

УДК 556,502.13

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ МЕРОПРИЯТИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ОХРАНУ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ДИФFUЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА р. ВОЛГИ)¹

© 2020 г. М. А. Козлова^{а, *}, Н. В. Кирпичникова^а, Т. Б. Фашевская^а,
В. О. Полянин^а, О. О. Бородин^а

^аИнститут водных проблем РАН, Москва, 119333 Россия

*e-mail: mblshok@mail.ru

Поступила в редакцию 26.02.2020 г.

После доработки 21.03.2020 г.

Принята к публикации 22.03.2020 г.

Разработанный прототип экспертной системы поддержки принятия решений по оптимизации мероприятий, направленных на охрану пилотных водных объектов от диффузного загрязнения в бассейне р. Волги, основан на специально проведенных в 2018–2019 гг. экспедиционных работах, на обобщенных результатах предшествующих многолетних исследований, на усовершенствованных методических подходах, на специально разработанных ГИС. Прототип состоит из пяти взаимосвязанных информационных блоков, которые позволяют оценить антропогенную нагрузку от различных типов источников загрязнения (точечных и диффузных); параметры, характеризующие это загрязнение, описывают методики и результаты расчетов диффузного стока, возможные водоохранные мероприятия и их эффективность. Прототип экспертной системы позволяет пользователям (лицам, принимающим решения) провести оценку масштабов диффузного загрязнения и выбрать первоочередные меры по снижению его воздействия на пилотные водные объекты.

Ключевые слова: диффузные источники загрязнения, прототип экспертной системы, водоохранные мероприятия, эффективность мероприятий.

DOI: 10.31857/S0321059620050119

ВВЕДЕНИЕ

Река Волга протекает по наиболее освоенному региону России. В пределах ее бассейна полностью или частично расположено 38 субъектов РФ, проживает более 40% населения страны, сосредоточено ~45% ее промышленного и 50% сельскохозяйственного производства.

Причина антропогенной нагрузки на водосборе – многочисленные источники загрязнения, которые обычно разделяют на два класса: контролируемые (сосредоточенные) и неконтролируемые. Суммарный вклад последних в загрязнение водных объектов может быть значительным в бассейне Волги [2, 4, 5] и сопоставимым с вкладом точечных источников. При этом водоохранная стратегия России традиционно базируется на реконструкции, строительстве очистных сооружений и совершенствовании методов очистки промышленных и хозяйственно-быто-

вых стоков, т.е. контролируемых источников. К сожалению, неучет целого класса источников загрязнения на водосборе, находящихся вне системы государственного контроля, не позволил улучшить качество воды в водотоках и оздоровить экосистемы водоемов в последние десятилетия. Неконтролируемые источники загрязнения имеют в основном диффузный характер поступления загрязняющих веществ (ЗВ) в гидрографическую сеть.

В целях уточнения роли диффузного загрязнения в границах крупной речной системы, совершенствования расчетных методик и разработки концептуальных подходов к снижению поступления ЗВ в водные объекты ведущими научными организациями России под общим научным руководством Института водных проблем РАН выполнены поисковые исследования на пилотных водных объектах бассейна р. Волги. Выбор пилотных объектов выполнен таким образом, чтобы максимально подробно охарактеризовать действующие факторы и источники диффузного загрязнения, оказывающие негативное влияние на

¹ Работа выполнена в рамках Государственного задания ИВП РАН (тема № 0126-2019-0038, государственная регистрация № АААА-А18-118061800142-8).

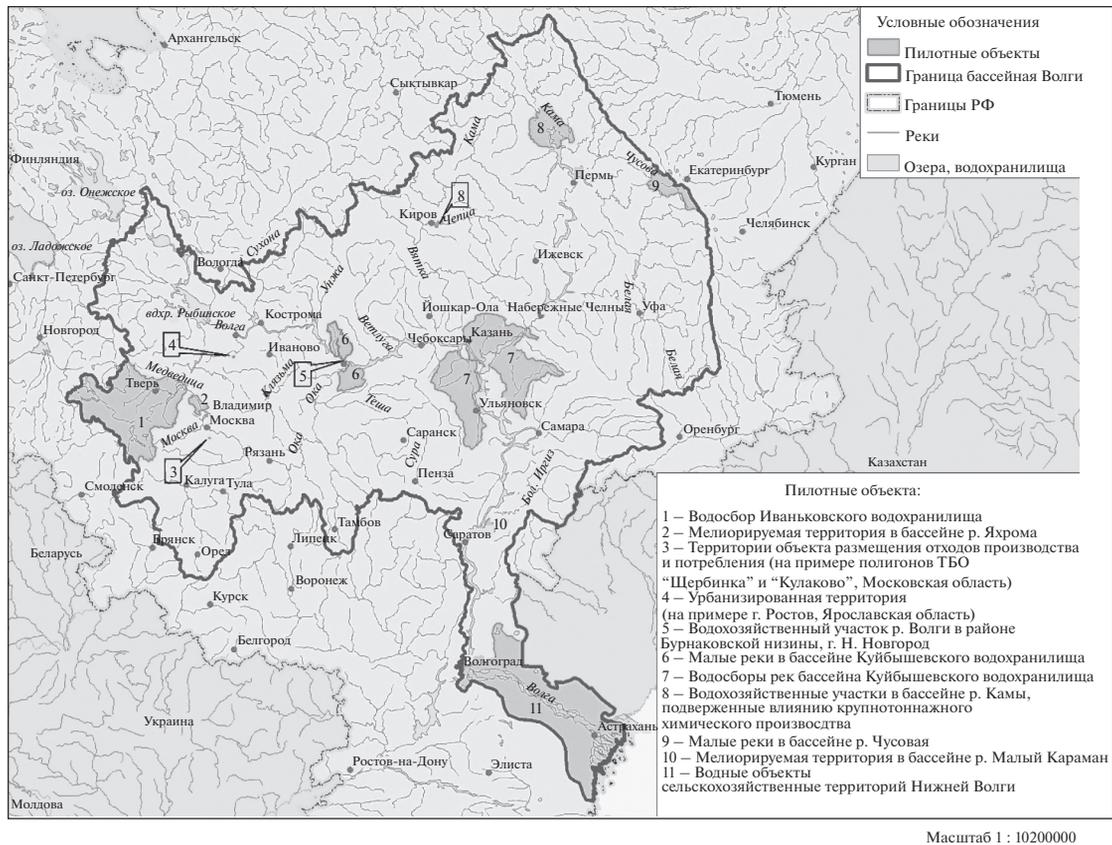


Рис. 1. Карта бассейна Волги с пилотными объектами.

качество природных вод (рис. 1; табл. 1). Учитывая обширность темы исследования, большой территориальный охват и сжатые сроки проведения работ, очень важно было оперативно рассмотреть наиболее репрезентативные водосборы и географические условия для того, чтобы иметь возможность в дальнейшем распространить накопленный опыт, знания и методики на остальную часть Волжского бассейна, а также заложить основу для осуществления соответствующих водоохраных мероприятий.

Одним из результатов этих работ стало создание прототипа экспертной системы поддержки принятия решений (ЭСППР) по оптимизации мероприятий, направленных на охрану пилотных водных объектов от диффузного загрязнения. Анализ обобщенных в прототипе материалов позволяет сделать вывод, что к основным источникам диффузного загрязнения р. Волги следует отнести:

- урбанизированные и селитебные территории;
- площадки промышленных предприятий, а также территории их аэрогенного влияния;
- объекты, задействованные в сельскохозяйственном производстве;

полигоны захоронения коммунально-бытовых и промышленных отходов.

ОПИСАНИЕ ПРОТОТИПА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

В общем смысле под экспертной системой понимается аналитическая программная среда, посредством которой специалисты в определенной предметной области оперируют знаниями с целью выработки рекомендаций или решения проблем [3]. ЭСППР ориентированы на автоматизацию процедур анализа проблемных ситуаций и выбора наиболее эффективных решений. К функциональным возможностям таких систем, в частности, относятся [6]:

- проведение расчетов для обоснования альтернатив на основе различных математических методов и моделей с использованием экспертных оценок специалистов;

- обеспечение возможности моделирования проблемных ситуаций и принятия решений в условиях неопределенности и риска;

- формирование и поддержка баз данных и знаний, необходимых для описания и выбора задач, моделей и методов принятия решений, проведе-

Таблица 1. Краткая характеристика пилотных объектов

Пилотный водосбор / объект исследования	Организация, выполнявшая исследования	Виды хозяйственной деятельности / источники диффузного загрязнения
Иваньковское водохранилище (верхнее течение р. Волги)	ИВП РАН	Урбанизированные территории городов Твери и Конаково, сельское хозяйство, промышленные площадки (на примере Конаковской ГРЭС)
р. Яхрома	ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова	Сельское хозяйство / мелиорируемая речная пойма
Подземный водоносный горизонт и поверхностные водотоки в бассейне р. Сухая Лопасня и р. Пахры оз. Неро (бассейн р. Которосль)	ИВП РАН / ООО НПП "Георесурс"	Размещение отходов производства и потребления / полигоны ТБО "Щербинка" и "Кулаково" в Московской области
Пойменный участок р. Волги в районе Нижнего Новгорода	ИВП РАН	Урбанизированная территория (г. Ростов, Ярославской область)
Малые реки в бассейне Чебоксарского водохранилища	ИВП РАН / ООО "Инженерное дело"	Селитебная территория с интенсивным загрязнением почв, грунтовых вод и донных отложений
Водосборы рек Свяги, Казанки, Меши и Большой Черемшан в бассейне Куйбышевского водохранилища	ИГ РАН	Сельское хозяйство / пашни, пастбища, условно естественные ландшафты
Водохозяйственный участок на р. Каме в районе Соликамско-Березниковского промышленного узла	ИНОЗ РАН	Сельское хозяйство / пашни, молочно-товарные фермы
Водохозяйственный участок на р. Вятке в районе г. Кирово-Чепецка промышленного узла	ПФИЦ УрО РАН	Химическая промышленность / водные объекты с содержанием высокоминерализованных вод
Водосборы малых рек в бассейне р. Чусовой	ПФИЦ УрО РАН	Химическая промышленность / пойменно-грунтовые воды с высоким содержанием биогенных веществ
Бассейн р. Малый Караман	ИВП РАН РосНИИВХ	Цветная металлургия / территории, подверженные интенсивному аэрогенному загрязнению; сельское хозяйство / пастбища, пашни
Водосборы малых рек в пределах Волго-Ахтубинской поймы	ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова	Сельское хозяйство / мелиорируемые земли
	ФНЦ агроэкологии РАН	Сельское хозяйство / территория орошаемого земледелия

ния расчетов и формирования отчетных материалов;

обеспечение коллегиальности в принятии решений и обоснование вариантов решений на основе консолидации мнений экспертов;

осуществление процедуры поиска метода принятия решения путем выбора пользователем ответа (из предлагаемого набора) на вопросы, задаваемые системой, об элементах задачи принятия решения;

предоставление доступа конечным пользователям к системе с применением технологии "тонкий клиент" (через интернет-браузер и веб-сервер).

Следует отметить, что разработанный прототип экспертной системы для пилотных водных объектов в бассейне р. Волги включает в себя некоторые приведенные выше особенности ЭСППР, однако на данном этапе представляет собой более простую систему, не подразумевающую проведение расчетов по предложенным методикам, а позволяющую познакомиться пользователей (лиц, принимающих решения) с результатами расчетов по заданным параметрам, отражающим текущую ситуацию на территории пилотных водных объектов в бассейне р. Волги.

Разработанный прототип ЭСППР выполнен в виде интернет-сайта, что обеспечивает удобство работы конечных пользователей системы, а также

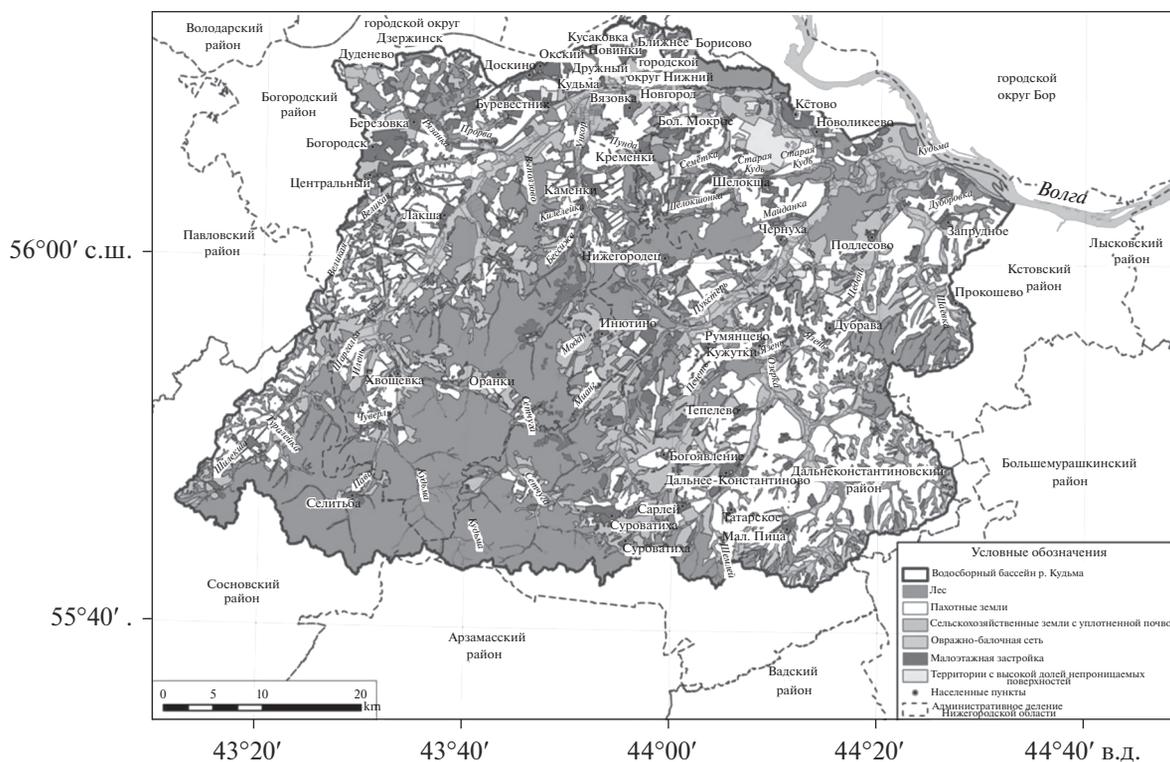


Рис. 2. Пример наполнения раздела “Физико-географические характеристики” Блока 1. Мозаичная ландшафтная структура бассейна р. Кудьмы, косвенно характеризующая степень антропогенной нагрузки на данную территорию (по материалам ИГ РАН).

более тесное взаимодействие экспертов и экспертных организаций, дополняющих и корректирующих имеющуюся базу знаний.

Реализация блок-схемы прототипа экспертной системы выполнена на языке HTML, предназначенном для создания Web-страниц. Язык HTML интерпретируется программой просмотра веб-сайтов (браузером) и отображается в виде документа в удобной для пользователя форме. Для каждого пилотного водосбора созданы единые шаблоны интернет-страниц, в которых отображается как текстовая, так и графическая информация. Наполнение конкретными данными шаблонов осуществляется только экспертными организациями (исполнителями). Это позволяет быть уверенным в том, что в базе знаний системы содержится наиболее полная, достоверная и актуальная информация.

Разработанный прототип ЭСППР состоит из пяти блоков: характеристика объекта и его водосбора, источники загрязнения вод, расчетные оценки диффузного загрязнения, водоохранные мероприятия, эффективность водоохранных мероприятий.

СТРУКТУРА БЛОКА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА И ЕГО ВОДОСБОРА

Общее описание объекта содержит информацию о расположении водного объекта, морфометрических, гидрографических и гидрологических его характеристиках, основные данные о хозяйственной освоенности водосбора и типах землепользования, обзорную карту, фотографии.

Физико-географические характеристики — представлены карты почв, рельефа, гидрогеологические разрезы, карты типов ландшафтов и землепользования и др. (рис. 2).

Пункты государственного мониторинга — приведены перечень и карты размещения метеостанций и гидропостов (рис. 3).

Гидрометеорологические характеристики — приведен обзор среднегодовых или многолетних метеорологических и гидрологических показателей; например, осадков, температуры, влажности воздуха, расходов воды и др. (рис. 4).

Гидрохимические характеристики — представлена информация о химическом составе (содержание нитритов, нитратов, фосфатов, карбонатов и пр.) воды пилотных водных объектов по данным государственного мониторинга или собственных экспедиционных исследований соисполнителей (рис. 5).

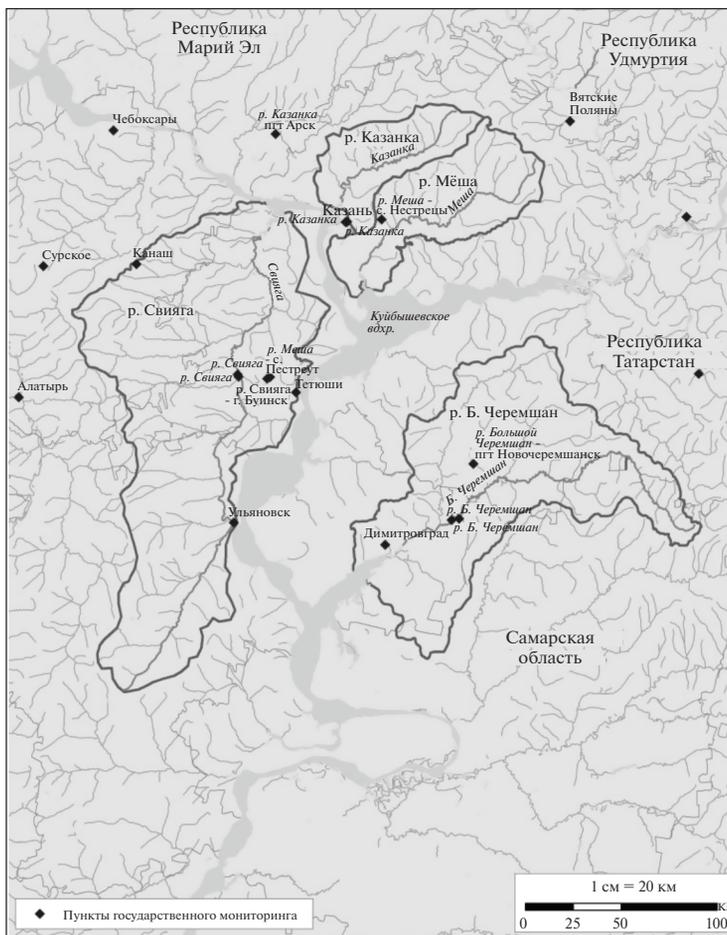


Рис. 3. Пример наполнения раздела “Пункты государственного мониторинга” Блока 1 для водосборов рек в бассейне Куйбышевского водохранилища (по материалам ИНОЗ РАН).

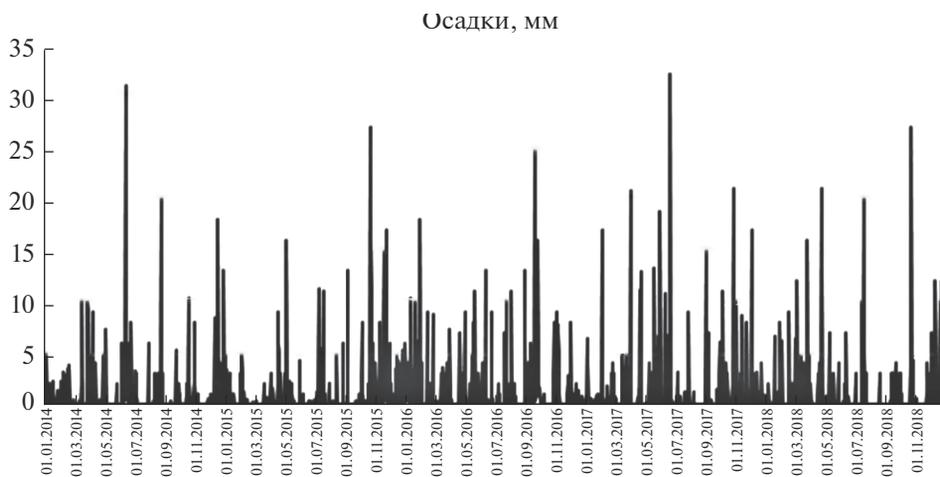


Рис. 4. Пример наполнения раздела “Гидрометеорологические характеристики” Блока 1. Распределение осадков для бассейна р. Малый Караман в 2014–2018 гг. (по материалам ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова).

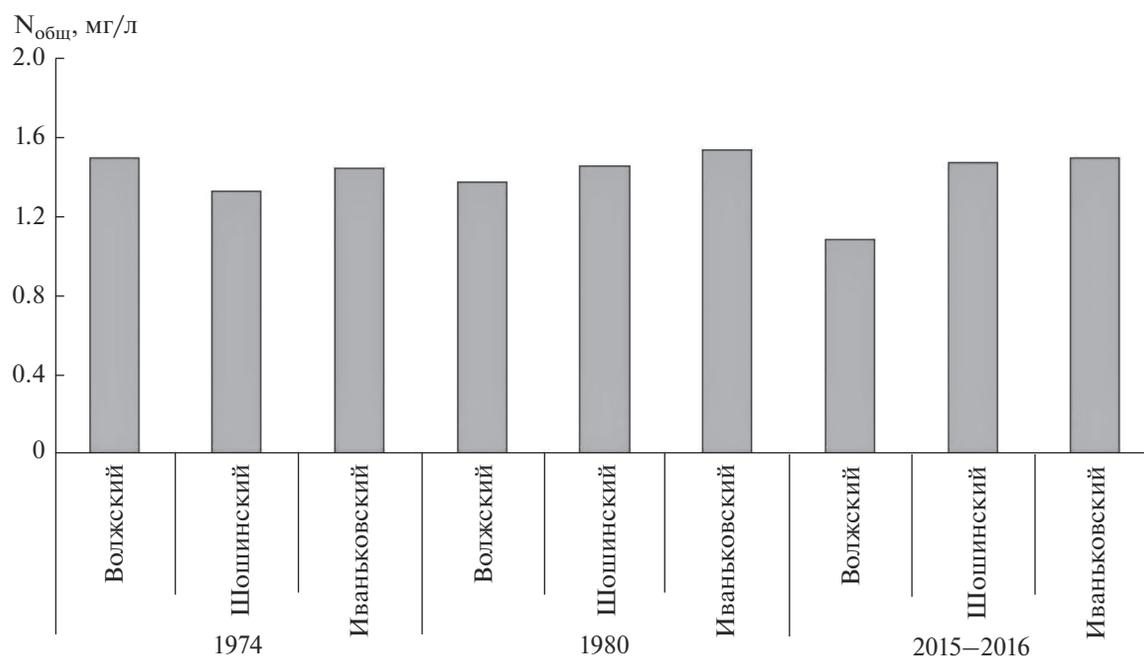


Рис. 5. Пример наполнения раздела “Гидрохимические характеристики” Блока 1. Распределение концентраций азота общего ($N_{\text{общ}}$) в плесах Ивановского водохранилища за многолетний период.

Дополнительная информация — включает в себя фотографии пилотного объекта и его характеристики, не вписывающиеся в перечисленные разделы.

Таким образом, собрана исчерпывающая информация по всем пилотным объектам, которые характеризуются различными масштабами (площади водосборов 7–41 км²), природными зонами (тайга, смешанный лес, лесостепь, степь, полупустыня) и географическими условиями (объекты расположены в Астраханской, Волгоградской, Кировской, Московской, Нижегородской, Самарской, Саратовской, Свердловской, Смоленской, Тверской, Ульяновской областях, в Пермском крае, Республиках Башкортостан и Татарстан). Рассмотрены природные особенности водосборов, условия формирования водных ресурсов и качества воды, сведения о текущем загрязнении пилотных объектов, существующей системе гидрометеорологического, гидрохимического и водохозяйственного мониторинга.

СТРУКТУРА БЛОКА 2. ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД

Общее описание точечных и диффузных источников загрязнения пилотных водных объектов, расположенных на их водосборах.

Характеристики диффузных источников загрязнения включают в себя такие показатели, как поголовье скота, внесение минеральных и органи-

ческих удобрений, содержание химических элементов в почвах и др., служат входными параметрами модели или методики расчета диффузного загрязнения (Блок 3 прототипа).

Характеристики точечных источников загрязнения приводятся по данным 2-ТП (водхоз).

Например, установлено, что для водосборов рек в бассейне Куйбышевского водохранилища основные источники загрязнения биогенными элементами (азотом и фосфором) — животноводческие, птицеводческие предприятия и удобряемые угодья сельскохозяйственного сектора. Представлены картосхемы расположения животноводческих комплексов и ферм, проведено районирование пилотных водосборов по количеству внесенного азота и фосфора на сельскохозяйственные поля, по поголовью КРС, свиней, птиц и др. (рис. 6). Наиболее нагружен водосбор р. Свяги, на котором расположено 199 животноводческих ферм крупного рогатого скота (КРС), 5 птицеводческих ферм и 4 свинофермы, а также 3 агрокультурных комплекса и 2 сельскохозяйственных предприятия смешанного типа.

СТРУКТУРА БЛОКА 3. РАСЧЕТНЫЕ ОЦЕНКИ ДИФFUЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

В этом блоке описаны методики расчета диффузного загрязнения для пилотных водных объектов;

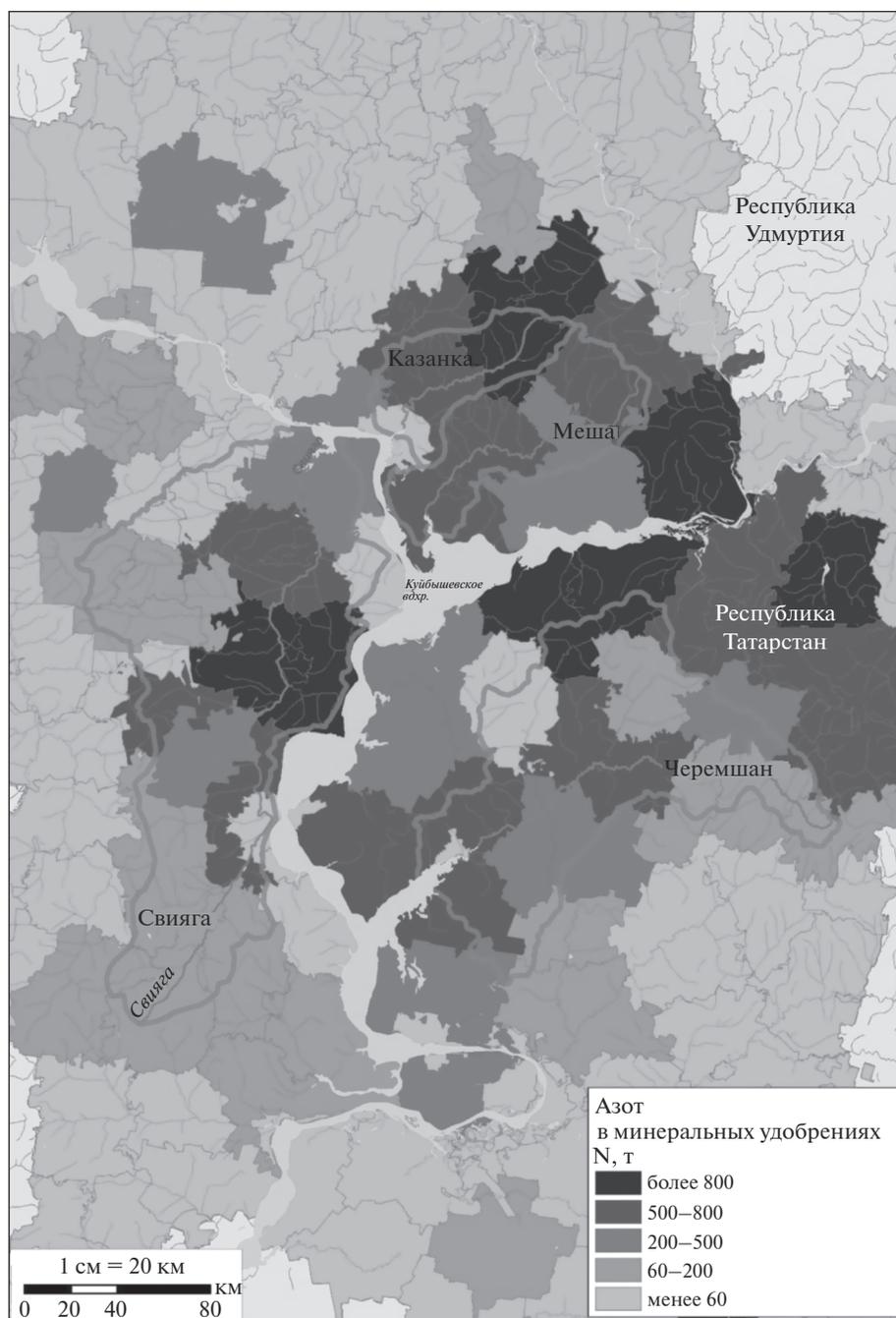


Рис. 6. Пример наполнения раздела “Характеристики диффузных источников загрязнения” Блока 2. Районирование пилотных водосборов в бассейне Куйбышевского водохранилища по внесенному азоту на сельскохозяйственные поля за 2017 г. (по материалам ИНОЗ РАН).

приведены результаты расчета диффузного загрязнения (годовые массы или модули выноса ЗВ с водосбора) в виде карт или диаграмм;

представлены прогнозные величины диффузного загрязнения при различных сценариях изменения антропогенной нагрузки; например, при вводе в эксплуатацию залежных земель или при

увеличении площади орошаемых земель, объемов вносимых удобрений и развития животноводства.

Например, для территории размещения отходов ТКО “Кулаково” (Подольский район) на основе трехмерной геомиграционной модели и кода Visual MODFLOW в рамках данной работы вы-

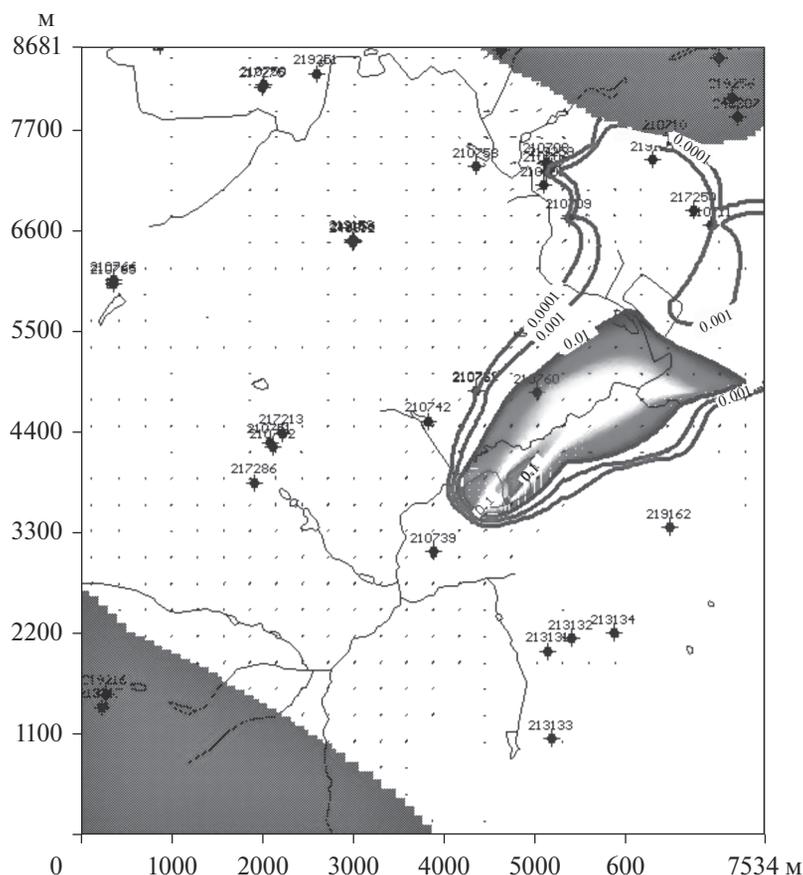


Рис. 7. Прогноз распространения загрязнения перхлорэтиленом с территории полигона ТКО "Кулаково" в каширском водоносном горизонте на 2018 г. (по материалам ООО НПП "Георесурс"). По осям приведен размер расчетной области, звездочками указаны водозаборные скважины, сплошными линиями – изолинии концентраций 0.1, 0.01, 0.001 и 0.0001. Градиентом показана область, где концентрация перхлорэтилена ≥ 0.01 мг/л (2 ПДК).

полнен прогноз миграции загрязнения перхлорэтилена – консервативного элемента-трассера с низкой ПДК (0.005 мг/л) (рис. 7). Выбор данного соединения обусловлен тем, что ареалы загрязнения перхлорэтиленом значительно превышают область влияния полигона, которая идентифицируется по индикаторам-макрокомпонентам. Такая ситуация сложилась в Подольском районе Московской области, где хлорорганическими соединениями загрязнены водозаборы подземных вод. Полученные результаты моделирования подтверждают предположение о том, что полигон ТКО "Кулаково" – возможный источник загрязнения подольско-мячковского водоносного горизонта.

Для водосбора Ивановского водохранилища анализ источников его загрязнения проводился за период 1986–2018 гг. (рис. 8, 9).

Анализ общей временной динамики выноса ЗВ от диффузных и точечных источников загрязнения проводился по трехлеткам (1986–1988,

2001–2003, 2015–2017 гг.) (рис. 10) с районированием водосбора по административному принципу (рис. 11).

Поскольку завершающий блок ЭСППР – разработка водоохраных мероприятий с оценкой их эффективности, проведено сопоставление вклада точечных и диффузных источников загрязнения по ряду ЗВ (рис. 12).

Например, проведенный анализ по нефтепродуктам показал, что проблема диффузного загрязнения к настоящему времени только нарастает (рис. 12).

На рис. 13 приведен пример результатов расчета диффузного выноса азота с сельскохозяйственных полей на водосборах рек бассейна Куйбышевского водохранилища в 2017 г., выполненного в рамках данной работы. При этом дана приближенная оценка средней многолетней биогенной нагрузки на Куйбышевское водохранилище с правобережной и левобережной частей водосбора. Например, модуль выноса азота с правобереж-

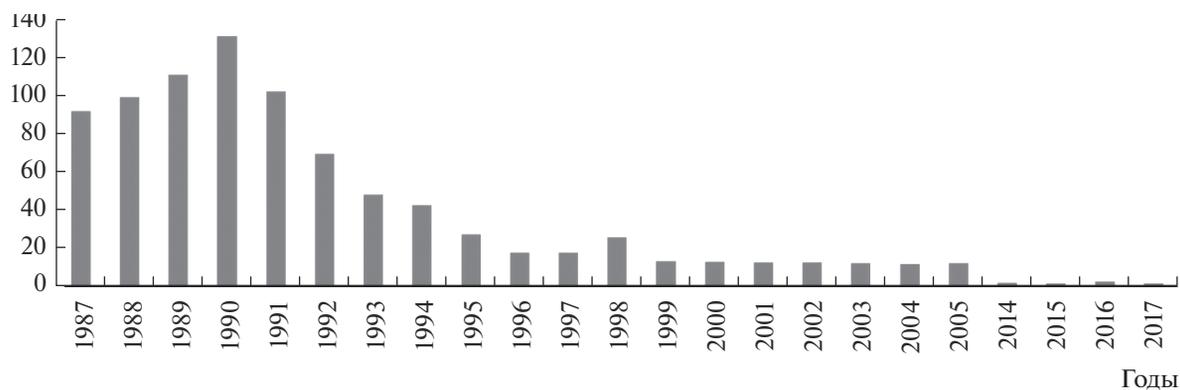


Рис. 8. Многолетняя динамика поступления нефтепродуктов от точечных источников загрязнения в гидрографическую сеть водосбора Ивановского водохранилища (1987–2017 гг.).

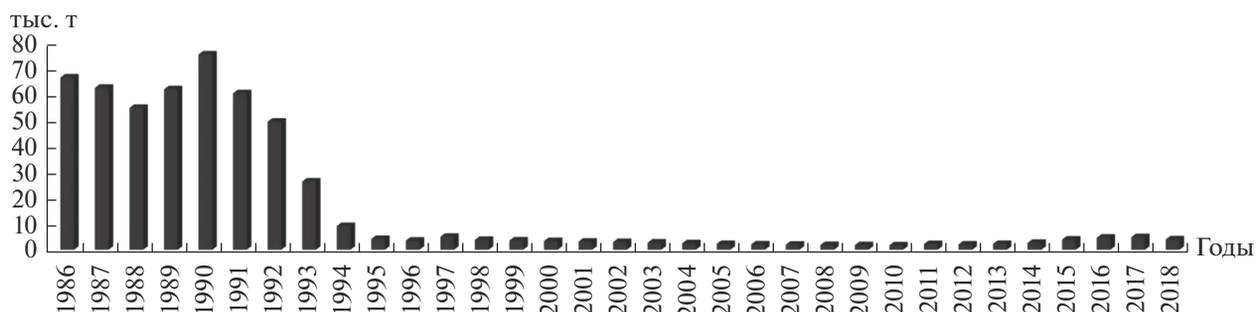


Рис. 9. Многолетняя динамика внесения минеральных удобрений на сельскохозяйственные угодья на водосборе Ивановского водохранилища.

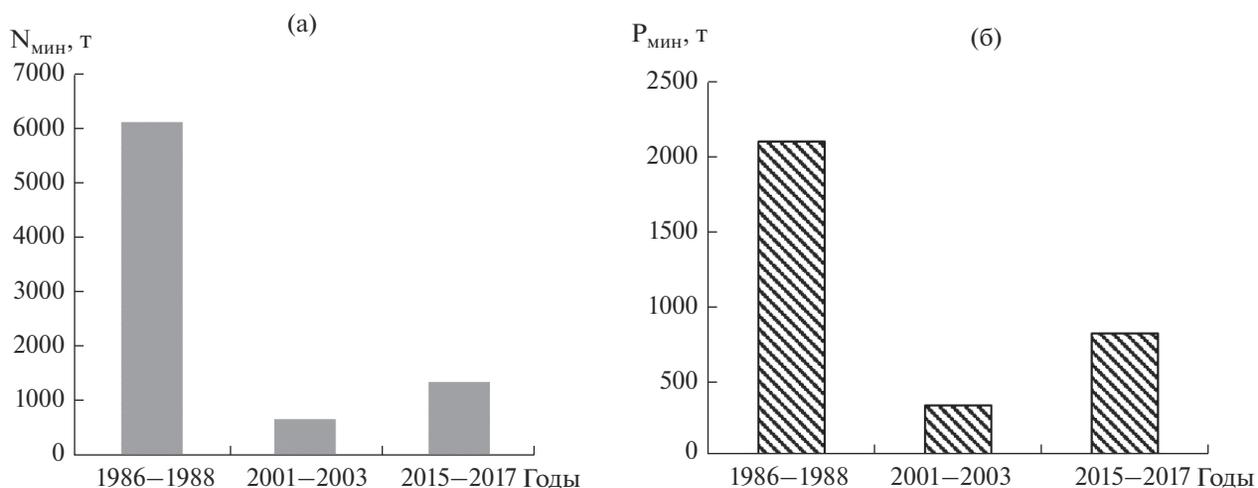


Рис. 10. Суммарный вынос азота $N_{\text{мин}}$ и фосфора $P_{\text{мин}}$ с сельскохозяйственных объектов в гидрографическую сеть водосбора Ивановского водохранилища (1986–1988, 2001–2003, 2015–2017 гг.).

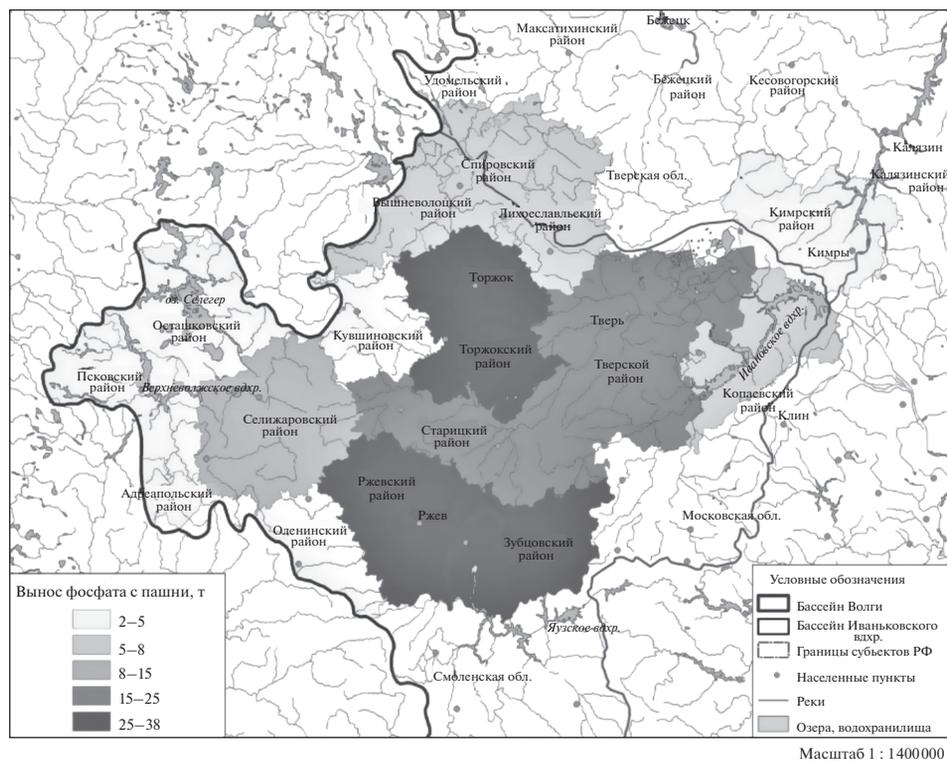
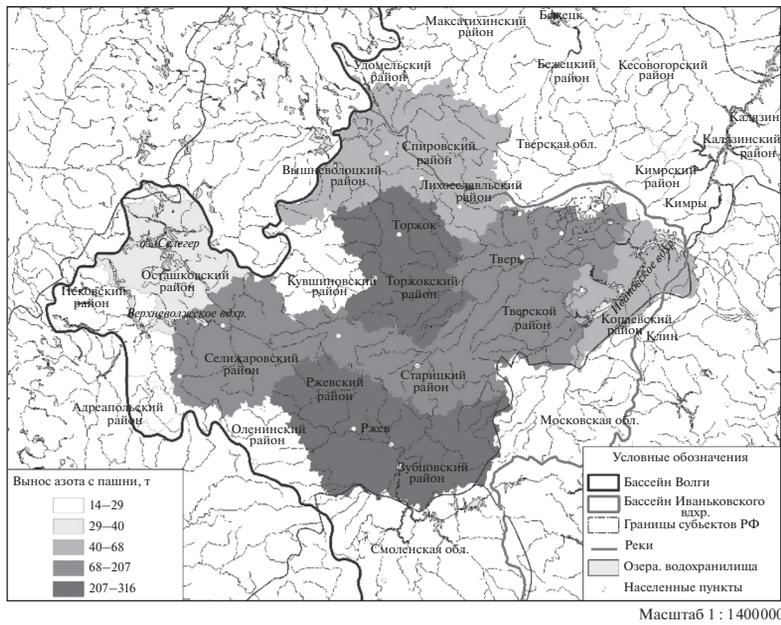


Рис. 11. Районирование водосбора Иваньковского водохранилища по среднегодовой массе выноса, фосфора $P_{мин}$, т, с сельскохозяйственных объектов в гидрографическую сеть водосбора Иваньковского водохранилища (1986–1988 гг.).

ной части водосбора составляет 350.9, с левобережной части – 493.7 кг/км² год.

ков загрязнения, расположенных на пилотных водосборах.

СТРУКТУРА БЛОКА 4. ВОДООХРАННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

В этом блоке предложены водоохранные мероприятия для каждого типа диффузных источни-

Сельскохозяйственные территории

Дополнительными мерами относительно животноводческих отходов могут быть следующие:

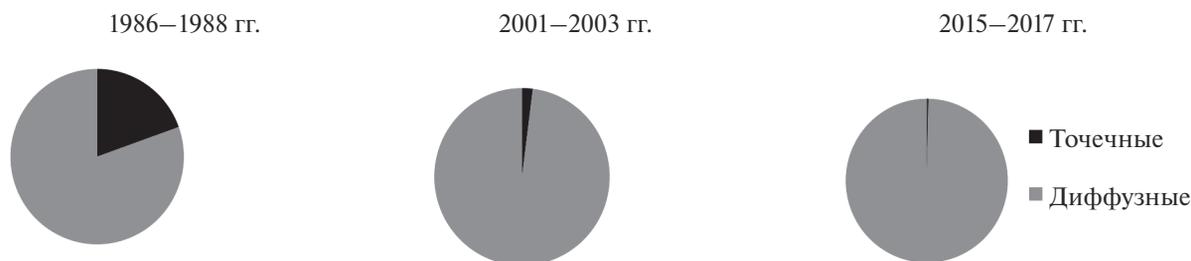


Рис. 12. Соотношение загрязнения водных объектов в бассейне Иваньковского водохранилища нефтепродуктами от точечных и диффузных источников, %.

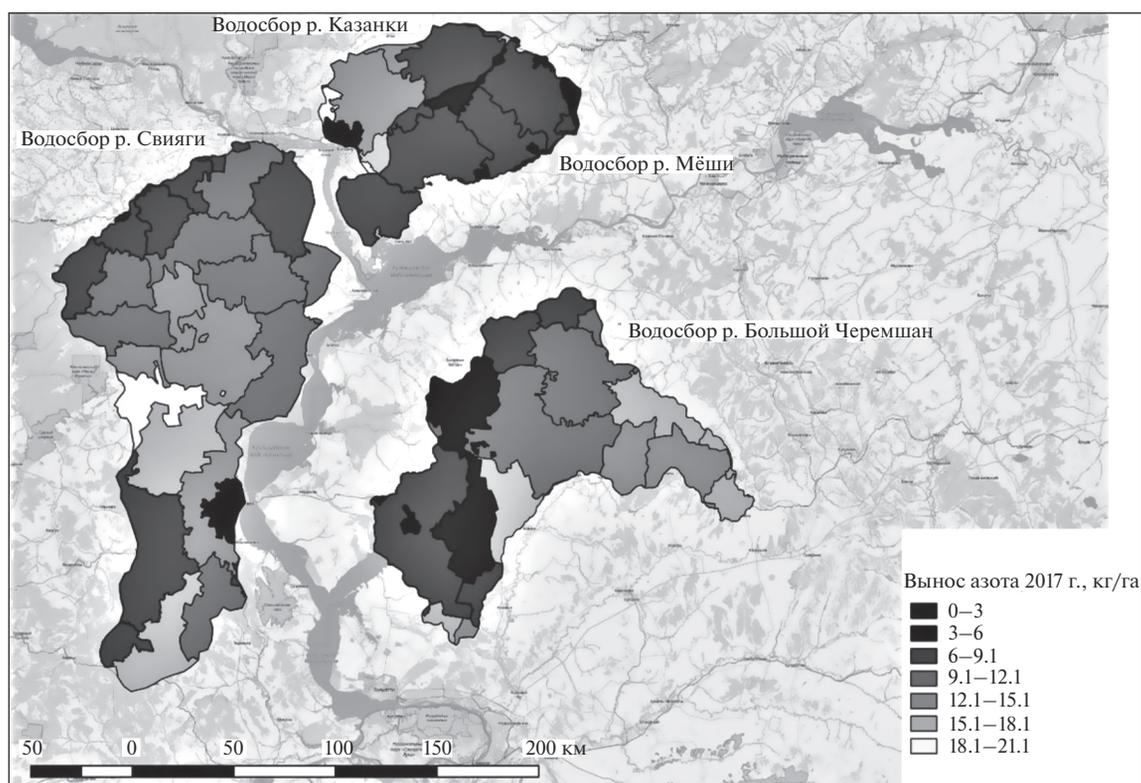


Рис. 13. Результаты расчета диффузного выноса азота с сельскохозяйственных полей в 2017 г. на водосборах рек бассейна Куйбышевского водохранилища (по материалам ИНОЗ РАН).

на животноводческих фермах — оборудованные навозохранилища и жижесборники;

оборудованные места стоянки скота и водопойные площадки — не ближе 300 м от водных источников;

складские помещения для хранения удобрений, ядохимикатов и горючих материалов — не ближе 500 м от населенных пунктов и водных источников, скотомогильники не ближе 1 км;

жидкий навоз и навозные стоки должны подвергаться: механической, искусственной и естественной биологической очистке или физико-хи-

мической обработке. Выбор очистки определяется местными условиями рельефа и расположением гидрографической сети;

очистка территории животноводческих предприятий должна быть механизирована и осуществляться систематически с помощью мобильных мусоровозов, поливочных автомобилей, автопылесосов, смонтированных на тракторах, других машин и агрегатов, которые следует располагать на бетонированных площадках с твердым покрытием, специально выделенных для этой цели.

Городские территории

Водоохранные мероприятия для городских территорий можно разделить на несколько категорий.

1. Мероприятия по улучшению санитарного состояния:

- организация регулярной уборки территорий;
- проведение своевременного ремонта дорожных покрытий;

- ограждение зон озеленения бордюрами, исключающими смыв грунта во время ливневых дождей на дорожные покрытия;

- повышение технического состояния эксплуатируемой техники;

- организация уборки и очистки снега с автомобильных дорог, мостов и в пределах водоохран- ных зон;

- ограждение строительных площадок с упорядочением отвода поверхностного стока по временной системе открытых лотков, освещением его на 50–70% в отстойниках и последующим отведением на очистку;

- исключение сброса в очистные сооружения отходов производства, в том числе и отработанных нефтепродуктов;

- упорядочение складирования и транспортирования сыпучих и жидких материалов.

2. Мероприятия, направленные на очистку поверхностного стока.

Применяемые очистные сооружения:

- пруды-отстойники (в том числе каскадного типа);

- гидробиологические площадки;

- модульные станции глубокой очистки;

- очистные сооружения индивидуального проектирования из сборного и монолитного железобетона;

- очистные сооружения типа “фильтрующий патрон”;

- простейшие очистные сооружения.

Кроме того, очистные сооружения бывают следующего расположения:

- наземного;

- подземного;

- наземно-подземного;

- навесные.

Промышленные площадки

В соответствии с нормативными документами система дождевой канализации для территории промышленных предприятий должна быть обеспечена очисткой всего объема поверхностного стока [7].

Выбор схемы отведения и очистки поверхностного стока должен проводиться на основе оценки технической возможности и экономической целесообразности следующих мероприятий:

- использования неочищенного поверхностного стока в системах технического водоснабжения;

- локализации тех участков производственных территорий, на которых возможно попадание на поверхность специфических загрязнений, с отводом стока в производственную канализацию или после их предварительной очистки – в дождевую сеть;

- раздельного отведения поверхностного стока с водосборных площадей, различающихся по характеру и степени загрязнения территории;

- самостоятельной очистки поверхностного стока;

- подачи поверхностного стока на общезаводские очистные сооружения для совместной с производственными сточными водами очистки.

Выбор системы отведения поверхностного стока с площадок предприятий осуществляется исходя из климатических условий, рельефа местности, требований к качеству очистки сточных вод и возможных условий отведения очищенных сточных вод в водный объект или на повторное использование.

СТРУКТУРА БЛОКА 5. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Этот блок включает в себя эколого-экономические расчеты эффективности внедрения предложенных в Блоке 4 мероприятий. При выборе водоохраных мероприятий можно выделить два вида представления их эффективности – экологический (снижение потоков ЗВ) и экономический (выраженное в стоимостной форме снижение потоков ЗВ).

Предотвращенный экологический ущерб представляет собой разность между массами выносимых ЗВ до проведения природоохранных мероприятий и после их реализации. Экономический эффект (руб.) предотвращения экологического ущерба пропорционален снижению масс выноса загрязнений в результате применения водоохраных мероприятий. Экономическую оценку предотвращенного экологического ущерба принято проводить по “Временной методике определения предотвращенного экологического ущерба” за 1999 г. [1].

Пример результатов оценки эффективности водоохраных мероприятий для рек водосбора Чебоксарского водохранилища представлен на рис. 14. Наибольший эффект снижения поступления азота и фосфора из диффузных источников дает установка септиков в каждом сельском доме, не обеспеченном центральной канализацией. Экономический эффект при

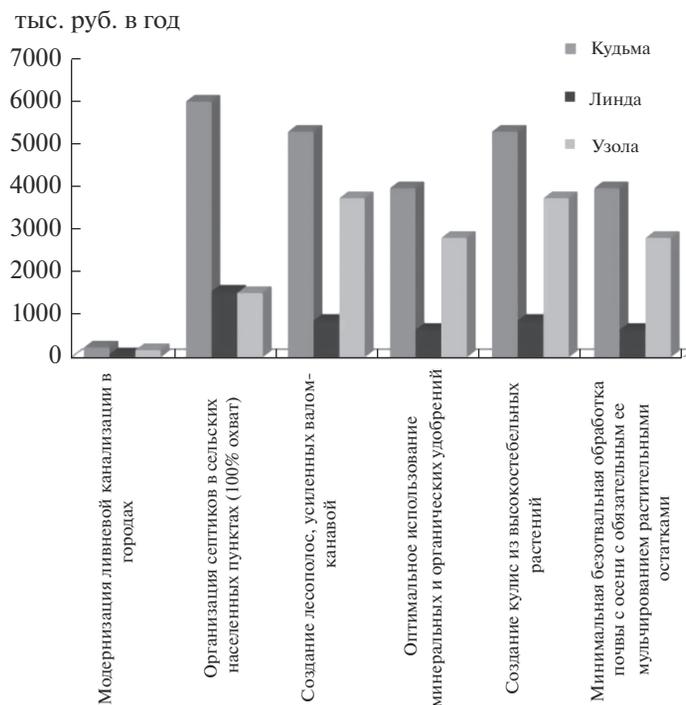


Рис. 14. Сокращение экологического ущерба при проведении водоохраных мероприятий на пилотных водосборах рек Кудьмы, Линды и Узолы (по материалам ИГ РАН).

обеспечении септиками всего сельского населения по трем пилотным водосборам суммарно составит ~9100 тыс. руб. в год.

Другой подход реализован для мелиорируемой территории бассейна р. Яхромы. Эффективность водоохраных мероприятий предложено рассчитывать для четырех возможных сценариев. Базовый (наихудший) сценарий (сценарий 1) в бассейне р. Яхромы – это современная ситуация, при которой отсутствуют мероприятия по снижению объема поверхностного и дренажного стока, формирующегося на водосборе, и улучшению его качества. В качестве первого альтернативного сценария (сценарий 2) предлагается проведение мероприятий по снижению поверхностного стока и улучшению его качества. Следующий альтернативный сценарий (сценарий 3) предполагает частичную очистку дренажного стока на мелиоративной системе Яхромской поймы на площади 7871.015 га, где проводится сброс дренажного стока непосредственно в речную сеть. Комплексный сценарий (сценарий 4) включает в себя мероприятия по сценариям 2 и 3, т.е. снижение диффузного стока от поверхностных и дренажных вод. Наибольший предотвращенный ущерб, составляющий 8873.37 тыс. руб., обеспечивает комплексный сценарий 4 (рис. 15).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для повышения эффективности водоохраных программ в бассейне р. Волги необходим комплексный подход к оценке всех действующих источников загрязнения. Неучет и отсутствие мониторинга по целому классу источников загрязнения, которые имеют в основном диффузный характер выноса ЗВ с водосборов, показал незначительные результаты российской водоохраны. С учетом назревших проблем с качественным состоянием водных объектов в бассейне Волги разработан прототип ЭСППР по оптимизации водоохраных мероприятий.

В бассейне определены 12 пилотных объектов от Верхней Волги до устья реки с разными параметрами водосборов и типами источников загрязнения: сельскохозяйственные объекты, городские территории, промышленные площадки, полигоны захоронения коммунально-бытовых и промышленных отходов и др.

Базовая основа прототипа экспертной системы следующая:

- многолетние экспериментальные исследования;
- разработанные и усовершенствованные методические подходы к оценке диффузных источников загрязнения;

- многолетние информационные базы данных на основе статистического учета и анализа соотношения определяющих параметров уровня ан-



Рис. 15. Предотвращенный экологический ущерб по сценариям водоохранных мероприятий для мелиорируемых территорий в бассейне р. Яхромы (по материалам ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова).

тропогенной нагрузки по типам источников загрязнения;

анализ реализованных водоохранных мероприятий и качественного состояния водных объектов;

специализированные ГИС.

Основной итог разработанного прототипа – реализованный бассейновый принцип учета, сопоставления и ранжирования основных источников загрязнения и приоритетных ЗВ, оценка эффективности конкретных предложений по водоохроне водных объектов бассейна Волги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба. Утв. Госкомэкологией РФ 09.03.1999. [Электронный ресурс]. <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=278825#02615874783966772>
2. Гордин И.В., Кирпичникова Н.В. Сравнительная оценка экологической опасности поверхностных стоков с промышленных площадок и городских территорий // Промышл. энергетика. 1993. № 1. С. 32–37.
3. Джексон П. Введение в экспертные системы. М.: Вильямс, 2001. 624 с.
4. Кирпичникова Н.В. Исследование неконтролируемых источников загрязнения водных объектов (на примере Ивановского водохранилища). Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: ИВП РАН, 1992. 23 с.
5. Кирпичникова Н.В. Неконтролируемые источники загрязнения // Ивановское водохранилище. Современное состояние и проблемы охраны. М.: Наука, 2000. С. 36–62.
6. Кравченко Т.К. Экспертная система поддержки принятия решений // Открытое образование. 2010. № 6. С. 147–156.
7. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. М.: НИИ ВОДГЕО, 2014. 88 с.