

На правах рукописи



Рагулина Ирина Васильевна

**ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА
ОБВОДНЕНИЯ РЕКИ МОСКВЫ**

Специальность: 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы,
гидрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва – 2018

Работа выполнена на кафедре гидрологии, гидрогеологии и регулирования стока факультета природообустройства и водопользования Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А.Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

**Научный
руководитель:**

Клёпов Владимир Ильич,

доктор технических наук, профессор кафедры гидрологии, гидрогеологии и регулирования стока РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

**Официальные
оппоненты:**

Даценко Юрий Сергеевич, доктор географических наук, доцент кафедры гидрологии географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Александровский Алексей Юрьевич, доктор технических наук, профессор кафедры гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии НИУ «Московский энергетический институт»

**Ведущая
организация:**

Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов (ФГБУ РосНИИВХ)

Защита состоится « » апреля 2018 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 002.046.04 на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Институт географии Российской академии наук» по адресу: 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института географии РАН по адресу: 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29.

Автореферат разослан « » 2018 г.

Отзывы на автореферат (в электронном виде и на бумажных носителях в двух экземплярах, заверенных подписью и печатью) просим направлять по адресу 119017, г. Москва, Старомонетный пер, д. 29, ученому секретарю Диссертационного совета Д 002.046.04, Зайцевой И.С.

Факс 8 (495) 959-00-33, e-mail: d00204604@igras.ru; zirinas@mail.ru

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат географических наук



И.С. Зайцева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Водная стратегия Российской Федерации до 2020 года определяет основные направления деятельности по развитию водохозяйственного комплекса России в целях обеспечения устойчивого водопользования и улучшения экологического состояния водных ресурсов в бассейнах рек. Процессы взаимосвязи между количеством и качеством водных ресурсов в этих бассейнах очень важны при управлении режимами функционирования водно-ресурсных систем (ВРС). Одной из них, состоящей из нескольких водохранилищ, является ВРС Московского региона. В настоящее время эта система предназначена для устойчивого водообеспечения крупнейшего в России хозяйственного, культурного и научного центра. Составной частью этой водно-ресурсной системы является Москворецкая водная система (МВС), сформированная на основе бассейна реки Москвы.

В работах многих отечественных авторов рассмотрены различные вопросы функционирования ВРС в бассейне реки Москвы, в том числе в работах сотрудников таких организаций, как «Гидропроект» им. С.Я. Жука, МГУ имени М.В. Ломоносова, Институт водных проблем РАН, Институт географии РАН, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Мосводоканал и другие. Однако остается ряд недостаточно изученных вопросов.

Обводнение реки Москвы, выразившееся в подаче воды по каналу им. Москвы и, отчасти, по Вазузской системе, регулировании стока водохранилищами коренным образом изменило ее водоносность и водный режим. Но качество воды остается неудовлетворительным, происходит зарастание и заиление русла. Помимо мероприятий по совершенствованию очистки сточных вод и вод, стекающих с урбанизированных территорий, проблему улучшения качества воды можно решить, изменив сложившийся режим обводнения, в том числе с помощью организации и проведения искусственной промывки русла реки Москвы посредством специальных попусков воды из водохранилищ. Решение о промывке должны принимать ответственные организации с учетом общего водохозяйственного баланса, оценки степени надежности (расчетной обеспеченности) искусственных попусков в нижние бьефы гидроузлов в бассейне реки Москвы, расчета продолжительности этих попусков и величины расхода воды. Из-за сложности и риска осуществления такого мероприятия последняя

искусственная промывка русла реки Москвы была проведена достаточно давно, в 1998 году.

Для улучшения экологического состояния реки Москвы необходимо использовать методические подходы к совместному управлению количеством и качеством водных ресурсов в бассейне. Актуальность работы определяется необходимостью теоретического обоснования и разработки направлений совершенствования таких подходов. Выполнить это возможно на основе использования метода имитационного моделирования. Метод служит для всестороннего анализа и гидрологического обоснования формирования искусственных обводнительных попусков. Методические подходы позволят провести анализ показателей качества воды и оценку уровня загрязненности водных ресурсов в связи с их количественной характеристикой.

Цель исследования – обоснование необходимости и разработка научных основ оптимизации режима обводнения реки Москвы для улучшения ее экологического состояния.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Анализ водохозяйственного баланса как методологической основы управления водно-ресурсными системами с демонстрацией роли и значения обводнительной составляющей этого баланса.

2. Выявление особенностей обводнительной составляющей водохозяйственного баланса в бассейне реки Москвы, разработка перечня объектов обводнения и определение объема такого обводнения.

3. Разработка методики гидрологического обоснования формирования искусственных обводнительных попусков и оценка степени надежности таких попусков в нижние бьефы гидроузлов в бассейне реки Москвы.

4. Выявление источников загрязнения воды реки Москвы и оценка изменения качества воды по длине реки.

5. Разработка подходов к совместному управлению количеством и качеством водных ресурсов в бассейне реки Москвы для улучшения ее экологического состояния.

Научная новизна данного диссертационного исследования заключается в следующем:

- выявлены основные закономерности современного функционирования водно-ресурсной системы бассейна реки Москвы и ее обводнения;

- предложены методические подходы к гидрологическому обоснованию имитационного эксперимента по формированию искусственного обводнительного попуска с целью улучшения качества воды в бассейне реки Москвы;

- выявлены условия образования дефицита воды в Москворецкой водной системе;

- выявлены закономерности в распределении показателей качества воды по длине реки Москвы;

- предложены конкретные подходы к совместному управлению количеством и качеством водных ресурсов в бассейне реки Москвы с целью улучшения ее экологического состояния.

Теоретическая и практическая значимость. Разработанные теоретико-методические подходы дают возможность использовать их не только для Москворецкой, но для других водохозяйственных систем.

Результаты исследования позволяют определить безопасное водопользование в бассейне р. Москвы с учетом экологических требований.

Методология и методы исследования. Работа выполнена на основе комплексного географо-гидрологического анализа закономерностей водного и водохозяйственного баланса, теории регулирования речного стока, имитационного моделирования процессов, статистического анализа исходной гидрологической, водохозяйственной и гидрохимической информации.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты анализа основных особенностей режима обводнения рек и водотоков в бассейне реки Москвы;

- закономерности функционирования Москворецкой водной системы;

- методические подходы к гидрологическому обоснованию имитационного эксперимента по формированию искусственного обводнительного попуска в бассейне реки Москвы;

- особенности образования дефицита воды в Москворецкой водной системе;

- закономерности в распределении ряда показателей качества воды по длине реки Москвы;

- методические подходы к совместному управлению количеством и качеством водных ресурсов в бассейне реки Москвы для улучшения ее экологического состояния.

Степень достоверности и апробация результатов исследования.

Достоверность основных положений и выводов работы подтверждается использованием большого массива исходных гидрологических и гидрохимических данных Института «Гидропроект» и Государственного водного кадастра РФ; использованием апробированной математической имитационной модели; сопоставлением результатов расчетов с натурными данными, полученными другими исследователями и организациями.

Основные положения и результаты исследований были доложены и обсуждались на следующих научных конференциях:

Региональная научно-практическая конференция «Традиции и инновации в преподавании предметов естественно-математического цикла». Секция «География», Курск, 2014; Всероссийская конференция «Заповедными тропами России», Элиста, 2015; Всероссийская конференция «Экология. Экономика. Информатика», Дюрсо, 2015; Международный научный форум «Проблемы управления водными и земельными ресурсами», РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, 2015; Международная конференция «О мелиорации», РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, 2016; Всероссийская конференция «Экология. Экономика. Информатика», Дюрсо, 2016; Международная конференция, посвященная 150-летию Н.И. Железнова, Москва, 2016; Научно-практическая конференция с международным участием «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017», Севастополь, 2017; на научных семинарах Лаборатории гидрологии Института географии Российской академии наук, Москва, 2017.

По результатам исследования опубликовано 12 научных работ, из них 5 статей в журналах и изданиях, рекомендованных ВАК, и 7 работ в сборниках научных трудов и материалах конференций.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, объемом 153 страницы, включая 32 рисунка, 12 таблиц, 7 приложений. Список использованных источников включает 177 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи, а также

положения, выносимые на защиту, обоснована научная новизна и практическая значимость диссертационного исследования.

В **первой главе** представлена методика разработки и составления водохозяйственного баланса как методологической основы управления водно-ресурсными системами. Также в ней приведен обзор основных гидрологических исследований водного режима, количества и качества водных ресурсов реки Москвы, ее обводнения и использования воды. Дано физико-географическое описание бассейна реки Москвы.

Разработке теоретических и практических вопросов по различным аспектам управления водными ресурсами и составлению водохозяйственного баланса посвятили свои работы такие исследователи, как А.Е. Асарин, А.Ю. Александровский, Н.И. Алексеевский, В.В. Беликов, К.Н. Бестужева, А.Л. Великанов, Г.В. Воропаев, С.Г. Добровольский, В.К. Дебольский, В.А. Жук, Г.Х. Исмаилов, Н.И. Коронкевич, А.Е. Кудинов, Н.Л. Фролова, В.В. Шабанов и другие. В изучение вопросов качества водных ресурсов в бассейне р. Москвы внесли большой вклад С.В. Боровков, Е.В. Венецианов, Ю.С. Даценко, М.Г. Ершова, М.Б. Заславская, В.В. Пуклаков, С.И. Шашков, К.К. Эдельштейн, С.В. Ясинский и другие исследователи.

В диссертации проведен анализ режима функционирования и особенностей составления водохозяйственного баланса водно-ресурсной системы (ВРС) Московского региона. Эта система может быть условно разделена на три части (подсистемы), каждая из которых функционирует в соответствии со своими, специально разработанными правилами управления. К их числу относятся Верхневолжская, Москворецкая и Вазузская подсистемы водохранилищ. В Москворецкую водную систему (МВС) входят Истринское, Можайское, Рузское и Озернинское водохранилища, расположенные в верхней части бассейна реки Москвы. Водохранилищами подсистемы практически полностью зарегулирован сток реки Москвы. Управление водными ресурсами МВС построено так, что из водохранилищ производятся попуски воды в размерах, дополняющих до гарантированной величины сток боковой приточности на участке от этих водохранилищ до створа Рублевского гидроузла (водозабор для города Москвы). Каждое из четырех водохранилищ ведет компенсированное регулирование контролируемого им стока. На рисунке 1 представлена схема водно-ресурсной системы бассейна реки Москвы в верхней ее части и расположение водохранилищ Москворецкой водной системы.



Рисунок 1 – Схема водохранилищ Москворецкой водной системы и бассейна р. Москвы

Водохозяйственный баланс Московского региона с учетом качества воды в реке Москве в настоящее время достаточно напряжен. Во многом надежность его водообеспечения зависит от режима работы Москворецких водохранилищ, который нельзя признать оптимальным, учитывая неудовлетворительное состояние качества воды на большей части длины реки Москвы. Осуществление обводнительных попусков могло бы улучшить это состояние.

Во **второй главе** дана классификация основных видов попусков воды в речных системах. Представлена методика формирования и назначения обводнительных попусков. Дана характеристика объектов и объемов обводнения рек и водотоков в бассейне реки Москвы.

Анализ многочисленных литературных источников и проектных материалов показывает, что в настоящее время не существует единых методических подходов к оценке допустимых объемов обводнения водных объектов, отсутствует также единообразие в терминах. Нет единого подхода к толкованию характеристик стока ниже створов регулирования и изъятия водных ресурсов.

Изучение особенностей существующей практики водопользования показывает, что все попуски можно классифицировать по назначению (таблица 1).

Таблица 1 – Классификация основных видов попусков воды по назначению

Основные виды попусков	Функции попусков
Гарантированные хозяйственные попуски: а) энергетические, б) навигационные	а) получение электрической энергии при покрытии пика графика энергосистемы; б) поддержание гарантированных глубин в навигационный период.
Режимные попуски	1) вынос солей, поступающих с дренажными водами (на реках с развитым орошением); 2) предупреждение повышения русла вследствие отложения наносов (на реках с большой мутностью при значительных изъятиях стока); 3) обеспечение среднемноголетнего притока к устьевому створу для поддержания водно-солевого режима и предотвращения интрузии морских вод.
Экологические попуски	обеспечение условий для существования и воспроизводства рыбного стада и функционирования сложившихся на данном объекте водных и околотоводных экосистем
Природоохранные (комплексные экологические) попуски	1) попуск на затопление нерестилищ; 2) попуск предназначен для затопления пойменных и дельтовых угодий (заливных лугов)
Санитарные попуски	минимальный расход воды, обеспечивающий разбавление поступающих в реку загрязнений до нормируемых концентраций, работу существующих водозаборных сооружений и пр.
Обводнительные попуски	специальные попуски, обеспечивающие сохранение качества воды в нижних бьефах гидроузлов, промывку русла водоёмов и залив пойменных лугов

Наибольший обводнительный попуск в бассейне р. Москвы осуществляется из канала им. Москвы. Надёжность таких попусков никак не регламентирована. Однако практически во всех проработках по водоснабжению Московского региона степень надёжности обводнительных попусков принимали такой же, как для питьевого, коммунально-бытового и промышленного водопотребления, а именно 95–97% (по числу бесперебойных лет). В таблице 2 приведен перечень объектов обводнения рек и водотоков в бассейне р. Москвы и показаны объёмы такого обводнения.

Таблица 2 – Перечень объектов и объемов обводнения рек Московского региона

Река	Куда впадает	Длина реки, км	Среднегодовой расход воды в устье реки, м ³ /с	Расход воды на обводнение, м ³ /с
Москва (Павшино)	Ока	146	50,1	25,0–30,0
Сходня	Москва	47	1,82	27,0
Яуза	Москва	48,0	0,56	5,9
Клязьма	Ока	245,0	–	4,0
Уча	Яуза	–	–	1,0
Серебрянка	Хапиловка	12,0	0,028	1,0
Лихоборка	Яуза	16,0	0,50	3,0
Сетунь	Яуза	38,0	1,33	–
Городня	Москва	16,0	0,76	–

Обводнительные попуски в нижние бьефы гидроузлов устанавливают на стадии проектирования в соответствии со строительными нормами и правилами. Эти попуски должны соответствовать естественному расходу воды в реке 95% обеспеченности (Р,%). Характеристика обводнительных попусков в нижние бьефы гидроузлов Московского региона представлена в таблице 3. В этой таблице приведены значения попусков, используемые в настоящее время, а также естественные расходы воды 95% и 97% обеспеченности, имевшие место в естественных условиях. Как следует из таблицы, эти значения достаточно близки.

Таблица 3 – Характеристика обводнительных попусков в нижние бьефы гидроузлов Московского региона для разных условий

Водохранилище	Естественный расход воды, м ³ /с		Зарегулированный расход воды в нижнем бьефе гидроузла, м ³ /с
	P = 95%	P = 97%	
Верхневолжское	8,0	7,5	15,0
Иваньковское	12,5	10,0	20 – 25
Можайское	0,8	0,7	1,5
Рузское	0,6	0,5	1,0
Озернинское	0,6	0,5	1,0
Истринское	0,6	0,5	1,0
Вазузское	3,7	3,5	5,0
Яузское	0,1	0,1	0,3

С созданием водохранилищ, аккумулирующих большую часть весеннего стока, пики половодий уменьшились и по высоте, и по продолжительности. Таким образом, повышение гарантированной водоотдачи водохранилищ привело к срезке максимальных расходов воды в весенний период. Следовательно, регулирование режима расходов, уровней и скоростей по длине р. Москвы способствовало снижению ее самоочищающей способности и образованию благоприятных условий для накопления загрязненных донных отложений.

В третьей главе представлено гидрологическое обоснование формирования искусственного попуска воды в верхней части бассейна реки Москвы.

Исследование, выполненное в рамках данной главы, направлено на расчет объемов сброса воды из водохранилищ. Расчет проводили, исходя из того, что искусственная волна сброса в сочетании с пиком естественного весеннего половодья должна обеспечивать расход воды, превышающий 700 м³/с. Такой режим должен сохраняться в течение некоторого времени. Как отмечается в работах Колесникова Ю.М., Храменкова С.В., Волкова В.З., Медведева Л.И. [2000], только при таких значениях расхода воды можно полностью открыть Карамышевскую и Перервинскую плотины на р. Москве. Эти значения не допускают понижения до критических отметок уровня воды

в районе городских промышленных водозаборов, т.е. не угрожают нарушению их работы.

Хорошо известно, что гидрометеорологические условия для каждого конкретного года складываются под воздействием большого числа различных факторов, в первую очередь метеорологических. Следовательно, принятие решения о гидравлической промывке должно быть основано на долгосрочном прогнозе притока воды к водохранилищам и объема естественного весеннего стока. Важную роль при этом играет исходная информация. Такую информацию условно можно разделить на следующие группы: гидрологическая; о водопотреблении и возможных его ограничениях; о потере стока на испарение, ледообразование, фильтрацию; о правилах регулирования стока; о морфометрических характеристиках чаши водохранилища; о характеристиках нижнего бьефа.

В диссертации использован многолетний ряд гидрологических данных с 1914 по 2010 годы. Детализация гидрологической информации соответствует требованиям, предъявляемым к расчетам регулирования стока: год разделен на 20 интервалов, длительность которых составляет декаду для периода половодья с марта по июнь и месяц для периода межени с июля по февраль. Так как естественный речной сток был изменен ввиду регулирования водохранилищами, в работе использованы материалы по восстановлению естественного стока по методике Гидропроекта.

Для исследования количества водных ресурсов в бассейне р. Москвы использована имитационная модель SIMYLD [Великанов и др., 1983]. Эта модель предназначена для анализа функционирования водно-ресурсных систем с несколькими водохранилищами в течение длительных периодов времени.

Результаты имитационного эксперимента. Были рассмотрены и проанализированы значения искусственного попуска воды в диапазоне от 600 до 1000 м³/с в течение соответственно одной, двух и трех деkad апреля. Для анализа был выбран год 95% обеспеченности, который соответствует 1920/21 гидрологическому году из многолетней выборки исходных данных в бассейне р. Москвы.

Общий вид уравнения водного баланса при решении поставленной задачи представлен уравнением:

$$B = W_m \pm \Delta V_m + W_{ис} \pm \Delta V_{ис} + W_p \pm \Delta V_p + W_{оз} \pm \Delta V_{оз} + W_{б}, (1)$$

где: B – результирующая составляющая (избыток или дефицит водных ресурсов), W_m – приток воды к Можайскому водохранилищу, $W_{ис}$ – приток воды к Истринскому водохранилищу, W_p – приток воды к Рузскому водохранилищу, $W_{оз}$ – приток воды к Озернинскому водохранилищу, W_6 – боковой приток к Рублевскому водозабору, ΔV_m – изменение объема воды в Можайском водохранилище, $\Delta V_{ис}$ – изменение объема воды в Истринском водохранилище, ΔV_p – изменение объема воды в Рузском водохранилище, $\Delta V_{оз}$ – изменение объема воды в Озернинском водохранилище. Знак (+) в уравнении соответствует сработке водохранилища, знак (–) – наполнению водохранилища.

В таблице 4 представлены результаты имитационного эксперимента по определению зависимости дефицита гарантированной водоотдачи водохранилищ МВС. Эксперимент выполнен при разной величине расхода воды в створе Рублевского гидроузла на р. Москве и переменном числе декад, в которые происходит такая подача воды.

Таблица 4 – Зависимость дефицита гарантированной водоотдачи МВС при разном расходе искусственного попуска и переменном числе декад (апрель 1920/1921 г.)

Значение искусственного попуска воды ($\text{м}^3/\text{с}$)	Дефицит гарантированной водоотдачи МВС (млн. м^3)		
	1 декада	2 декады	3 декады
600	0	220	715
700	0	470	990
800	0	565	1235
900	0	825	1580
1000	295	915	1750

Как следует из таблицы 4, суммарный дефицит гарантированной водоотдачи водохранилищ МВС при формировании искусственного попуска воды существенно различается в зависимости от длительности временного интервала и расхода воды. Для всех значений такого попуска, сформированного в течение двух и трех декад апреля, при расходе воды от 600 до $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ имеет место дефицит гарантированной водоотдачи. Этот

дефицит монотонно возрастает с увеличением значения расхода воды для искусственной промывки.

Соответственно отличный от нуля дефицит гарантированной водоотдачи наблюдается для одной декады апреля и при расходе воды в течение этой декады, равном $1000 \text{ м}^3/\text{с}$. Таким образом, подавая в створ Рублевского водозабора расход воды в пределах от 600 до $900 \text{ м}^3/\text{с}$ в течение одной декады апреля с учетом маловодного гидрологического года, можно не опасаться нарушить действующие правила управления ВРС в бассейне р. Москвы. Во всех остальных случаях дефицит гарантированной водоотдачи будет монотонно возрастать. При формировании искусственных обводнительных попусков в бассейне реки Москвы дана оценка степени надежности таких попусков в количественном выражении. Вместе с тем, очевидно, что решить задачу искусственного попуска воды невозможно без учета качества водных ресурсов.

В четвёртой главе рассматривается изменение качественных характеристик водных ресурсов в бассейне реки Москвы в пространстве (от г. Звенигорода до г. Москвы) и времени. Были рассмотрены и проанализированы данные Государственного водного кадастра РФ за период с 1981 по 2011 год и дана оценка качества воды верхнего течения р. Москвы по комплексу гидрохимических показателей (БПК₅, нитритный азот, нефтепродукты, фенолы) для четырех створов реки (рис. 2).

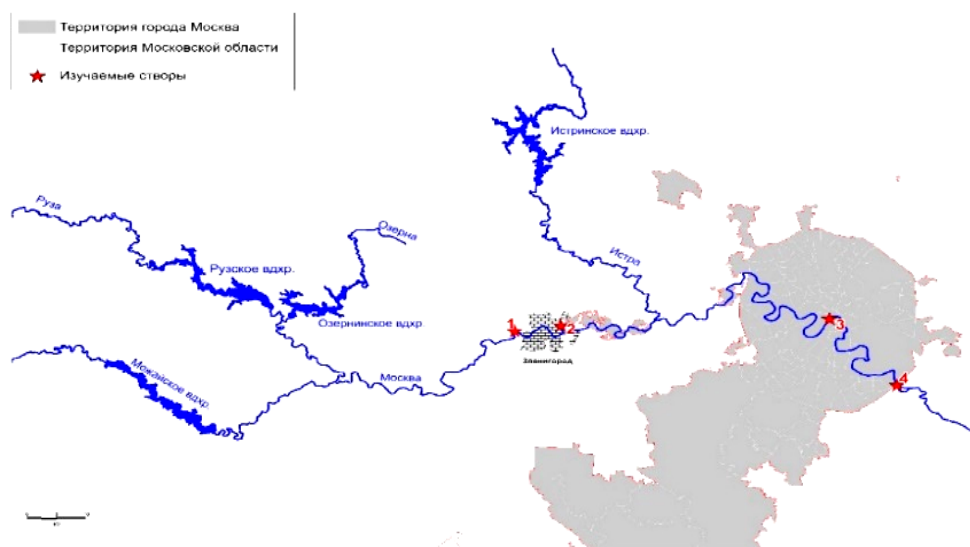


Рисунок 2 – Схема расположения гидрометрических створов р. Москвы на участке от г. Звенигорода до г. Москва

Обозначение створов наблюдения на рисунке 2: 1. р. Москва – г. Звенигород, 0,3 км выше города; 2. р. Москва – г. Звенигород, 1,4 км ниже города; 3. р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,3 км выше Бабьегородской плотины; 4. р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,01 км выше шоссеиного моста кольцевой автодороги. Ниже представлены результаты анализа данных вышеуказанных гидрохимических показателей (без учета БПК₅) в створе 1 в соответствии с рисунком 3.



Рисунок 3 – Динамика загрязнения воды р. Москвы в створе 1

Как следует из рисунка 3, на всем протяжении рассматриваемого периода в створе 1 состояние загрязнения р. Москвы колебалось по отдельным показателям загрязнения в различных интервалах. Так, ярко выражены пики уровня с максимальными значениями рассматриваемых загрязнителей: 11,0 в 1991 и 1992 годах – фенолами; 5,0 в 1993 году – нитритным азотом. Колебания уровня загрязнения нефтепродуктами незначительны, с максимальной концентрацией в 1981 году.

Анализ полученных результатов показывает, что в створе 2 состояние загрязнения р. Москвы по анализируемым показателям загрязнения колебалось незначительно. В целом с 2005 года наблюдается стабильное снижение уровня загрязнения воды в реке Москве в данном створе. Результаты анализа данных загрязнения в створе 3 показывают, что в целом максимальная среднегодовая кратность превышения ПДК в данном створе характерна для загрязнения фенолом. Уровень загрязнения нефтепродуктами и нитритным азотом имеет тенденцию к снижению. При этом максимальные

значения уровня загрязнения для разных загрязнителей характерны для 2006 года. Анализ исходных данных показывает, что в створе 4 уровень загрязнения р. Москвы по анализируемым показателям значительно колебался по сравнению с данными по другим створам.

Далее была дана характеристика среднегодовой концентрации (кратность превышения ПДК) загрязнения воды в р. Москвы фенолами, БПК₅, нитритным азотом, нефтепродуктами за рассматриваемый период времени по выбранным для исследования створам. На рисунке 4 приведены концентрации фенолов за рассматриваемый период времени по четырём створам.

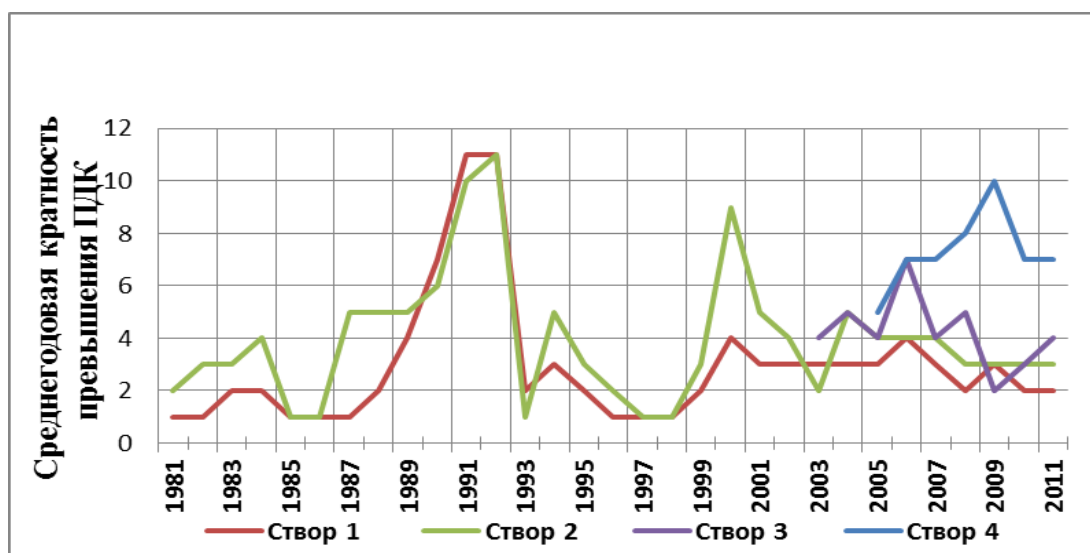


Рисунок 4 – Динамика загрязнения фенолами воды реки Москвы

Как следует из рисунка 4, ярко выражены скачкообразные колебания концентрации, с максимальным значением 11-ти кратное среднегодовое превышение ПДК – в 1990 и 1991 годах в створах 1 и 2, 9-ти кратное среднегодовое превышение ПДК – в 2000 году в створе 2, 10-ти кратное среднегодовое превышение ПДК – в 2009 году в створе 4.

Анализ данных загрязнения нефтепродуктами воды р. Москвы показывает, что происходит монотонное увеличение концентрации загрязнителя от 1 к 4 створу. При синхронном скачкообразном колебании концентраций в отдельные годы по всем показателям. При этом максимальное значение (8-ми кратное среднегодовое превышение ПДК)

зафиксировано в 1988 году в створе 1. Аналогичная закономерность проявляется в отношении загрязнения воды нитритным азотом. Однако максимальное значение – 27-ти кратное среднегодовое превышение ПДК – наблюдали в 2006 году в створе 4.

Результаты анализа данных о величине БПК₅ (O₂) показывают закономерность последовательного увеличения значения БПК₅ от первого к четвертому створу. Так, в 2011 году величина БПК₅ монотонно возрастала от створа 1 к створам 2, 3, 4 (2,21 – 2,95 – 3,36 – 6,04 мг/л соответственно), что объясняется ростом числа источников загрязнения р. Москвы при движении вниз по течению от г. Звенигорода до г. Москвы и накоплением загрязняющих веществ. При этом максимальное значение БПК₅ 22 мг/л – наблюдали в 2006 и 2012 годах в створе 4.

Для оценки качества воды в верхней части бассейна р. Москвы использован метод классификации загрязненности водных объектов на основе Гидрохимического индекса загрязнения воды (ИЗВ) [Временные методические..., 1986]. В данном исследовании были учтены суммарные относительные концентрации шести лимитируемых показателей загрязнения. Формула расчета представлена ниже:

$$\text{ИЗВ} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}, (2)$$

где: C_i – концентрация компонента; $C_i/\text{ПДК}_i$ – значение среднегодовой кратности превышения ПДК по компоненту; n – число показателей, используемых для расчета индекса, $n = 6$.

Был рассчитан показатель ИЗВ реки Москвы для каждого створа за период с 2005 по 2012 годы с использованием исходных данных, представленных в Государственном водном кадастре. Динамика изменения уровня гидрохимического загрязнения воды (ИЗВ) р. Москвы по створно на участке от г. Звенигорода до г. Москвы представлена на рисунке 5.

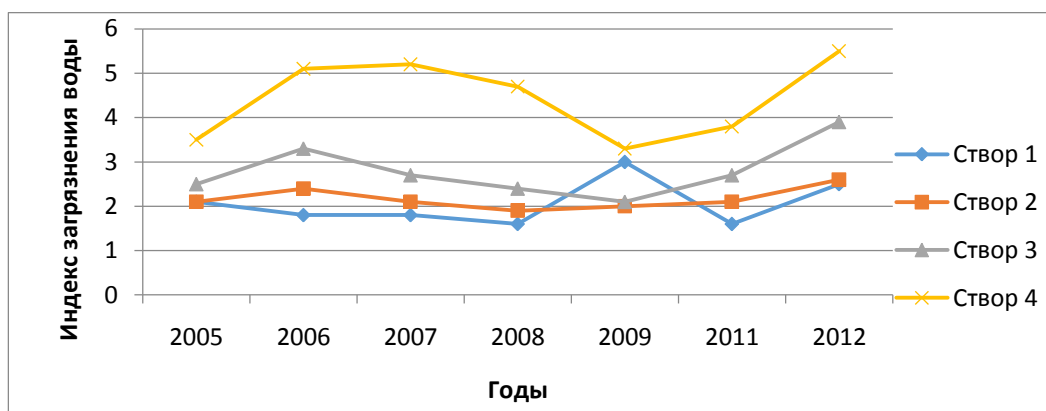


Рисунок 5 – Динамика изменения уровня гидрохимического загрязнения воды р. Москвы (2005-2012 гг.)

Как показывает анализ данных, представленных на рисунке 5, уровень гидрохимического загрязнения воды р. Москвы изменялся от минимального значения показателя 1,6 (2008, 2011 годы) в створе 1 до максимального значения 5,5 (2012 год) в створе 4.

Можно сделать вывод, что современное состояние качества водных ресурсов в верхней части бассейна р. Москвы в целом можно отнести к (IV) классу качества вод – «загрязненные» на большей части реки и (V) классу качества вод – «грязные» в створе 4 (по данным на 2012 год).

В **пятой главе** описаны методические подходы к совместному управлению количеством и качеством водных ресурсов в верхней части бассейна реки Москвы на основе сравнительного анализа количественных и качественных изменений водных ресурсов за соответствующие годы, а также использован метод корреляционного анализа.

Результаты сравнительного анализа для определения зависимости между среднегодовыми значениями притока воды к водохранилищам МВС и отдельными концентрациями веществ в воде (фенолами, нефтепродуктами и нитритным азотом) на створе 1 показали схожую динамику (рисунок 6). Так, между стоком Озернинского водохранилища и концентрациями загрязняющих веществ в створе 1 происходит синхронное колебание показателей. Однако в 1984, 1987, 1998 и 2009 годах наблюдали разнонаправленную динамику показателей, при которой увеличение объема стока сопутствует уменьшению концентрации загрязняющих веществ, а в 1994 и 2007 гг. снижение объемов стока – увеличению концентрации. Схожие данные были получены при анализе динамики изменения объема

притока к Можайскому и Рузскому водохранилищам и уровня загрязнения воды в створе 1.

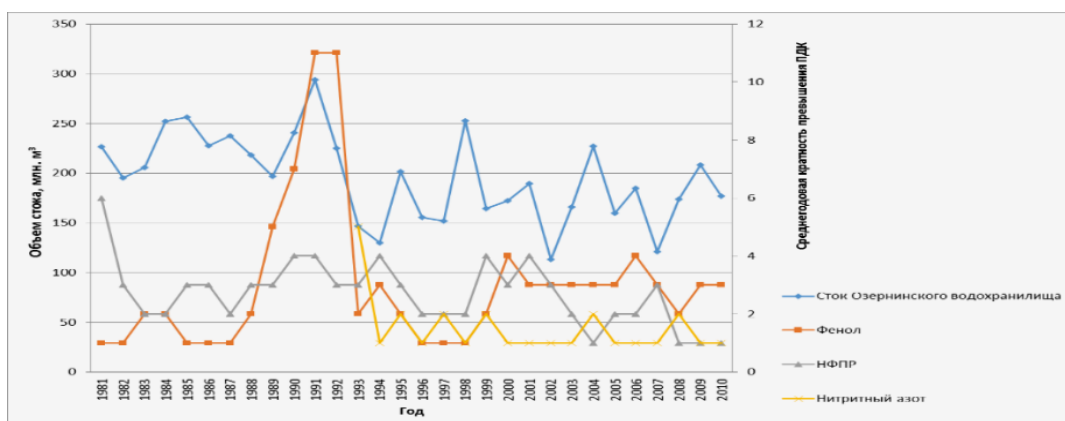


Рисунок 6 – График зависимости между значениями притока воды к Озернинскому гидроузлу и концентрацией загрязняющих веществ в створе 1

В работе рассчитаны коэффициенты корреляции и дана оценка взаимосвязи между исследуемыми расходами воды и концентрацией фенолов и нефтепродуктов. Оценка связи в створе 1 между концентрацией фенолов (в среднегодовой кратности превышения ПДК) и притоком к Истринскому, Можайскому, Озернинскому водохранилищам, а также боковым стоком показала, что устойчивая связь отсутствует r принадлежит интервалу от -0,06 до 0,28 включительно. Связи между рассматриваемыми показателями в створе 2 аналогичны связям в створе 1. К сожалению, большинство из полученных коэффициентов корреляции не значимы и требуют расширения программы наблюдений (временного ряда), чтобы убедиться в наличии выявленных связей. Таким образом, можно сделать вывод, что изменение концентрации фенолов в створах 1 и 2 слабо связано с изменением объема притока к водохранилищам МВС.

Анализ данных по оценке зависимости между концентрацией нефтепродуктов и объемом притока к водохранилищам МВС показал, что связь между данными признаками в створах 1 и 2 в большинстве случаев слаба или не проявляется совсем. Значима только связь между объемом притока к Рузскому водохранилищу и концентрацией нефтепродуктов в створах 1 ($r = 0,42$) и 2 ($r = 0,41$). В целом загрязнение нефтепродуктами в данных створах за исследуемый период значительно снижалось.

Заключение

Основные научные и практические результаты диссертации заключаются в следующем:

1. Анализ водохозяйственного баланса в бассейне реки Москвы с учетом качества вод показывает, что он характеризуется значительной напряженностью, особенно в маловодные годы. Изменение существующего режима обводнения р. Москвы и ее притоков является одним из реальных путей улучшения качества водных ресурсов.

2. Рассмотрены и проанализированы основные особенности обводнения рек и водотоков в бассейне р. Москвы. Выявлены возможности изменения их водного режима с целью улучшения экологического состояния. Дана характеристика объектов и объемов обводнения в бассейне реки Москвы.

3. На основе имитационного эксперимента обосновано осуществление искусственного обводнительного попуска в р. Москву в диапазоне от 600 до 900 м³/с в течение одной декады апреля для года 95 % обеспеченности, при котором дефицит гарантированной водоотдачи Москворецких водохранилищ отсутствует.

4. Выявлено увеличение концентраций загрязнения по течению реки Москвы. Анализ данных Государственного водного кадастра РФ за период с 1981 по 2011 год и оценка качества воды р. Москвы по комплексу гидрохимических показателей (БПК₅, нитритный азот, нефтепродукты, фенолы) для четырех створов реки показали, что наибольшие среднегодовые значения концентраций всех исследуемых загрязняющих веществ зафиксированы в створах 3 и 4, расположенных в черте города Москвы.

5. Реку Москву в целом можно отнести к IV классу качества вод – «загрязненные» по большинству створов и к V классу – «грязные» в створе 4.

6. Между уровнем загрязнения вод фенолами и нефтепродуктами и притоком к Москворецким водохранилищам проявляется слабая неоднозначная связь.

7. Намечены подходы к совместному управлению количеством и качеством водных ресурсов в бассейне реки Москвы, позволяющие улучшить ее экологическое состояние.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК

1. Клёпов, В.И., **Рагулина, И.В.** Обводнительные попуски в Московском регионе как элемент водохозяйственного баланса территории // Бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов в России». – 2015. – №2. – С.11-16.

2. **Рагулина И.В.** Принципы управления количеством и качеством водных ресурсов крупного региона // «Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии». – 2015. – №8. – С.163-165.

3. Клёпов, В.И., **Рагулина, И.В.** Соотношение составляющих водохозяйственного баланса в бассейне реки Москвы // «Природообустройство». – 2016. – № 3. – С. 39-46.

4. Клёпов, В.И., **Рагулина, И.В.** Гидрологическое обоснование формирования искусственного попуска в бассейне реки Москвы // «Природообустройство». – 2016. – № 5. – С. 13-18.

5. Клёпов, В.И., **Рагулина, И.В.** Оценка качества водных ресурсов в верхней части бассейна реки Москвы // «Природообустройство». – 2017. – № 3. – С.14-21.

Статьи в других изданиях и материалы научных конференций

6. Клёпов, В.И., **Рагулина, И.В.** Гидрология и водное хозяйство в бассейне р. Москвы на современном этапе // Экология, экономика, информатика. Сборник статей: в 3 т. – Ростов-на-Дону. Издательство Южного федерального университета, 2015.Т.1: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. – С.121-127.

7. Клёпов, В.И., **Рагулина, И.В.** Характеристика обводнительных попусков рек и водотоков (на примере Московского региона) // Экология, экономика, информатика. Сборник статей: в 3 т. – Ростов-на-Дону. Издательство Южного федерального университета, 2015.Т.1: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. – С.128-133.

8. Клёпов, В.И., **Рагулина, И.В.** Перечень обводняемых объектов и рациональный объем обводнения в бассейне реки Москвы. Конференция МГУП, 2015 «Проблемы управления водными и земельными ресурсами», Материалы Международного научного форума. Москва, 2015. – С. 76-84.

9. Клёпов, В.И., *Рагулина, И.В.* Гидрологические особенности формирования искусственного обводнительного попуска в бассейне реки Москвы // Доклады ТСХА: сборник статей. Выпуск 288. – М.: Изд-во РГАУ – МСХА, 2016. – С.490-492.

10. Клёпов, В.И., *Рагулина, И.В.* Количество и качество водных ресурсов в бассейне реки Москвы // Экология, экономика, информатика. Сборник статей: в 2 т. – Ростов-на-Дону. Издательство Южного федерального университета, 2016.Т.1: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. – С.629-634.

11. *Рагулина И.В.* Анализ исходной гидрологической информации в бассейне реки Москвы // Экология, экономика, информатика. Сборник статей: в 2 т. – Ростов-на-Дону. Издательство Южного федерального университета, 2016.Т.1: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. – С.642-646.

12. Клёпов, В.И., *Рагулина, И.В.* Особенности обводнительной составляющей водохозяйственного баланса Московского региона // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017. Сборник статей по материалам научно-практической конференции с международным участием «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017» (11-15 сентября 2017). – Севастополь: СевГУ, 2017. – С.624-630.

