



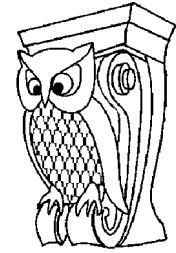
Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 230–242

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 230–242

<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-230-242>, EDN: JGPXDC

Научная статья
УДК 556.535.8



Малые водотоки и водоемы как индикаторы экологических проблем в агроландшафтах (на примере Белгородской области)

М. В. Раевская[✉], А. Г. Корнилов

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85

Раевская Мария Викторовна, аспирант кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности Института наук о Земле, karpuhinamv@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-7454-3315>

Корнилов Андрей Геннадьевич, профессор, заведующий кафедрой географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности Института наук о Земле, доктор географических наук, kornilov@bsu.edu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9189-8965>

Аннотация. Цель исследования заключалась в изучении малых водных объектов как индикаторов экологических проблем в агроландшафтах Белгородской области на примере четырех сельских территорий. В ходе выполнения исследования выделены и ранжированы группы антропогенных объектов, оказывающих влияние на состояние малых водотоков. Анализ корреляции содержания различных форм биогенных элементов (N, P) в верховьях и средней части водотоков позволяет установить как вклад в экологическую ситуацию типичных для агроландшафтов проблем, так и роль прилегающих городских территорий. Выявлены сельские поселения, водные объекты которых в большей/меньшей степени подвержены нитратному или фосфатному загрязнению, указаны возможные причины. Получен материал для дальнейшего совершенствования индикаторного подхода в прикладных геоэкологических исследованиях.

Ключевые слова: малые водотоки, гидрохимические показатели, агроландшафты, биогенные элементы (N, P), сельские территории

Для цитирования: Раевская М. В., Корнилов А. Г. Малые водотоки и водоемы как индикаторы экологических проблем в агроландшафтах (на примере Белгородской области) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 230–242. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-230-242>, EDN: JGPXDC

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Small streams and water reservoirs as indicators of environmental problems in agricultural landscapes (on the example of the Belgorod region)

M. V. Raevskaya[✉], A. G. Kornilov

Belgorod State University, 85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia

Maria V. Raevskaya, karpuhinamv@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-7454-3315>

Andrey G. Kornilov, kornilov@bsu.edu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9189-8965>

Abstract. The main object of the article is to show indicator functions of small water bodies (streams, ponds) for 4 rural areas in agricultural landscapes (Belgorod region). In the course of the study the groups of anthropogenic objects with their special impacts are identified and ranked. The correlation between concentrations of chemical forms of biogenic elements (N, P) demonstrates the contribution of typical problems of agricultural landscapes in ecological situation (rural areas) as well as contribution of adjacent urban areas. The results have revealed that some rural areas are particularly susceptible to nitrate or phosphate pollution, possible reasons have been indicated. The approved research methods will be helpful for further improvement of the indicator approach.

Keywords: small streams, hydrochemical characteristics, agricultural landscapes, biogenic elements (N, P), rural areas

For citation: Raevskaya M. V., Kornilov A. G. Small streams and water reservoirs as indicators of environmental problems in agricultural landscapes (on the example of the Belgorod region). *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 230–242 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-230-242>, EDN: JGPXDC

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Состояние гидрографической сети со всем разнообразием элементов в конкретных физико-географических и социально-экономических

условиях – важный показатель экологической ситуации территории.

Можно выделить три направления мониторинговых исследований в агроландшафтах



с учетом выбора особенностей нормирования качества поверхностных вод. Первый подход (агроцентрический) подразумевает выявление экологических проблем, которые влияют на продуктивность агроландшафтов с точки зрения их утилитарных функций. Второй подход (антропоцентрический) связан с ранжированием негативных процессов в агроландшафтах, которые могут сказаться на качестве жизни населения [1]. Следующий подход фокусирует внимание на устойчивости природно-ландшафтной подсистемы и способности ее к самовосстановлению с учетом уровней экологических нагрузок (экоцентрический подход) [2]. Именно в логике последнего подхода малые водные объекты рассматриваются нами как индикаторы состояния окружающей среды.

В зарубежных и отечественных источниках, посвященных экологическим проблемам сельских территорий, чаще всего обсуждается роль сельскохозяйственной нагрузки на водотоки в агроландшафтах (внесение удобрений, пестицидов, увеличение площади пашни) [3].

Однако состояние природных водных объектов в агроландшафтах в современных условиях требует особого внимания в связи со следующими тенденциями: 1) развитие сельскохозяйственной отрасли («масштабирование» перерабатывающих комплексов, корреляция с расширением селитебных пространств и/или транспортной инфраструктуры) [4]; 2) увеличение экологической нагрузки на верховья рек и, в частности, малые водотоки – ключевые элементы зеленого каркаса в условиях изменения климата лесостепных зон; 3) смещение акцентов от антропоцентрического к экологическому нормированию, причем агроэколандшафты позволяют изучать динамику геоэкологической ситуации с учетом как природных, так и антропогенных факторов.

Изучение малых водотоков и водоемов как индикаторов экологических проблем в агроландшафтах Белгородской области, являлось целью исследования, в том числе на основе перечисленных тенденций.

Материал и методика исследования

Малые водотоки, водоемы изучались в Белгородском районе (Ериковское сельское поселение), Губкинском городской округе (Троицкая, Осколецкая сельские территориальные администрации и г. Губкин), Прохоровском районе (Холоднянское сельское поселение) Белгородской области. Координаты точек отбора проб определялись с помощью мобильного приложения *SunnyMap*. Картографическая информация подготовлена с использованием программного обеспечения *Google Earth Pro 7.3.6.9750*, границы сельских поселений указаны на основании данных поисково-информационной картографической службы *Яндекс Карты*.

В период с 20 мая по 1 сентября 2024 г. было исследовано 73 пробы из малых водотоков, прудов, родников и колодцев с использованием стандартных методов отбора, консервирования, химического и физико-химического анализа гидрохимических показателей природных вод (потенциометрические и фотоколориметрические методы) на основании действующих в Российской Федерации ГОСТов. Корреляция между рядом показателей определялась графически в программе *STATISTICA 10.0*.

Используемые в статье сокращения: СП – сельское поселение, СТА – сельская территориальная администрация, ГО – городской округ, ПДКв и ПДКвр – предельно допустимая концентрация вещества для водоемов хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного назначения.

Результаты и их обсуждение

Белгородскую область можно отнести к маловодным регионам Российской Федерации (около 1% площади занимает гидрографическая сеть с ее характерными элементами). Из четырех рассматриваемых в статье территорий наименее водной является Троицкая СТА по причине отсутствия постоянных водотоков. В Ериковском СП основной водоток – р. Ерик (речная система «Ерик – Липовый Донец – Северский Донец – Дон»). Для Осколецкой СТА ключевым водотоком является р. Осколец (речная система «Оскол – Северский Донец – Дон»). По территории Холоднянского СП проходит водораздел между р. Донецкая Сеймица (речная система «Сейм – Десна – Днепр») и р. Корень (речная система «Нежеголь – Северский Донец – Дон»); водные объекты данной территории представлены локальными ручьями и прудами [5].

В табл. 1 приведены объекты и функциональные зоны их расположения, к которым приурочены мониторинговые точки отбора проб в Ериковском СП Белгородского района. Указаны возможные антропогенные источники поступления биогенных элементов.

С использованием полевых и картографических методов исследования выделены следующие функциональные зоны: 1) селитебная зона (собственно населенные пункты с транспортной инфраструктурой); 2) зона сельскохозяйственных угодий (преимущественно пашня, в некоторых случаях элементы приусадебных хозяйств); 3) зеленая зона (урочища различных рангов, в том числе лесопарки, природные луга и т. д.).

Источники загрязнения биогенными элементами разделены на группы в зависимости от возможной площади территории и, соответственно, доли гидрографической сети, подверженных их негативному воздействию: 1) группа I – ярко выраженное влияние на водные объекты сельского поселения (или нескольких поселений в составе более крупной административной



Таблица 1

Объекты и функциональные зоны их расположения с указанием возможных источников загрязнения (Ериковское СП Белгородского района)

№ п/п	Объект и функциональная зона его расположения	Источник загрязнения (I, II, III группы)	Дополнительная информация
Источник-доминанта – очистные сооружения, селитебные стоки г. Строитель (I)			
1	Родник в урочище Маршалкова, зеленая зона	–	Обустроенный, малodeбитный
2	Створ на р. Ерик в урочище Маршалково, зеленая зона	Детский лагерь «Прометей», вольеры с животными (III)	Разветвленная сеть ручьев (исток р. Ерик)
3	Створ ниже хут. Гремучий, зона сельскохозяйственных угодий	Очистные сооружения (I). Животноводческая ферма, с/х склады (II)	Наблюдается интенсивное цветение воды
4	Створ ниже дамбы, зона сельскохозяйственных угодий	Стоянка автотранспорта в рекреационной зоне (III)	Участок с самым быстрым течением
5	Створ на р. Ерик в начале с. Ерик, селитебная зона	Трасса, мост (III)	Участок расчищен, меловое дно
6	Колодец по ул. Ветеранов, селитебная зона	Сельское кладбище, 150 ± 20 м (III)	Обустроенный, неглубокий (2-3 м)
7	Створ на р. Ерик в конце с. Ерик, селитебная зона	Приусадебные участки (огороды), 30 ± 5 м (III)	Обильная водная растительность

единицы); 2) группа II – ошутимое локальное влияние; 3) группа III – возможное локальное влияние с учетом дополнительных факторов (например, погодные условия и ряд других).

Из данных, приведенных в табл. 1, следует, что верховья р. Ерик в Ериковском СП испыты-

вают влияние селитебного стока г. Строитель (группа I). Локальные фермы, диффузный сельскохозяйственный сток с полей, селитебный сток с. Ерик (группы II и III) можно расценивать как типичные источники биогенного загрязнения агроландшафтов.

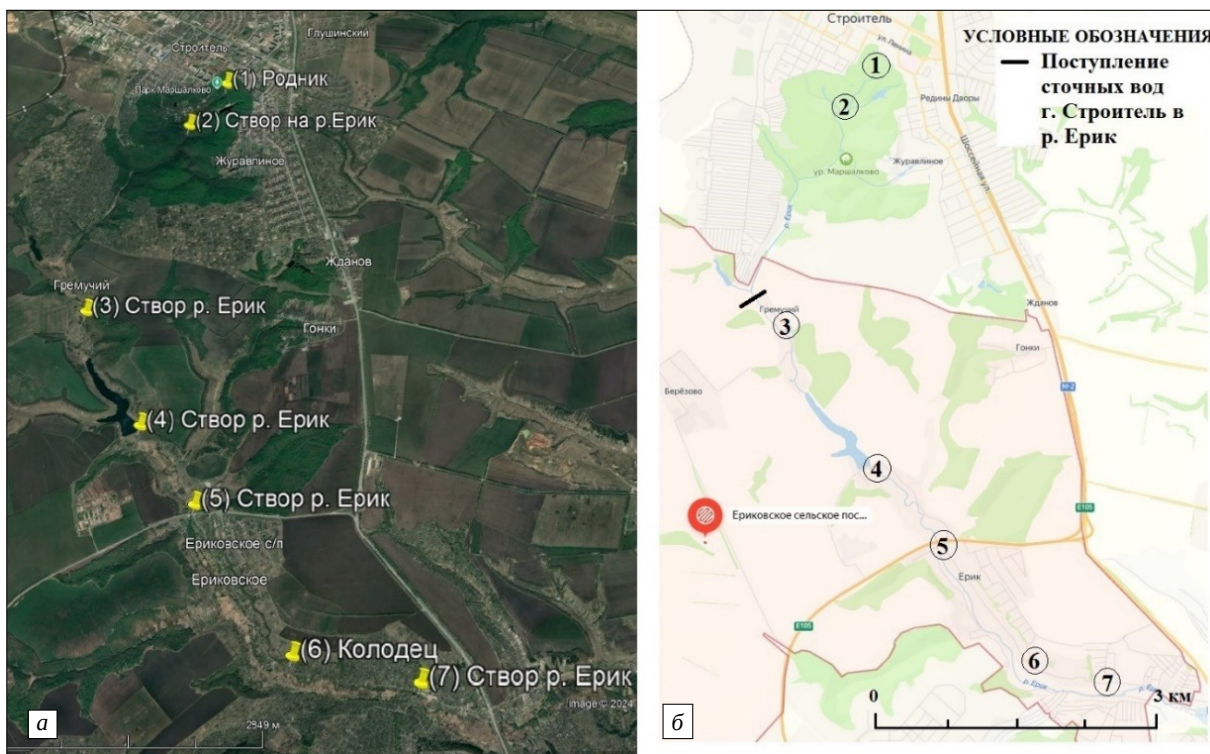


Рис. 1. Космоснимок (а) и картосхема (б) исследуемой территории Ериковского СП Белгородского района (№ 1–7 – места отбора проб) (цвет онлайн)



Из семи мониторинговых точек отбора проб № 2–5 и 7 – створы на р. Ерик, № 1 – родник, который можно считать одним из истоков р. Ерик (входит в региональный перечень ООПТ), № 6 – колодец. На рис. 1 представлены космоснимок и картосхема с указанием данных точек.

В табл. 2 приведены данные по гидрохимическим показателям проб в Ериковском СП. Пробы, отобранные в мае 2024 г., исследовались с помощью тест-комплектов «Крисмас+» на содержание NO_3^- (диапазон методики 0–90 мг/л) и PO_4^{3-} (диапазон методики 0–7,0 мг/л).

На основании данных, приведенных табл. 2, можно сделать вывод, согласно которому из семи точек отбора проб для двух наблюдается превышение ПДКв(NO_3^-) от 1,1 ПДКв до 1,4 ПДКв, причем одна из указанных точек располагается не на территории Ериковского поселения (створ в верховьях р. Ерик, урочище Маршалково, г. Строитель). Результаты, представленные в виде ПДКвр, свидетельствуют о следующем: 1) для 2 точек превышение ПДКвр(NO_3^-) от 1,6 ПДКвр до 2,3 ПДКвр; 2) для 3 точек превышение ПДКвр(NO_2^-) от 1,1 ПДКвр и выше 25 ПДКвр; 3) для 2 точек превышение

Таблица 2

Данные по гидрохимическим показателям проб в Ериковском СП

№ п/п	Дата отбора пробы	Показатель							
		Цвет, градусы	Запах, баллы	Минерализация, мг/л	pH	NO_3^- , мг/л	NO_2^- , мг/л	NH_4^+ , мг/л	PO_4^{3-} , мг/л
	ПДКв	20–30	2–3	1000	6–9	45	3,3	2,6	3,5
	ПДКвр	–	–	–	7–8	40	0,08	0,5	0,2
№ 1. Родник в урочище Маршалкова									
1	26.05.2024	–	–	–	–	5–15	–	–	0–0,2
	27.07.2024	10	0	344	6,93	14,8	< 0,02	< 0,20	0,28
	31.08.2024	10	0	354	6,95	15,2	< 0,02	< 0,20	0,20
№ 2. Створ на р. Ерик в урочище Маршалково									
2	26.05.2024	–	–	–	–	50	–	–	0–0,2
	27.07.2024	20	1	289	7,20	49,4	0,04	0,31	0,18
	31.08.2024	30	2	278	7,28	62,5	0,16	1,05	< 0,10
№ 3. Створ на р. Ерик ниже хут. Гремучий									
3	26.05.2024	–	–	–	–	50	–	–	0,2–0,5
	27.07.2024	20	3	622	7,39	33,7	0,11	0,55	0,24
	31.08.2024	30	2	603	7,30	48,2	0,18	1,10	0,27
№ 4. Створ на р. Ерик ниже дамбы									
4	26.05.2024	–	–	–	–	5–15	–	–	0–0,2
	27.07.2024	20	2	542	7,70	11,8	0,07	0,38	< 0,10
	31.08.2024	30	2	512	7,79	12,2	0,05	< 0,20	< 0,10
№ 5. Створ на р. Ерик в начале с. Ерик									
5	26.05.2024					5–15			0–0,2
	27.07.2024	20	2	522	7,21	9,2	< 0,02	< 0,20	< 0,10
	31.08.2024	20	2	518	7,22	8,7	< 0,02	0,25	< 0,10
№ 6. Колодец по ул. Ветеранов									
6	26.05.2024	–	–	–	–	50	–	–	0,2–0,5
	27.07.2024	20	2	512	7,12	8,2	0,13	0,22	0,45
	31.08.2024	20	1	432	7,04	4,8	0,07	< 0,2	0,33
№ 7. Створ на р. Ерик в конце с. Ерик									
7	26.05.2024	–	–	–	–	0–5	–	–	0–0,2
	27.07.2024	20	3	521	7,18	6,3	< 0,02	< 0,2	0,20
	31.08.2024	30	3	499	6,92	5,8	< 0,02	< 0,2	0,13



ПДКвр(NH_4^+) от 1,1 ПДКвр до 1,2 ПДКвр; 4) для 3 точек превышение ПДКвр(PO_4^{3-}) от 1,2 ПДКвр до 2,3 ПДКвр. Нитратному и фосфатному загрязнению подвержены верховья р. Ерик, устойчивое фосфатное загрязнение наблюдается для колодца на территории с. Ерик. Водные объекты в селитебной зоне собственно Ериковского СП (№ 4–5, 7) испытывают меньшую нагрузку по поступлению биогенных элементов (N, P), нежели зоны сельскохозяйственных угодий и истока реки с прилегающими территориями г. Строитель Яковлевского ГО. Для водных объектов Ериковского СП Белгородского района и верховий р. Ерик (14 проб) корреляция между концентрациями NO_3^- и PO_4^{3-} составила $r = -0,035$ ($p = 0,5965$), между NO_3^- и NO_2^- $r = 0,66$ ($p = 0,0024$), между NO_3^- и NH_4^+ $r = 0,84$ ($p = 0,0001$), между NO_2^- и NH_4^+ $r = 0,85$ ($p = 0,0001$).

В табл. 3 представлены объекты и функциональные зоны их расположения, к которым приурочены точки отбора проб в Холоднянском СП Прохоровского района. Приведены потенциальные источники поступления биогенных элементов.

Как видно из табл. 3, свинокомплекс «БелгоГен» для указанной территории является источником-доминантой (группа I) загрязнения. Согласно общепринятой технологии утилизации отходов животноводческих комплексов органический материал вывозится на прилегающие пашни и подвергается запарке, что сказывается на локальном круговороте биогенных элементов.

Таким образом, влияние свинокомплексов проявляется косвенным путем.

При анализе локальной геоэкологической ситуации в с. Холодное следует учитывать приусадебные хозяйства разведения водоплавающих птиц (группа II), так как, соединяясь с малыми водотоками, искусственные пруды могут являться устойчивыми источниками биогенных элементов для сети малых водотоков. На рис. 2 представлены космоснимок и картосхема с указанием мест отбора проб в Холоднянском СП.

Из 7 мониторинговых точек отбора проб в Холоднянском СП объекты № 1 и 6 – створы на малых водотоках (ручьи), № 3-4 и 7 – проточные пруды, № 2 и 5 – колодцы (согласно опросу местных жителей используются редко). На схеме видно, что свинокомплекс «БелгоГен» располагается между селами Андреевка и Холодное и окружен обширными участками пашни, что может способствовать локализации запашки органических отходов в сельском поселении.

В табл. 4 приведены данные по гидрохимическим показателям проб в Холоднянском СП.

Согласно данным, приведенным в табл. 4, в Холоднянском СП наблюдается превышение ПДКвр(NO_3^-) для 5 мониторинговых точек контроля из 7 (от 1,1 ПДКвр до 14,8 ПДКвр). В наибольшей степени нитратному загрязнению подвержены локальные пруды, малые водотоки и колодцы в черте населенного пункта. Превышение ПДКвр(NO_2^-) и ПДКвр(NH_4^+) отмечено для двух объектов, являющихся колодцами. Превышение ПДКвр(PO_4^{3-}) было выявлено для двух объектов в ходе оценочного тестирования.

Таблица 3

Объекты и функциональные зоны их расположения с указанием возможных источников загрязнения (Холоднянское СП Прохоровского района)

№ п/п	Объект и функциональная зона его расположения	Источник загрязнения (I, II, III группы)	Дополнительная информация
Источник-доминанта загрязнения – свинокомплекс «БелгоГен» (I)			
1	Водоток с. Андреевка (верховья Донецкой Сеймицы), селитебная зона	Зона вывоза мусора, 25 ± 5 (III)	Обильная древесная растительность
2	Колодец в с. Андреевка, селитебная зона	Приусадебные участки (огороды), 15 ± 5 м (III)	Обустроенный, неглубокий (4 м)
3	Пруд в с. Холодное, селитебная зона	Разведение водоплавающих птиц (II)	Обилие бытового мусора
4	Халанский пруд с. Холодное, селитебная зона	Разведение водоплавающих птиц (II)	Наблюдается цветение воды
5	Колодец в с. Холодное, селитебная зона	–	Обустроенный, глубокий (до 8 м)
6	Ручей (граница с. Холодное), зеленая зона	Диффузный сток с полей (II/III)	Обильная водная растительность
7	Пруд в с. Плющины, селитебная зона	–	–

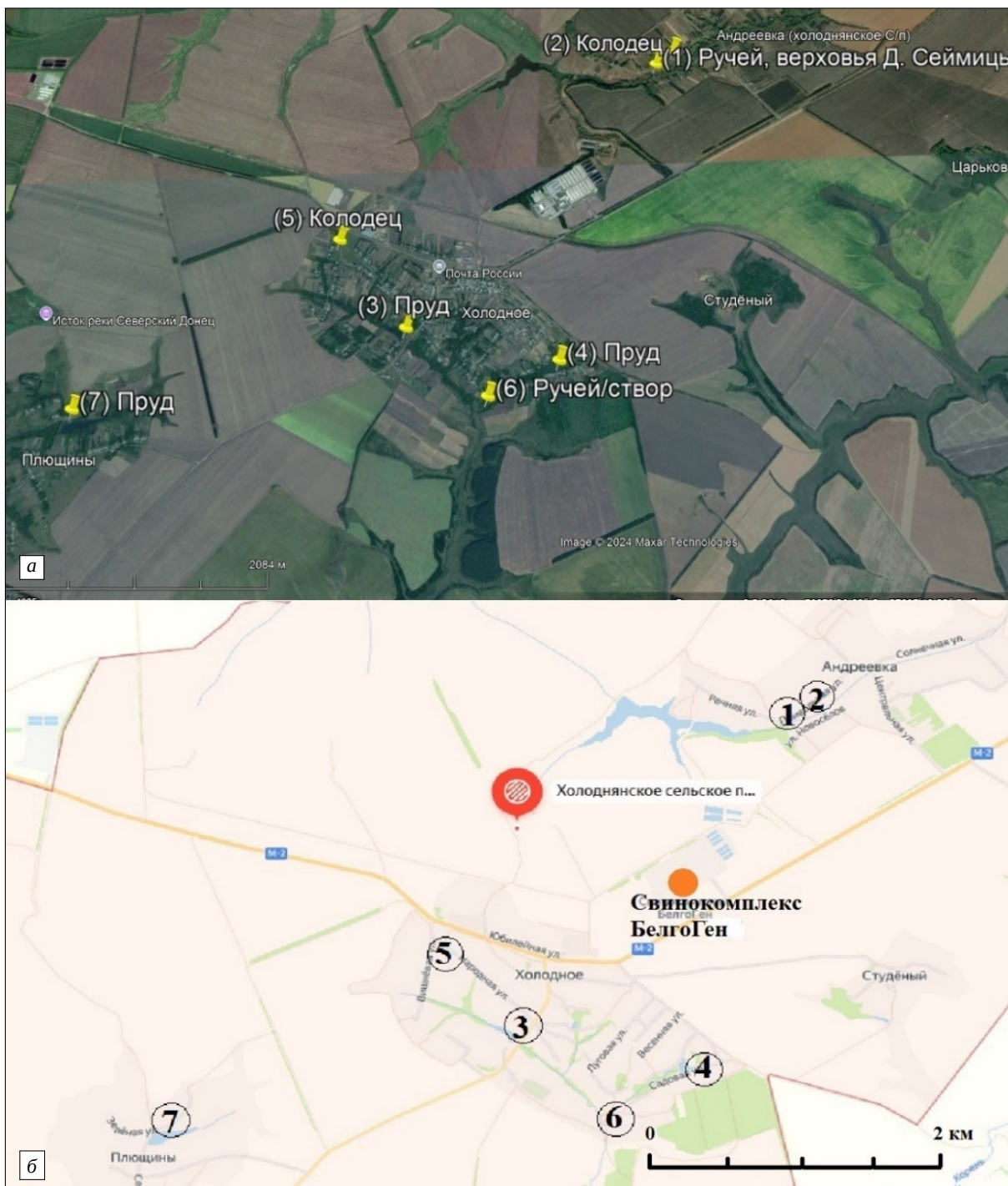


Рис. 2. Космоснимок (а) и картосхема (б) исследуемой территории Холодннского СП Прохоровского района (№ 1–7 – места отбора проб) (цвет онлайн)

Анализ данных применительно к ПДКвр демонстрирует следующее: 1) для 5 точек превышение ПДКвр(NO_3^-) от 1,3 ПДКвр до 16,7 ПДКвр; 2) для 6 точек превышение ПДКвр(NO_2^-) от 1,1 ПДКвр и выше 25 ПДКвр; 3) для 4 точек превышение ПДКвр(NH_4^+) от 1,1 ПДКвр до 8 ПДКвр; 4) для 2 точек превышение ПДКвр(PO_4^{3-}) от 1,1 ПДКвр до 2,5 ПДКвр.

Фосфатное загрязнение характерно для локальных прудов, являющихся проточными, и колодцев. Для малых водотоков ПДКвр(PO_4^{3-}) не превышает установленную норму, однако в мае 2024 г. на этапе выбора объектов в сельских поселениях тест-комплекты показали превышение ПДКвр(PO_4^{3-}) для малых водотоков примерно в 1,2–1,5 раза.



Таблица 4

Данные по гидрохимическим показателям проб в Холоднянском СП

№ п/п	Дата отбора пробы	Показатель							
		Цвет, градусы	Запах, баллы	Минерализация, мг/л	pH	NO ₃ ⁻ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л	PO ₄ ³⁻ , мг/л
	ПДКв	20–30	2–3	1000	6–9	45	3,3	2,6	3,5
	ПДКвр	–	–	–	7–8	40	0,08	0,5	0,2
№ 1. Водоток по ул. Речная в с. Андреевка									
1	27.05.2024	–	–	–	–	50	–	–	0,5
	28.07.2024	20	3	366	7,22	51,3	0,09	0,56	0,16
	31.08.2024	40	3	359	7,31	66,2	0,15	0,55	0,20
№ 2. Колодец в с. Андреевка									
2	27.05.2024	–	–	–	–	90	–	–	0,5
	28.07.2024	10	3	586	7,02	341	> 2,0	> 4,0	–
	31.08.2024	20	3	591	6,92	668	> 2,0	> 4,0	–
№ 3. Пруд в с. Холодное (ручей за дамбой, выход из пруда)									
3	27.05.2024	–	–	–	–	50	–	–	0–0,2
	28.07.2024	30	2	621	7,08	43	0,05	1,28	< 0,10
	31.08.2024	40	3	633	7,19	79	0,09	1,65	0,15
№ 4. Халанский пруд в с. Холодное									
4	27.05.2024	–	–	–	–	50	–	–	0–0,2
	28.07.2024	30	4	682	7,33	83	0,14	0,93	0,25
	31.08.2024	50	4	733	7,30	87	0,17	0,80	0,22
№ 5. Колодец в с. Холодное									
5	27.05.2024	–	–	–	–	50	–	–	0–0,2
	28.07.2024	20	2	520	7,08	83,2	0,41	0,78	0,50
	31.08.2024	20	2	534	7,14	96,4	0,36	1,10	0,45
№ 6. Ручей Корень (граница с. Холодное)									
6	27.05.2024	–	–	–	–	15	–	–	0,5
	28.07.2024	20	2	382	7,09	28	0,06	0,45	< 0,10
	31.08.2024	40	3	374	7,25	36	0,09	0,40	0,14
№ 7. Пруд в с. Плющины									
7	27.05.2024	–	–	–	–	–	–	–	–
	28.07.2024	20	1	261	7,38	5,8	< 0,02	1,1	< 0,10
	31.08.2024	30	2	275	7,50	5,6	< 0,02	0,7	< 0,10

Для Холоднянского СП Прохоровского района (14 проб) корреляция между концентрациями NO₃⁻ и PO₄³⁻ составила $r = 0,82$ ($p = 0,0004$), между NO₃⁻ и NO₂⁻ $r = 0,76$ ($p = 0,0041$), между NO₃⁻ и NH₄⁺ $r = 0,31$ ($p = 0,0052$), между NO₂⁻ и NH₄⁺ $r = 0,28$ ($p = 0,0560$).

В табл. 5 рассматриваются объекты и функциональные зоны их расположения, с которыми связаны точки отбора проб в Губкинском ГО.

Так как Троицкая СТА является маловодной территорией (отсутствуют регулярные водотоки), то выбор водных объектов для исследования

был затруднен. Опрос населения показал, что на территории пос. Троицкий колодцев немного, они не используются по причине понижения уровня воды и наличия бесперебойного централизованного водоснабжения.

Потенциальными источниками-доминантами загрязнения (группа I) являются свинокомплекс и завод комбикормов, расположенные в границах пос. Троицкий. Как было указано для Холоднянского СП, влияние свинокомплекса проявляется косвенным образом. Для Осколецкой ТСА были выделены возможные источники поступления биогенных элементов, относящи-



Таблица 5

Объекты и функциональные зоны их расположения с указанием возможных источников загрязнения (Губкинский ГО)

№ п/п	Объект и функциональная зона его расположения	Источник загрязнения (I, II, III группы)	Дополнительная информация
Троицкая СТА Губкинского ГО			
Источники-доминанты загрязнения – свинокомплекс и завод комбикормов (I)			
1	Пруд ниже пос. Троицкий, зона сельскохозяйственных угодий	Диффузный сток с полей (II/III)	–
2	Временный водоток у пос. Казацкая Степь, зеленая зона	–	Водоток пересыхает летом
3	Пруд ниже пос. Казацкая Степь, сельскохозяйственные угодья	Диффузный сток с полей (II/III)	–
Осколецкая СТА Губкинского ГО			
1	Родник в с. Петровки (исток р. Осколец), селитебная зона	Локальная живот-новодческая ферма, с/х склады (II)	Обустроенный, среднедебитный,
2	Створ в 45 ± 5 м от родника, селитебная зона		Наблюдается цветение воды
3	Створ на р. Осколец (с. Осколец), селитебная зона	Локальная животноводческая ферма (II)	–
4	Створ на р. Осколец (с. Меловой Брод), зеленая зона	Диффузный сток с полей (II/III)	Влияние прилегающих сельскохозяйственных угодий
5	Створ на р. Осколец (с. Кандаурово), селитебная зона	Диффузный сток с полей (II/III)	
г. Губкин, источник-доминанта загрязнения – селитебный сток г. Губкин (I)			
6	Родник в г. Губкин, селитебная зона	Железнодорожное полотно, 30 ± 5 м (II)	Обустроенный, малодебитный
7	Створ на р. Осколец (60 ± 5 м от родника № 6), селитебная зона	Район сброса вод ТЭЦ (II)	–
8	Родник в г. Губкин, селитебная зона	Оживленная трасса, 20 ± 5 м (III)	Малодебитный
9	Створ на р. Осколец (50 ± 5 м от родника № 8), селитебная зона	–	Ведутся работы по расчистке русла

еся к группе II или III (локальные фермы, сельскохозяйственные склады, диффузный сток с полей). На рис. 3, 4 показаны точки отбора проб для водных объектов в Губкинском ГО.

В табл. 6, 7 приведены данные по гидрохимическим показателям проб в Губкинском ГО (Троицкая и Осколецкая СТА, г. Губкин).

По причине повышенной цветности воды фотоколориметрическими методами нельзя было определить концентрации NO_2^- , NH_4^+ и PO_4^{3-} в пробах прудов-отстойников Троицкой СТА.

Из табл. 6 следует, что для проб мониторинговых точек отбора № 1 и № 3 наблюдается несоответствие ПДКв по органолептическим показателям, минерализации. Превышение ПДКв(NO_3^-) изменяется в пределах от 1,1 ПДКв до 1,2 ПДКв.

Согласно данным, приведенным табл. 7, для двух мониторинговых точек наблюдается превышение ПДКв(NO_3^-) в пределах 1,8–1,9 раза. В августе 2024 г. для родника с. Петровка (№ 1), который считается истоком р. Осколец, превы-

шение ПДКв(PO_4^{3-}) составляло 1,9 раза, а для створа (№ 2) на расстоянии 60±5 м от родника – 1,4 раза.

Анализ данных на створах р. Осколец (№ 2–5, 7, 9) применительно к ПДКвр демонстрирует следующее: 1) ПДКвр(NO_3^-), ПДКвр(NO_2^-) не превышают установленные нормативы; 2) только для одного створа (№ 7) в черте г. Губкин наблюдается превышение ПДКвр(NH_4^+) в 1,2 раза; 3) для шести точек превышение ПДКвр(PO_4^{3-}) изменяется от 1,1 ПДКвр до 1,9 ПДКвр.

Для водных объектов Осколецкой СТА и точек отбора проб в г. Губкин (18 проб) корреляция между концентрациями NO_3^- и PO_4^{3-} составила $r = 0,40$ ($p = 0,0108$), между NO_3^- и NO_2^- $r = 0,71$ ($p = 0,0022$), между NO_3^- и NH_4^+ $r = 0,28$ ($p = 0,3226$). Если рассматривать створы № 1–5 (10 проб) только в границах поселения, то корреляция между NO_3^- и PO_4^{3-} составила $r = 0,76$ ($p = 0,0202$).



Рис. 3. Космоснимок (а) и картосхема (б) исследуемой территории Троицкой СТА (№ 1–3 – места отбора проб) (цвет онлайн)

В силу гидрологических особенностей территорий только для Ериковского СП и Осколецкой СТА можно оценить динамику содержания нитратов и фосфатов в водотоках от их верховий вниз по течению (рис. 5).

Для р. Осколец по мере перемещения от истоков (створ № 2) вниз по течению к г. Губкин (створы № 7, 9) наблюдается устойчивое загрязнение фосфатами. Совместное превышение ПДКвр по PO_4^{3-} и NO_3^- наблюдается в черте

города, что объясняется влиянием селитебных стоков, причем створ № 7 располагается в зоне сброса вод ТЭЦ г. Губкин.

Для р. Ерик (см. рис. 5) по мере продвижения от истоков в урочище Маршалково в г. Строитель (створ № 2) вниз по течению к с. Ерик (створы № 5, 7) наблюдается снижение концентраций NO_3^- , что может говорить об интенсивном влиянии на верховья р. Ерик селитебных стоков г. Строитель.



Рис. 4. Космоснимок (а) и картосхема (б) исследуемой территории Осколецкой СТА и г. Губкина (№ 1–9 – места отбора проб) (цвет онлайн)

Таблица 6

Данные по гидрохимическим показателям проб в Троицкой СТА

№ п/п	Дата отбора пробы	Показатель							
		Цвет, градусы	Запах, баллы	Минерализация, мг/л	рН	NO ₃ ⁻ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л	PO ₄ ³⁻ , мг/л
	ПДКв	20–30	2–3	1000	6–9	45	3,3	2,6	3,5
	ПДКвр	–	–	–	7–8	40	0,08	0,5	0,2
№ 1. Пруд-отстойник (ниже пос. Троицкий)									
1	27.05.2024	–	–	–	–	50	–	–	0,5
	28.07.2024	Более 120	3	2530	7,50	56	–	–	–
	31.08.2024		4	2625	7,62	41	–	–	–
№ 2. Временный водоток у пос. Казацкая Степь									
2	В период 27.05.2024–31.08.2024 водоток представлял собой сухое русло								
№ 3. Пруд-отстойник (ниже пос. Казацкая Степь)									
3	27.05.2024	–	–	–	–	50	–	–	0,5–1
	28.07.2024	Более 120	4	2007	7,51	49	–	–	–
	31.08.2024		4	1920	7,44	38	–	–	–



Таблица 7

Данные по гидрохимическим показателям проб в Осколецкой СТА

№ п/п	Дата отбора пробы	Показатель							
		Цвет, градусы	Запах, баллы	Минерализация, мг/л	рН	NO ₃ ⁻ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л	PO ₄ ³⁻ , мг/л
	ПДКв	20–30	2–3	1000	6–9	45	3,3	2,6	3,5
	ПДКвр	–	–	–	7–8	40	0,08	0,5	0,2
№ 1. Родник в с. Петровки (исток р. Осколец)									
1	26.05.2024	–	–	–	–	15–30	–	–	0–0,2
	27.07.2024	0	0	388	6,88	42,8	0,04	0,33	0,14
	31.08.2024	10	0	397	6,90	81,3	0,06	0,40	0,38
№ 2. Створ на р. Осколец (45 ± 5 м от родника после заводи)									
2	26.05.2024	–	–	–	–	15–30	–	–	0–0,2
	27.07.2024	20	1	394	6,90	18,9	< 0,02	0,28	0,18
	31.08.2024	20	2	383	7,03	31,2	0,06	0,35	0,28
№ 3. Створ на р. Осколец (с. Осколец)									
3	26.05.2024	–	–	–	–	0–15	–	–	0–0,2
	27.07.2024	20	1	371	7,10	12,3	< 0,02	0,21	0,16
	31.08.2024	30	1	398	7,05	15,8	0,03	0,27	0,25
№ 4. Створ на р. Осколец (с. Меловой Брод)									
4	26.05.2024	–	–	–	–	0–15	–	–	0–0,2
	27.07.2024	20	1	365	7,18	7,1	< 0,02	0,19	0,18
	31.08.2024	30	2	392	7,14	10,2	< 0,02	0,32	0,22
№ 5. Створ на р. Осколец (с. Кандаурово)									
5	26.05.2024	–	–	–	–	0–15	–	–	0–0,2
	27.07.2024	20	2	374	7,22	8,2	< 0,02	0,23	0,10
	31.08.2024	30	2	387	7,18	13,5	0,06	0,26	0,16
№ 6. Родник в г. Губкин									
6	26.05.2024	–	–	–	–	50–90	–	–	0–0,2
	27.07.2024	0	0	376	7,01	61,6	0,04	0,18	0,20
	31.08.2024	10	0	398	6,86	84,6	0,07	0,30	0,18
№ 7. Створ на р. Осколец (60 ± 5 м от родника № 6)									
7	26.05.2024	–	–	–	–	15	–	–	0,5
	27.07.2024	20	1	344	7,18	18,2	0,03	0,32	0,24
	31.08.2024	30	2	375	7,05	26,3	0,06	0,62	0,26
№ 8. Родник в г. Губкин									
8	26.05.2024	–	–	–	–	30	–	–	0–0,2
	27.07.2024	0	1	371	6,87	20,4	< 0,02	0,11	0,10
	31.08.2024	10	1	379	6,92	23,1	< 0,02	0,14	0,13
№ 9. Створ на р. Осколец (50 ± 5 м от родника № 8)									
9	26.05.2024	–	–	–	–	15–30	–	–	0–0,2
	27.07.2024	20	1	372	7,20	14,3	< 0,02	0,16	0,18
	31.08.2024	30	1	380	7,30	12,9	0,03	0,26	0,22

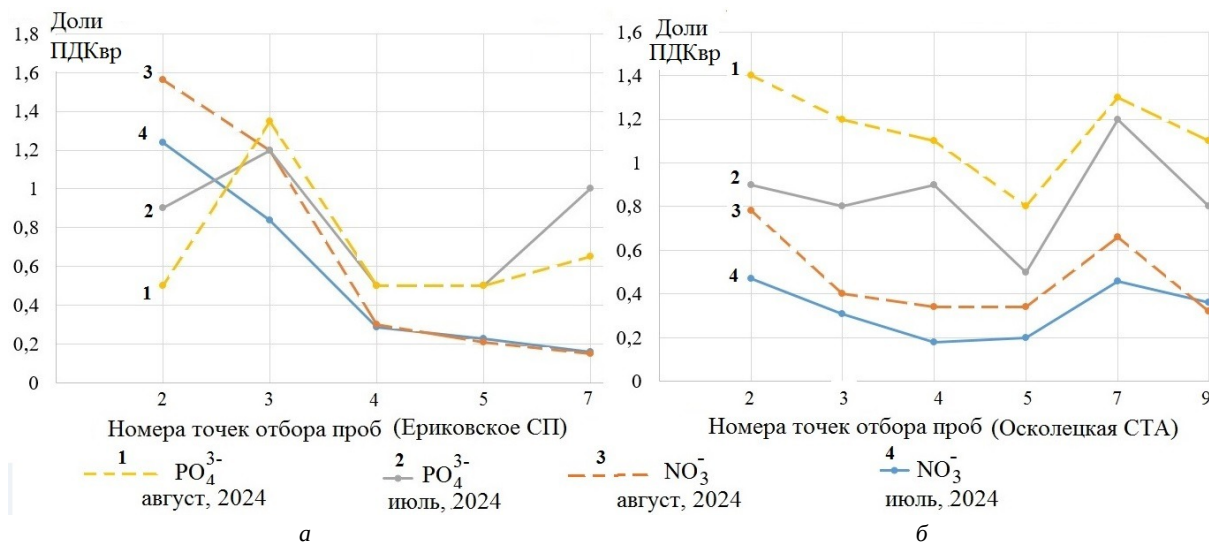


Рис. 5. Доли превышения ПДКвр PO₄³⁻ и NO₃⁻ для р. Ерик (а) и для р. Осколец (б) (цвет онлайн)

Превышение PO₄³⁻ и NO₃⁻ наблюдается на участке сброса вод сточных сооружений г. Строитель. Увеличение концентрации PO₄³⁻ на створе № 7 сопряжено с селитебной нагрузкой собственно с. Ерик. Депонирующий потенциал пруда (№ 4) и обильная растительность прибрежной зоны (№ 7) позволяют снизить содержание NO₃⁻ от истока вниз по течению.

Заключение

Из указанных территорий азотному загрязнению в большей степени подвержено Холоднянское СП (64% проб превышают ПДКвр(NO₃⁻)), что обусловлено влиянием свиноводческого комплекса и локальных птицеводческих хозяйств. В Ериковском СП и Осколецкой СТА эти показатели составляют 21% и 22% соответственно. В данных поселениях отсутствуют крупные животноводческие предприятия. Фосфатное загрязнение водных объектов выражено в Осколецкой СТА и составляет 40% проб с превышением ПДКвр(PO₄³⁻), что объясняется согласованным влиянием диффузного стока с пашни и селитебных стоков. Для Ериковского СП и Холоднянского СП указанные значения составляют 34% и 28%, причем в Ериковском СП диагностируется залповый характер поступления фосфатов.

Наиболее высокие значения корреляции между концентрациями NO₃⁻ и PO₄³⁻ наблюдаются для Холоднянского СП ($r = 0,82$), а также в границах Осколецкого СП ($r = 0,76$) до створов в черте пригорода г. Губкин. В первом случае причиной этого является косвенное влияние свиноводческого комплекса как источника-доминанты загрязнения биогенными элементами; во втором – влияние диффузного стока с агроландшафтов экстенсивного типа. Для Ери-

ковского СП отсутствует корреляция NO₃⁻/PO₄³⁻ ($r = -0,035$), что говорит о влиянии селитебных стоков (городские очистные сооружения) г. Строитель на верховья р. Ерик. Если рассматривать данные суммарно для всех створов р. Осколец (Осколецкое СП и г. Губкин), то отмечается незначительная корреляция NO₃⁻/PO₄³⁻ ($r = 0,40$), что свидетельствует о существенности сбросов сточных вод, в том числе их залпового характера.

Практически для всех территорий (кроме Троицкой СТА) с июня по август 2024 г. наблюдался рост уровня NO₃⁻/PO₄³⁻ загрязнения водных объектов, что объясняется длительным периодом с высокими температурами воздуха и отсутствием осадков на территории Белгородской области. Для водотоков закономерность проявляется в большей степени, чем для водоемов, так как в прудах процессы биоассимиляции протекают интенсивнее. Максимально к засушливому периоду чувствительны родники (верховодка) с позиции наиболее быстрого накопления нитратов.

Помимо традиционного диффузного стока биогенных элементов в агроландшафтах с пашни, для Белгородской области можно выделить:

- косвенное влияние крупных животноводческих комплексов и перерабатывающих предприятий;
- разрастание селитебной зоны за счет пригородов, увеличение объемов селитебных стоков, в том числе интенсификация «трансграничного переноса» между административными единицами;
- несоблюдение границ водоохранной зоны для малых водотоков (локальные фермы, свалки, приусадебные хозяйства).



Важно отметить, что индикаторная функция водных объектов в агроландшафтах хорошо проявляет себя, если учитывать:

- состояние как малых водотоков, так и сопутствующих им прудов, колодцев, родников в системе;
- корреляционные зависимости между концентрациями различных / типичных видов поллютантов с опорой на функциональные зоны;
- наличие потенциального источника-доминанты и вклад второстепенных источников точечного и диффузного характера.

Библиографический список

1. *Chen J., Wu H., Qian H.* Groundwater Nitrate Contamination and Associated Health Risk for the Rural Communities in an Agricultural Area of Ningxia, Northwest China // *Exposure and Health*. 2016. № 8. P. 349–359. <https://doi.org/10.1007/s12403-016-0208-8>
2. *Фёдоров А. В., Макаров В. З.* К методологии комплексного геоэкологического районирования региона на основе концептуальных моделей современного ландшафтоведения (на примере Саратовской области) // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле*. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 87–96. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-2-87-96>, EDN: WCXPYC
3. *Barroso M. F., Ramalhosa M. J., Olhero A., Antão M. C., Pina M. F.* Assessment of groundwater contamination in agricultural peri-urban area: An integration approach // *Environmental Earth Science*. 2015. Vol. 73. P. 2881–2894. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3297-3>
4. *Корнилов А. Г., Киселев В. В., Курепина В. А., Лопина Е. М., Боровлев А. Э.* Биогенное загрязнение водных объектов в сельскохозяйственных районах Белгородской области // *Региональные геосистемы*. 2023. Т. 47, № 1. С. 76–87. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-1-76-87>, EDN: HPMWDV
5. *Лисецкий Ф. Н., Буряк Ж. А., Присный А. В., Белеванцев В. Г., Павлюк Я. В., Заздравных Е. А., Дунаев В. А., Белоусова Л. И., Квачев В. Н., Лебедева М. Г., Крымская О. В., Толстопятова О. С., Соловиченко В. Д., Лукин С. В., Полякова Т. А., Королева И. С., Марциневская Л. В., Выродова Ю. Н., Цапков А. Н., Соловьев А. Б.* [и др.] Географический атлас Белгородской области: природа, общество, хозяйство / Всероссийская общественная организация «Русское географическое общество» ; Белгородский государственный национальный исследовательский университет ; отв. ред. А. Г. Корнилов. Белгород : КОНСТАНТА, 2018. 200 с. EDN: KQDWZW

Поступила в редакцию 17.08.2024; одобрена после рецензирования 13.09.2024; принята к публикации 27.09.2024; опубликована 29.11.2024

The article was submitted 17.08.2024; approved after reviewing 13.09.2024; accepted for publication 27.09.2024; published 29.11.2024