ЦЕНТРАЛЬНОАЗИАТСКИЙ ЖУРНАЛ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ (2026) 12(2): 43-67

https://doi.org/10.29258/CAJWR/2026-R1.v12-2/43-67.rus

© Авторы 2026

Central Asian Journal of Water Research

Пространственно-временная изменчивость азота и фосфора в поверхностных водах Западного Тянь-Шаня (Казахстан)

Рабат Махмутова [a], София Романова [a], Айзада Серикова [a], Еркежан Аргынбаева [a,b]

[a] РГП "Институт зоологии" КН МОН РК, проспект Аль-Фараби 93, 050060, Алматы, Казахстан

[b] Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, факультет Биологии и биотехнологии, проспект аль-Фараби 71, Алматы, 050040, Казахстан

Аннотация

В статье приведены материалы по распределению различных форм минерального азота и фосфора в водных источниках Юго-Восточного Казахстана за период 2014–2023 гг. Цель работы - изучение пространственно-временной изменчивости соединений азота и фосфора в воде Тасоткельского водохранилища и его притоков в многолетнем цикле, различные сезоны и по течению основной р. Шу.

Установлено, что содержание минеральных форм азота и их соотношения неодинаковые. Из соединений азота преобладал нитратный, 82–86% от суммы азота, при этом превышения ПДК для водоёмов рыбохозяйственного назначения не выявлено. На долю аммонийного и нитритного азота приходилось, соответственно, 12–17% и 0,8–2,1% от суммы азота. А превышение их ПДК в 1,2–3,0 раза наблюдалось практически во все сезоны года. Минеральный растворимый фосфор (фосфатные ионы) обнаружен в воде всех обследованных объектах в небольших концентрациях (0,005–0,0400 мг/дм3) вследствие низкой растворимости его соединений и интенсивного поглощения гидробионтами. Наиболее загрязнёнными являются р. Шу (п. Кайнар) и Токташ. От верхнего к нижнему участку реки Шу происходило уменьшение концентрации данных соединений. Самоочищение наблюдалось по: фосфору (57,8%), нитритному азоту (49,0%), аммонийному азоту (35,9%) и нитратному азоту 15,6%. За исследуемый период по среднегодовым концентрациям соединений азота и фосфора вода всех объектов сохраняла 1–3 класс качества, а в отдельные сезоны года – до 5 класса качества.

Таким образом, за исследуемый период происходило постепенное увеличение содержания соединений азота и фосфора, что отражает возрастающую роль антропогенного фактора на водные объекты (стоки с водосборной площади, забор воды на орошение и др.). Результаты работы полезны для комплексной оценки качества воды рек и водохранилища, составления баланса биогенных элементов, а также выноса веществ реками.

Подана в редакцию:
18 апреля 2025
Принята к публикации:
20 августа 2026
Доступ онлайн:
14 сентября 2026

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

нитриты, нитраты, ион аммония, фосфаты, экология, Западный Тянь-Шань

Для корреспонденции: Рабат Махмутова ✉ rabat.makhutova@zool.kz, РГП "Институт зоологии" КН МОН РК, проспект Аль-Фараби 93, 050060, Алматы, Казахстан

Опубликовано Казахстанско-Немецким Университетом, Алматы / Казахстан

1. Введение

Состояние поверхностных вод зависит от содержания в них различных компонентов, в том числе биогенных элементов, главными из которых являются соединения минерального азота и фосфора. Эти элементы присутствуют во всех природных водах, обеспечивая питание водной биоты, но при их высоких концентрациях происходит интенсивное развитие водных организмов. Данное обстоятельство приводит к ухудшению органолептических свойств воды, а также к дефициту кислорода из-за его потребления при дыхании гидробионтов. В итоге это ведёт к снижению биоразнообразия и ограничению использования такой воды в народном хозяйстве.

Основные источники биогенных элементов в реках и водоёмах: рассеянный поверхностный сток с водосборной площади, почвенный покров, переработка берегов и руслоформирующие процессы, различные внутриводоёмные процессы, а также хозяйственно бытовые, промышленные и сельскохозяйственные сточные воды. Соединения азота и фосфора поступают и с атмосферными осадками, которые поглощают оксиды этих элементов из атмосферы. К числу минеральных соединений относятся аммонийные, нитритные и нитратные ионы, взаимосвязанные между собой и переходящие в друг друга и поэтому обычно рассматриваются совместно (Byrnes et al., 2020; Van Meter et al., 2017). В природных водах аммонийные ионы формируются из-за разложения азотсодержащих органических веществ, например, белков, аминокислот. Если концентрация аммонийных ионов в воде превышает фоновую, то это свидетельствует о «свежем» загрязнении (Романова и др., 2024; Никаноров, 2011). Нитратный азот образуется в незагрязнённых поверхностных водах, путем нитрификации аммонийных ионов под действием растворенного кислорода и нитрифицирующих бактерий. Присутствие нитратного азота в концентрациях, больших чем природные, указывает на «старое» загрязнение. Азот нитритный образуется как промежуточный продукт в процессе окисления иона аммония до нитратного иона в аэробных условиях, а также в результате реакций восстановления нитратов до свободного азота и аммиака при дефиците растворенного в воде кислорода (Никаноров, 2008,2011; Амиргалиев и др., 2024). Наличие нитритного азота, в концентрациях, превышающих природные, также как и азота аммонийного указывает на «свежее» загрязнение (Романова и др., 2024; Амиргалиев и др., 2024).

Фосфор присутствует в поверхностных водах в основном в виде анионов ортофосфорной кислоты при её диссоциации. Фосфатные ионы лимитируют развитие продуктивности водоёма. Установлено, что их повышенное содержание приводит к ускорению процессов эвтрофирования, называемых «цветением» воды

(Никаноров и др., 2012; Решетняк, 2015). Основными антропогенными источниками фосфатов являются сточные воды от населённых пунктов, сельхозугодий (из-за использования суперфосфатов и других удобрений) и животноводческих ферм (Национальный доклад…, 2023; Крупа, 2012). Наиболее подвижной формой минерального фосфора является ортофосфатный ион, который легко усваивается гидробионтами. Он образуется в незагрязнённых поверхностных водах, главным образом, в результате разрушения и последующего растворения фосфатсодержащих пород, биохимического разложения организмов, как в самом водном объекте, так и за счёт привноса соединений фосфора с водосборной площади.

Режим и динамика соединений азота и фосфора достаточно хорошо изучен в реках и озёрах Казахстана (Бурлибаев и др., 2019; Алекин, 1970; Никаноров, 2008, 2011; Шашуловская и др., 2020; Харина, Колесникова, 2009) и стран СНГ (Джуманиязова и др., 2022; Атаназаров, 1999; Маматканов и др., 2006; Калинин, 2001; Бурлибаев и др.., 2003). Однако для казахстанской части Западного Тянь-Шаня сведения весьма ограничены, особенно плохо изучены малые реки, которые оказывают значительное влияние на качество воды основной реки Шу.

Цель работы – изучить распределение минеральных соединений азота и фосфора в водных объектах казахстанской части Западного Тянь-Шаня в многолетнем цикле (2014–2023 гг.), в различные сезоны года и по течению основной реки Шу.

Полученные данные будут полезны для составления баланса биогенных элементов, выноса веществ реками и оценки качества воды реки и водохранилища.

1.2 Краткая характеристика природных условий региона

Климат Южного Казахстана континентальный, засушливый, зима довольно мягкая и бесснежная, лето жаркое и сухое. Эта характерная особенность (засушливость) объясняется удалённостью от океанов, атмосферной циркуляцией, которая приводит к ясной и малооблачной погоде (250–270 солнечных дней в году). Пустыни (Бетпак-Дала и Мойынкум) и горы на юге (Каратау) создают большое разнообразие в климате – континентальность, резкие перепады температуры днём и ночью, зимой и летом. Лето очень жаркое: средняя температура 21–25°С, максимумы достигают 45–48°С. В январе средняя температура (-8) – (-12)°С, но бывают морозы до (-45) – (-48)°С (Мустафаев и др., 2019). Период со среднесуточной плюсовой температурой продолжителен (240–270 дней в году). Атмосферных осадков выпадает немного, в основном зимой и весной, среднегодовые около 280–400 мл. Поэтому реки, начинающиеся в высокогорье, имеют ледниковое и снеговое питание, и следовательно, имеют

два паводка, наиболее мощный из которых – летний (во второй половине июля – начале августа).

Почвенный покров Западного Тянь-Шаня многообразен в силу особенностей рельефа, климата, растительности и подстилающих пород. Преобладают бурые, серо-бурые и такыровидные почвы, а вдоль рек – пойменно-луговые, где встречаются засоленные почвы и солончаки, составляющие около 41% от всей территории исследуемого региона. Такие почвы характеризуются высокой щелочностью и хрупкой коркой. Такыровидные и солонцеватые почвы образовываются на слоисто-аллювиальных тяжёлых отложениях. Типичный солончак выглядит пухлым или бывает покрыт солевой коркой. (Есембекова, Есенгелдиева, 2019).

Основная часть территории бассейна (73%) располагается в зоне пустынь и полупустынь, а отроги горных систем Тянь-Шаня занимают около 14% его территории. Предгорная степная часть, занимающая 15% территории Жамбылской области, представляет наибольший интерес с точки зрения сельскохозяйственного использования (Сейтказиев, Маймакова, 2020; Мустафаев, 2023).

В данном регионе подземные воды залегают на глубине, примерно, от 3 до 7 метров, в основном сильно минерализованы, хлоридно-сульфатного и сульфатно-хлоридного типа засоления. По мере увеличения солёности тип подземных вод становится хлоридным (Мухамеджанов, Тлеуова, 2014).

Все исследуемые водные объекты берут начало на территории Кыргызстана. Гидропост верхнего течения реки Шу расположен в 2,8 км от границы Кыргызстана, вблизи села Кайнар, Кордайского района. Гидропосты рек Сарыкау, Токташ и Карабалта находятся в приграничной зоне, тогда как гидропост реки Аксу расположен в 16,09 км от границы, ниже по течению от Аксуского водохранилища на 7,99 км, вблизи села Аксу. Гидропост нижнего течения реки Шу расположен в 47,65 км от Тасоткельского водохранилища, вблизи села Конаев.

Горная часть рек является основной областью питания. Реки питаются главным образом за счёт ледников и таяния снега. Дождевые осадки играют второстепенную роль. Приток подземных вод, особенно в предгорьях и долинах, играет важную роль в образовании базового и весеннего стока.

По данным бюро Национальной статистики численность населения на территории казахстанской части бассейна (Жамбылская область) на начало 2024 г. составила 1,22 млн. человек. Рост экономики Жамбылской области за 2024 год составил 4,3%. Среди отраслей наибольший рост отмечался в промышленности (1,9%), строительстве (16,2%), вводе жилья (4,5%), торговле (2,9%), транспорте (9,9%), связи (7,9%) (Бюро национальной статистики…, 2023).

На территории Жамбылской области сосредоточено около 72% запасов фосфоритов в Казахстане и 68% флюорита. Область также богата тяжелым

шпатом, цветными металлами, углём, строительными материалами и различными камнями (облицовочными, поделочными, техническими).

Река Шу начинается в ледниках Киргизского хребта, протекая по территориям Кыргызстана и Казахстана. Является водоразделом между странами на протяжении 221 км в своем среднем течении. Длина реки 1067 км, из них в пределах Казахстана около 600 км. Площадь водосборного бассейна, включая бессточные участки в низовьях реки и прилегающие пустынные пространства, составляет 67 500 км2. Водные ресурсы реки Шу, по оценкам, составляют 6,64 км3 и полностью зарегулированы.

На реке Шу в Казахстане функционирует Тасоткельское водохранилище и многочисленные оросительные каналы (на орошение расходуется почти 55% стока). Оно находится в Шуском районе Жамбылской области в 27 км от города Шу. Введено в строй в 1974г., имеет длину 18 и ширину 8,5 км. Площадь достигает 78 км2 и максимальная глубина до 23 м. Площадь Тасоткельского водохранилища за вегетационный период может изменяться в довольно в широких пределах. Так, в августе 2004 г. она была в пределах 37,0 км2 (Крупа, 2012). Дно водохранилища было покрыто светло-серой глиной, черным наилком с примесью песка, остатками растительности. Распределение глубин довольно равномерное, в пойме – 30–40 см, в центре 5,0–6,0 м, у плотины – 11,5–12,0 м, средняя глубина по водохранилищу составляла 2,5 м.

В 2024 г. максимальная длина водохранилища составляла 13,1 км., ширина 5,5–5,7 км., а площадь 53,3 км2. На плотине длиной 585 м 16 мая 2013 года введена в эксплуатацию ГЭС мощностью 9,2 МВт при среднегодовой выработке 45,6 млн кВт·ч. Изначально по своему хозяйственному назначению Тасоткельское водохранилище – ирригационный водоём. Его водами орошаются пахотные земли на правобережном массиве р. Шу, площадью около 67,3 тыс. га. (Национальный доклад…, 2023)

Тасоткельское водохранилище характеризуется специфическим гидрологическим режимом – наполнение в осенне-зимний период, сработка с апреля по сентябрь месяц включительно. Самый низкий уровень – в октябре. С ноября начинается заполнение водохранилища, в марте оно достигает проектной отметки. Дном водохранилища служит пойма первых трех надпойменных террас р. Шу и ее притока Аксу. Дно и берега сложены уплотненными малозасоленными и слабо проницаемыми грунтами.

Река Шу и её притоки сильно зарегулированы. В Кыргызстане на р. Карабалта находится Карабалтинское водохранилище и в верховьях р. Шу есть Орто-Токойское. На р. Аксу на территории Казахстана расположено Аксуское водохранилище. Таким образом, сток этих рек полностью зарегулирован. Эти водохранилища в основном ирригационного назначения.

В Тасоткельское водохранилище впадают реки: Шу, Карабалта, Токташ. Река Аксу сливается с р. Карабалта, не доходя до водохранилища почти 17 км. Таким образом, на состав тасоткельской воды влияют и р. Шу, и другие притоки. Второй створ по р. Шу находится у п. Конаев (на расстоянии 51,4 км), где проверяют качество воды. От первого створа у п. Кайнар река протекает 26,9 км. до Тасоткельского водохранилища.

3. Материалы и методы

Материалом исследования послужили кадастровые и мониторинговые данные РГП «Национальная гидрометеорологическая служба Республики Казахстан» («Казгидромет») за период 2014–2023 гг. (Информационный бюллетень..., 2014–2023; Государственный водный кадастр..., 2014–2023), экспедиционные материалы авторов предыдущих лет (Беремжанов и др., 1973; Романова и др., 1986; Крупа, 2012). Рассматривались концентрации различных форм азота и фосфора в поверхностной воде объектов.

Исследованы 6 водных объектов (1 водохранилище и 5 рек): Тасоткельское водохранилище в Жамбылской области и реки, стабильно питающие его с юго-восточной стороны Шу, Аксу, Токташ, Карабалта, а также река Сарыкау, впадающая в р. Шу после Тасоткеля (рис. 1).

Для исследования были выбраны 7 участков в Жамбылской области: 2 по течению р. Шу (гидропост у п. Кайнар, находящийся в Кордайском районе с координатами 43.291862; 74.197591, второй – у п. Конаева в Шуском районе, координаты 43.627941; 73.811315. В с. Ташуткуль находится гидропост на 0,5 км юго-восточнее плотины Тасоткельского водохранилища с координатами 43.388393; 73.873885, ниже плотины водохранилища, в которой смешивается вода впадающих притоков (Аксу, Токташ, Карабалта) и самого водохранилища. На р. Аксу створ расположен в одноимённом посёлке (координаты 43.250666; 74.0164633), на р. Карабалта пробы отбирались в с. Баласагун (43,224598; 74,048832). На р. Токташ створ находится в с. Жаугаш Батыра (координаты 43,1286244; 73,8797633). Пункт привязки на р. Сарыкау находится на границе с Кыргызстаном в 35 км. до впадения в р. Шу, ниже Тасоткеля (в 63 км. от с. Мерке) с координатами 43,1191971; 73,798935.

Химический анализ соединений минерального азота и фосфора выполнен специалистами Казгидромета по межгосударственным стандартам, указанным в ГОСТ РК 51232-98 (СТ РК ГОСТ Р 51232 – 2003; СТ РК ГОСТ Р 51593 – 2003; Единая система…, 2016; Семенов, 1977). Так, анализы биогенных веществ выполнены фотометрическим методом на фотометре фотоэлектрическом «КФК-3-01-«ЗОМЗ» российского производства (Корнюхова, 2020)

Оценка качества воды по соединениям азота и фосфора была выполнена на основании методических рекомендаций по комплексной оценке качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям (Методические рекомендации…, 2012) и по единой системе классификации качества воды в водных объектах Республики Казахстан (Методические рекомендации…, 2016). Значения предельно-допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в водоёмах рыбохозяйственного водопользования служат основными критериями качества вод по гидрохимическим показателям (Беспамятнов, Кротов, 1985; Фомин, 1995).

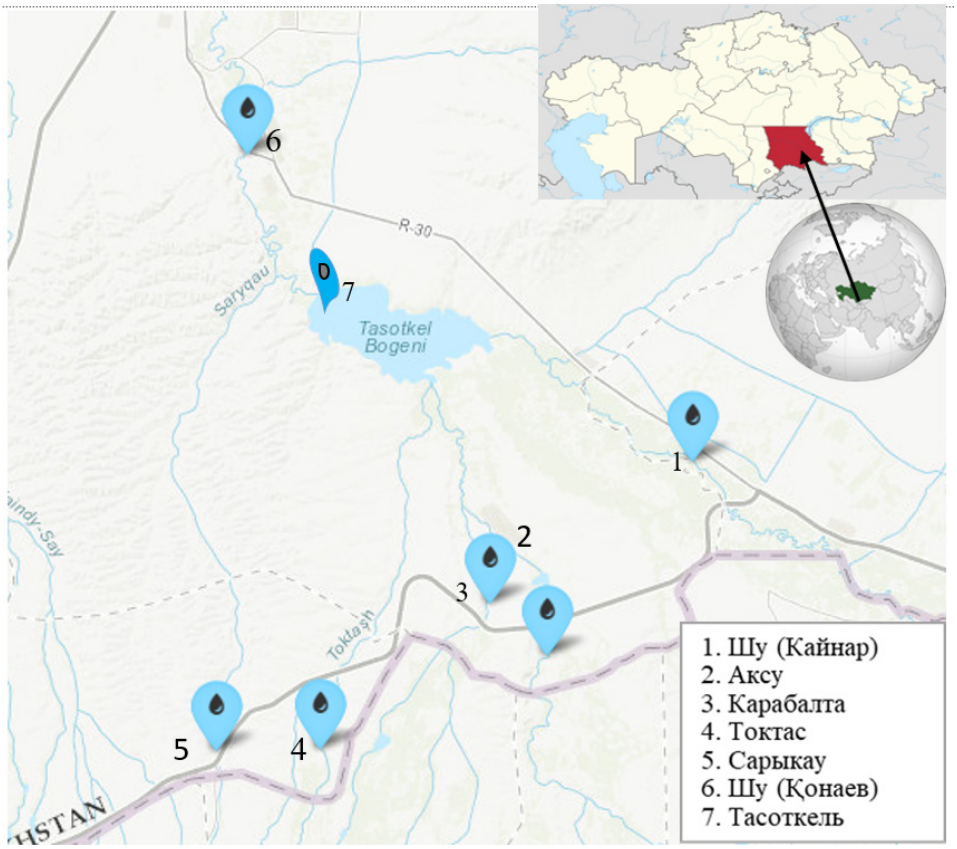

Рис. 1. Схема Тасоткельского водохранилища и впадающих в него рек

Расчёт и оценка самоочищающей способности (СС) водных объектов или их отдельных участков от загрязняющих веществ, например, нефтепродуктов, фенолов, синтетических поверхностно-активных веществ, соединения азота и фосфора и др.) произведены по ниже приведенной формуле: С = (Сн-Ск) / Сн х 100%, где: Сн и Ск – концентрация загрязняющих веществ, соответственно, в начальном и конечном створе, мг/дм^3 (Справочник…, 1989; Романова, Турсунова, 2010).

Для получения достоверных выводов применялась математическая обработка (Чарыков, 1984). Статистическую обработку результатов проводили с использованием Microsoft Excel 2010.

4. Результаты и обсуждение

Из соединений азота преобладающими являлись нитратные ионы, 82–86% от суммы азота, но превышения ПДК для водоёмов рыбохозяйственного назначения не наблюдалось за весь исследуемый период. На долю аммонийного и нитритного азота приходилось, соответственно, 12–17% и 0,8–2,1% от суммы азота, при этом превышение их ПДК выявлено практически во все сезоны года, в 1,2–3,0 раза, начиная с 2007 г.

В казахстанской части бассейна р. Шу содержание нитратного азота в воде за исследуемый период колебалось от 0,034 N-NO3 мг/дм3 (р. Шу, 2014 г.) до 3,900 N-NO3 мг/дм3 (р. Токташ, 2019 г.) (таблицы 1, 2). Среднегодовые значения варьировали от 0,53 N-NO3 мг/дм3 (р. Сарыкау, 2023 г.) до 2,351 N-NO3 мг/дм3 (р. Токташ, 2017 г.), вода относилась по этому показателю к 1 классу качества.

Минимальное содержание аммонийного азота 0,02 N-NH4 мг/дм3 отмечено в 2017 г. в воде р. Аксу. Максимум аммонийного азота 4,706 N-NH4 мг/дм3 обнаружен в 2014 г. в р. Шу (п. Кайнар), вода здесь по этому показателю характеризовалась наихудшим 6 классом качества. Среднегодовая концентрация аммонийного азота изменялась от 0,122 N-NH4 мг/дм3 (р. Шу, п. Конаев, 2023, р. Аксу, 2017г.) до 0,519 N-NH4 мг/дм3 (р. Шу, п. Кайнар, 2014 г). Следует отметить, что шуйская вода в верхнем участке по содержанию аммонийного азота практически постоянно была 2 или 3 класса качества.

Минимальные концентрации нитритного азота 0,007 N-NO2 мг/дм3 наблюдались в притоках Аксу, Токташ, Карабалта и водохранилище, а в р. Сарыкау – не обнаруживался в декабре 2015 г. Максимальное содержание этого показателя 0,210 N-NO2 мг/дм3 зафиксировано в воде р. Шу, п. Кайнар, 2014 и 2022 гг. Среднегодовые концентрации нитритного азота варьировали от 0,011 N-NO2 мг/дм3 в р. Сарыкау (в 2014, 2019 и 2023 гг.) до 0,06 N-NO2 мг/дм3 в р. Шу (п. Кайнар) в 2014 г.

По сумме минерального азота наиболее загрязненными отмечались притоки Аксу (0,16 мг/дм3, 2022 г.), р. Карабалта (3,446 мг/дм3, 2022 г.) и р. Токташ (5,387 мг/дм3, 2021 г.; 4,65 мг/дм3, 2017 г.). Среднегодовые минимумы суммы азота были отмечены в р. Сарыкау в 2023 г. и 2020 гг. – 0,696 и 0,853 мг/дм3, соответственно.

Концентрация фосфатных ионов в водных объектах очень низкая во все сезоны года многолетнего цикла вследствие низкой растворимости его соединений и интенсивным поглощением гидробионтами. И, тем не менее, их наличие в водоёме значительно влияет на развитие водных организмов и должно учитываться при определении и оценке биопродуктивности. Известно, что повышенные концентрации не только растворимых фосфатов, но и соединений азота, приводят к эвтрофированию водотоков и водоёмов. Пределы колебания

концентрации минерального фосфора изменялись от 0,000 мг/дм3 (р. Карабалта, 2019г.) до 0,154 мг/дм3 (р. Токташ, 2023 г.). Среднегодовые значения изменялись от 0,009 мг/дм3 в р. Шу (п. Конаев) в 2020 г. до 0,095 мг/дм3 в р. Токташ, 2022 г. В воде р. Шу на участке до впадения в Тасоткель в зимний период 2022 г. было зафиксировано аномально высокое содержание фосфатных ионов 1,000 мг/дм3 (20 ПДК), среднегодовое превышение составило 2,4ПДК, скорее всего из-за поступления более загрязнённых фосфатами промышленных сточных вод. Превышение содержания фосфатных ионов в шуйской воде в этом створе до 10,4 ПДК было также отмечено и другими авторами в феврале 2008 г. (Бурлибаев и др., 2019). В бассейне р. Шу за весь исследуемый период концентрация фосфатов в большинстве случаев не превышала ПДК. Превышение ПДК было отмечено лишь в р. Шу (п. Кайнар) в 1,22 раза весной 2020 г. и осенью 2022 г.

В Тасоткельском водохранилище в 1985–1987 гг. режим биогенных соединений был стабильным: среднегодовые по нитритному азоту от 0,003 до 0,017 N-NO2 мг/дм3, по нитратному – от 0,029 до 0,485 N-NO3 мг/дм3, по аммонийному от 0,016 до 0,48 N-NH4 мг/дм3, по фосфатам от 0,025 до 0,069 мг/дм3. В летние периоды 2004 г. и 2007 г. наблюдалось повышение показателей всех азотных соединений: нитраты до 0,768 N-NO3 мг/дм3 в 2004 г., нитриты до 0,027 N-NO2 мг/дм3 в 2007 г. С 2007 г. до 2014 г. постоянно наблюдалось превышение ПДК по нитритам и в последующий период (рис. 2). Так, среднегодовые и сезонные показатели всегда выше в 1,1–4,0 раза, причем максимум был зафиксирован во все сезоны года, кроме лета. Далее эта тенденция сохранялась и по нитратам, шло постоянное их повышение загрязнения с максимумом среднегодового показателя 1,797 N-NO3 мг/дм3 при сумме азота 1,98 мг/дм3. В водохранилище Тасоткель второй пик наблюдался в 2021 г. 1,653 N-NO3 мг/дм3 нитратного азота с суммой азота 2,11 мг/дм3.

Таблица 1. Предельные значения концентрации азотных соединений и фосфора в р. Шу и Тасоткельском водохранилище

Годы	Значение	Нитритный ион		Нитратный ион		Аммонийный ион		PO_4^{3-}
		$N\text{-}NO_2^-$ мг / дм^3	мг/дм^3	$N\text{-}NO_3^-$ мг / дм^3	мг/дм^3	$N\text{-}NH_4^+$ мг /дм^3	мг/дм^3	мг/дм^3
р. Шу (п. Кайнар)								
2014	min	0,010	0,033	0,034	0,133	0,070	0,090	0,005
	max	0,200	0,657	2,260	10,008	4,706	6,050	0,035
2015	min	0,007	0,023	1,400	6,199	0,070	0,090	0,008
	max	0,082	0,025	2,280	10,096	0,910	1,170	0,068
2016	min	0,007	0,023	1,080	4,783	0,086	0,111	0,009
	max	0,100	0,329	2,320	10,274	0,660	0,849	0,027
2017	min	0,007	0,023	1,190	4,270	0,023	0,030	0,014
	max	0,050	0,164	2,330	10,318	0,397	0,510	0,024
2019	min	0,010	0,033	1,490	6,598	0,054	0,069	0,010
	max	0,110	0,361	2,500	11,071	0,684	0,879	0,022
2020	min	0,007	0,023	1,200	5,314	0,101	0,130	0,008
	max	0,105	0,345	2,030	8,990	1,042	1,340	0,061
2021	min	0,020	0,066	1,220	5,403	0,101	0,130	0,010
	max	0,170	0,559	2,420	10,717	1,462	1,880	0,080
2022	min	0,010	0,033	0,620	2,746	0,031	0,040	0,010
	max	0,210	0,690	2,260	10,008	1,322	1,700	1,000
2023	min	0,014	0,046	0,860	3,809	0,047	0,060	0,008
	max	0,098	0,322	2,850	12,621	0,810	1,041	0,083
водохранилище Тасоткель								
1985	лето	0,016	0,053	0,343	1,519	0,179	0,230	0,045
1986 г	min	0,009	0,030	0,056	0,248	0,000	0,000	0,041
	max	0,026	0,085	0,420	1,860	0,480	0,617	0,069
1987	min	0,000	0,001	0,029	0,128	0,016	0,021	0,025
	max	0,013	0,043	0,485	2,148	0,077	0,099	0,053
2004	лето	0,021	0,069	0,768	3,401	0,290	0,373	0,035
2007	лето	0,027	0,089	0,519	2,298	0,155	0,199	0,038
2014	min	0,019	0,062	1,514	6,705	0,086	0,111	0,010
	max	0,048	0,158	1,990	8,813	0,156	0,201	0,015
2015	min	0,021	0,069	0,470	2,081	0,054	0,069	0,007
	max	0,039	0,128	2,110	9,344	0,156	0,201	0,046
2017	min	0,007	0,023	0,930	4,119	0,062	0,080	0,005
	max	0,028	0,092	2,140	9,477	0,117	0,150	0,021
2019	min	0,021	0,069	1,130	5,004	0,047	0,060	0,010
	max	0,038	0,125	1,720	7,617	0,179	0,230	0,010
2020	min	0,020	0,066	0,770	3,410	0,109	0,140	0,007
	max	0,038	0,125	1,560	6,908	0,684	0,879	0,015
2021	min	0,007	0,023	1,130	5,004	0,124	0,159	0,010
	max	0,065	0,214	2,800	12,400	0,684	0,879	0,010
2022	min	0,013	0,043	0,150	0,664	0,031	0,040	0,010
	max	0,063	0,207	1,500	6,643	0,327	0,420	0,052
2023	min	0,007	0,023	0,270	1,196	0,078	0,100	0,005
	max	0,120	0,394	1,640	7,263	0,264	0,339	0,020
р. Шу (п. Конаев)								
2019	min	0,020	0,066	0,990	4,384	0,050	0,064	0,010
	max	0,026	0,085	1,630	7,218	0,179	0,230	0,013
2020	min	0,016	0,053	0,900	3,986	0,190	0,244	0,006
	max	0,028	0,092	1,960	8,680	0,740	0,951	0,015
2021	min	0,010	0,033	0,900	3,986	0,078	0,100	0,010
	max	0,065	0,214	2,370	10,496	0,544	0,699	0,070
2022	min	0,010	0,033	0,470	2,081	0,031	0,040	0,010
	max	0,065	0,214	2,330	10,318	0,436	0,561	0,076
2023	min	0,012	0,039	1,020	4,517	0,031	0,040	0,005
	max	0,043	0,141	2,710	12,001	0,249	0,320	0,058
	ПДК	0,020	0,080	9,100	40,45	0,390	0,500	0,050

Таблица 2. Предельные значения концентрации азотных соединений и фосфора в р. Аксу, Карабалта, Токташ и Сарыкау

Годы	Значение	Нитритный ион		Нитратный ион		Аммонийный ион		PO_4^{3-}
		$N\text{-}NO_2^-$ мг/дм^3	мг/дм^3	$N\text{-}NO_3^-$ мг/дм^3	мг/дм^3	$N\text{-}NH_4^+$ мг / дм^3	мг/дм^3	мг/дм^3
р. Аксу								
2014	min	0,007	0,023	0,840	3,720	0,078	0,100	0,008
	max	0,016	0,053	2,390	10,584	0,218	0,280	0,030
2015	min	0,007	0,023	0,900	3,986	0,078	0,100	0,008
	max	0,061	0,200	1,850	8,193	0,304	0,391	0,035
2016	min	0,010	0,033	0,880	3,897	0,040	0,051	0,007
	max	0,040	0,131	2,140	9,477	0,390	0,501	0,028
2017	min	0,010	0,033	1,020	4,517	0,020	0,026	0,007
	max	0,060	0,197	2,310	10,239	0,020	0,026	0,026
2019	min	0,010	0,033	1,240	5,491	0,060	0,077	0,007
	max	0,020	0,066	1,780	7,883	0,340	0,437	0,020
2020	min	0,010	0,033	0,430	1,904	0,080	0,103	0,008
	max	0,030	0,099	1,690	7,484	0,580	0,746	0,020
2021	min	0,010	0,033	0,600	2,657	0,100	0,129	0,008
	max	0,030	0,099	2,300	10,186	0,510	0,656	0,090
2022	min	0,010	0,033	0,100	0,443	0,050	0,064	0,009
	max	0,030	0,099	1,690	7,484	0,540	0,694	0,066
2023	min	0,007	0,023	0,340	1,506	0,047	0,060	0,006
	max	0,055	0,181	2,120	9,388	0,272	0,350	0,054
р. Карабалта								
2014	min	0,007	0,023	0,610	2,701	0,101	0,130	0,005
	max	0,034	0,112	2,620	11,603	0,218	0,280	0,025
2015	min	0,007	0,023	0,480	2,126	0,078	0,100	0,007
	max	0,029	0,095	1,830	8,104	0,381	0,490	0,023
2016	min	0,007	0,023	0,660	2,923	0,054	0,070	0,006
	max	0,036	0,118	1,940	8,591	0,389	0,500	0,028
2017	min	0,009	0,030	1,070	4,738	0,054	0,070	0,008
	max	0,021	0,069	2,570	11,381	0,194	0,250	0,052
2019	min	0,007	0,023	0,900	3,986	0,070	0,090	0,000
	max	0,098	0,322	1,990	8,813	0,583	0,750	0,015
2020	min	0,007	0,023	0,130	0,576	0,086	0,110	0,005
	max	0,028	0,092	2,010	8,901	0,366	0,470	0,081
2021	min	0,007	0,023	0,290	1,284	0,078	0,100	0,006
	max	0,030	0,099	2,420	10,717	0,669	0,860	0,082
2022	min	0,007	0,023	0,140	0,620	0,070	0,090	0,005
	max	0,059	0,194	2,430	10,761	0,957	1,230	0,063
2023	min	0,007	0,023	0,540	2,391	0,047	0,060	0,008
	max	0,040	0,131	2,190	9,698	0,272	0,350	0,071
р. Токташ								
2014	min	0,007	0,023	0,450	1,993	0,110	0,141	0,010
	max	0,053	0,174	2,750	12,178	0,310	0,399	0,035
2015	min	0,007	0,023	0,220	0,974	0,070	0,090	0,008
	max	0,026	0,085	2,390	10,584	0,410	0,527	0,048
2016	min	0,009	0,030	0,640	2,834	0,080	0,103	0,014
	max	0,045	0,148	3,390	15,013	0,460	0,591	0,028
2017	min	0,010	0,033	1,020	4,517	0,070	0,090	0,005
	max	0,040	0,131	4,130	18,290	0,480	0,617	0,090
2019	min	0,007	0,023	0,950	4,207	0,160	0,206	0,015
	max	0,026	0,085	3,900	17,271	0,640	0,823	0,076

Годы	Значение	Нитритный ион		Нитратный ион		Аммонийный ион		PO_4^{3-}
		$N\text{-}NO_2^-$ мг/дм^3	мг/дм^3	$N\text{-}NO_3^-$ мг/дм^3	мг/дм^3	$N\text{-}NH_4^+$ мг / дм^3	мг/дм^3	мг/дм^3
2020	min	0,012	0,039	0,180	0,797	0,110	0,141	0,025
	max	0,100	0,329	2,620	11,603	0,560	0,720	0,086
2021	min	0,007	0,023	0,510	2,259	0,080	0,103	0,009
	max	0,047	0,154	3,800	16,828	1,540	1,980	0,138
2022	min	0,007	0,023	0,440	1,949	0,080	0,103	0,020
	max	0,039	0,128	2,150	9,521	0,620	0,797	0,280
2023	min	0,007	0,023	0,300	1,329	0,050	0,064	0,006
	max	0,100	0,329	2,980	13,197	0,720	0,926	0,154
р. Сарыкау								
2014	min	0,007	0,023	0,190	0,841	0,101	0,130	0,005
	max	0,037	0,122	2,570	11,381	0,210	0,270	0,015
2015	min	0,000	0,000	0,150	0,664	0,101	0,130	0,008
	max	0,037	0,122	1,690	7,484	0,397	0,510	0,025
2016	min	0,007	0,023	0,370	1,639	0,047	0,060	0,008
	max	0,026	0,085	1,850	8,193	0,381	0,490	0,026
2017	min	0,007	0,023	0,900	3,986	0,062	0,080	0,013
	max	0,030	0,099	1,930	8,547	0,327	0,420	0,060
2019	min	0,010	0,033	0,410	1,816	0,120	0,160	0,020
	max	0,020	0,066	2,260	10,008	0,460	0,590	0,030
2020	min	0,010	0,023	0,230	1,019	0,120	0,160	0,010
	max	0,030	0,108	1,400	6,200	0,350	0,450	0,020
2021	min	0,010	0,033	0,210	0,930	0,120	0,150	0,010
	max	0,030	0,099	1,400	6,200	0,480	0,620	0,400
2022	min	0,010	0,033	0,330	1,461	0,050	0,070	0,010
	max	0,040	0,131	2,300	10,186	0,780	1,000	0,060
2023	min	0,010	0,033	0,270	1,196	0,090	0,110	0,010
	max	0,020	0,066	0,950	4,207	0,260	0,330	0,050

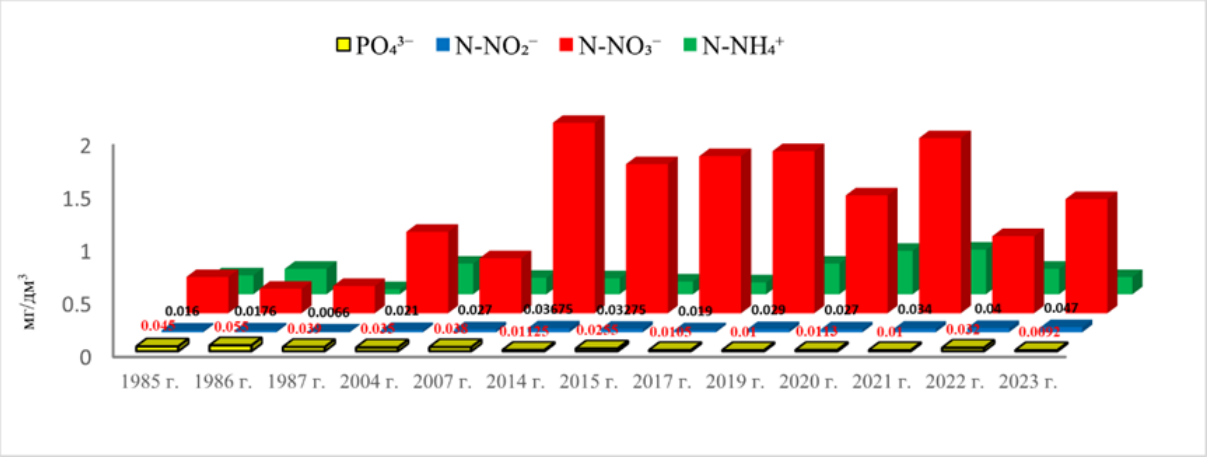

Рис. 2. Изменение среднегодового содержания соединений азота и фосфора в воде Тасоткельского водохранилища, 1985–2023 гг.

В воде р. Шу на участке до впадения в Тасоткель (п. Кайнар) всегда наблюдалось повышенное содержание всех форм минерального азота (рис. 3).

Среднегодовой показатель за исследуемый период нитратного азота был 1,7607 N-NO3 мг/дм3, от минимума в 0,034 в 2014 г. до 2,85 N-NO3 мг/дм3 в 2023 г. Среднемноголетняя концентрация аммонийного азота была 0,335 N-NH4 мг/дм3, изменяясь в пределах от 0,070 в 2015 г. до 1,462 N-NH4 мг/дм3 в 2021 г. В шуйской воде было зафиксировано самое большое содержание ионов аммония 4,71 мг/дм3 в 2014 г. Превышения ПДК азота аммонийного чаще отмечались в зимние периоды (в 1,8 раза) и иногда в осенние (2015, 2020 и 2021 гг.). По нитритам в многолетнем цикле среднегодовой показатель равнялся 0,046 N-NO2 мг/дм3, при колебаниях значений от 0,007 в 2014–2015 гг. до 0,21 N-NO2 мг/дм3 в 2022 г. За весь период исследования значительные превышения ПДК нитритов до 8,0 раз было весной 2021 г., до 10 раз весной 2014 г. и осенью 2022 года, а в остальные сезоны многолетнего цикла кроме лета превышение было меньшее (1,1ПДК– 5,0ПДК). Экстремально высокая концентрация нитритов в воде р. Шу 0,580 N-NO2 мг/дм3 была зафиксирована весной в 2007 г. (Бурлибаев и др., 2019). А в летний период 2009 г. содержание нитритного азота в шуйской воде не превышало 1,5 ПДК (Матвеева и др., 2010).

В воде р. Шу (п. Кайнар) среднемноголетний уровень содержания фосфора был 0,035 мг/дм3, при колебаниях от 0,005 мг/дм3 в 2014 г. до 0,083 мг/дм3 в 2023 г, обусловленных потреблением и регенерацией фосфора. По фосфатам редко было небольшое превышение ПДК, лишь весной 2020 г. (1,1 ПДК) и осенью 2022 г. (1,2 ПДК). Следует отметить факт очень высокого содержания минерального фосфора в шуйской воде, которая поступала зимой 2022 г. с территории сопредельного государства Кыргызстан, 1,000 мг/дм3. В этот период качество воды стало худшего 4 класса.

Процессы потребления и регенерации фосфора трудно разграничимы. Большая часть утилизированных фосфатов в процессе обмена веществ в организмах быстро возвращается обратно в воду. В некоторых случаях это связано с бурным развитием зоопланктона. По данным исследователей (Кузнецов, 1970; Halder, Barthakur, 1976) лишь 7-10% поступающего в водоём фосфора остаётся в растворённом состоянии, остальная часть осаждается на дно.

На реке Шу гидропост в п. Конаев появился только в 2019 г. Изменение концентрации соединений азота здесь происходило в более узких и меньших пределах, чем на участке у п. Кайнар. Среднегодовой показатель за период 2019–2023 гг. нитратного азота составлял 1,488 N-NO3 мг/дм3, от минимума 0,470 в 2022 г. до 2,710 N-NO3 мг/дм3 в 2023 г. Среднемноголетняя концентрация аммонийного азота была 0,195 N-NH4 мг/дм^3, изменяясь в пределах от 0,031 в 2022 г. до 0,544 N-NH4 мг/дм3 в 2021 г. Превышения ПДК азота аммонийного было отмечено только в 2021 г. (1,4 ПДК) и 2022 г. (1,1 ПДК). По нитритам в многолетнем цикле среднегодовой показатель равнялся 0,025 N-NO2 мг/дм3,

при колебаниях значений от 0,010 в 2021–2023 гг. до 0,065 N-NO2 мг/дм3 в 2023 г. Превышение содержания нитритов до 3,3 ПДК отмечалось лишь весной и осенью, а меньшие превышения их ПДК чаще отмечались зимой.

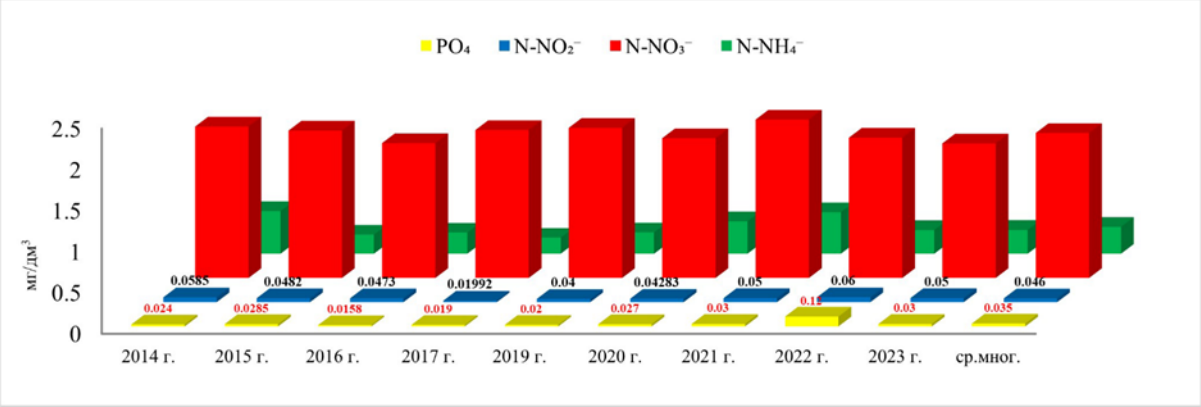

Рис. 3. Изменение среднегодового содержания соединений азота и фосфора в воде реки Шу (п. Кайнар), 2014–2023 гг.

В воде р. Шу (п. Конаев) среднемноголетний уровень содержания фосфора был 0,019 мг/дм3, при колебаниях от 0,005 мг/дм3 в 2023 г. до 0,076 мг/дм3 в 2022 г. По фосфатам в редких случаях (в четырех из 44) наблюдалось небольшое превышение ПДК, в 1,1–1,4 раза в последние три года исследования.

Для сезонного хода минеральных форм биогенных элементов в р. Шу (п. Кайнар) повсеместно характерен летний минимум, а максимумы различались для разных соединений. Так, для аммонийного азота отмечались зимне-осенние пики среднегодовых концентраций, кроме 2014 г., когда весной наблюдался максимум 7,5ПДК (рис. 4).

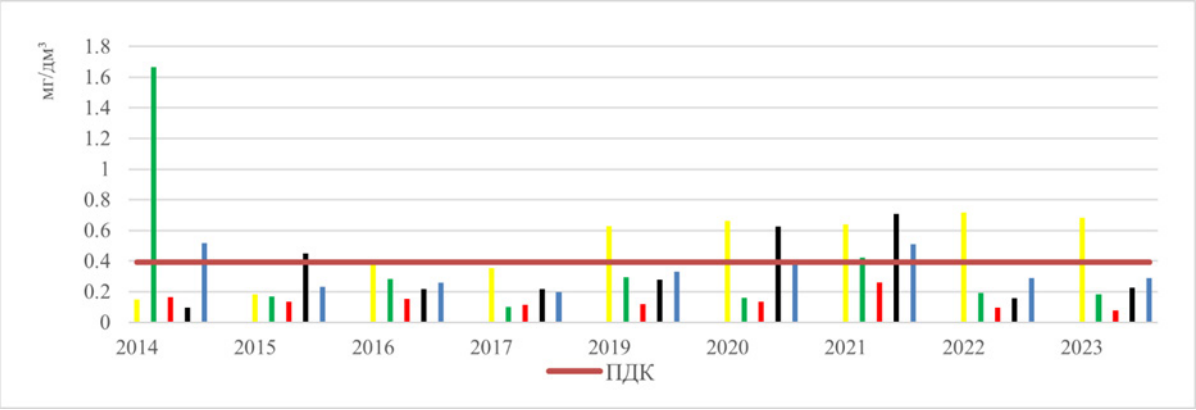

Рис. 4. Изменение содержания аммонийного азота в воде р. Шу (п. Кайнар) в различные сезоны года, 2014–2023 гг.

Условные обозначения: красный цвет – лето; желтый – зима; зелёный – весна; чёрный – осень; синий – среднегодовой

Содержание нитритного азота превышало её предельно-допустимую концентрацию во все сезоны, кроме летних периодов (рис. 5). Наибольшие колебания нитритного азота с пиками показателей отмечены весной и осенью, с максимумом 6,0 ПДК осенью 2022 г.

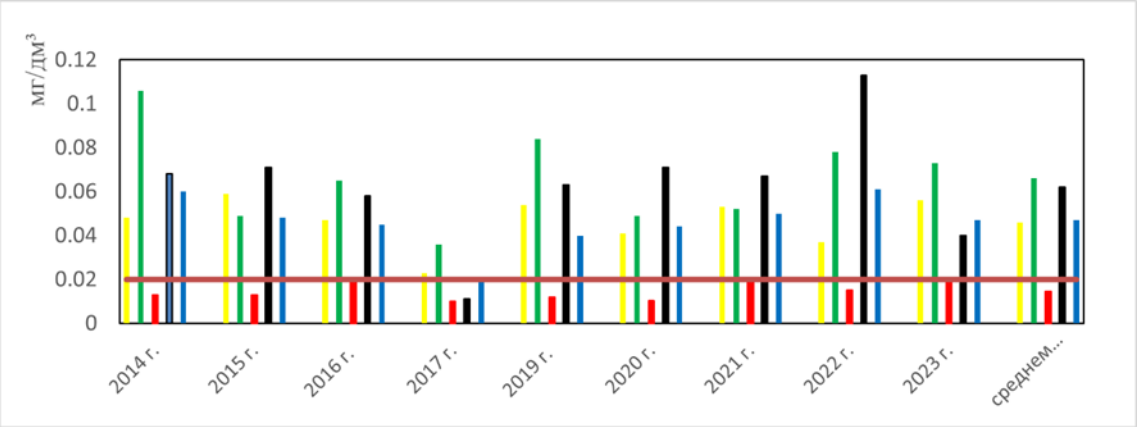

Рис. 5. Изменение содержания нитритного азота в воде р. Шу (п. Кайнар) в различные сезоны года, 2014–2023 гг.

Условные обозначения: указаны на рис. 4

Колебания для нитратного азота не настолько явные, как у нитритного и аммонийного азота, но характерны весенние (7 из 9 лет) и зимние (5 из 9) максимумы. При этом не отмечены превышения ПДК. Летние минимумы наблюдались во все годы кроме 2014 и 2015 гг.

Небольшое превышение ПДК фосфатов отмечено весной 2020 г. в 1,2 раза и 2022 г. осенью в 1,1 раза. Выраженные колебания среднесезонных показателей с максимумами отмечались весной (5 из 9) и осенью (4 из 9), и только в 2015 и 2021 гг. – зимой. В летние периоды почти всегда наблюдался минимум содержания фосфатов (кроме 2014 г.).

В Тасоткельском водохранилище для аммонийного, нитратного азота и фосфора характерны осенние минимумы. Для нитратов отмечались максимумы в зимний и летний периоды, не превышающие ПДК.

Наибольшие концентрации аммонийного азота зафиксированы зимой (кроме лета 2021 г.), а в 2020 и 2021 гг. было превышение ПДК, соответственно, в 1,3 и 1,1 раза, вода становится 2,3 класса качества. Наибольшие колебания содержания выявлены для нитритного азота с пиками показателей практически во все сезоны года до 4,0 ПДК (рис. 6). В 1985–2004 гг. сотрудниками института зоологии определены содержания нитритного азота в воде Тасоткеля, не превышающие ПДК или равные норме 0,02 N-NO2 мг/дм3 (Крупа, 2012).

Анализируя данные по изменению содержания минеральных форм азота в воде объектов в различные сезоны года многолетнего цикла, можно

заключить, что процессы превращения ионов NO3- ▫NO2- ▫ NH4+ (нитрификации, аммонизации) протекают одновременно в обоих направлениях с различной скоростью.

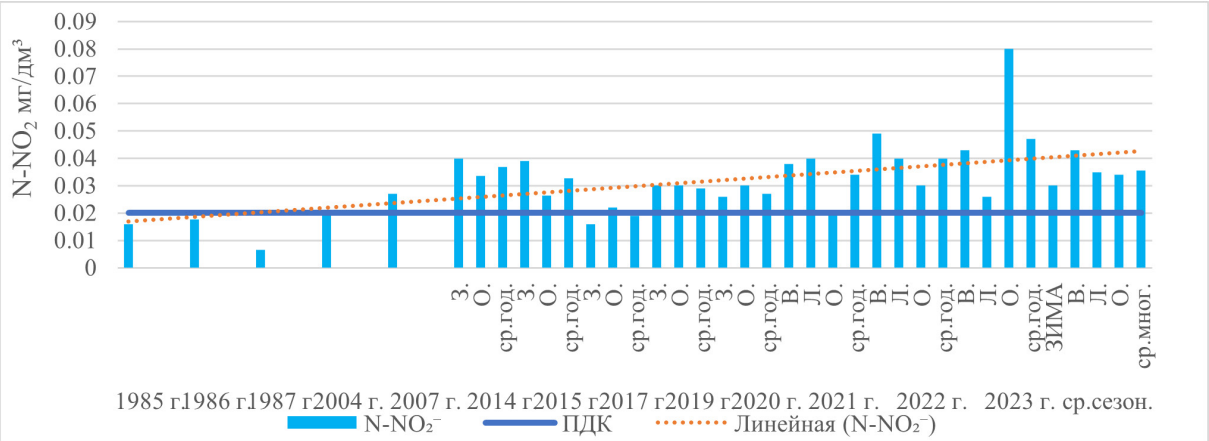

Рис. 6. Изменение содержания нитритного азота в воде Тасоткельского водохранилища, 1985–2023 гг.

Условные обозначения: З – зима, В – весна, Л – лето, О – осень.

В течение исследуемого периода превышение ПДК по фосфатам в водохранилище нами выявлено не было, 0,005–0,052 мг/дм3. Обнаружены выраженные колебания среднесезонных показателей с максимумами весной (5 сезонов из 9) и осенью (4 сезона из 9), и только в 2015 и 2021 гг. – зимой. В летний период содержание фосфатных ионов было минимальным. В 2015–2020 гг. содержание фосфатов изменялось в более узких пределах (0,007–0,012 мг/дм3). По данным Бурлибаева М.Ж. в феврале 2012 г. в Тасоткельском водохранилище фосфатных ионов было обнаружено 2,61 мг/дм3, т.е. 52,2 ПДК (Бурлибаев, 2019).

Исследование изменения содержания биогенных элементов по течению р. Шу позволило выявить следующее. Максимальные среднегодовые показатели по всем соединениям азота и фосфора наблюдались в воде верхнего участка у п. Кайнар: нитратный азот 1,640–1,931 N-NO3 мг/дм3; азот аммонийный 0,196–0,519 N-NH4 мг/дм3; нитритный азот 0,020 – 0,062 N-NO2 мг/дм3; фосфор 0,016–0,120 мг/дм3 (рисунок 7).

Максимальные среднегодовые показатели соединений азота и фосфора в шуйской воде в нижнем участке несколько ниже, чем в верхнем участке. Вода р. Шу у п. Конаев, протекая через водохранилище, несколько обедняется нитратным, нитритным, аммонийным азотом и фосфатами в среднем на 0,940, 0,031, 0,253 мг/дм3 и 0,016 мг/дм3, соответственно. Это являлось следствием поглощения азота и фосфора гидробионтами и участием этих соединений в физико-химических процессах. Другими словами, можно констатировать факт

явного улучшения состояния воды по указанным биогенным элементам, которые практически постоянно не превышают свои ПДК. Применяя единую систему классификации качества воды, можно констатировать, что все исследуемые водные объекты относятся в 1 классу качества по содержанию в них соединений азота и фосфора: N-NO3 (< 40 мг/дм3), N-NO2 (≤ 0,1 мг/дм3), N-NH4 (¤ 0,5 мг/дм3).

Если сопоставить данные по содержанию фосфора в воде р. Шу и других реках Казахстана: р. Ишим 0–0,286; р. Сырдарья 0,002–0,40; р. Нура 0-1,06; р. Урал 0–0,269; р. Талас 0,004–0,240 мг/л, то видно, что они несколько ниже (Бурлибаев и др., 2003; Krupa, Romanova, 2017; Krupa et al., 2019). Несмотря на то, что почвы водосборной площади рек и водохранилища содержат фосфаты и поступают промстоки в р. Шу с территории Кыргызстана, содержание фосфатов изменяется в меньших пределах. Известно, что фосфор на 70–80% прочно связывается в труднорастворимые формы почв, а 20–30% усваивается растениями и организмами.

Расчёт самоочищающей способности р. Шу проводился между участками в пунктах с. Кайнар и вторым створом у с. Конаев, весь участок протяженностью около 93 км. (таблица 3). Практически во всех случаях концентрация соединений азота и фосфора в нижнем (конечном) створе не превышает начальное содержание. По этой причине самоочищающая способность на этих участках становится положительной, степень самоочищения азота нитритного, аммонийного, нитратного и фосфора фосфатного изменялась в пределах, соответственно, 45,0–52,6%; 9,4–50,8%; 1,2–23,9% и 26,7–75,6%. В многолетнем разрезе шуйская вода лучше всего самоочищалась от соединений фосфора (57,8%), нитритного (49,0%) и аммонийного азота (35,9%). Самоочищение воды от соединений нитратного азота составлял 15,6%.

Таблица 3. Степень самоочищения шуйской воды от соединений минерального азота и фосфора, %

Год	$N\text{-}NO_2^-$	$N\text{-}NO_3^-$	$N\text{-}NH_4^+$	сумма азота	PO_4^{3-}
2019	45,0	23,9	50,8	27,6	40,0
2020	52,6	17,5	9,4	16,7	66,7
2021	48,1	14,2	40,9	20,4	26,7
2022	50,2	20,2	40,5	23,7	75,6
2023	48,3	1,2	46,0	8,9	26,7
Среднемноголетнее	49,0	15,6	35,9	19,6	57,8

Представляет интерес сопоставить данные по самоочищению воды р. Шу за предыдущие годы 2006–2009 гг. (Романова, Турсунова, 2010). Расчёт

самоочищающей способности р. Шу проводился между участками в пунктах село Кайнар и ниже города Шу. Авторами установлено, что концентрация загрязняющих веществ в нижнем створе практически постоянно превышала начальное содержание и, соответственно, самоочищающая способность на этих участках становилась отрицательной, то есть процессы загрязнения преобладали над процессами самоочищения водных масс. При этом степень самоочищения отдельных компонентов химического состава (кальция, магния, азота нитритного, сульфатов, хлоридов, железа общего) изменялись в пределах от – 767,4 % до – 42,9%.

В притоках минимальный среднегодовой показатель фосфора был в р. Сарыкау, 2020 г. и р. Карабалта, 2014 г. – 0,01 мг/дм3, а максимальный в р. Токташ – 0,095 мг/дм3, 2022 г.

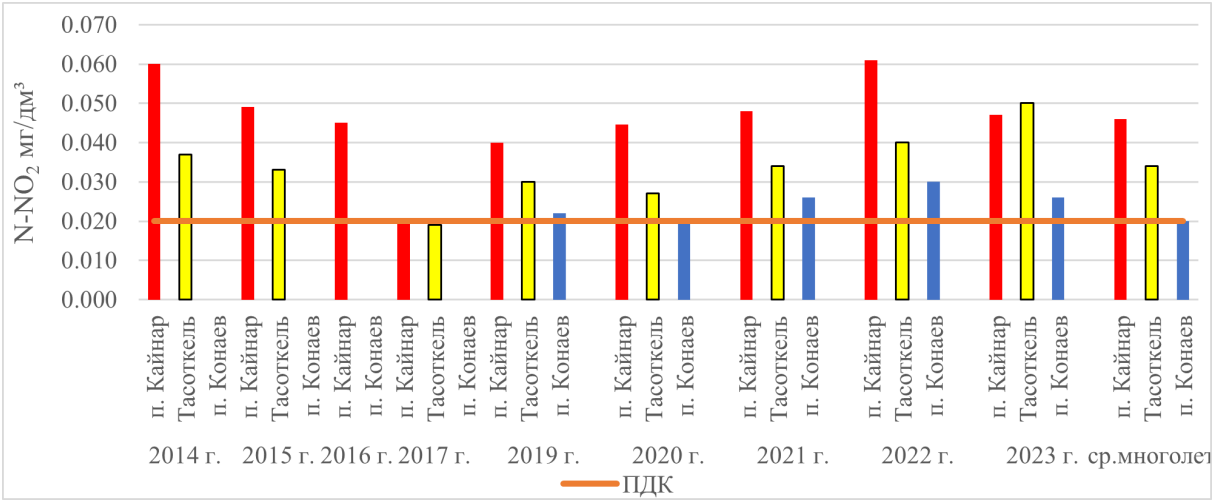

Рис. 7. Изменение содержания нитритного азота в воде р. Шу по течению и в водохранилище Тасоткель, 2014–2023 гг.

Условные обозначения: красный – р. Шу (п. Кайнар); желтый – Тасоткель; синий – р. Шу (п. Конаев)

Впадающие в Тасоткель притоки отличаются большим разнообразием концентраций суммарного азота от 3,980 мг/дм3 в р. Токташ, 2017 и 2019 гг. до 0,515 мг/дм3 в р. Сарыкау, 2023 г. (рис. 8) и фосфора от 0 мг/дм3 р. Карабалта , 2019 г. до 0,28 мг/дм3 в р. Токташ, 2023 г. Так, в р. Карабалта сумма азота была 0,93–1,86 мг/дм3; р. Токташ 1,15–2,35 мг/дм3. Река Аксу несёт воду, менее загрязнённую соединениями азота. Содержание фосфора чаще не выходило за пределы его ПДК. Среднегодовые минимумы его наблюдались в Тасоткельском водохранилище и на р. Шу у п. Конаев 0,009 мг/дм3, а максимум был 0,12 мг/дм3 – в р. Шу (п. Кайнар) только в 2022 г.

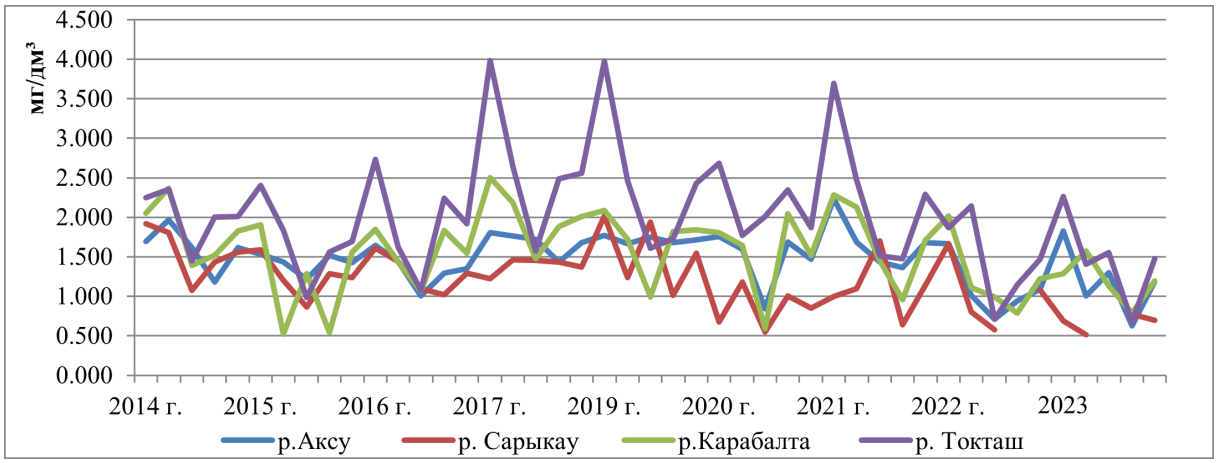

Рис. 8. Изменение содержания суммарного азота в воде рек: Аксу, Карабалта, Токташ и Сарыкау, 2014–2023 гг.

По содержанию минерального фосфора в притоках отметим следующее. Меньше всего его содержится в р. Аксу, были небольшие пики в зимне-весенние периоды 2021–2023 гг. В воде р. Сарыкау (только 1 раз было превышение 1,8ПДК зимой 2017 г.). В р. Карабалта наблюдались незначительные превышения ПДК в 2017 и 2020–2023 гг. 1,26–1,64 ПДК в тёплое время года (летом и весной). Самой загрязнённой фосфатами оказалась р. Токташ, начиная с 2017 г. отмечены частые превышения ПДК 1,5–5,6 раза в разные сезоны года, оставаясь в пределах 1 класса качества.

В Тасоткельском водохранилище все минеральные формы азота меньше, чем в самой реке Шу: нитратный азот 0,73–1,80 N-NO3 мг/дм3; аммонийный и нитритный азот, соответственно, 0,11–0,42 N-NH4 мг/дм3 и 0,02–0,05 N-NO2 мг/дм3. Вода по соединениям азота и фосфора практически постоянно 1 класса качества, лишь в 2020 г и 2021 г по аммонийному азоту становится 2 класса качества.

Одной из причин загрязнения воды реки Шу, Тасоткеля и их притоков соединениями азота и фосфора являлось поступление условно чистых промышленных и хозяйственно-бытовых и сельскохозяйственных сточных вод, сбрасываемых в реку Шу и ее притоки с промышленного региона Кыргызской Республики. Имелись также источники загрязнения, расположенные в водоохранной зоне и прибрежной полосе этих водных объектов. Так, по всему течению реки Шу наблюдался размыв и обрушение берегов, расположение ферм и ремонтных стоянок техники и сельскохозяйственных отходов, автосервисные комплексы, кирпичный завод и предприятия малого бизнеса. Нельзя игнорировать изношенность канализационных трубопроводов, приводящую к очагам загрязнения воды во многих населенных пунктах. По данным Департамента

экологии по Жамбылской области фактические сбросы загрязняющих веществ с отводимыми сточными водами с 2014 г. до 2021 г. постепенно возрастали от 5,37 до 17,2 тыс. тонн. (Национальный доклад…). А доля загрязняющих веществ в промышленных сбросах составляла в 2014 г 23% от общего сброса, а к 2021г стала 52% от общего сброса, причем объем водоотведения промстоков был в 4,2 раза меньше хозяйственно-бытовых.

Исходя из многолетних данных по содержанию соединений азота и фосфора можно предположить с большой долей вероятности, что р. Шу в пункте п. Кайнар и ее притоки, граничащие с Кыргызстаном, испытывали точечную нагрузку, а на территории Казахстана – в большей степени – диффузную нагрузку.

5. Выводы

В воде объектов казахстанской части Западного Тянь-Шаня в период 2014–2023 гг. содержание нитратного азота изменялось в пределах от 0,029 до 18,290 N-NO3 мг/дм3; аммонийного азота от 0 до 4,760 N-NH4 мг/дм3, нитритного азота от 0 до 0,200 N-NO2 мг/дм3, фосфатного фосфора от 0 до 1,000мг/дм3. Из соединений азота преобладал нитратный, 82–86% от суммы азота, однако превышения ПДК для водоёмов рыбохозяйственного назначения не выявлено. На долю аммонийного и нитритного азота приходилось, соответственно, 12–17% и 0,8–2,1% от суммы азота. При этом превышение их ПДК наблюдалось практически во все сезоны года (1,2–3,0 раза), что связано с влиянием сбросов промышленных, хозяйственно-бытовых и сельскохозяйственных сточных вод, а также нарушения режима хозяйственной деятельности водоохранной зоны и полосы. Так, в 2014 г. сброс стоков в поверхностные водоемы Жамбылской области составлял 186,9 тыс. м3 с объемом загрязняющих веществ 5,37 тыс. тонн (Национальный доклад…).

По течению реки Шу максимальные среднегодовые показатели по всем соединениям азота наблюдались в воде у п. Кайнар: нитратный азот 1,640–1,931 N-NO3 мг/дм3; азот аммонийный 0,200–0,521 N-NH4 мг/дм3; нитритный азот 0,020–0,061 N-NO2 мг/дм3, т.е. шуйская вода, поступая из Кыргызстана, уже содержала повышенные концентрации азота и фосфора. В Тасоткельском водохранилище все минеральные формы азота меньше, чем в самой реке Шу: нитратный азот 0,730–1,800 N-NO3 мг/дм3; аммонийный и нитритный азот, соответственно, 0,110–0,421 N-NH4 мг/дм3 и 0,020–0,050 N-NO2 мг/дм3. Впадающие в Тасоткель притоки имели большие предельные концентрации нитратного азота, кроме р. Аксу. Наиболее загрязнёнными были Карабалта 0,930–1,860 N-NO3 мг/дм3 и р. Токташ 1,150–2,350 N-NO3 мг/дм3. Река Аксу несёт воду, менее загрязнённую соединениями азота. Вода р. Шу у п. Конаев несколько обедняется нитратным, нитритным и аммонийным азотом в среднем на 0,940, 0,030 и 0,250 мг/дм3,

соответственно. Это являлось следствием поглощения азота гидробионтами и участием его соединений в физико-химических процессах.

За исследуемый период из года в год происходило постепенное увеличение содержания соединений азота и фосфора, что отражало возрастающую роль антропогенного фактора на водные объекты (поступление стоков с водосборной площади, забор воды на орошение и др.). Самоочищение водных масс шуйской воды наблюдалось по всем соединениям: фосфора (57,8%), нитритного азота (49,0%), аммонийного азота (35,9%) и нитратного азота 15,6%. В течение исследуемого периода по среднегодовым концентрациям соединений азота и фосфора вода всех объектов сохраняла 3 класс качества, а в отдельные сезоны года – до 5 класса качества.

6. Благодарности:

Выражаем благодарность РГП «Казгидромет» за предоставление гидрохимических данных.

Исследование выполнено в рамках проекта BR24993060 «Разработка информационной системы для ведения кадастра диких животных Западного Тянь-Шаня с целью их сохранения и устойчивого использования». Проект поддержан Министерством науки и высшего образования Комитетом науки Республики Казахстан.

Список литературы

Алекин О.А. (1970). Основы гидрохимии – Л.: Гидрометеоиздат, – 444 с.

Амиргалиев Н.А., Мұсақұлқызы А., Мадибеков А.С., Исмуханова Л.Т., Султанбекова Б.М. (2024). Многолетняя динамика трансграничного притока биогенных соединений по реке Иле и его трансформация по течению реки // Гидрометеорология и экология. – №2. – С. 57–66

Атаназаров К.М. (1999) Экологическая роль биогенных элементов поверхностных вод низовьев Амударьи в условиях антропогенного пресса: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Ташкент, – 23 с.

Беремжанов Б.А., Аккошкаров О.А, Ибрагимова М.А., Романова С.М. (1973). К вопросу физико-химической характеристики воды рек Джамбулской области // Химия и химическая технология. – Алма-Ата. – Вып. 14. – С. 189–198.

Беспамятнов Г.П., Кротов Ю.А. (1985) Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник. – Л.: Химия. – 528 с.

Бурлибаев М.Ж., Кайдарова Р.К., Бурлибаева Д.М., Шенбергер К.М., Кулебаев Ш.У. (2019). О современном состоянии изменения гидрохимического режима реки Шу // Гидрометеорология и экология. Вып 2(93). – С.64–79

Бурлибаев М.Ж., Муртазин Е.Ж., Искаков Н.А. (2003). Биогенные вещества в основных водотоках Казахстана. – Алматы: Каганат. – 723 с.

Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан, 2023. https://stat.gov.kz/ru/region/zhambyl

Государственный водный кадастр Республики Казахстан. Бюллетень» Поверхностные воды суши. Каталожные данные. – Астана: Казгидромет, 2014–2023 гг.

Государственный стандарт Республики Казахстан Вода питьевая Общие требования к организации и методам контроля качества СТ РК ГОСТ Р 51232 (2003). https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293739/ 4293739359.pdf

Государственный стандарт Республики Казахстан. Вода питьевая. Отбор проб. СТ РК ГОСТ Р 51593 (2003). https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30015917&pos=22; -46#pos= 22; -46

Джуманиязова Ш.И., Мамбетуллаева С.М., Комилжонова С.Х., Розметова Б.О. (2022) Экологические условия функционирования водных экосистем Хорезмской области Узбекистана // Universum: химия и биология. №9–1 (99). – С. 32–37. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-usloviya-funktsionirovaniya-vodnyh-ekosistem-horezmskoy-oblasti-uzbekistana (дата обращения: 09.04.2025).

Единая система классификации качества воды в водных объектах. Приказ Председателя Комитета по водным ресурсам Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан от 9 ноября 2016 года № 151. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 13 декабря 2016 года № 14513.

Есембекова Г.Б., Есенгелдиева Л.К. (2019) Водный и солевой режим серозёмных почв юга Казахстана. – Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова. – г. Шымкент. – 180 с.

Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды. Выпуски с 2014 по 2023 гг.– Астана: Департамент экологического мониторинга МЭПР РК Казгидромет, 2014–2023 гг.

Калинин, М.Ю. (2001) Водные ресурсы Белорусского Полесья: использование и охрана/ М.Ю. Калинин, А.А. Волчек // Природные ресурсы: Межведомственный бюллетень. – 4. – С. 35–49.

Корнюхова О.В. (2020) Мониторинг и оценка качества поверхностных вод // Сборник статей, посвященный 100-летию со дня образования Гидрохимического института, «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». Часть 1. – Ростов-на-Дону. – С. 155–160

Крупа Е.Г. (2012) Зоопланктон лимнических и лотических экосистем Казахстана. Структура, закономерности формирования. – Saarbrucken: Palmarium Academic Publishing. – 346 с.

Крупа Е.Г., Романова С.М. (2017). Гидрохимия водоемов бассейна реки Арысь на территории Южно-Казахстанской области // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. –Т.4. – № 424. – С. 77–89.

Кузнецов С.И. (1970) Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность. – Л.: Наука ЛО. – 440 с.

Маматканов Д.М., Бажанова Л.В., Романовский В.В. (2006) Водные ресурсы Кыргызстана на современном этапе. – Бишкек: Илим. – 276 с.

Матвеева И.В., Уралбеков Б.М., Абишев Т.Б., Алькенова Г.Т., Буркитбаев М.М. (2010) Химическая характеристика природных вод долины реки Шу // Вестник КазНУ серия химическая. – 2(58). – С. 238–244.

Методические рекомендации по комплексной оценке качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям / Под ред. М.Ж. Бурлибаева. Астана, 2012. – 80 с.

Методические рекомендации по применению единой системы классификации качества воды в водных объектах Республики Казахстан / Утверждена Приказом Председателя КВР МСХ РК от 9.11.2016 г. №151.

Мустафаев Ж. (2023) Ландшафтно-экологическое районирование бассейна реки Шу// Гидрометеорология и экология. – (4). – С. 17–28.

Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Камалиев А.М. (2019) Климатический профиль водосборного бассейна реки Шу // Гидрометеорология и экология. – №2 (93). – С. 41–54.

Мухамеджанов М.А., Тлеуова Ж.Т. (2024) Экологические проблемы и загрязнение питьевых подземных вод Южного Казахстана // Водные ресурсы. – Алматы. Т. 28. – 135 с.

Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2023 год https://ecogosfond.kz/orhusskaja-konvencija/dostup-k-jekologicheskoj-informacii/jekologijaly-zhadaj/r-orsha-an-ortany-zhaj-k-ji-turaly-ltty-bajandamalar/

Никаноров А.М. (2008) Гидрохимия. – Изд. 3-е, перераб и дополн., СПб.: Гидрометеоиздат. – 462 с.

Никаноров А.М. (2011) Региональная гидрохимия. – Ростов-на-Дону: Изд-во НОК. – 389 с.

Никаноров А.М., Брызгало В.А., Решетняк О.С. (2012) Реки России в условиях чрезвычайных экологических ситуаций. – Ростов-н/Д.: Изд-во «НОК». – 310 с.

Решетняк О.С. (2015) Экологические последствия химического загрязнения речных экосистем Европейской территории России // Чистая вода России-2015: 248 сб. мат. XIII международного симпозиума и выставки «Чистая вода России». – Екатеринбург: Изд-во ФГУП РосНИИВХ. – С. 276-281.

Романова С.М., Ляшенко Л.В., Кайдарова Р.К. (1986) Оценка качества поверхностных вод Южного Казахстана // В кн.: Физико-химические основы переработки минерального сырья Казахстана. – Алма-Ата. – С. 59–65.

Романова С.М., Турсунова А.А. (2010). К вопросу о самоочищающей способности речных вод Казахстана // Гидрометеорология и экология. – № 2(57). – С. 67–77.

Романова С.М., Крупа Е.Г., Серикова А.С. (2024). Соединения азота и фосфора в водных объектах казахстанской части бассейна р. Иртыш // Вестник КазНУ Серия экологическая.– №2 (79). – С. 21–31. https://doi.org/10.26577/EJE.2024.v79.i2-02

Сейтказиев А.С., Маймакова А.К. (2020) Экологическая оценка исследуемого участка сероземных почв Жамбылской области // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 3(91). – С. 281–285.

Семенов А.Д. (1977) Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеоиздат. – 541 с.

Справочник по гидрохимии (под ред. Никанорова А.М.) (1989). – Л.: Гидрометеоиздат. – 391 с.

Фомин Г.С. (1995) Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. (Энциклопедический справочник). – М.: НПО «Альтернатива». – 618 с.

Харина С.Г., Колесникова Т.П. (2009) Динамика содержания биогенных элементов в воде водохранилищ агроландшафта в Амурской области // Вестник КрасГАУ. №11. – С. 120–126. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-soderzhaniya-biogennyh-elementov-v-vode-vodohranilisch-agrolandshafta-v-amurskoy-oblasti (дата обращения: 09.04.2025).

Чарыков А.К. (1984) Математическая обработка результатов химического анализа. – Л.: Химия. – 168 с.

Шашуловская Е.А., Мосияш С.А., Филимонова И.Г., Гришина Л.В. (2020) Особенности гидрохимического режима Ириклинского водохранилища (на р. Урал) в различные по водности годы // Сборник статей, посвященный 100-летию со дня образования Гидрохимического института, «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». Часть 1. – Ростов-на-Дону. – С.178–182.

*Byrnes D.K., Van Meter K.J., Basu N.B. (2020) Long-Term Shifts in U.S. Nitrogen Sources and Sinks Revealed by the New TREND-Nitrogen Data Set (1930–2017) // Global Biogeochemical Cycles. – V.34. – Issue 9. 08.24. https://doi.org/10.1029/2020GB006626

Halder B.R., Barthakur N.P. (1976) Sulpihide production in some typical rice Soils of Assam // J.Imdian Soc. Soil. Sci. – Vol. 24, № 4. – P. 387–395.

*Krupa E.G., Barinova S.S., Romanova S.M. (2019) Environmental mapping in assessing the impact of environmental factors on the aquatic ecosystem of the Arys River basin, South Kazakhstan // Diversity. – 11(12). – P. 1–16. 239 (Q2 2019)

*Van Meter K. J., Basu N.B., Van Cappelen P. (2016) Two centuries of nitrogen dynamics: Legacy sources and sinks in the Mississippi and Susquehanna River Basins// Global Biogeochemical Cycles. – Vol. 31(1). – P. 2–23. https://doi.org/10.1002/2016GB005498

Spatiotemporal variability of nitrogen and phosphorus in surface waters of the Western Tien Shan (Kazakhstan)

Rabat Makhmutova [a], Sofia Romanova [a], Aizada Serikova [a], Yerkezhan Argynbayeva [a,b]

[a] RSE “Institute of Zoology” CS MSHE RK, 93 Al-Farabi Avenue, 050060, Almaty, Kazakhstan

[b] Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Biology and Biotechnology, 71 Al-Farabi Avenue, Almaty, 050040, Kazakhstan

https://doi.org/10.29258/CAJWR/2026-R1.v12-2/43-67.rus

ABSTRACT

This article presents data on the distribution of various forms of mineral nitrogen and phosphorus in water sources of Southeastern Kazakhstan for the period from 2014 to 2023. It was found that the content and ratio of mineral nitrogen forms varied. Among nitrogen compounds, nitrates predominated, accounting for 82–86% of the total nitrogen. However, no exceedances of the maximum permissible concentrations (MPC) for water bodies of fishery importance were detected. Ammonium and nitrite nitrogen accounted for 12–17% and 0.8–2.1% of the total nitrogen, respectively. Nevertheless, exceedances of their MPC by 1.2 to 3.0 times were observed in almost all seasons. Dissolved mineral phosphorus (phosphate ions) was detected in water at all surveyed locations in low concentrations (0.005–0.0400 mg/dm^3) due to the low solubility of its compounds and intensive uptake by aquatic organisms. The most polluted areas were the tributaries of the Tasotkel Reservoir: the Shu River (near the village of Kainar) and the Toktash River. A decrease in the concentration of nitrogen and phosphorus compounds was observed from the upper to the lower reaches of the Shu River. Self-purification of the Shu River’s water masses was noted for all compounds: phosphorus (57.8%), nitrite nitrogen (49.0%), ammonium nitrogen (35.9%), and nitrate nitrogen (15.6%). Over the study period, based on average annual concentrations of nitrogen and phosphorus compounds, the water quality of all observed sites corresponded to class 1–3, with occasional seasonal drops to class 5.

ARTICLE HISTORY

Received:
18 апреля 2025
Accepted:
20 августа 2026
Published:
14 сентября 2026

KEYWORDS

nitrites, nitrates, ammonium ion, phosphates, ecology, Western Tien-Shan

CONTACT Rabat Makhmutova ✉ rabat.makhutova@zool.kz, RSE “Institute of Zoology” CS MSHE RK, 93 Al-Farabi Avenue, 050060, Almaty, Kazakhstan

References

Alekin O.A. (1970). Osnovy gidrohimii. [Fundamentals of hydrochemistry]. – L.: Gidrometeoizdat, – 444 s. [in Russian]

Amirgaliev N.A., M□sa□□l□yzy A., Madibekov A.S., Ismuhanova L.T., Sultanbekova B.M. (2024). Mnogoletnjaja dinamika transgranichnogo pritoka biogennyh soedinenij po reke Ile i ego transformacija po techeniju reki [The long-term dynamics of the transboundary inflow of biogenic compounds along the Ila River and its transformation along the river]. Gidrometeorologija i jekologija. – Hydrobiology and ecology. – №2. – S. 57–66. [in Russian]

Atanazarov K.M. (1999) Jekologicheskaja rol' biogennyh jelementov poverhnostnyh vod nizov'ev Amudar'i v uslovijah antropogennogo pressa. [The ecological role of biogenic elements of the surface waters of the lower reaches of the Amu Darya in the conditions of anthropogenic pressure]: Avtopef. dic. ... kand. biol. nauk. – Tashkent, – 23 c. [in Russian]

Beremzhanov B.A., Akkoshkarov O.A, Ibragimova M.A., Romanova S.M. (1973). K voprosu fiziko-himicheskoj harakteristiki vody rek Dzhambulskoj oblasti. [On the issue of physico-chemical characteristics of the water of the rivers of the Dzhambul region]. Himija i himicheskaja tehnologija. – Chemistry and Chemical Technology. – Alma-Ata. – Vyp. 14. – S. 189–198. [in Russian]

Bespamjatnov G.P., Krotov Ju.A. (1985) Predel'no dopustimye koncentracii himicheskih veshhestv v okruzhajushhej srede. [Maximum permissible concentrations of chemicals in the environment]. Spravochnik. – Guide. – L.: Himija. – 528 s. [in Russian]

Bjuro nacional'noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan, 2023. [Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan, 2023]. https://stat.gov.kz/ru/region/zhambyl [in Russian]

Burlibaev M.Zh., Kajdarova R.K., Burlibaeva D.M., Shenberger K.M., Kulebaev Sh.U. (2019). O sovremennom sostojanii izmenenija gidrohimicheskogo rezhima reki Shu. [On the current state of changes in the hydrochemical regime of the Shu River]. Gidrometeorologija i jekologija. Vyp 2(93). – Hydrometeorology and ecology. – S.64–79. [in Russian]

Burlibaev M.Zh., Murtazin E.Zh., Iskakov N.A. (2003). Biogennye veshhestva v osnovnyh vodotokah Kazahstana. [Biogenic substances in the main watercourses of Kazakhstan]. – Almaty: Kaganat. – 723 s. [in Russian]

*Byrnes D.K., Van Meter K.J., Basu N.B. (2020) Long-Term Shifts in U.S. Nitrogen Sources and Sinks Revealed by the New TREND-Nitrogen Data Set (1930–2017) // Global Biogeochemical Cycles. – V.34. – Issue 9. 08.24. https://doi.org/10.1029/2020GB006626

Charykov A.K. (1984) Matematicheskaja obrabotka rezul'tatov himicheskogo analiza. [Mathematical processing of chemical analysis results]. – L.: Himija. – 168 s. [in Russian]

Dzhumanijazova Sh.I., Mambetullaeva S.M., Komilzhonova S.H., Rozmetova B.O. (2022) Jekologicheskie uslovija funkcionirovanija vodnyh jekosistem Horezmskoj oblasti Uzbekistana [Ecological conditions of functioning of aquatic ecosystems of Khorezm region of Uzbekistan]. Universum: himija i biologija. – Universum: chemistry and biology №9–1 (99). – C. 32–37. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-usloviya-funktsionirovaniya-vodnyh-ekosistem-horezmskoy-oblasti-uzbekistana (data obrashhenija: 09.04.2025). [in Russian]

Fomin G.S. (1995) Voda. Kontrol' himicheskoj, bakterial'noj i radiacionnoj bezopasnosti po mezhdunarodnym standartam. [Water. Chemical, bacterial and radiation safety control according to international standards]. Jenciklopedicheskij spravochnik. – The Encyclopedic reference – M.: NPO «Al'ternativa». – 618 s. [in Russian]

Halder B.R., Barthakur N.P. (1976) Sulpihide production in some typical rice Soils of Assam // J.Imdian Soc. Soil. Sci. – Vol. 24, № 4. – P. 387–395.

Harina S.G., Kolesnikova T.P. (2009) Dinamika soderzhanija biogennyh jelementov v vode vodohranilishh agrolandshafta v Amurskoj oblasti. [Dynamics of the content of biogenic elements in the water reservoirs of the agricultural landscape in the Amur region]. Vestnik KrasGAU. –Bulletin of the Krasnoyarsk State University№11. – C. 120–126. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-soderzhaniya-biogennyh-elementov-v-vode-vodohranilisch-agrolandshafta-v-amurskoy-oblasti. (data obrashhenija: 09.04.2025). [in Russian]

Informacionnyj bjulleten' o sostojanii okruzhajushhej sredy. Vypuski s 2014 po 2023 gg. [Information bulletin on the state of the environment. Issues from 2014 to 2023]. – Astana: Departament jekologicheskogo monitoringa MJePR RK Kazgidromet, 2014–2023 gg. [in Russian]

Gosudarstvennyj vodnyj kadastr Respubliki Kazahstan. Bjulleten'» Poverhnostnye vody sushi. Katalozhnye dannye. [The State Water Cadastre of the Republic of Kazakhstan. Bulletin " Surface waters of the land. Catalog data"]. – Astana: Kazgidromet, 2014–2023 gg. [in Russian]

Gosudarstvennyj standart Respubliki Kazahstan Voda pit'evaja Obshhie trebovanija k organizacii i metodam kontrolja kachestva ST RK GOST R 51232 (2003). [State

standard of the Republic of Kazakhstan. Drinking water. General requirements for the organization and methods of quality control ST RK GOST R 51232 (2003)]. https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293739/ 4293739359.pdf [in Russian]

Gosudarstvennyj standart Respubliki Kazahstan. Voda pit'evaja. Otbor prob. ST RK GOST R 51593 (2003) [State standard of the Republic of Kazakhstan. Drinking water. Sampling. ST RK GOST R 51593 (2003)]. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id= 30015917&pos=22; -46#pos= 22; -46 [in Russian]

Edinaja sistema klassifikacii kachestva vody v vodnyh ob#ektah. Prikaz Predsedatelja Komiteta po vodnym resursam Ministerstva sel'skogo hozjajstva Respubliki Kazahstan ot 9 nojabrja 2016 goda № 151. Zaregistrirovan v Ministerstve justicii Respubliki Kazahstan 13 dekabrja 2016 goda № 14513. [A unified system for classifying water quality in water bodies. Order of the Chairman of the Committee on Water Resources of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan dated November 9, 2016 № 151. Registered with the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan on December 13, 2016 № 14513]. [in Russian]

Esembekova G.B., Esengeldieva L.K. (2019) Vodnyj i solevoj rezhim serozemnyh pochv juga Kazahstana. [Water and salt regime of gray-earth soils of the South of Kazakhstan]. Juzhno-Kazahstanskij gosudarstvennyj universitet im. M. Auezova. – South Kazakhstan State University named after M. Auezov– g. Shymkent. – 180 s. [in Russian]

Kalinin, M.Ju. (2001) Vodnye resursy Belorusskogo Poles'ja: ispol'zovanie i ohrana/ M.Ju. Kalinin, A.A. Volchek [Water resources of the Belarusian Polesie: use and protection]. Prirodnye resursy: Mezhvedomstvennyj bjulleten'. – Natural Resources: Interagency Bulletin. – 4. – S. 35–49. [in Russian]

Kornjuhova O.V. (2020) Monitoring i ocenka kachestva poverhnostnyh vod [Monitoring and assessment of surface water quality]. Sbornik statej, posvjashhennyj 100-letiju so dnja obrazovanija Gidrohimicheskogo instituta, «Sovremennye problemy gidrohimii i monitoringa kachestva poverhnostnyh vod». Chast' 1. – Collection of articles dedicated to the 100th anniversary of the establishment of the Hydrochemical Institute, "Modern problems of hydrochemistry and monitoring of surface water quality" Part 1. – Rostov-na-Donu. – S. 155–160. [in Russian]

Krupa E.G. (2012) Zooplankton limnicheskih i loticheskih jekosistem Kazahstana. Struktura, zakonomernosti formirovanija. [Zooplankton of limnic and lothian ecosystems of Kazakhstan. Structure, patterns of formation]. – Saarbrucken: Palmarium Academic Publishing. – 346 s. [in Russian]

*Krupa E.G., Romanova S.M. (2017). Gidrohimija vodoemov bassejna reki Arys' na territorii Juzhno-Kazahstanskoj oblasti [Hydrochemistry of reservoirs of the Arys

river basin in the South Kazakhstan region]. Izvestija NAN RK. Serija geologii i tehnicheskih nauk. – Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences–T.4. – № 424. – S. 77–89. [in Russian]

*Krupa E.G., Barinova S.S., Romanova S.M. (2019) Environmental mapping in assessing the impact of environmental factors on the aquatic ecosystem of the Arys River basin, South Kazakhstan // Diversity. – 11(12). – P. 1–16. 239 (Q2 2019)

Kuznecov S.I. (1970) Mikroflora ozer i ee geohimicheskaja dejatel'nost'. [Microflora of lakes and its geochemical activity]. – L.: Nauka LO. – 440 s. [in Russian]

Mamatkanov D.M., Bazhanova L.V., Romanovskij V.V. (2006) Vodnye resursy Kyrgyzstana na sovremennom jetape. [Water resources of Kyrgyzstan at the present stage]. – Bishkek: Ilim. – 276 s. [in Russian]

Matveeva I.V., Uralbekov B.M., Abishev T.B., Al'kenova G.T., Burkitbaev M.M. (2010) Himicheskaja harakteristika prirodnyh vod doliny reki Shu [Chemical characterization of the natural waters of the Shu River Valley]. Vestnik KazNU serija himicheskaja. – Bulletin of the Kazakh State University chemical series. – 2(58). – S. 238–244. [in Russian]

Metodicheskie rekomendacii po primeneniju edinoj sistemy klassifikacii kachestva vody v vodnyh ob#ektah Respubliki Kazahstan/ Utverzhdena Prikazom Predsedatelja KVR MSH RK ot 9.11.2016 g. №151. [Methodological recommendations on the application of the unified system of classification of water quality in water bodies of the Republic of Kazakhstan/ Approved by the order of the Chairman of the Committee of Water Resources of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan dated 9, 11, 2016. №151]. [in Russian]

Mustafaev Zh. (2023) Landshaftno-jekologicheskoe rajonirovanie bassejna reki Shu. [Landscape and ecological zoning of the Shu River basin]. Gidrometeorologija i jekologija. – Hydrobiology and ecology – (4). – S. 17–28. [in Russian]

Mustafaev Zh.S., Kozykeeva A.T., Kamaliev A.M. (2019) Klimaticheskij profil' vodosbornogo bassejna reki Shu. [Climatic profile of the Shu River catchment area]. Gidrometeorologija i jekologija. – Hydrobiology and ecology. № 2 (93). – S. 41–54. [in Russian]

Muhamedzhanov M.A., Tleuova Zh.T. (2024) Jekologicheskie problemy i zagrjaznenie pit'evyh podzemnyh vod Juzhnogo Kazahstana [Environmental problems and pollution of drinking groundwater in South Kazakhstan]. Vodnye resursy. – Water resources – Almaty. T. 28. – 135 s. [in Russian]

Nacional'nyj doklad o sostojanii okruzhajushhej sredy i ob ispol'zovanii prirodnyh resursov Respubliki Kazahstan za 2023 god. [The National Report on the state of the environment and on the use of natural resources of the Republic of Kazakhstan for 2023]. https://ecogosfond.kz/orhusskaja-konvencija/dostup-k-jekologicheskoj-informacii/jekologijaly-zha-daj/r-orsha-an-ortany-zhaj-k-ji-turaly-ltty-bajandamalar/ [in Russian]

Nikanorov A.M. (2008) Gidrohimija. – Izd. 3-e, pererab i dopoln. – Hydrochemistry. Edition 3, revised and expanded. – SPb.: Gidrometeoizdat. – 462 s. [in Russian]

Nikanorov A.M. (2011) Regional'naja gidrohimija. [Regional hydrochemistry]. – Rostov-na-Donu: Izd-vo NOK. – 389 s. [in Russian]

Nikanorov A.M., Bryzgalo V.A., Reshetnjak O.S. (2012) Reki Rossii v uslovijah chrezvychajnyh jekologicheskih situacij. [Russian rivers in environmental emergencies]. – Rostov-n/D.: Izd-vo «NOK». – 310 s. [in Russian]

Metodicheskie rekomendacii po kompleksnoj ocenke kachestva poverhnostnyh vod po gidrohimicheskim pokazateljam / Pod red. M.Zh. Burlibaeva. [Methodological recommendations for a comprehensive assessment of surface water quality by hydrochemical indicators / Ed. by M.J. Burlibaev]. – Astana, 2012. – 80 s. [in Russian]

Reshetnjak O.S. (2015) Jekologicheskie posledstvija himicheskogo zagrjaznenija rechnyh jekosistem Evropejskoj territorii Rossii [Ecological consequences of chemical pollution of river ecosystems of the European territory of Russia]. Chistaja voda Rossii-2015: 248 sb. mat. XIII mezhdunarodnogo simpoziuma i vystavki «Chistaja voda Rossii». – Clean Water of Russia-2015: 248 collection of materials of the XIII International Symposium and exhibition "Clean Water of Russia". - Ekaterinburg: Izd-vo FGUP RosNIIVH. – S. 276-281. [in Russian]

Romanova S.M., Ljashenko L.V., Kajdarova R.K. (1986) Ocenka kachestva poverhnostnyh vod Juzhnogo Kazahstana [Assessment of surface water quality in Southern Kazakhstan]. V kn.: Fiziko-himicheskie osnovy pererabotki mineral'nogo syr'ja Kazahstana. – Physico-chemical bases of processing of mineral raw materials of Kazakhstan. Alma-Ata. – S. 59–65. [in Russian]

Romanova S.M., Tursunova A.A. (2010). K voprosu o samoochishhajushhej sposobnosti rechnyh vod Kazahstana [On the issue of the self-cleaning ability of Kazakhstan's river waters]. Gidrometeorologija i jekologija. – Hydrobiology and ecology. № 2(57). – S. 67–77. [in Russian]

Romanova S.M., Krupa E.G., Serikova A.S. (2024). Soedinenija azota i fosfora v vodnyh ob#ektah kazahstanskoj chasti bassejna r. Irtysh [Nitrogen and phosphorus

compounds in the water bodies of the Kazakh part of the Irtysh River basin]. Vestnik KazNU Serija jekologicheskaja. – Bulletin of the Kazakh State University ecologycal series. №2 (79). – S. 21–31. https://doi.org/10.26577/EJE.2024.v79.i2-02 [in Russian]

Sejtkaziev A.S., Majmakova A.K. (2020) Jekologicheskaja ocenka issleduemogo uchastka serozemnyh pochv Zhambylskoj oblasti [Ecological assessment of the studied area of gray-earth soils of Zhambyl region]. Vestnik Universiteta Shakarima. Serija tehnicheskie nauki. – Bulletin of Shakarim University. Technical Sciences Series. 3(91). – S. 281–285. [in Russian]

Semenov A.D. (1977) Rukovodstvo po himicheskomu analizu poverhnostnyh vod sushi. [Guidelines for the chemical analysis of land surface waters]. – L.: Gidrometeoizdat. – 541 s. [in Russian]

Shashulovskaja E.A., Mosijash S.A., Filimonova I.G., Grishina L.V. (2020) Osobennosti gidrohimicheskogo rezhima Iriklinskogo vodohranilishha (na r. Ural) v razlichnye po vodnosti gody [Features of the hydrochemical regime of the Iriklinsky reservoir (on the Ural River) in various years of water content]. Sbornik statej, posvjashhennyj 100-letiju so dnja obrazovanija Gidrohimicheskogo instituta, «Sovremennye problemy gidrohimii i monitoringa kachestva poverhnostnyh vod». Chast' 1. – Collection of articles dedicated to the 100th anniversary of the establishment of the Hydrochemical Institute, "Modern problems of hydrochemistry and monitoring of surface water quality". Part 1. Rostov-na-Donu. – S.178–182. [in Russian]

Spravochnik po gidrohimii (pod red. Nikanorova A.M.) (1989) [Handbook of Hydrochemistry (ed. A.M. Nikanorova). – L.: Gidrometeoizdat. – 391 s. [in Russian]

*Van Meter K. J., Basu N.B., Van Cappelen P. (2016) Two centuries of nitrogen dynamics: Legacy sources and sinks in the Mississippi and Susquehanna River Basins// Global Biogeochemical Cycles. – Vol. 31(1). – P. 2–23. https://doi.org/10.1002/2016GB005498