



Информационные технологии и автоматизация эколого-технологического управления территориальным природно-производственным комплексом

Н. А. Жильникова^а, доктор техн. наук, профессор, orcid.org/0000-0003-1291-7150, nataliazhilnikova@gmail.com

А. А. Баранова^а, аспирант, ассистент, orcid.org/0000-0003-2676-4212

^аСанкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Б. Морская ул., 67, Санкт-Петербург, 190000, РФ

Введение: для осуществления сложного и трудозатратного механизма установления нормативов для всех водопользователей и перераспределения нагрузки между ними необходимо разрабатывать новые усовершенствованные информационные средства и автоматизированные геоинформационные системы, которые позволят осуществлять не только среднесрочные, но и долгосрочные прогнозы с учетом актуальных на сегодня требований природоохранного законодательства. **Цель:** обосновать нормативы качества окружающей природной среды и экологической безопасности для различных производств путем геоинформационного моделирования. **Результаты:** разработана методика сбора и систематизации геоинформационных данных, позволяющая рассчитывать основные эколого-технологические показатели производственных систем и создавать интегрированные базы данных субъектов водопользования. Предложена структура межотраслевой регионально-бассейновой базы геоинформационных данных для имитационного моделирования эколого-технологических нормативов предприятий, с помощью которой пользователь программного обеспечения имеет возможность систематизировать необходимую информацию. База данных может дополняться новыми элементами производственно-технологического назначения в соответствии со спецификой производства. По результатам моделирования создана геоинформационная моделирующая территориально-бассейновая система на основе моделей управления качеством воды и типовых моделей, описывающих конвективно-диффузионный перенос и превращение веществ в водотоках, для разработки нормативов допустимого воздействия. **Практическая значимость:** использование полученных результатов региональными отделениями Федерального агентства водных ресурсов позволило водно-бассейновым управлениям перейти на принципиально новый современный уровень принятия решений по совершенствованию системы водопользования на предприятиях путем внедрения автоматизированных информационных систем управления геоданными.

Ключевые слова — природно-производственный комплекс, геоинформационное моделирование, автоматизированные информационно-управляющие системы, эколого-технологическое нормирование, имитационная геоинформационная модель.

Для цитирования: Жильникова Н. А., Баранова А. А. Информационные технологии и автоматизация эколого-технологического управления территориальным природно-производственным комплексом. *Информационно-управляющие системы*, 2023, № 2, с. 61–68. doi:10.31799/1684-8853-2023-2-61-68, EDN: IKIOQA

For citation: Zhilnikova N. A., Baranova A. A. Information technologies and automation of environmental and technological management of the territorial natural-production complex. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2023, no. 2, pp. 61–68 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2023-2-61-68, EDN: IKIOQA

Введение

Автоматизация и повышение результативности организации производства с помощью информационных технологий — на данный момент один из самых эффективных методов решения задачи рационального и гармоничного взаимодействия промышленного предприятия и окружающей среды.

Применение современного информационного обеспечения при геоинформационном моделировании систем и комплексов, а также более активное использование средств автоматизации, особенно при одновременном контроле многими параметрами, необходимо для повышения результативности управления территориально-природно-производственным комплексом (ТППК). Под ТППК понимается целостная структура,

включающая совокупность предприятий субъектов водопользования в границах одного речного бассейна в соответствии с водохозяйственным районированием, в пределах которого должны быть установлены и обеспечены нормативы экологической безопасности и качества окружающей природной среды [1, 2].

Автоматизация управления ТППК необходима в первую очередь для обеспечения экологических нормативов допустимого воздействия (НДВ) предприятий-водопользователей в пределах водного бассейна и индивидуальных нормативов допустимых сбросов (НДС) для отдельных субъектов при разработке программ и схем комплексного использования и охраны водных объектов. С другой стороны, в соответствии с изменениями в законодательстве в области технологического нормирования предприятиям

первой и второй категории негативного воздействия на окружающую среду следует гарантировать соответствие производственных процессов наилучшим доступным технологиям (НДТ) [3–5].

Современный ТППК должен обеспечить на основе эколого-технологических критериев оптимальное взаимодействие предприятия-водопользователя с водным объектом. Это предопределяет необходимость развития методов и средств математического, программного и информационного обеспечения задач прогноза и оптимизации параметров водоотведения в рамках ТППК, а также автоматизированных информационно-управляющих систем [6, 7].

Геоинформационное моделирование для управления эколого-технологическим нормированием в территориальных бассейново-региональных природно-производственных комплексах

Для экологического нормирования качества стоков, сбрасываемых водопользователями в водные объекты, и определения техногенной нагрузки производств в ТППК требуется обработать огромный массив информации, включающей климатические, гидрологические, абиотические и другие показатели, характеризующие состояние водного объекта. Применение современных программных средств и инструментов на основе геоинформационных технологий позволяет со-

кратить трудозатраты и упростить процесс разработки НДС для отдельных субъектов ТППК и НДС для бассейна в целом [1, 2, 8–10].

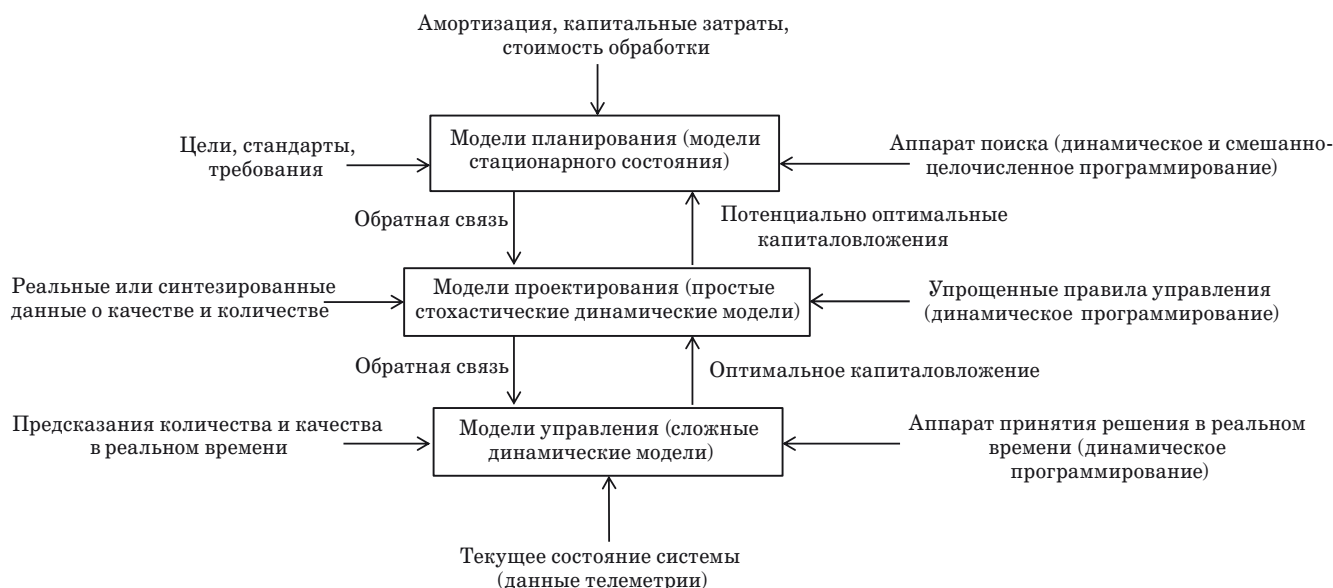
Моделирование управления качеством воды в водотоках, находящихся под негативным влиянием субъектов водоотведения, способствует повышению результативности эколого-технологического нормирования и управления им. Модели управления качеством воды в водотоках для нормирования антропогенной нагрузки водопользователей на водный объект в рамках ТППК представлены на рис. 1 [11].

«Модель расчета формирования качества воды можно представить в общем виде:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} dx dt = Q dt - \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \right) dt + (Q_i + Q_{af} - Q_e) dx dt, \quad (1)$$

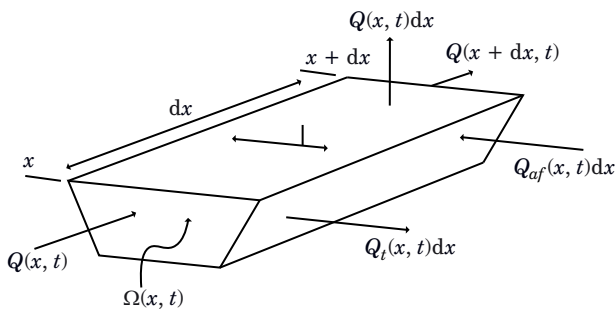
где dx — бесконечно малый участок реки; x — расстояние, отделяющее рассматриваемое поперечное сечение водотока от исходного сечения; $x + dx$ — участок реки между сечениями, где соблюдается баланс массы загрязняющих веществ; $Q(x, t)$ — расход воды через сечение x в момент времени t_0 ; $Q_i(x, t)$, $Q_{af}(x, t)$, $Q_e(x, t)$ — расходы воды на единицу длины участка, обозначающие соответственно инфильтрацию подземных вод, боковые притоки и испарение; $\Omega(x, t)$ — площадь поверхности поперечного сечения реки, являющаяся функцией времени и пространства» [11] (рис. 2).

Для установления НДС отдельных производств, входящих в ТППК, с учетом всех характеристик водного объекта, а также вероятности



■ **Рис. 1.** Модели управления качеством воды в водотоках для нормирования антропогенной нагрузки водопользователей

■ **Fig. 1.** Models of water quality management in watercourses for standardizing the anthropogenic load of water users



■ **Рис. 2.** Принцип сохранения массы воды на участке реки

■ **Fig. 2.** The principle of conservation of the mass of water in the section of the river

изменения этих показателей в случае возникновения аварий, внештатных и чрезвычайных ситуаций применяются типовые стационарные модели конвективно-диффузионного переноса и превращения вещества (КДПиПВ). На основе полученных, собранных и обработанных с помощью моделей КДПиПВ геоинформационных данных создаются геоинформационные модели ТППК (блок экологического нормирования).

Предложенный в работе подход предусматривает построение имитационной системы на базе разработанного ранее математического и программного обеспечения для исследования процессов КДПиПВ [11–13]. При обычном подходе построение оптимизационных моделей систем водоотведения основывается на возможности получения достаточной априорной информации для принятия решения об управлении системой и о ее параметрах. При имитационном подходе необходимую информацию получают в результате эксперимента с моделью системы. Если исследователь находится вне рассматриваемой системы, возможна значительная формализация модели, а на основе имеющейся априорной информации — автоматизация эксперимента. Таким образом получается имитационная геоинформационная модель. Если же исследователь сам является частью исследуемой системы водоотведения, а развитие эксперимента на модели определяется принимаемыми им по ходу исследований решениями, то имитационный подход реализуется в человеко-машинной автоматизированной системе.

Выбор оптимальных параметров и структуры водоотведения может состоять из двух этапов. На первом с использованием имитационной системы получают исходные данные, а на втором решают оптимизационную задачу.

Целевая функция, минимизирующая природоохранные затраты (экологические платежи за сброс сточных вод, ущерб от негативного влия-

ния производства на окружающую среду), рассчитывается по формуле

$$S = \sum_{i=1}^n S_i * x_i \rightarrow \min;$$

$$\sum_{i=1}^n V_{ij} * x_i \leq V_j^*;$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1; x_i \in \{0,1\}; i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где S_i — стоимость очистки производственных стоков при внедрении i -й НДТ, руб.; V_{ij} — масса j -го загрязняющего вещества, сбрасываемая в водный объект после внедрения i -й НДТ, т; V_j^* — норматив допустимого сброса j -го загрязняющего вещества, т; x_i — показатели НДТ и комбинации технологий, которые могут быть использованы в основном и вспомогательных производствах предприятия для обработки промышленных сточных вод и обеспечения НДС.

$$S_i = \sum a_{ij} V_{ij}, \quad (3)$$

где a_{ij} — стоимость очистки единицы массы j -го загрязняющего вещества при использовании i -й НДТ (плата за нормативный сброс, предотвращенный ущерб водного объекта), руб.

$$V_{ij} = q_j (1 - \beta_{ij}), \quad (4)$$

где q_j — масса сбрасываемых в водный объект загрязняющих веществ ($j = \overline{1...m}$), т; β_{ij} ($\beta_{ij} < 1$) — очищенная масса воды, т.

Уравнение целевой функции решается в задаче оптимизации методом Парето, что позволяет выбрать и обосновать при фиксированных параметрах оптимальный производственный процесс, обеспечивающий заданные объемы производства и нормативный допустимый сброс. Выбор оптимального мероприятия или их комбинации по очистке сточных вод осуществляется с помощью введения в систему уравнений линейного ограничения в виде равенства $\sum_{i=1}^n x_i = 1$.

Целевая функция и ограничения равенства преобразуются к диагональной форме относительно базисных переменных, где каждая базисная переменная входит только в одно уравнение. За базисную переменную (x) в работе принято одно водоохранное мероприятие.

Другим путем достижения оптимальных решений при взаимодействии системы «предприятие — водный объект» является адаптивное управление имитационным экспериментом, в результате которого создается геоинформационная моделирующая система (ГИМС) [14–16].

Программный продукт «ГИМС-река» позволяет реализовать решения практически всех применяемых в инженерной практике типов моделей КДПиПВ численными и приближенными аналитическими методами, детерминистическими и вероятностными моделями, а также производить автоматизацию аналогового программирования задач КДПиПВ [17].

Информационное и программное обеспечение управления ТППК по экологическим и технологическим показателям

Для управления ТППК по экологическим и технологическим показателям с помощью ГИС-моделирования предложена методика сбора и систематизации геоданных, в которую входят следующие процедуры.

1. Классификация источников загрязнения, оказывающих техногенную нагрузку на водные ресурсы ТППК, по отраслям.

2. Определение специфических загрязнителей и других показателей сточных вод, характерных для отдельной отрасли.

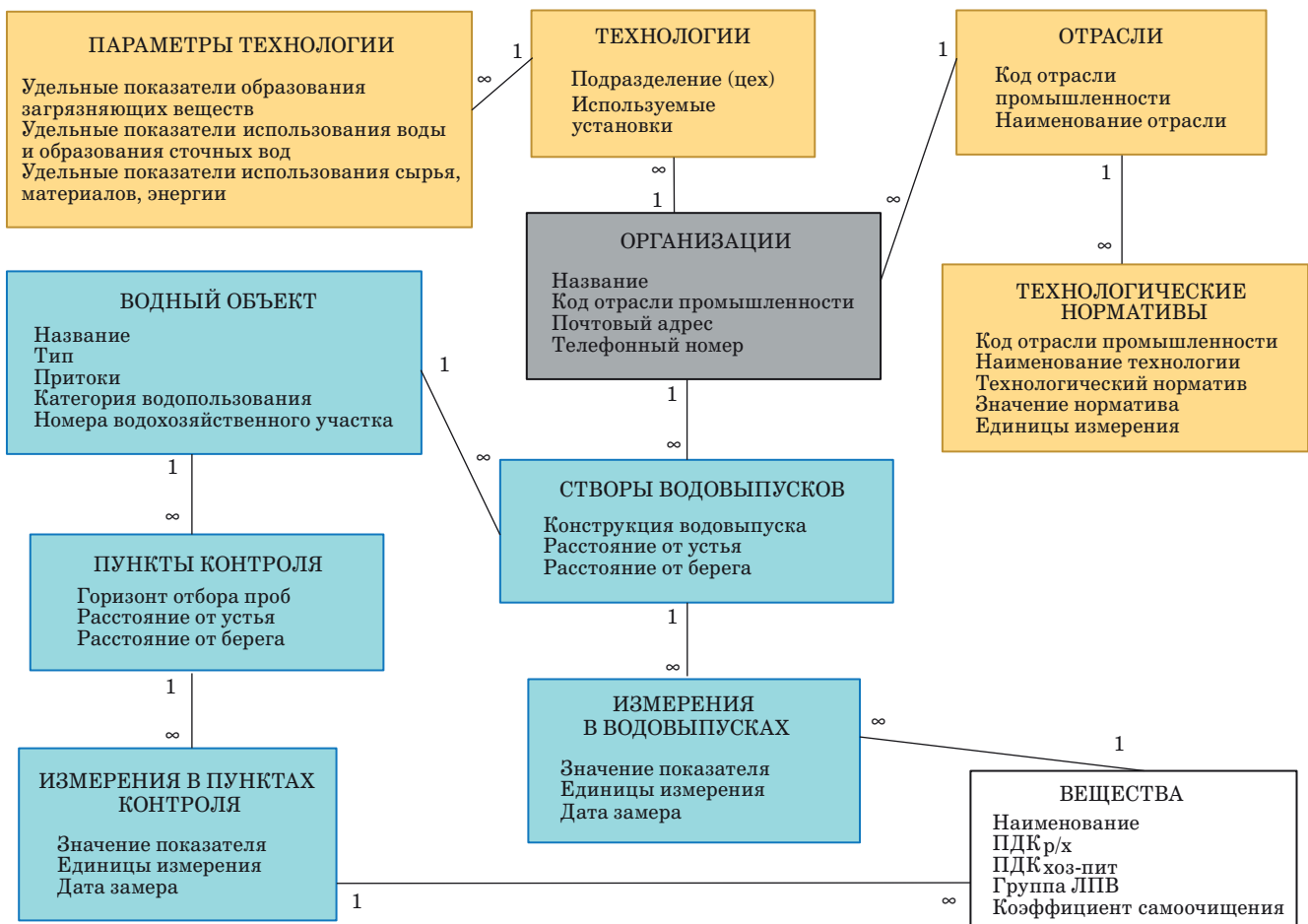
3. Систематизация и структуризация геоинформационных данных, включающих картографическую информацию, данные о результатах полевых исследований, различные архивные данные.

4. Выбор и обоснование экологических и технологических параметров отдельного регионального бассейнового ТППК.

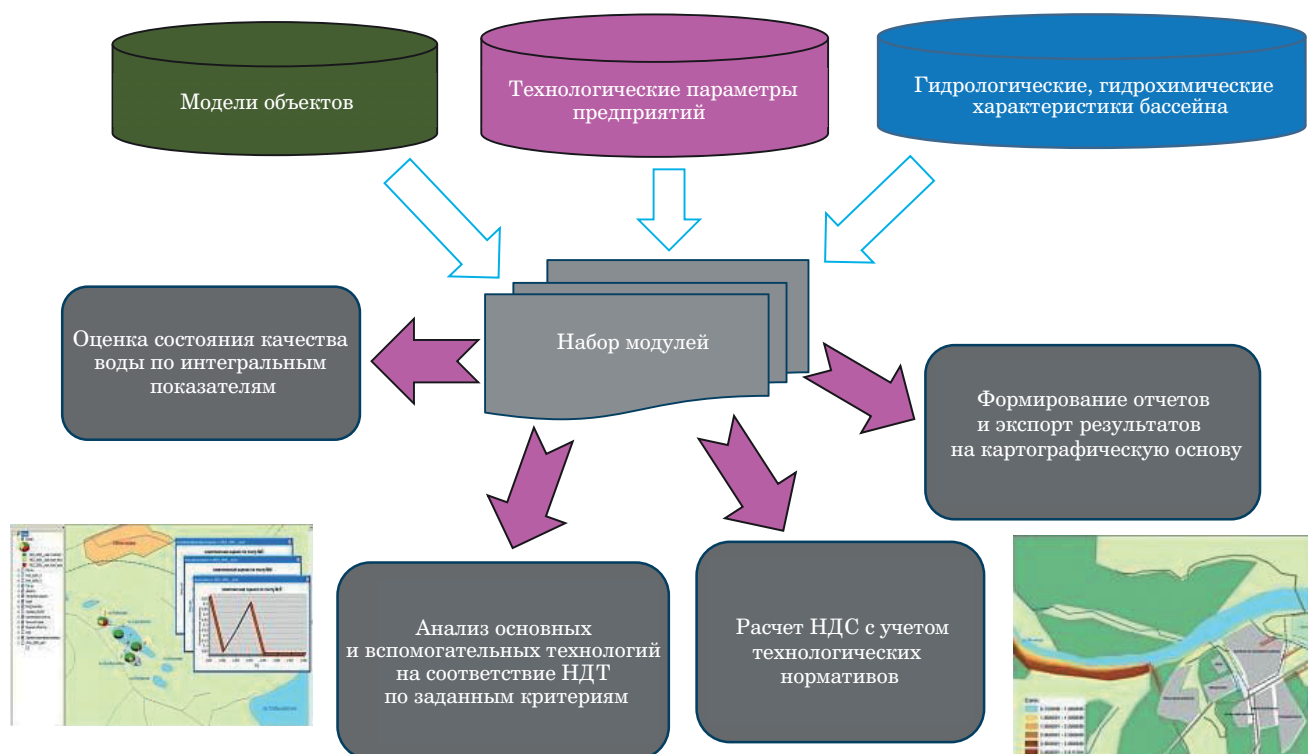
5. Расчет эколого-технологических показателей ТППК на основе геоинформационных данных.

6. Формирование интегрированной базы геоданных, объединяющей информацию в единую информационно-технологическую систему ТППК.

Предложена структура межотраслевой регионально-бассейновой базы геоданных для имитационного моделирования эколого-технологических нормативов предприятий-водопользователей (рис. 3). База данных может дополняться новыми элементами производственно-технологического назначения в соответствии со спецификой производства [18].



■ **Рис. 3.** Структура межотраслевой регионально-бассейновой базы геоданных
 ■ **Fig. 3.** The structure of the intersectoral regional-basin geodatabase



■ **Рис. 4.** Блок моделирования и экспорта результатов в геоинформационную моделирующую систему
 ■ **Fig. 4.** Block for modeling and exporting results to a geoinformation modeling system

Возможности имитационной системы во многом определяются составом и структурой ее прикладного программного обеспечения. Для решения рассмотренных выше задач наиболее эффективным программным продуктом является «ГИМС-река», в которой программа имитационного моделирования и оптимизация параметров систем водоотведения строятся по модульному принципу. При моделировании систем водоотведения производств, кроме модели водного объекта, в состав имитационной модели входят блоки, соответствующие подсистемам вспомогательных производств (водоочистки) и водовыпусков предприятий. Результаты моделирования представляются в виде наглядных материалов: таблиц, диаграмм, графиков и карт (рис. 4) [19].

Таким образом, на базе моделей управления качеством воды и КДПиПВ, учитывающих специфику различных водных объектов, создана территориально-бассейновая ГИМС в целях обоснования НДС и дальнейшей разработки НДВ в границах ТППК.

Заключение

Разработанная методика используется на практике в Невско-Ладожском бассейновом водном управлении для:

- подготовки данных для геоинформационного моделирования квотирования нагрузки на водные ресурсы отдельных водопользователей;
- применения геоинформационных проектов в новом формате при проведении мониторинга состояния водных объектов ТППК и прогнозировании развития ситуаций в случае перераспределения нагрузки на водные объекты между субъектами водоотведения по разного рода сценариям;

- разработки НДВ и схем комплексного использования и охраны водных объектов с использованием цифровых инструментов.

Использование полученных результатов региональными отделениями Федерального агентства водных ресурсов позволило Невско-Ладожскому бассейновому водному управлению перейти на принципиально новый современный уровень принятия решений по совершенствованию системы водопользования на предприятиях путем внедрения автоматизированных информационных систем управления геоданными.

Кроме того, разработанная методика сбора и систематизации геоданных позволила решить задачу информационно-аналитического обеспечения при создании единой системы сбора, обмена и обработки данных в системе управления водопользованием ТППК водных объектов бассейна Финского залива, что в дальнейшем будет

способствовать достижению к 2030 году целевых показателей, установленных Федеральным агентством водных ресурсов (<http://www.nordwest-water.ru/activities/ndv/fz-33515/>):

– увеличению наполненности ГИС-проектов статистическими данными из кадастров и данными оперативного мониторинга в 2 раза;

– увеличению охвата региональных ТППК в соответствии с водохозяйственным районированием крупномасштабными спутниковыми снимками в 1,5 раза;

– повышению коммуникаций и координации между различными государственными структурами, промышленными производствами и другими заинтересованными сторонами в области управления водным хозяйством в 1,5 раза.

Таким образом, разработанная методика сбора и систематизации геоинформационных дан-

ных позволяет рассчитывать основные эколого-технологические показатели производственных систем и создавать интегрированные базы данных субъектов водопользования в различных бассейновых регионах РФ.

Предложенная в статье структура межотраслевой регионально-бассейновой базы геоинформационных данных может быть использована для имитационного моделирования эколого-технологических нормативов предприятий разного уровня организации производства.

На основе результатов моделирования создана геоинформационная моделирующая территориально-бассейновая система, позволяющая разрабатывать нормативы допустимого воздействия.

Литература

1. Жильникова Н. А., Шишкин А. И., Епифанов А. В., Епифанова М. А. Алгоритм управления перераспределением техногенной нагрузки для территориальных природно-технических комплексов на основе геоинформационных систем. *Информационно-управляющие системы*, 2017, № 1, с. 93–101. doi:10.15217/issn1684-8853.2017.1.93
2. Алексеев В. В., Минина А. А., Орлова Н. В. Информационно-измерительные системы. Решение задач оценки состояния и идентификации ситуаций на основе результатов экологического контроля. *Приборы*, 2018, № 6 (216), с. 18–34.
3. Имекова М. П. История развития и современное правовое регулирование использования наилучших доступных технологий в Великобритании. *Вестник Томского государственного университета*, 2019, № 439, с. 195–201. doi:10.17223/15617793/439/27
4. Мочалова Л. А. Нормативно-правовое обеспечение перехода горных предприятий на наилучшие доступные технологии. *Известия вузов. Горный журнал*, 2019, № 1, с. 28–33. doi:10.17580/gzh.2019.01.06
5. Росляков П. В., Черкасский Е. В., Гусева Т. В., Тихонова И. О., Lundholm M. Технологическое нормирование объектов теплоэлектроэнергетики: наилучшие доступные технологии и нормы общего действия. *Теплоэнергетика*, 2021, № 10, с. 5–13. doi:10.1134/S0040363621100052
6. Шумилова Л. В. Стратегия технического интегрирования территориальных промышленных систем на основе геотехнологий. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, 2021, № 5, с. 68–84. doi:10.25018/0236_1493_2021_5_0_68
7. Амашукели С. А. Развитие цифровизации в сфере использования и охраны водных объектов. *Актуальные проблемы российского права*, 2022, т. 17, № 3 (136), с. 177–187. doi:10.17803/1994-1471.2022.136.3.177-187
8. Epifanov A. V., Antonov I. V., Frolov G. Y. Geoinformation and management systems for water management complexes. *Journal of Physics: Conf. Series: II Intern. Scientific Conf. on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT II-2021)*, Saint-Petersburg, 2021, 03–06 March. Krasnoyarsk, IOP Publishing Ltd, 2021. Vol. 1889. P. 32047. doi:10.1088/1742-6596/1889/3/032047
9. Быстров А. Ю., Майоров А. А. Обзор современных теорий и принципов построения мультифункциональных динамических мониторинговых геоинформационных систем. *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*, 2021, т. 65, № 1, с. 108–116. doi:10.30533/0536-101X-2020-65-1-108-116
10. Науменко Н. О., Федотова Е. В. Разработка программ для решения задач в области защиты окружающей среды на водосборных территориях. *Природообустройство*, 2020, № 5, с. 27–31. doi:10.26897/1997-6011/2020-5-27-32
11. Жильникова Н. А. Методология и инструментарий обеспечения экологичности радиоэлектронных и приборостроительных производств: дис... д-ра техн. наук. СПб., ГУАП, 2020. 409 с.
12. Рахуба А. В., Шамова М. В., Кондратьев С. А. Численное моделирование массопереноса в проточном водоеме. *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*, 2021, т. 14, № 2, с. 89–97. doi:10.7868/S2073667321020088
13. Шамова М. В., Кондратьев С. А. Некоторые вопросы оценки твердого стока водотоков Северо-Запада РФ. *Тр. Карельского научного центра Российской академии наук*, 2021, № 9, с. 26–36. doi:10.17076/lim1393
14. Zhilnikova Natalia. Geoinformation modelling system of natural technical complexes for simulation

modelling and optimization of load distribution. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 450, 2018, pp. 1–5. doi:10.1088/1757-899X/450/6/062010

15. Антонов И. В., Шишкин А. И., Чусов А. Н. Методология нормирования антропогенного воздействия на основе геоинформационной моделирующей системы. *Строительство уникальных зданий и сооружений*, 2014, № 3, с. 25–37.
16. Джорова С. М. Информационное и геоинформационное моделирование. Методы и программные средства дистанционного зондирования Земли: сб. науч. тр. / под ред. С. В. Шайтура, В. Я. Цветкова. Бурас, 2022, с. 41–52.
17. А.с. О государственной регистрации программы для ЭВМ «ГИМС-река», А. И. Шишкин, А. В. Епи-

фанов, И. В. Антонов, В. В. Алексеев, Н. И. Куракина, Е. В. Желтов. № 2009615259; дата поступл. 07.08.2009; дата регистр. 23.09.2009.

18. Куватов И. А., Шишкин И. А., Антонов И. В., Рабизода Н. Структура территориального мониторинга и базы данных для оценки техногенной нагрузки бассейна реки Вахш (Республика Таджикистан). *Гидрометеорология и экология*, 2022, № 67, с. 267–282. doi:10.33933/2713-3001-2022-67-267-282
19. Жильникова Н. А., Смирнова В. О., Шишкин И. А., Баранова А. А. Информационное обеспечение контроля и управления качеством воды в производственных системах. *Датчики и системы*, 2022, № 4 (263), с. 15–20. doi:10.25728/datsys.2022.4.3

UDC 004.9, 004.04, 504.064.4

doi:10.31799/1684-8853-2023-2-61-68

EDN: IKIOQA

Information technologies and automation of environmental and technological management of the territorial natural-production complex

N. A. Zhilnikova^a, Dr. Sc., Tech., Professor, orcid.org/0000-0003-1291-7150, nataliazhilnikova@gmail.com

A. A. Baranova^a, Post-Graduate Student, Assistant Professor, orcid.org/0000-0003-2676-4212

^aSaint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67, B. Morskaya St., Saint-Petersburg, Russian Federation

Introduction: A mechanism of standard-setting and load redistribution for all water users is complicated and labor-intensive, that is why it demands new improved information tools and automated geoinformation systems which allow to carry out not only medium-term, but also long-term forecasts, taking into account the current requirements of environmental legislation. **Purpose:** To substantiate the implementation of environmental quality standards and environmental safety for various industries by geoinformation modeling. **Results:** We develop a methodology for collecting and systematizing geoinformation data, which makes it possible to calculate the main environmental and technological indicators of production systems and create integrated databases of water users. We propose the structure of an intersectoral regional-basin geoinformation database for simulating environmental and technological standards of enterprises, with the help of which the software user has the opportunity to systematize the necessary information. The database can be supplemented with new elements of production and technological purposes in accordance with the specific features of production. Using the modeling results and to develop standards for permissible impact we create a geoinformation modeling territorial-basin system based on water quality management models and standard models describing the convection-diffusion transfer and transformation of substances in watercourses. **Practical relevance:** The use of the obtained results by the regional departments of the Federal Agency for Water Resources allowed the water-basin departments to move to a fundamentally new modern level of decision-making to improve the water use system at enterprises through the introduction of automated information systems for geodata management.

Keywords – natural-production complex, geoinformation modeling, automated information processing and control systems, environmental and technological regulation, simulation GIS model.

For citation: Zhilnikova N. A., Baranova A. A. Information technologies and automation of environmental and technological management of the territorial natural-production complex. *Informatsionno-upravlyaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2023, no. 2, pp. 61–68 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2023-2-61-68, EDN: IKIOQA

References

1. Zhilnikova N. A., Shishkin A. I., Epifanov A. V., Epifanova M. A. Algorithm of control over technogenic impact distribution for territorial natural-technical complex based on geoinformation systems. *Informatsionno-upravlyaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2017, no. 1, pp. 93–101 (In Russian). doi:10.15217/issn1684-8853.2017.1.93
2. Alekseyev V. V., Minina A. A., Orlova N. V. Information-measuring systems. Solving the problems of assessing the state and identifying situations based on the results of environmental control. *Instruments*, 2018, no. 6 (216), pp. 18–34 (In Russian).
3. Imekova M. P. History of the development and modern legal regulation of the use of the best available technologies in the UK. *Tomsk State University Journal*, 2019, no. 439, pp. 195–201 (In Russian). doi:10.17223/15617793/439/27
4. Mochalova L. A. Regulatory and legal framework for transition to the best available techniques in mining. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2019, no. 1, pp. 28–33 (In Russian). doi:10.17580/gzh.2019.01.06
5. Roslyakov P. V., Cherkasskii E. V., Guseva T. V., Tikhonova I. O., and Lundholm M. Process-related standardization of thermal electric power facilities: The best available techniques and general binding rules. *Thermal Engineering*, 2021, no. 10, pp. 5–13 (In Russian). doi:10.1134/S0040363621100052
6. Shumilova L. V. Geotechnology-based technical integration strategy for territorial industrial systems. *Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2021, no. 5, pp. 68–84 (In Russian). doi:10.25018/0236_1493_2021_5_0_68
7. Amashukeli S. A. Development of digitalization in the field of use and protection of water bodies. *Actual Problems of Russian Law*, 2022, vol. 17, no. 3 (136), pp. 177–187 (In Russian). doi:10.17803/1994-1471.2022.136.3.177-187

8. Epifanov A. V., Antonov I. V., Frolov G. Y. Geoinformation and management systems for water management complexes. *Journal of Physics: Conf. Series: II Intern. Scientific Conf. on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT II-2021)*, Saint-Petersburg, 2021, 03–06 March. Krasnoyarsk, IOP Publishing Ltd, 2021. Vol. 1889. P. 32047. doi:10.1088/1742-6596/1889/3/032047
9. Bystrov A. Yu., Maiorov A. A. Overview of modern theories and principles of construction multifunctional dynamic monitoring geographic information systems. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*, 2021, vol. 65, no. 1, pp. 108–116 (In Russian). doi:10.30533/0536-101X-2020-65-1-108-116
10. Naumenko N. O., Fedotova E. V. Development of programs for solving tasks in the field of environmental protection on water catchment areas. *Environmental Engineering*, 2020, no. 5, pp. 27–31 (In Russian). doi:10.26897/1997-6011/2020-5-27-32
11. Zhil'nikova N. A. *Metodologiya i instrumentariy obespecheniya ekologichnosti radioelektronnykh i priborostroitel'nykh proizvodstv*. Dis. dokt. tekhn. nauk [Methodology and tools for ensuring the environmental friendliness of radio-electronic and instrument-making industries. Dr. PhD in Engineering sci. diss.]. Saint-Petersburg, GUAP, 1986, 18 p. (In Russian).
12. Rakhuba A. V., Shmakova M. V., Kondratyev S. A. Mathematical modeling of mass transfer in a flowing reservoir. *Fundamentalnaya i prikladnaya gidrofizika*, 2021, vol. 14, no. 2, pp. 89–97 (In Russian). doi:10.7868/S2073667321020088
13. Shmakova M. V., Kondratyev S. A. Some questions of estimating suspended sediment in watercourses of North-West Russia. *Proc. of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Science*, 2021, no. 9, pp. 26–36 (In Russian). doi:10.17076/lim1393
14. Natalia Zhilnikova. Geoinformation modelling system of natural technical complexes for simulation modelling and optimization of load distribution. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 450*, 2018, pp. 1–5. doi:10.1088/1757-899X/450/6/062010
15. Antonov I. V., Shishkin A. I., Chusov A. N. Methodology of rationing of admissible dumps on the basis of geoinformation modeling system. *Construction of Unique Buildings and Structures*, 2014, no. 3, pp. 25–37 (In Russian).
16. Dzhorova S. M. *Informatsionnoye i geoinformatsionnoye modelirovaniye*. In: *Metody i programmnyye sredstva distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Information and geoinformation modeling. In: Scientific and technical collection "Earth remote sensing methods and software"]. Eds. S. V. Shaitura, V. Ya. Tsvetkov. Burgas, 2022, pp. 41–52 (In Russian).
17. Shishkin A. I., et al. *O gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM "GIMS-reka"* [On state registration of computer program geoinformation modelling System-River]. Certificate of state registration, no. 2009615259, 2009.
18. Kuvatov I. A., Shishkin I. A., Antonov I. V., Rabizoda N. Territorial monitoring structure and database for the assessment of technogenic load in the Vakhsh River basin (Republic of Tajikistan). *Hydrometeorology and Ecology*, 2022, iss. 67, pp. 267–282 (In Russian). doi:10.33933/2713-3001-2022-67-267-282
19. Zhilnikova N. A., Smirnova V. O., Shishkin I. A., Baranova A. A. Information support for control and management of water quality in production systems. *Sensors & Systems*, 2022, no. 4 (263), pp. 15–20 (In Russian). doi:10.25728/datsys.2022.4.3