

Lyudmila Nikolaevna Medvedeva, Doctor of Economics, Leading Researcher at VNIIOZ – the Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture” (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazeva st., 9), ORCID 0000-0002-3650-2083, e-mail: mile-na.medvedeva2012@yandex.ru

Kanash Vladimir Vladimirovich, Manager, Agidel LLC (Russian Federation, 404130, Volgograd region, Volzhsky, Lenin Av., e-mail: agidel.vlg.ru@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-36

DIGITAL TOOL FOR ESTIMATING THE NEGATIVE IMPACT OF AGRICULTURAL PRODUCTION ON WATER BODIES

A. Yu. Briukhanov, E. V. Vasilev, E. A. Papushin

*Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM
Saint Petersburg, Russian Federation*

Corresponding author e-mail: papushinea@yandex.ru

Received 18.09.2023

Submitted 27.10.2023

Summary

The article presents a flowchart of an algorithm and a database for assessing the nutrient load on water bodies generated by agricultural production. It also gives a calculation example of the nutrient input into the water bodies from farming in the Leningrad Region in 2018.

Abstract

Introduction. Most pollutants from non-point sources get into surface waters from of agricultural activities. These pollutants can be chemical plant protection agents, animal and poultry manure, and manure-bearing wastewater from agricultural enterprises. So, reducing the diffuse pollution with nutrient inputs is a priority and important task for improving the quality of ground and surface waters. **Object.** The study considered the calculation methods for assessing the nutrients loss into water bodies from farming operations. **Materials and methods.** The applied research methods were those of subject area study, decomposition, diffuse load assessment, spatial analysis in the environment of geographic information systems (GIS). The effect of agricultural production on water bodies was assessed according to the methodology developed in IEEP – branch of FSAC VIM. **Results and conclusions.** To assess the pollution of water bodies by agricultural lands, and livestock and poultry complexes, the study designed a corresponding algorithm. It had several blocks: initial data, pollution source analysis, estimation of point and non-point pollution, and the estimation results and recommendations on the nutrient load reduction. The other study output was the structure of the database for obtaining and accumulating information on the activities of an agricultural enterprise, agricultural land available, the amount of biogens entering water bodies from agricultural production, etc. The database was designed for research application. For example, the calculations using the database showed that in 2018 the nutrient input into the water bodies of the Leningrad Region amounted to 3909.2 t/year for nitrogen and 250.96 t/year for phosphorus. The study results were recognized with the Certificate of Database Registration 2022622557 dated 19.10.2022 “Indicators for assessing impacts on water bodies” and the Certificate of Computer Program Registration 2022684376 dated 13.12.2022 “Program for assessing diffuse load on water bodies from agricultural production”.

Key words: *pollution of water bodies, assessment of water pollution, biogens, monitoring of water quality.*

Citation. Briukhanov A. Yu., Vasilev E. V., Papushin E. A. Digital tool for estimating the negative impact of agricultural production on water bodies. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 357-366 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-36.

Author’s contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 004.658.2

**ЦИФРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕГАТИВНОГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА
НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ****А. Ю. Брюханов**, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор**Э. В. Васильев**, кандидат технических наук**Э. А. Папушин**, кандидат технических наук*Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства –
филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения**«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»**г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Актуальность. Большинство загрязняющих веществ от неорганизованных источников попадают в поверхностные воды в результате сельскохозяйственной деятельности. Источниками загрязнения могут являться химические средства защиты растений, навоз, помет, навозосодержащие стоки сельскохозяйственных предприятий. Поэтому снижение неорганизованных поступлений биогенных веществ является приоритетной и важной задачей для улучшения качества грунтовых и поверхностных вод. **Объект.** Объектом исследования были расчётные методы оценки потерь биогенных элементов в водные объекты от сельскохозяйственного производства. **Материалы и методы.** Использованы методы исследования предметной области, декомпозиции, оценки диффузной нагрузки, пространственного анализа в среде геоинформационных систем (ГИС). Оценка воздействия сельскохозяйственного производства на водные объекты выполнена по методике, разработанной в ИАЭП – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. **Результаты и выводы.** Для решения задачи оценки загрязнения водных объектов с сельскохозяйственных угодий, животноводческих и птицеводческих комплексов разработан соответствующий алгоритм, состоящий из блока исходных данных, блока анализа источников загрязнения, блока оценки точечных и неточечных загрязнений и блока результатов оценки и рекомендаций по снижению нагрузки. Разработана структура базы данных для получения и накопления информации о деятельности сельхозпредприятия, земельных угодьях сельскохозяйственного назначения, количестве биогенов, попадающих в водные объекты от сельскохозяйственного производства, и др. База данных может быть использована при выполнении научно-исследовательских работ. В частности, расчет на ее основе показал, что в 2018 году поступление биогенных элементов в водные объекты Ленинградской области составило 3909,2 т/год по азоту и 250,96 т/год по фосфору. По результатам проведенного исследования было получено Свидетельство о регистрации базы данных 2022622557 от 19.10.2022 «Показатели оценки воздействия на водные объекты» и Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022684376 от 13.12.2022 «Программа оценки диффузной нагрузки на водные объекты при производстве сельскохозяйственной продукции».

Ключевые слова: загрязнение водных объектов, оценка загрязненности воды, биогены, мониторинг качества воды.

Цитирование. Брюханов А. Ю., Васильев Э. В., Папушин Э. А. Цифровой инструмент для определения негативного воздействия сельскохозяйственного производства на водные объекты. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 357-366. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-36.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Особенностью развития современного производства сельскохозяйственной продукции является интенсификация. Интенсификация сельского хозяйства приводит к увеличению продуктивности растений и животных, но также может вызывать

негативные экологические последствия: низкий уровень доли перерабатываемых органических отходов (по ряду субъектов доля перерабатываемых и используемых органических отходов не превышает 20–30%); ухудшение качества почв сельскохозяйственных земель (недостаток питательных элементов составляет более 6000 тыс. тонн действующего вещества в год); высокий уровень биогенной нагрузки на почвы и водоемы (на примере водных объектов по азоту до 150 кг/га, по фосфору до 10 кг/га, при средней норме 15–20 и 1–1,5 кг/га соответственно) [1–5].

Интенсивное животноводство является значительным источником загрязнения воды. Отходы животных, богатые биогенами, такими как азот и фосфор, часто попадают в близлежащие водные пути, что приводит к повышению уровня питательных веществ в воде. Это способствует росту водных растений и водорослей, что может привести к цветению воды и снижению качества воды.

Во всем мире ведется работа по идентификации загрязнений, разработке баз данных и моделей оценки диффузного загрязнения от сельскохозяйственных объектов [6].

Ученые из Новой Зеландии и Австралии разработали базу данных результатов измерения азота и фосфора для 1421 ручьев и рек по всему миру. Эти данные они объединили с данными о характеристиках водосбора и землепользования в модели для оценки нагрузки и урожайности. В основном в базе данных учитываются диффузные источники потерь питательных веществ [7].

Ученые из КНР используют в своих исследованиях инструмент оценки почвенных вод (SWAT) для изучения источников и динамики удержания питательных веществ фосфора в речной системе бассейна реки Ен, Китай [8].

Чтобы оценивать и снижать величину воздействия на водные объекты от сельскохозяйственного производства, необходимо:

1. Проводить долгосрочный мониторинг качества воды в загрязняемых водоемах;
2. Использовать новые технологии производства сельхозпродукции, способствующие уменьшению загрязнения.

Но в первую очередь необходимы данные, характеризующие биогенную нагрузку от агроэкосистем на водные объекты, базы данных для их накопления и хранения, системы управления базами данных и унифицированные прогностические модели, охватывающие все ключевые аспекты управления сельским хозяйством и водными ресурсами, для формирования вариантов и рисков, последствий, а также взаимодействие между рациональным производством продовольствия и его воздействие на водные ресурсы.

Целью наших исследований является разработка алгоритма и структуры базы данных показателей воздействия на водные объекты от сельскохозяйственного производства, обеспечивающих автоматизацию расчета.

Материалы и методы. Объектом исследования является автоматизированная система оценки воздействий на водные объекты от сельскохозяйственного производства. Использованы теоретические методы функционально-структурного анализа, исследования предметной области, декомпозиции, методы оценки диффузной нагрузки, пространственного анализа в среде геоинформационных систем (ГИС). Для оценки воздействий на водные объекты от сельскохозяйственного производства используется методика, разработанная в Институте агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ [9].

Для разработки базы данных был использован пакет программ Visual Foxpro 9.0.

Результаты и обсуждение. На основе методики разработан алгоритм оценки биогенной нагрузки на водные объекты при производстве сельхозпродукции, его блок-схема представлена на рисунке 1.

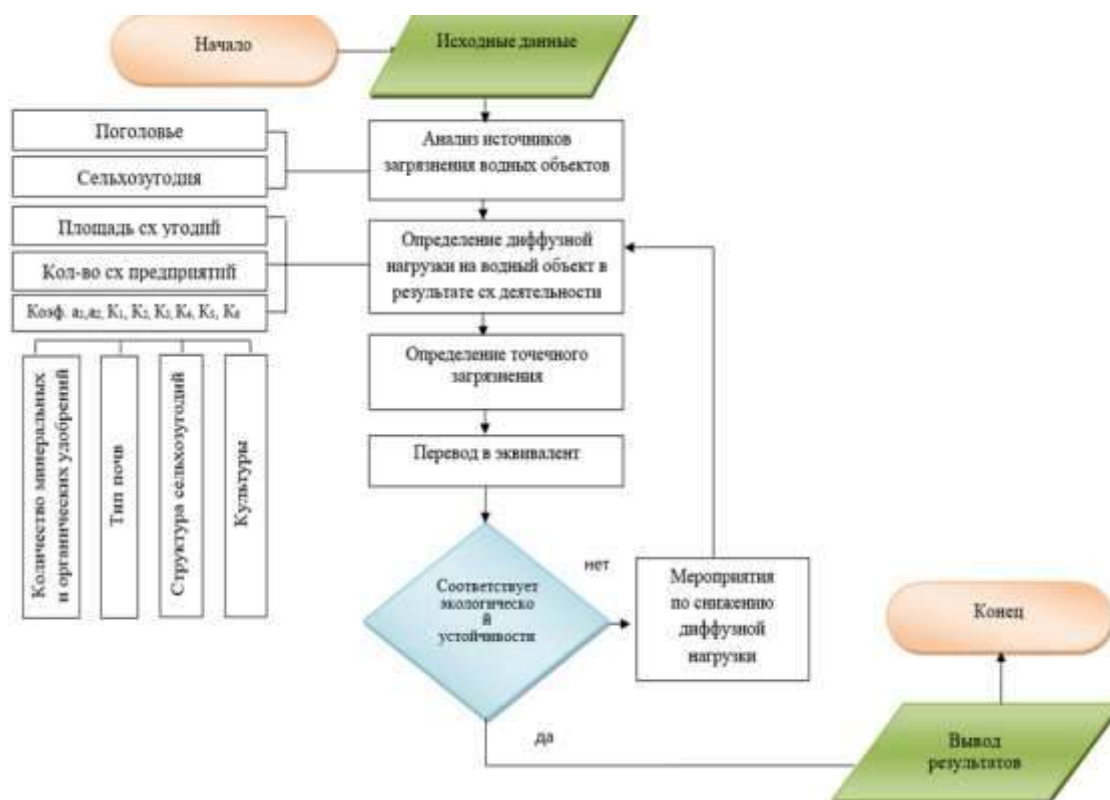


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма оценки биогенной нагрузки на водные объекты при производстве сельскохозяйственной продукции

Figure 1 – Diagram of the algorithm for assessment of biogenic load on water bodies in the production of agricultural products

На этапе «Начало» задаются исходные данные сельхозпредприятия и близлежащих водных объектов.

Исходные данные включают следующую информацию:

- количество сельскохозяйственных животных с разбивкой по районам и крупным сельскохозяйственным предприятиям, голов;
- площадь сельскохозяйственных земель в пределах водосбора с разбивкой по муниципальным районам, га;
- образование и использование органических удобрений, с указанием доз в пересчете на содержание азота и фосфора в них, кг/га/год;
- применение минеральных удобрений в пересчете на азот и фосфор, кг/га/год;
- характеристики почв сельскохозяйственных земель и коэффициенты, учитывающие долю многолетних трав в севообороте;
- коэффициенты удаленности сельскохозяйственных полей от ближайших водных объектов.

По результатам анализа и расчетов формируется отчет оценки биогенной нагрузки на водные объекты, в котором отмечаются рекомендации по ее снижению.

Для практической реализации алгоритма, использования большого количества исходных данных и показателей, для оценки загрязнения водных объектов была разработана соответствующая база данных.

Результат анализа предметной области воздействий от сельского хозяйства на водные объекты представлен в виде концептуальной схемы базы данных оценки биогенной нагрузки на водные объекты (рисунок 2).

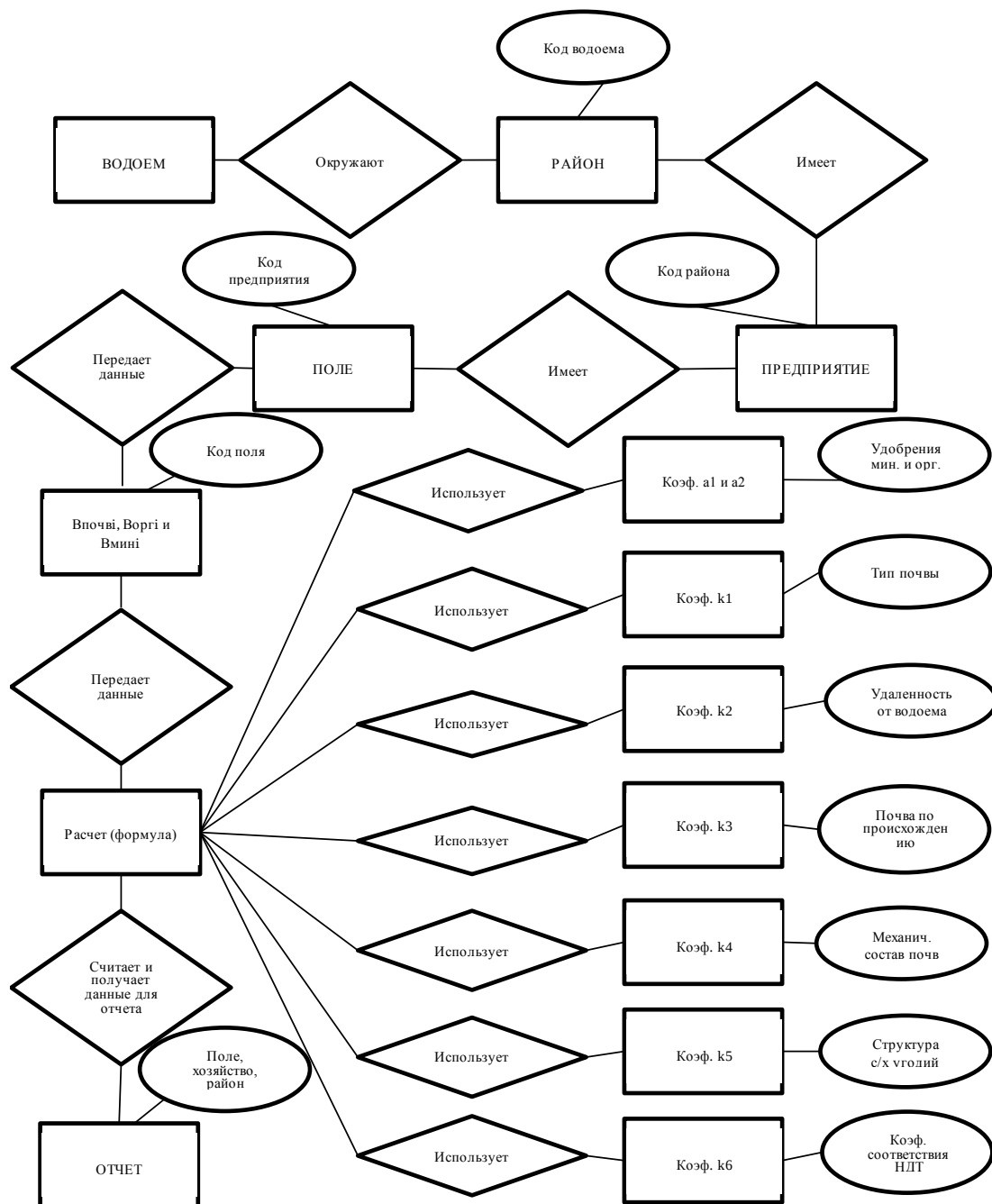


Рисунок 2 – Концептуальная схема базы данных показателей оценки биогенной нагрузки на водные объекты

Figure 2 – Conceptual diagram of the database of indicators for assessment of biogenic load on water bodies

Анализ предметной области, относящейся к базе данных, показал, что степень диффузного загрязнения водных объектов зависит от практик землепользования, применяемых в рассматриваемых регионах, от типов почв по происхождению и механическому составу, от содержания питательных веществ в пахотном слое почвы, от удаленности сельскохозяйственных полей от водных объектов [10, 11].

Исходя из этого разработанная база данных обладает следующими функциональными возможностями:

- 1 Накопление данных о существующих водных объектах РФ.
- 2 Определение районов в различных регионах РФ, находящихся в такой зоне удаленности от указанного водного объекта, которая позволяет предположить возможность его диффузного загрязнения сточными водами от сельскохозяйственных угодий хозяйств, принадлежащих этим районам.
- 3 Накопление данных о сельхозпредприятиях, о поголовье, о принадлежащих им сельскохозяйственных угодьях, о практиках землепользования.
- 4 Проведение расчетов биогенной нагрузки. Результаты расчетов структурированы и заносятся в отдельную таблицу.

Для того чтобы использовать все функциональные возможности базы данных, были разработаны удобные, интуитивно понятные интерфейсы. Рассмотрим пример определения диффузной нагрузки на водосборный бассейн Балтийского моря по Ленинградской области в 2018 году.

[illegible]

Рисунок 3 – Форма исходных данных для расчета диффузной нагрузки
(на примере Ленинградской области)

Figure 3 – The form of the initial data for calculating the diffuse load
(on the example of the Leningrad Region)

Основными исходными данными, характеризующими сельскохозяйственную деятельность, являются данные по поголовью сельскохозяйственных животных, выходу навоза и содержанию в нем азота и фосфора, площадь сельхозугодий, дозы использования минеральных удобрений в пересчете на валовый азот и фосфор. В результате обследования спутниковых снимков мест расположения животноводческих предприятий, на основе официальных статистических данных, предоставляемых электронным онлайн ресурсом Федеральной службы государственной статистики, определяются направления деятельности предприятия. Данные по поголовью сельскохозяйственных животных и другие данные вносятся в форму исходных данных для расчета диффузной нагрузки базы данных (рисунок 3, 4).

На рисунке 4 показан общий вид информационных графиков с нанесением наиболее крупных животноводческих предприятий и части исходных данных, сформированных с применением ГИС систем, на водосборах Ленинградской области.



Рисунок 4 – Информационные графики с нанесением наиболее крупных животноводческих предприятий и части исходных данных, сформированных с применением ГИС систем (водосбор Ленинградской области)

Figure 4 – Infographics with the application of the largest livestock enterprises and a part of the initial data generated using GIS (the catchment area of the Leningrad Region)

Оценка диффузной нагрузки производится по методике, разработанной в ИАЭП – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ [11].

В результате расчета была определена диффузная нагрузка на водосборный бассейн Балтийского моря от сельскохозяйственного производства в Ленинградской области за 2018 год (таблица 1).

Таблица 1 – Диффузная нагрузка на водные объекты Ленинградской области от сельскохозяйственного производства за 2018 год

Table 1 – Diffuse load on water bodies from agricultural production in the Leningrad Region in 2018

Район	Площадь, га	Азот, кг/га	Фосфор, кг/га	Азот, т/год	Фосфор, т/год
1	2	3	4	5	6
Бокситогорский муниципальный район	1428,50	22,338	1,472	31,91	2,10
Волосовский муниципальный район	36994,20	12,268	1,053	453,84	38,95
Волховский муниципальный район	12844,00	14,471	0,865	185,87	11,11
Всеволожский муниципальный район	9395,60	7,101	0,426	66,72	4,00
Выборгский муниципальный район	9486,80	28,654	1,588	271,83	15,07
Гатчинский муниципальный район	32909,30	17,455	1,162	574,43	38,24
Кингисеппский муниципальный район	19062,30	20,382	1,150	388,53	21,92
Киришский муниципальный район	9154,00	20,322	1,153	186,03	10,55

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Кировский муниципальный район	2461,10	21,584	1,166	53,12	2,87
Лодейнополюский муниципальный район	4422,30	18,917	1,050	83,66	4,64
Ломоносовский муниципальный район	13128,80	22,540	1,292	295,92	16,96
Лужский муниципальный район	25277,00	20,616	1,374	521,11	34,73
Подпорожский муниципальный район	176,50	23,854	1,124	4,21	0,20
Приозерский муниципальный район	17917,70	23,049	1,489	412,99	26,68
Сланцевский муниципальный район	6885,10	15,169	0,839	104,44	5,78
Тихвинский муниципальный район	5159,40	13,790	0,772	71,15	3,98
Тосненский муниципальный район	18482,90	11,007	0,713	203,44	13,18
Всего:	225185,50	313,517	18,688	3909,20	250,96

Согласно результатам расчета с использованием базы данных, в 2018 году поступление биогенных элементов в водные объекты Ленинградской области составило: по азоту – 3909,2 т/год и по фосфору – 250,96 т/год. Можно сделать вывод, что наибольшее влияние на диффузное поступление азота и фосфора в водные объекты оказывает наличие возделываемых сельскохозяйственных земельных площадей и характеристики почв сельхозземель.

Заключение. Разработанные алгоритм и структура базы данных являются частью интеллектуальной аналитической программной платформы экологической безопасности, прогнозирования и управления сельскохозяйственными экосистемами и будут использованы для оценки загрязнения от сельского хозяйства на водные объекты.

База данных обладает следующими функциональными возможностями: накопление данных о существующих водных объектах РФ; определение районов в различных регионах РФ, находящихся в такой зоне удаленности от указанного водного объекта, которая позволяет предположить возможность его диффузного загрязнения сточными водами от сельскохозяйственных угодий хозяйств, принадлежащих этим районам; накопление данных о сельхозпредприятиях, о принадлежащих им сельскохозяйственных угодьях, о практиках землепользования в определенных выше районах; проведение расчетов диффузной нагрузки, сформированной на полях сельхозпредприятий и поступившей в ближайшие водоемы.

Согласно результатам расчета с использованием базы данных, в 2018 году поступление биогенных элементов в водные объекты Ленинградской области составило по азоту – 3909,2 т/год и по фосфору – 250,96 т/год. Можно сделать вывод, что наибольшее влияние на диффузное поступление азота и фосфора в водные объекты оказывает наличие возделываемых сельскохозяйственных земельных площадей и характеристики почв сельхозземель. Полученные данные позволяют перейти к обоснованию выбора технологий и технических средств снижения диффузной нагрузки.

По результатам исследований получены свидетельства о регистрации базы данных 2022622557 от 19.10.2022 «Показатели оценки воздействий на водные объекты» и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022684376 от 13.12.2022 «Программа оценки диффузной нагрузки на водные объекты при производстве сельскохозяйственной продукции».

Conclusions. The developed algorithm and database structure is part of an intelligent analytical software platform for environmental safety, forecasting and management of agricultural ecosystems and will be used to assess pollution from agriculture on water bodies.

The database has the following functionality: accumulation of data on existing water bodies of the Russian Federation; determination of areas in different regions of the Russian Federation located in such a zone of distance from the specified water body, which suggests the possibility of its diffuse pollution with wastewater from agricultural land of farms belonging to these areas; accumulating data on agricultural enterprises, on their agricultural land, on land use practices in the areas identified above; calculation of diffuse load formed on the fields of agricultural enterprises and received in the nearest reservoirs.

According to the results of calculation using the database, in 2018 the intake of biogenic elements into water bodies of the Leningrad Region amounted to 3909.2 t/year for nitrogen and 250.96 t/year for phosphorus. It can be concluded that the greatest influence on the diffuse flow of nitrogen and phosphorus into water bodies is the presence of cultivated agricultural land and soil characteristics of agricultural land. The data obtained allow us to move on to justifying the choice of technologies and technical means of reducing diffuse load.

Based on the results of the studies, a certificate of registration of the 2022622557 database was obtained from the 19.10.2022 "Indicators of assessment of impacts on water bodies" and a certificate of registration of the computer program 2022684376 from the 13.12.2022 "Program of assessment of diffuse load on water bodies in the production of agricultural products."

Библиографический список

1. Develop nutrient-balanced and "low nutrient surplus" agriculture in Baltic Sea Basin. Annual Activities Report 2017. Uppsala, Sweden: Coalition Clean Baltic. 2018. 102 p.
2. Weigelhofer G., Hein T., Bondar-Kunze E. Phosphorus and nitrogen dynamics in riverine systems: Human impacts and management options. Riverine Ecosystem Management, Aquatic Ecology Series. London, UK: Springer. 2018. V. 8. Pp. 187-202.
3. Kirschke S., Häger A., Kirschke D., Völker J. Agricultural nitrogen pollution of freshwater in Germany, the governance of sustaining a complex problem. Water. 2019. V.11 (12). P. 2450.
4. Кирейчева Л. В., Лентяева Е. А., Тимошкин А. Д., Яшин В. М. Оценка диффузного загрязнения от сельскохозяйственных территорий в бассейне верхней Волги и разработка мероприятий по его снижению на примере реки Яхромы. Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 5. С. 523-535.
5. Holsten B., Trepel M. Nutrient balance and water pollution control. Paludiculture – Productive Use of Wet Peatlands. Stuttgart, Germany: Schweizerbart Science Publishers. 2016. Pp. 106-109.
6. Harrison S., McAree C., Mulville W., Sullivan T. The problem of agricultural diffuse pollution: Getting to the point. Science of the Total Environment. 2019. V. 677. Pp. 700-717.
7. McDowell R. W., Noble A., Pletnyakov P., Mosley L. M. Global database of diffuse riverine nitrogen and phosphorus loads and yields. Geoscience Data Journal. 2021. V. 8. P. 132-143.
8. Cheng J., Gong Y., Zhu D. Z., Xiao M., Zhang Z., Bi J., Wang K. Modeling the sources and retention of phosphorus nutrient in a coastal river system in China using SWAT. Journal of Environmental Management 2021. V. 278. Part 2. 111556.
9. Брюханов А. Ю., Кондратьев С. А., Обломкова Н. С., Огуздин А. С., Субботин И. А. Методика определения биогенной нагрузки сельскохозяйственного производства на водные объекты. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2016. № 89. С. 175-183.
10. Минакова Е. А., Шлычков А. П., Кондратьев С. А., Брюханов А. Ю. Влияние сельского хозяйства на формирование биогенной нагрузки Куйбышевского водохранилища. Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития: сб. науч. тр. по материалам Международной научной экологической конференции. Краснодар: КубГАУ, 2020. С. 61-63.
11. Поздняков Ш. Р., Брюханов А. Ю., Кондратьев С. А., Игнатьева Н. В., Шмакова М. В., Минакова Е. А., Расулова А. М., Обломкова Н. С., Васильев Э. В., Терехов А. В. Перспективы сокращения выноса биогенных элементов с речных водосборов за счет внедрения наилучших доступных технологий сельскохозяйственного производства (по результатам моделирования). Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 5. С. 588-602.

References

1. Develop nutrient-balanced and "low nutrient surplus" agriculture in Baltic Sea Basin. Annual Activities Report 2017. Uppsala, Sweden: Coalition Clean Baltic. 2018. 102 p.
2. Weigelhofer G., Hein T., Bondar-Kunze E. Phosphorus and nitrogen dynamics in riverine systems: Human impacts and management options. Riverine Ecosystem Management, Aquatic Ecology Series. London, UK: Springer. 2018. V. 8. Pp. 187-202.
3. Kirschke S., Häger A., Kirschke D., Völker J. Agricultural nitrogen pollution of freshwater in Germany, the governance of sustaining a complex problem. Water. 2019. V. 11 (12). P. 2450.

4. Kireicheva L. V., Lentyaeva E. A., Timoshkin A. D., Yashin V. M. Assessment of diffuse pollution from agricultural territories in the upper Volga basin and development of measures to reduce it using the example of the Yakhroma River. *Water resources*. 2020. V. 47. № 5. Pp. 523-535.
5. Holsten B., Trepel M. Nutrient balance and water pollution control. *Paludiculture – Productive Use of Wet Peatlands*. Stuttgart, Germany: Schweizerbart Science Publishers. 2016. Pp. 106-109.
6. Harrison S., McAree C., Mulville W., Sullivan, T. The problem of agricultural diffuse pollution: Getting to the point. *Science of the Total Environment*. 2019. V. 677. Pp. 700-717.
7. McDowell R. W., Noble A., Pletnyakov P., Mosley L.M. Global database of diffuse riverine nitrogen and phosphorus loads and yields. *Geoscience Data Journal*. 2021. V. 8. Pp. 132-143.
8. Cheng J., Gong Y., Zhu D. Z., Xiao M., Zhang Z., Bi J., Wang K. Modeling the sources and retention of phosphorus nutrient in a coastal river system in China using SWAT. *Journal of Environmental Management* 2021. V. 278. P. 2. 111556.
9. Bryukhanov A. Yu., Kondratyev S. A., Oblomkova N. S., Oguzdin A. S., Subbotin I. A. Methodology for determining the biogenic load of agricultural production on water bodies. *Technologies and technical means of mechanized production of crop production and animal husbandry*. 2016. № 89. Pp. 175-183.
10. Minakova E. A., Shlychkov A. P., Kondratyev S. A., Bryukhanov A. Yu. The influence of agriculture on the formation of the biogenic load of the Kuibyshev reservoir. *Agrarian landscapes, their sustainability and development features: the materials of the International Scientific Environmental Conference*. Krasnodar: KubGAU, 2020. Pp. 61-63.
11. Pozdnyakov S. R., Bryukhanov A. Yu., Kondratyev S. A., Ignatiev N. V., Shmakova M. V., Minakova E. A., Rasulova A. M., Oblomkova N. S., Vasiliev E. V., Terekhov A. V. Prospects for reducing the removal of biogenic elements from river watersheds due to introduction of the best available agricultural production technologies (based on modeling results). *Water resources*. 2020. V. 47. No 5. Pp. 588-602.

Информация об авторах

Брюханов Александр Юрьевич, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское ш. 3), e-mail: sznii@yandex.ru

Васильев Эдуард Вадимович, кандидат технических наук, заведующий отделом анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское ш. 3), e-mail: sznii6@yandex.ru

Папушин Эдуард Александрович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское ш. 3), e-mail: papushina@yandex.ru

Author's Information

Bryukhanov Aleksandr Yurievich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 196625, Saint Petersburg, p.o. Tiarlevo, Filtrovskoje Shosse, 3), e-mail: sznii@yandex.ru

Vasilev Eduard Vadimovich, Candidate of Engineering Sciences, leading researcher, Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 196625, Saint Petersburg, p.o. Tiarlevo, Filtrovskoje Shosse, 3), e-mail: sznii6@yandex.ru.

Papushin Eduard Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, leading researcher, Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 196625, Saint Petersburg, p.o. Tiarlevo, Filtrovskoje Shosse, 3), e-mail: papushina@yandex.ru