutions. A collective monograph under the direction of V.I. Danilov-Danilyan. Moscow: RAS, 2020. 512 p.

4. Korcheva E.S., Stepanova S.V., Shaikhiev I.G. Assessment of the water quality of the Kazanka river // Bulletin of the Technological University. 2016. Vol. 19. No. 20. pp. 186-189. EDN: XAMGSZ

// Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 20. С. 186-189. EDN: XAMGSZ

5. https://kazanfirst.ru/ [Электронный ресурс].

6. САНПИН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». М.: Минздрав России, 2021. 986 с.

7. Федеральный закон № 7-ФЗ Об охране окружающей среды. Введ.2002-01-10. М.: Правительство РФ, 2002. 33 с.

8. Водный Кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N74-ФЗ (ред. от 08.08.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025). М.: Правительство РФ. 51 с.

9. Полуэктов Е.В. Эрозия почв и плодородие. Монография. Новочеркасск: Лик, 2020. 229 с.

10. Рациональное водопользование: учебное пособие. / И.В. Глазунова, В.Н. Маркин, С.А. Соколова, Л.Д. Раткович. М.: ЗАО «Университетская книга», 2022. 136 с.

11. Кирейчева Л.В. Оценка диффузного загрязнения от сельскохозяйственных территорий в бассейне Верхней Волги и разработка мероприятий по его снижению на примере реки Яхромы / Кирейчева Л.В., Лентяева Е.А., Тимошкин А.Д., Яшин В.М. // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 5. С. 523-535. EDN: ATENTA

12. Кирейчева Л.В. Оценка выноса биогенных веществ с водосбора малой реки и меры по его снижению /Л.В. Кирейчева В.М. Яшин, А.Д. Тимошкин, А.Д. // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 6. С 53-59. EDN: TOHPWS

5. https://kazanfirst.ru / [Electronic resource].

6. SANPIN1.2.3685-21 «Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans». M.: Ministry of Health of Russia, 2021. 986 p.

7. Federal Law, No. 7-FZ On Environmental Protection. Introduction. 2002-01-10. M.: Government of the Russian Federation, 2002. 33 p.

8. The Water Code of the Russian Federation dated 06/03/2006 N74-FZ (as amended on 08/08/2024) (as amended and supplemented, intro. effective from 01.01.2025). M.: Government of the Russian Federation. 51 p.

9. Poluektov E.V. Soil erosion and fertility: monographic. Novocherkassk: Lik, 2020. 229 p.

10. Rational water use: the training manual. / I.V. Glazunova, V.N. Markin, S.A. Sokolova, L.D. Ratkovich. M.: CJSC «University Book», 2022. 136 p.

11. Kireycheva L.V., Lentyaeva E.A., Timoshkin A.D., Yashin V.M. Assessment of diffuse pollution from agricultural territories in the Upper Volga basin and development of measures to reduce it using the example of the Yakhroma River. 2020. Vol. 47. No. 5. pp. 523-535.

12. Kireycheva L.V., Yashin V.M., Timoshkin A.D. Assessment of nutrient removal from the Malaya River catchment and measures to reduce it // Ecology and industry of Russia. 2022. Vol. 26. No. 6. Pp. 53-59. EDN: TOHPWS

Об авторах

Людмила Владимировна Кирейчева, д-р техн. наук, профессор, руководитель отдела природоохранных и информационных технологий, руководитель направления мелиорация; https//orcid.org/ 0000-0002-7114-2706; SPIN3319-5340, WoS ResearcherlD ABG-6588-2021, Scopus AuthorID39; kireychevalw@mail.ru

Нина Петровна Карпенко, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник, https//orcid.org/0000-0001-6638-149X; npkarpenko@yandex.ru

Валерий Михайлович Яшин, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, vniigimjasin@mail.ru

About the authors

Lyudmila V. Kireicheva, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Environmental Protection and Information Technology, Head of Land Reclamation; https//orcid.org/ 0000-0002-7114-2706; SPIN3319-5340, WoS ResearcherlD ABG-6588-2021, Scopus AuthorID39; kireychevalw@mail.ru

Nina P. Karpenko, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, https//orcid.org/0000-0001-6638-149X; npkarpenko@yandex.ru

Valery M. Yashin, Ph D. Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, vniigimjasin@mail.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Кирейчева Л.В., Карпенко Н.П., Яшин В.М. выполнили экспериментальные и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Kireicheva L.V., Karpenko N.P., Yashin V.M. carried out experimental and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare that there are no conflicts of interests

Вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

All authors made an equal contribution to the preparation of the publication. All authors are equally responsible for violations in the field of ethics of scientific publications.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 24.03.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 06.07.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 06.07.2025