

РАСЧЕТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В КЛЯЗЬМИНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ ОТ БЕРЕГОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ДИФфуЗНОГО ХАРАКТЕРА*

Е.В. Веницианов¹, Н.В. Кирпичникова¹, А.А. Тиунов^{2,3}

E-mail: eugeny.venitsianov@gmail.com

¹ ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук»,
Москва, Россия

² «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» –
филиал ФГБУН «Пермский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук», г. Пермь, Россия

³ ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного
использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, г. Пермь, Россия

АННОТАЦИЯ: В последние десятилетия на водосборах заметно снизилась антропогенная нагрузка в промышленном и сельскохозяйственном секторах. Однако при этом не отмечено заметного улучшения качества воды водных объектов. Одна из основных причин такой ситуации – отсутствие стратегии снижения нагрузки от сосредоточенных по водосбору (диффузных) источников загрязнения, в т. ч. развитие дачного и коттеджного строительства непосредственно на берегах водоемов. Диффузные загрязнения стали основными источниками загрязнения для многих водных объектов. Опасность диффузных загрязнений особенно велика в период интенсивного поверхностного смыва – дождевых паводков и половодья. Игнорируя этот фактор, российское водное законодательство в последние годы резко «смягчило» регламент хозяйственной деятельности в водоохраных зонах и зонах санитарной охраны водных объектов, в т. ч. источников питьевого водоснабжения.

В статье рассмотрен метод математического моделирования расчета величины диффузного стока с берегового участка Клязьминского водохранилища – одного из источников водоснабжения Москвы. Этот метод позволяет также определить границы поясов зон санитарной охраны водозабора станций водоподготовки. Необходимо оценить мощность поверхностного стока при различных метеоусловиях и трансформацию загрязнения при распространении загрязняющих веществ по течению. Разработанный метод может быть использован для расчета диффузных загрязнений и для других водных объектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водохранилище, качество воды, водоохранная зона, защитная полоса, зона санитарной охраны, математическая модель, диффузное загрязнение.

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-05-00842

© Веницианов Е.В., Кирпичникова Н.В., Тиунов А.А., 2019

Водоснабжение Москвы осуществляется через Москворецкую (60 % водоподачи) и Волжскую (40 %) системы. Из Иваньковского водохранилища через канал им. Москвы и сеть малых водохранилищ водораздельного бьефа вода подается в столицу. Клязьминское водохранилище является замыкающим, из него вода поступает на Северную станцию водоподготовки.

В бассейне Верхней Волги в течение нескольких десятилетий проводилась государственная водоохранная политика, направленная в основном на сокращение сброса промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод городов. Вследствие совершенствования систем очистки, развития оборотного и повторного водоснабжения в 1970–1980 гг. в Иваньковском водохранилище наблюдалось многократное уменьшение концентраций ингредиентов техногенного происхождения – цинка, меди, СПАВ и др. [1]. Однако по таким показателям, как взвешенные, органические вещества, биогенные элементы, нефтепродукты, улучшения качества воды не произошло [2]. Ситуация отсутствия ожидаемого эффекта улучшения качества воды была характерна в 1970–1980 гг. для всех бассейнов Российской Федерации. Как показали исследования, это было вызвано воздействием неконтролируемых источников загрязнения, имеющих, в основном, диффузный (распределенный по водосбору) характер поступления в гидрографическую сеть [3].

Традиционным и доказавшим свою экологическую эффективность методом борьбы с поступлением загрязняющих веществ в природную гидросферу является организация водоохранных зон (ВЗ) по берегам рек, озер и водохранилищ. Особенно жесткие требования к состоянию ВЗ предъявляются к водным объектам – источникам питьевого водоснабжения. Они обоснованно рассматриваются как необходимый растительно-почвенный барьер, предотвращающий загрязнение, засорение и истощение водных объектов. Начавшаяся с середины 1980-х годов массовая, хаотическая застройка водоохранных зон РФ стала причиной ослабления их барьерной роли. Особую тревогу представляет застройка зон санитарной охраны источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения [4].

Водное законодательство СССР было довольно жестким: граница ВЗ устанавливалась на расстоянии 3 км от уреза воды, предусматривался строгий регламент хозяйственной деятельности [5, 6]. При этом размеры ВЗ и прибрежных защитных полос водных объектов устанавливались, исходя из физико-географических, почвенных, гидрологических и других условий с учетом прогноза изменения береговой линии водных объектов с целью предотвращения загрязнения водных объектов, их засорения и истощения, а также сохранения среды обитания животного и растительного мира.

В Водном кодексе РФ [7] из десяти ранее запрещенных в ВЗ видов деятельности остались только четыре:

- использование сточных вод для удобрения почв;
- размещение кладбищ, скотомогильников, мест захоронения отходов производства и потребления, радиоактивных, химических, взрывчатых, токсичных, отравляющих и ядовитых веществ;
- осуществление авиационных мер по борьбе с вредителями и болезнями растений;
- движение и стоянка транспортных средств (кроме специальных транспортных средств), за исключением их движения по дорогам и стоянки на дорогах и в специально оборудованных местах, имеющих твердое покрытие.

При этом максимальная ширина водоохранных зон определена в размере 200 м. В границах ВЗ устанавливаются прибрежные защитные полосы, на территориях которых вводятся дополнительные ограничения хозяйственной и иной деятельности (запрещается распашка земель, размещение отвалов размываемых грунтов, выпас сельскохозяйственных животных и организация для них летних лагерей, ванн) [8]. Максимальная ширина прибрежных защитных полос – 50 м.

Кроме того, исключена из водного законодательства обязанность согласовывать с органами Росводресурсов предоставление земельных участков в водоохранных зонах и проведение строительства и реконструкции зданий, сооружений, коммуникаций и других объектов, а также землеройных и других работ. С 1 января 2007 г. разрешена приватизация земельных участков в водоохранных зонах. Прямой запрет на передачу таких земельных участков в частную собственность ранее был установлен п. 8 ст. 28 ФЗ «О приватизации государственного и муниципального имущества» [9].

Таким образом, современное водное законодательство предьявляет значительно меньше требований к использованию водоохранных зон, что привело к неконтролируемому росту нагрузки на водные объекты.

Основным мотивом для установления более мягкого режима водоохранных зон является заинтересованность региональных и местных органов власти в росте коттеджно-дачной застройки территорий этих зон. Этот рост типичен для большинства водоемов и крупных рек России. Не удивительно, что он коррелирует с ростом объемов поступления загрязняющих веществ в водные объекты от диффузных неконтролируемых источников. Аналогичные тенденции наблюдаются и на водоохранной зоне Клязьминского водохранилища.

В развитых странах действует весьма либеральное законодательство, но при жестком исполнении установленных требований. В качестве примера сошлемся на опыт США. Clean Water Act (CWA) – Закон о чистой воде –

базовая структура по регулированию сбросов загрязненных вод в США [10]. Одной из основных задач является регулирование загрязнения из диффузных источников, которое осуществляется путем поддержки акций волонтеров, проведения информационных и образовательных кампаний, привлечения общественных и бизнес-корпораций, сотрудничества общественных и частных структур, экономического и морального стимулирования, поддержки деятельности НПО, принятия стандартов по диффузным источникам загрязнения.

В настоящее время особое значение придается более гибким мерам контроля над загрязнением воды [11]: это методы переговоров, дискуссий, убеждений и компромиссов, которые демонстрируют свою эффективность. Предметом переговоров и компромиссов являются вопросы нормирования сбросов, выбора стратегий уменьшения загрязнений путем применения наилучших природоохранных практик. Большую роль при этом играют социальные сети. К контролю над загрязнением водных объектов присоединяются фермеры, владельцы или арендаторы земельных участков, промышленники, гражданские группы. Происходит кооперация государственных и негосударственных организаций, причем последние играют все возрастающую роль.

В 1999 г. Агентство по охране окружающей среды (EPA) создало новую систему ограничений и запретов на выбросы от диффузных источников загрязнения, которая основывается на разработке норм максимальных дневных суммарных выбросов (Total Maximum Daily Load – TMDL). TMDL различаются для участков сельскохозяйственного, рекреационного и пр. использования. При разработке TMDL широко используются математические модели.

Источники загрязнения, находящиеся на территории, для которой разработаны TMDL, могут сокращать сбросы по своему усмотрению. Главное, чтобы сумма сбросов из точечных и рассеянных источников на данной территории не превышала установленные нормативы [12].

Практика привлечения владельцев земельных участков, в т. ч. в водоохраных зонах, в России не получила развития. Однако в настоящее время появились экономически успешные владельцы земельных участков, которые заинтересованы в поддержании экологического статуса водного объекта, в зоне которого расположен земельный участок, и благоприятного для рекреации состояния ландшафтов и биоты. Экономически состоятельные собственники вполне могут обеспечить проведение соответствующих природо- и водоохраных мероприятий.

В соответствии с Водным кодексом в границах водоохраных зон допускается строительство объектов недвижимости при условии их оборудования сооружениями, обеспечивающими защиту водных объектов от

загрязнения и засорения. Для строительства объектов на землях особо охраняемых природных территорий предусмотрена обязательная государственная экологическая экспертиза проектной документации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для водных объектов – источников питьевого водоснабжения – установлены границы и основные мероприятия на территории и акватории зон санитарной охраны (ЗСО) в соответствии с Санитарно-эпидемиологическими правилами СП 2.1.4.2625-10 «Зоны санитарной охраны источников питьевого водоснабжения г. Москвы» [13]:

«3.4. Границы 2 пояса ЗСО станций водоподготовки и гидроузлов.

3.4.1. Верхняя граница 2 пояса ЗСО по акватории источника водоснабжения должна быть удалена вверх по течению от плотины гидроузла на расстояние, чтобы время для пробега по основному водотоку, притокам первого порядка и акватории водохранилища до плотины гидроузла было не менее 5 суток (при расходе воды 95 % обеспеченности), но не далее створа плотины вышележащего гидроузла.

3.4.2. Нижняя граница соответствует створу водозабора или гидроузла».

Большинство источников загрязнения в прибрежных зонах водных объектов носят диффузный характер. Имеется принципиальное различие точечных и диффузных источников. Характерные особенности диффузных источников загрязнения водных объектов:

- динамичное изменение расхода и состава загрязняющих веществ;
- сильная связь с осадками;
- параметры качества могут меняться в пределах нескольких порядков;
- поступление в водный объект происходит распределенно вдоль берега;
- необходимы специальные методы мониторинга;
- требуется привлечение математических моделей для оценки загрязнений.

В случае Клязьминского водохранилища основная задача заключается в обосновании допустимой мощности берегового диффузного источника загрязнения и определении положения створа с периодом времени добегания пять суток согласно п. 3.4.1 требований [13].

Предполагаемый (проектируемый) источник загрязнения расположен на южном берегу (левом по течению воды в канале). Это участок площадью 5 га, длина береговой линии – 317 м, расположенный в 2513 м от устья канала им. Москвы и в 7109 м от водозабора на Северную станцию водоподготовки (ССВ) по фарватеру водохранилища. Функциональное назначение рассматриваемой территории – водно-спортивная база (ВСБ).

Для решения задачи прогноза распространения загрязнения с участка использовалась гидродинамическая модель Клязьминского водохранилища [14]. Модель построена на основе лицензированного, гидрологического программного пакета SMS v.11.1 (Surface-water Modeling System) компании Aquaveo LLC с использованием моделей RMA2 и RMA4. Данный программный пакет предназначен для моделирования в двухмерном приближении гидродинамики и распространения загрязнений, а также транспорта взвешенных и влекомых наносов в водном объекте. В основе программного пакета SMS v.11.1 лежат несколько моделей: ADH, RMA2, RMA4, FESWMS, TUFLOW (разработка компании BMT WBM), RiverFlow2D (разработка компании Hydronia LLC) и другие модели, позволяющие решать различные современные гидрологические задачи.

Использованы модели RMA2 и RMA4 для моделирования двухмерных течений и распространения загрязнения. Модель RMA2 – это двухмерная усредненная по глубине конечно-элементная гидродинамическая численная модель. Она вычисляет возвышения водной поверхности и горизонтальные компоненты скорости при ламинарном течении со свободной поверхностью в двумерных областях. Модуль RMA4 – это конечно-элементная численная модель переноса качества воды, в которой распределение концентрации по глубине предполагается одинаковым.

Решены следующие задачи:

1. Расчет расхода воды поверхностного стока и поступления загрязняющих веществ (ЗВ) в условиях экстремального ливня.
2. Расчет векторных полей скорости течения с разными ветровыми нагрузками.
3. Расчет распространения загрязняющего вещества при поступлении его в виде кратковременного сброса (при условной 100 % концентрации) и его разбавления до водозабора ССВ при разной ветровой нагрузке.
4. Расчет зависимости концентрации в районе водозабора от времени и периода прохождения максимальной концентрации загрязняющего вещества от участка загрязнения через водозабор на ССВ.
5. Определение координат створа с временем добегания пять суток вверх по течению от водозабора ССВ в соответствии с условиями СП 2.1.4.2625-10.
6. Обоснование пояса ЗСО для указанного участка.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На первом этапе необходимо задать функцию поверхностного стока, имеющего диффузный характер, с территории участка водно-спортивной базы площадью 5 га. На основании анализа метеорологических справочников [15] выявлены самые интенсивные осадки и катастрофические ливни

за весь период наблюдений (1949–2015 гг.). Максимально интенсивный ливень наблюдался 21 июня 2015 г.: за 10 ч – 41 мм осадков или $1,14 \times 10^{-3}$ мм/с. Для обоснования границы пятисуточного времени добегания авторами предложен более «жесткий» сценарий:

- интенсивность ливня принята 15 мм в течение 30 мин ($0,83 \times 10^{-2}$ мм/с), что примерно равняется максимальной интенсивности ливня по метеонаблюдениям. Однако принято, что ливень продолжался 0,5 ч, поскольку большая часть загрязняющих веществ при поверхностном смыве поступает в первой порции дождя. В пересчете на расход модельный ливень обеспечивает поступление $0,4 \text{ м}^3/\text{с}$ воды с расчетного участка;

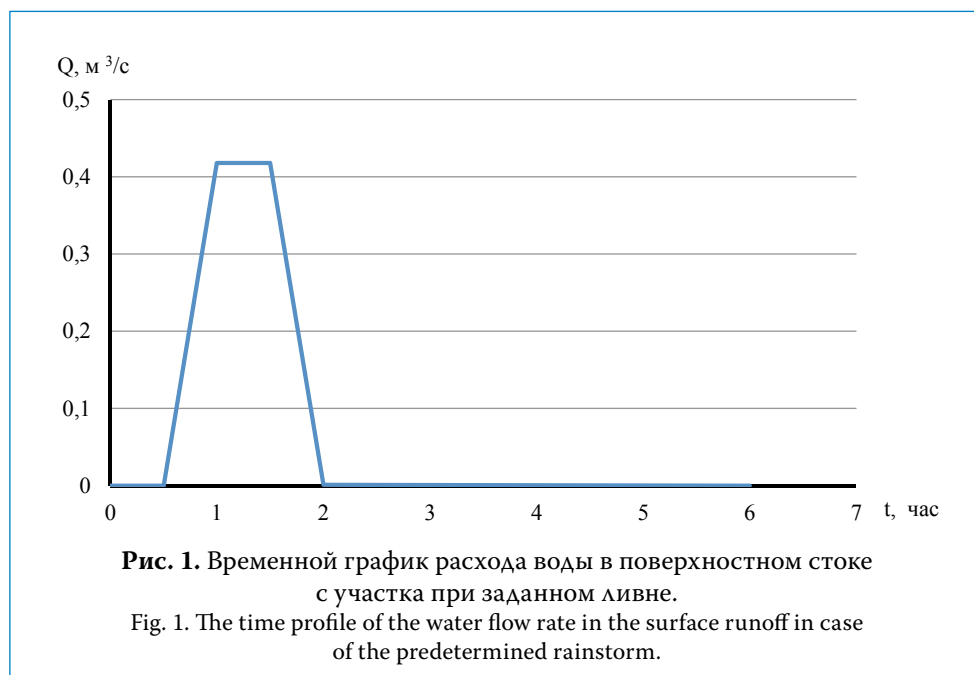
- концентрация загрязняющего вещества (ЗВ) определена как 100 %;

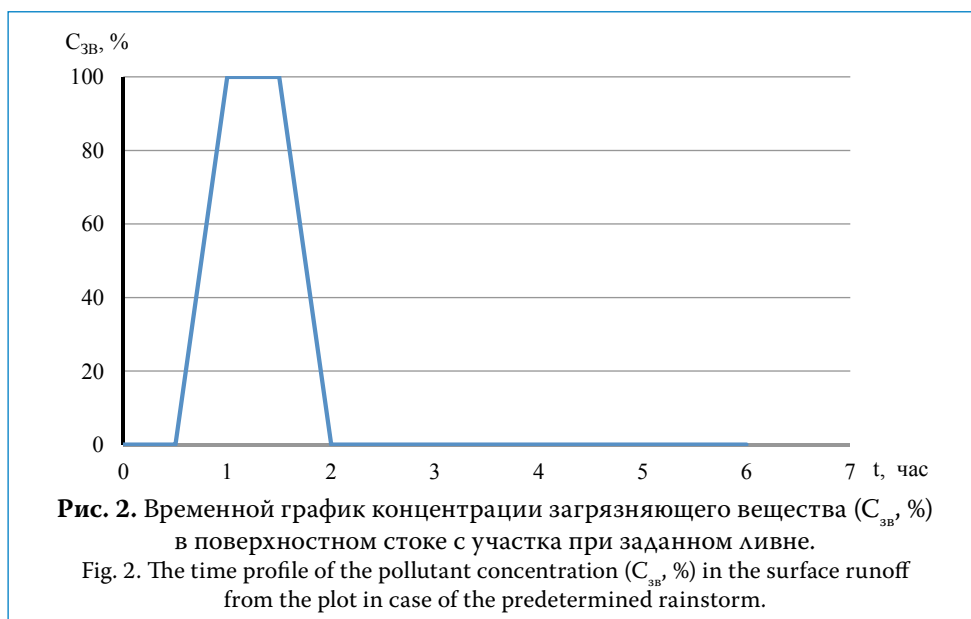
- загрязняющее вещество имеет консервативный характер, т. е. при прохождении по акватории учитывается только разбавление без учета деструкции и седиментации;

- в Клязьминское водохранилище поверхностный сток поступает диффузно по всей береговой линии длиной 317 м;

- коэффициент стока равен 1: для ливневого дождя это приемлемое приближение.

Расход поверхностного стока с заданным ливнем представлен на рис. 1, концентрация в поверхностном стоке во времени – на рис. 2.





Прогнозные оценки выполнены для пяти сценариев метеорологических условий, постоянных во времени:

- ветер отсутствует (штиль);
- ветер восточный (В), скорость 7 м/с;
- ветер восточный (В), скорость 15 м/с;
- ветер юго-западный (ЮЗ), скорость 7 м/с;
- ветер юго-западный (ЮЗ), скорость 15 м/с.

Направление и скорость ветра выбирали, исходя из анализа метеорологических данных. Наиболее благоприятное направление ветра для распространения пятна загрязнения к Северной станции дают сценарии 2, 3, к каналу – сценарии 4, 5.

Ветровые условия формируют ветровые течения на внутренних водоемах и основную роль играют скорость и направление ветра [16]. При малых скоростях транзитного течения в водохранилищах сильный ветер с противоположным направлением относительно транзитного потока формирует обратные и циркуляционные течения. В сценариях 2 и 3 предлагается именно такой ветер.

Для всех пяти сценариев были выбраны одинаковые среднелетние граничные условия:

- расход воды в канале им. Москвы на входе (А) в Клязьминское водохранилище – 40,0 м³/с, что соответствует 95 % обеспеченности (требование СП -2.1.4.2625-10);

- расход воды через Пироговский гидроузел (П) – $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$;
- расход воды на водозаборе ССВ – $5,01 \text{ м}^3/\text{с}$;
- расход воды на Черкизовском водозаборе (Ч) – $1,505 \text{ м}^3/\text{с}$;
- уровень воды в Клязьминском водохранилище – $162,1 \text{ м}$;
- расход воды на участке смыва загрязнения на рассмотренном участке задавался по кривой, представленной на рис. 1;
- концентрация загрязняющих веществ (ЗВ), поступающих с поверхностным стоком с участка, задавалась по кривой, представленной на рис. 2;

На рис. 3 дана карта глубин Клязьминского водохранилища и указаны места задания граничных условий:

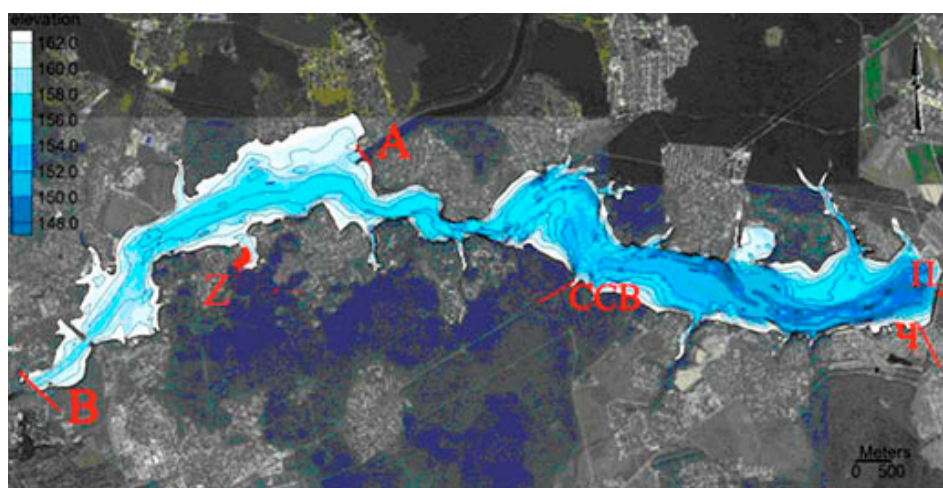


Рис. 3. Принятая морфометрия для построения гидродинамической модели Клязьминского водохранилища с нанесенными точками задания граничных условий (Z – рассмотренный береговой участок; створ А – вход в Клязьминское водохранилище канала им. Москвы; створ В – выход канала им. Москвы из Клязьминского водохранилища; ССВ – Северная станция водоподготовки; Ч – Черкизовский водозабор; П – Пироговский гидроузел).

Fig. 3. The adopted morphometry for construction of a model of the Klyazma Reservoir with the marked points of the preset conditions (Z is the bank line under consideration; reach A is the entrance of the Moscow Canal to the Klyazma Reservoir; reach B is the exit point of the Klyazma Canal from the Klyazma Reservoir; ССВ is the Northern Water Treatment Station; Ч is the Cherkizovo water intake; П is the Pirogovo hydraulic facilities).

На втором этапе рассчитывали указанные выше пять скоростных режимов в водохранилище с разными ветровыми нагрузками.

На третьем этапе выполняли математическое моделирование распространения загрязнений для пяти сценариев. Определены векторы скоро-

стей и концентрации загрязняющих веществ в процентах по отношению к 100 % выпуску с территории участка Z.

Разработанная математическая модель для Клязьминского водохранилища позволяет решить четвертую задачу – получить зависимость концентрации загрязняющих веществ от времени на водозаборе ССВ и расчет времени добегающей максимальной концентрации. Результаты расчетов по пяти сценариям представлены в таблице.

Таблица. Результаты расчетов прохождения концентрации загрязняющих веществ на водозаборе ССВ в % от начальной, выпущенной с береговой линии участка Z, определенные по пяти сценариям ветровой нагрузки.
Table. Results of calculations of the pollutants' concentration passage on the North Water Treatment Station water intake in % of the initial concentration started from the Z bank line determined by five scenarios of wind load.

Сценарий	Направление и скорость ветра, м/с	Расход воды по каналу им. Москвы, м ³ /с	Максимальная концентрация ЗВ, добегающая до створа водозабора СССР, %	Время добегающей ЗВ до створа водозабора ССВ, сут/ч
1	Штиль, 0	40	$4,6 \times 10^{-11}$	22/18
2	Восточный, 7	40	$28,17 \times 10^{-6}$	21/23
3	Восточный, 15	40	$194,02 \times 10^{-6}$	20/00
4	Юго-западный, 7	40	$49,88 \times 10^{-6}$	23/17
5	Юго-западный, 15	40	$166,18 \times 10^{-6}$	23/18

Примечание: поверхностный сток с территории Z равен 0, 418 м³/с; исходная концентрация ЗВ при поступлении с территории Z считается равной 100 %.

Представленные результаты моделирования позволяют сделать вывод, что максимальное разбавление отмечено при штиле. Во всех сценариях сохраняется пикообразный характер изменения концентрации по времени.

Необходимо пояснить эффект, который наблюдается при восточном ветре. Морфометрия Клязьминского водохранилища имеет такую конфигурацию, что при ветре восточного азимута при сужении ложа водоема возникают циркуляционные течения, которые вовлекают водные массы в сторону, противоположную ветру, и время добегающей становится меньше по отношению к ситуации в штиле. Такой эффект зафиксирован на многих внутренних водоемах равнинного характера с малыми скоростями течения [17–21]. При штиле таких течений не возникает.

Математическая модель позволяет определить верхний створ 2 пояса зоны санитарной охраны (ЗСО) по отношению к водозабору на ССВ в соответствии с требованиями СП – 2.1.4.2625-10.

Принимались гидродинамические граничные условия, соответствующие штилю:

- расход воды в канале им. Москвы на входе в Клязьминское водохранилище – 40,0 м³/с;
- расход воды через Пироговский гидроузел – 1,0 м³/с;
- расход воды на водозаборе ССВ – 5,009 м³/с;
- расход воды на Черкизовском водозаборе – 1,505 м³/с;
- уровень воды в Клязьминском водохранилище – 162,1 м;
- загрязняющее вещество поступает постоянно с концентрацией 100 % из канала им. Москвы.

В результате расчета по математической модели водохранилища получена средняя скорость течения воды на участке от канала им. Москвы до водозабора ССВ – 0,007 м/с, умножаем ее на 5 сут и получаем расстояние 3 км. Это верхний створ зоны санитарной охраны водозабора на ССВ. Концентрации ЗВ на водозаборе ССВ представлены в таблице. В топографической привязке верхний створ границы 2 пояса ЗСО имеет координаты: левый берег – 37°36'43.2" с.ш., 55°59'13.2" в.д., правый берег – 37°36'45.296" с.ш., 55°59'4.876" в.д. Таким образом, территория участка Z (ВСВ) не входит в верхнюю границу 2 пояса ЗСО в соответствии с требованиями СП 2.1.4.2625-10.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бассейне Верхней Волги в 1970–1880 годах проводилась политика, направленная на сокращение сброса промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод населенных пунктов. Ивановское водохранилище является водным объектом, обеспечивающим качество воды Верхней Волги и, благодаря каналу им. Москвы, 2/3 питьевого водоснабжения Московского мегаполиса. Вследствие проведенных мероприятий значительно уменьшились концентрации техногенных компонентов – цинка, меди, СПАВ и др. Однако по ряду показателей – взвешенным и органическим веществам, биогенным элементам, нефтепродуктам – улучшения качества воды не произошло. Следует подчеркнуть, что эта ситуация была характерна для всех бассейнов Российской Федерации. Как показали исследования, это было вызвано неконтролируемыми источниками загрязнения, имеющими, в основном, диффузный (распределенный по водосбору) характер поступления в гидрографическую сеть. Более того, уровень загрязнения стал возрастать вследствие массивированного «наступления» коттеджных застроек, чему способствовали изменения в водном законодательстве, значительно смягчившие требования к использованию водоохраных зон.

Проблема регулирования диффузных загрязнений водных объектов является актуальной в связи с принятием национальных проектов, на-

правленных на решение задач повышения качества воды водных объектов России.

В представленной работе рассмотрен метод оценки диффузного стока с территории, расположенной в береговой зоне. Сложность прогноза диффузных загрязнений заставляет использовать современные математические модели. Одна из таких моделей представлена в статье, она позволяет при наличии гидрометрической информации спрогнозировать динамику распространения залпового поступления загрязнений, типичных для диффузных источников при различных сценариях метеоусловий. Для моделируемых условий (равнинных неглубоких водохранилищ) достаточно применять двухмерную модель. Для приоритетных компонентов использовано предположение об их консервативности, что при расчетах дает более высокие значения концентраций в контрольных створах. В качестве примера взят участок площадью 5 га на берегу Клязьминского водохранилища. Функциональное назначение рассматриваемой территории – водно-спортивная база (ВСБ).

В результате расчета получено расположение створа, где при различных метеоусловиях загрязняющее вещество будет иметь концентрацию, соответствующую 1000-кратному разбавлению загрязняющего вещества, поступившего от диффузного источника. Расчет показывает, что территория участка ВСБ не входит в верхнюю границу второго пояса ЗСО в соответствии с требованиями СП-2.1.4.2625-10. Подчеркнем, что изложенный в статье метод расчета распространения загрязнения от диффузного источника без труда может быть использован и для других водных объектов и диффузных источников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордин И.В., Кирпичникова Н.В. Сравнительная оценка экологической опасности поверхностных стоков с промышленных площадок и городских территорий // Промышленная энергетика. 1993. № 1. С. 32–37.
2. Кирпичникова Н.В. Неконтролируемые источники загрязнения: сб. «Иваньковское водохранилище. Современное состояние и проблемы охраны». М.: Наука, 2000. С. 30–36.
3. Кирпичникова Н.В. Исследование неконтролируемых источников загрязнения (на примере Иваньковского водохранилища): автореф. дис. канд. техн. наук. 1991. 24 с.
4. Кирпичникова Н.В., Куприянова Е.И. Экологическое состояние водоохранной зоны Иваньковского водохранилища и современные подходы его регулирования. Известия АН, 2003. Т. 6. С. 77–84.
5. Водный кодекс РСФСР. Утв. ВС РСФСР 30.06.1972.
6. Постановление Совета Министров РСФСР от 17.03.1989 г. № 91 «Об утверждении Положения о водоохраных зонах (полосах) рек, озер, водохранилищ в Российской Федерации».

7. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 №74-ФЗ// Собрание законодательства РФ. 2006. № 23.
8. СП 2.1.4.2625-10 «Зоны санитарной охраны источников питьевого водоснабжения г. Москвы».
9. Федеральный закон «О приватизации государственного и муниципального имущества» от 21.12.2001 г. № 178-ФЗ.
10. Drinking Water Health Advisory for Manganese. United states, Environmental protection agency, 2004.
11. *Salamon Lester*, editor. The New Governance and the Tools of Public Action: A Handbook: <http://jhunix.hcf.jhu.edu/toolshandbook>. P. 32–33.
12. Congressional Quarterly, Winter 1999, Nov. 4. 2000. No. 10. P. 41.
13. СП 2.1.4.2625-10 «Зоны санитарной охраны источников питьевого водоснабжения г. Москвы».
14. *Веницианов Е.В., Лепихин А.П., Кирпичникова Н.В.* Разработка гидродинамической модели и модели формирования загрязнений равнинного водохранилища (на примере Клязьминского водохранилища) // Водное хозяйство России. 2013. № 2. С. 96–107.
15. Интернет-ресурс: <http://meteoweb.ru/>
16. Волны, течения и водные массы водоемов. Л., 1980. 157 с.
17. *Тиунов А.А.* Разработка гидродинамической модели и модели распространения загрязнений Клязьминского водохранилища // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 11 / ГИ УрО РАН: Пермь, 2013. 298 с., С. 27–29.
18. *T. Lyubimova, A. Lepikhin, Ya. Parshakova, Yu. Lyakhin, A. Tiunov.* The modelling of the formation of technogenic thermal pollution zones in large reservoirs. // International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 126, Part A, November 2018, P. 342–352.
19. *Лепихин А.П., Ляхин Ю.С., Тиунов А.А., Дробный О.Ф., Вахромеев И.Е.* Разработка возможных схем снижения воздействия ОАО «МКК» на Магнитогорское водохранилище на основе вычислительных экспериментов // Водное хозяйство России. 2014. № 5. С. 85–96.
20. *Веницианов Е.В., Кирпичникова Н.В., Тиунов А.А.* Прогноз возможного распространения загрязнений от береговых источников загрязнения (на примере Клязьминского водохранилища) // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: Тр. VI Межд. науч.-практ. конф. (г. Пермь, 29 мая–1 июня 2017 г.): в 3 т. Т. 2: Качество воды. Геоэкология / науч. ред. А.Б. Китаев. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2017. С. 14–17.
21. *Ляхин Ю.С., Лепихин А.П., Тиунов А.А., Любимова Т.П., Паршакова Я.И., Коновалов В.В.* Методические особенности оценки влияния Пермской ГРЭС на температурный режим Камского водохранилища. // Тр. V Межд. науч.-практ. конф. «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов». 29–31 мая 2015г. г. Пермь. Т.1. Гидро- и геодинамические процессы управления водными ресурсами. С. 64–69.

Для цитирования: Веницианов Е.В., Кирпичникова Н.В., Тиунов А.А., Расчет распространения загрязнений в Клязьминском водохранилище от береговых источников диффузного характера // Водное хозяйство России. 2019. № 5. С. 64-79.

Сведения об авторах:

Веницианов Евгений Викторович, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий лабораторией охраны вод, ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук» (ИВП РАН), Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3; e-mail: eugeniy.venitsianov@gmail.com

Кирпичникова Наталья Владимировна, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, лаборатория охраны вод, ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук» (ИВП РАН), Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3; e-mail: nkirp@list.ru

Тиунов Алексей Александрович, инженер, лаборатории проблем гидрологии суши, «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» – филиал ФГБУН «Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (ГИ УрО РАН), Россия, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А; ведущий инженер-программист, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал (ФГБУ РосНИИВХ), Россия, 614002, г. Пермь, ул. Николая Островского, 113; e-mail: alexey.tiunov@gmail.com

**THE CALCULATION OF THE POLLUTION DISTRIBUTION IN THE KLYAZMA
RESERVOIR FROM DIFFUSE BANK SOURCES**

Yevgeniy V. Venitsianov¹, Natalya V. Kirpichnikova¹, Aleksey A. Tiunov^{2,3}

¹ Institute of Water Problems RAS, Moscow, Russia

² Perm Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

³ Russian Research Institute for Water Resources Integrated Management and Protection Kama Branch, Perm, Russia

Abstract: In recent decades, anthropogenic pressure in the industrial and agricultural sectors has decreased markedly in catchments. However, there was no noticeable improvement in the water quality of water bodies. One of the main reasons for this situation is the lack of a strategy to reduce the load from the dispersed catchment (diffuse) sources of pollution, including the development of cottage and cottage construction directly on the banks of reservoirs. In contrast to point sources of pollution, there are no regulatory and methodological documents for the calculation of diffuse pollution. Diffuse pollution has become a major source of pollution for many water bodies. The risk of diffuse contamination is especially great in a period of intense surface runoff, i.e. rainfall floods and river floods. Ignoring this factor, the Russian water legislation in recent years has sharply «softened» the regulations of economic activity in water protection zones (WPZ) and sanitary protection zones (SPZ) of water bodies, including sources of drinking water supply. The article describes a method of mathematical modeling of calculating the diffuse flow from the coastal section of the Klyazma reservoir – one of the sources of water supply in Moscow. This method also makes it possible to determine the boundaries of the water intake zones of water treatment plants. It is necessary to estimate the power of surface runoff under different weather

conditions and the transformation of pollution during the spread of pollutants downstream. The developed method can be used to calculate diffuse pollution for other water bodies

Key words: reservoir, water quality, water protection zone, protective strip, sanitary protection zone, mathematical model, time of reaching.

About the authors:

Yevgeniy V. Venitsianov, Doctor of Physical/mathematical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Waters Protection, Russian Academy of Sciences Institute of Water Problems, ul Gubkina, 3, Moscow 119333, Russia; e-mail: eugeniy.venitsianov@gmail.com

Natalya V. Kirpichnikova, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Waters Protection, Russian Academy of Sciences Institute of Water Problems, ul Gubkina, 3, Moscow 119333, Russia; e-mail: nkirp@list.ru

Aleksey A. Tiunov, Engineer, Laboratory of Inland Hydrology Problems, Russian Academy of Sciences Ural Branch Institute of Mining – Perm Federal Research Center, ul. Sibirskaya, 78A, Perm, 614007, Russia; Engineer/programmer, RosNIIVKh Kama Branch, ul. Nikolaya Ostrovskogo, 113, Perm, 614002, Russia; e-mail: alexey.tiunov@gmail.com

For citation: *Venitsianov Y.V., Kirpichnikova N.V., Tiunov A.A. The Calculation of the Pollution Distribution in the Klyazma Reservoir from Diffuse Bank Sources// Water Sector of Russia, 2019, No. 5. P. 64-79.*

REFERENCES

1. *Gordin I.V., Kirpichnikova N.V.* Sravnitel'naya otsenka ekologicheskoy opasnosti pov-erkhnostnykh stokov s promyshlennykh ploshchadok i gorodskikh territoriy [Comparative assessment of environmental hazards of surface effluents from industrial sites and urban areas] // *Promyshlennaya energetika*. 1993. No. 1. P. 32-37.
2. *Kirpichnikova N.V.* Nekontroliruyemye istochniki zagryazneniya [Uncontrolled sources of pollution]. In the book.: «Ivankovskoe reservoir. Current state and problems of protection», M., Nauka, 2000. P. 30-36.
3. *Kirpichnikova N.W.* Issledovaniye nekontroliruemykh istochnikov zagryazneniya (na primere Ivankovskogo vodokhranilishcha): [Study of uncontrolled sources of pollution (on the example of the Ivankov reservoir)] avtoref. dis. kand. tekhn. nauk 1991. 24 P.
4. *Kirpichnikova N.W., Kupriyanova E.I.* Ekologicheskoye sostoyaniye vodookhrannoy zony Ivankovskogo vodokhranilishcha i sovremennyye podkhody yego regulirovaniya [Ecological state of the water protection zone of the ivankovsky reservoir and modern approaches to its regulation]. *News of Academy of Sciences*, 2003. Vol. 6. P. 77-84.
5. *Vodniy kodeks RSFSR* [Water Code of the RSFSR] 30.06 1972.
6. *Postanovleniye Soveta Mnistrov RSFSR of 17.03.1989 g. № 91* "Ob utverzhdeniyi Polozheniya o vodookhrannykh zonakh (polosakh) rek, ozer, vodokhranilishch v Rossiyskoy Federatsiyi" [Resolution of the Council of Ministers of the RSFSR of 17.03.1989 № 91 «On approval of the Regulations on water protection zones (bands) of rivers, lakes, reservoirs in the Russian Federation»].
7. *Vodniy kodeks Rossiyskoy Federatsiyi* [The Water Code of the Russian Federation] of 03.06.2006 № 74-FZ.
8. *SR 2.1.4.2625-10* "Zony sanitarnoy okhrany istochnikov pityevogo vodosnabzheniya g. Moskvyy" ["Zones of sanitary protection of sources of drinking water supply of Moscow".
9. *Federalniy zakon No. 178-fl of 21.12.2001* "O privatizatsiyi gosudarstvennoy i munitsipalnoy sobstvennosti" [Federal law No. 178-FL of 21.12.2001 «On privatization of state and municipal property»].

10. Drinking Water Health Advisory for Manganese. United states, Environmental protection agency, 2004.
11. Salamon Lester, editor. The New government and the Tools of Public Action: A Handbook: <http://jhunix.hcf.jhu.edu/toolshandbook> ahhh! Pp. 32-33.
12. Congressional Quarterly, Winter 1999, Nov. 4, 2000, № 10. P. 41.
13. SP 2.1.4.2625-10 "Zony sanitarnoy okhrany istochnikov pityevogo vodosnabzheniya g. Moskvyy"[SP 2.1.4.2625-10 «Zones of sanitary protection of sources of drinking water supply of Moscow»].
14. *Venitsianov E.V., Lepikhin A.P., Kirpichnikova N.V.* Razrabotka gidrodinamicheskoy modeli i modeli formirovaniya zagryazneniy ravninnogo vodokhranilishcha (na primere Klyazminskogo vodokhranilishcha) [Development of hydrodynamic model and model of formation of pollution of the plain reservoir (on the example of the Klyazma reservoir)] // Water Sector of Russia: problems, technologies, management. 2013. No. 2. P. 96–107.
15. Internet resource: <http://meteoweb.ru/>
16. Volny, techeniya i vodniye massy vodoyomov [Waves, currents and water masses of reservoirs]. L.; 1980. 157 p.
17. *Tiunov A.A.* Razrabotka gidrodinamicheskoy model i modeli rasprostraneniya zagryazneniy Klyazminskogo vodokhranilishcha [Development of a hydrodynamic model and models of distribution of pollution of Klyazma reservoir] // Strategy and processes of mastering of geo-resources. Collection of proceedings. Issue. 11 / GI URO RAN. Perm, 2013.
18. *T. Lyubimova, A. Lepikhin, Ya. Parshakova, Yu. Lyakhin, A. Tiunov.* The modelling of the formation of technogenic thermal pollution zones in large reservoirs. // International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 126, Part A, November 2018, P. 342–352.
19. *Venitsianov E.V., Lepikhin A.P., Kirpichnikova N.V.* Razrabotka gidrodinamicheskoy model i modeli formirovaniya zagryazneniy ns ravninnom vodokhranilishche (na primere Klyazminskogo Vodokhranilishcha) [Development of hydrodynamic model and model of formation of pollution of the plain reservoir (on the example of the Klyazma reservoir)] // Water Sector of Russia: problems, technologies, management. 2013. No. 2. P. 96–107.
20. *Lepikhin A. P., Lyakhin Y. S., Tiunov A. A., Drobny O. F., Vakhromeev I. E.* Otrabotka vozmozhnykh skhem sniheniya vozdeystviya OAO "MKK" na Manitogoskoye vodokhranilishche na onove vychislitelnykh eksperimentov [Development of possible schemes to reduce the impact of JSC «MMK» on the Magnitogorsk reservoir on the basis of computational experiment]s // Water Sector of Russia: problems, technologies, management. 2014. No. 5. P. 85–96.
21. *Lepikhin A.P., Lyubimova T.P., Lyakhin Y.S., Parshakova Ya.I., Tiunov A.A.* Construction of combined 2D – 3D models for assessment of thermal impact zones of the Perm GRES on the Kama reservoir // 2nd international conference «Perm hydrodynamic scientific readings». Proceedings of the conference. Perm December 2-4, 2014. P. 49–50.
22. *Lyakhin Y.S., Lepikhin A.P., Tiunov A.A., Lyubimova T.P., Parshakova Y.I., Konovalov V.V.* Metodicheskiye osobennosti otsenki vliyaniya Permskoy GRES na temperaturniy rezhim Kamskogo vodokhranilishcha [Methodological features of an estimation of influence of the Perm GRES on the temperature regime of the Kama reservoir]. // Proceedings of the V International scientific-practical conference «Modern problems of reservoirs and their catchments». May 29-31, 2015. Perm. Vol.1. Hydro – and geodynamic processes of water resources management, P. 64–69.