

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА

На правах рукописи



Рагулина Ирина Васильевна

**ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА ОБВОДНЕНИЯ
РЕКИ МОСКВЫ**

Специальность: 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Клёпов Владимир Ильич

Москва – 2018

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. Водохозяйственный баланс как методологическая основа управления водно-ресурсными системами	9
1.1 Обводнение, как один из компонентов водохозяйственного комплекса	9
1.2 Методы и способы построения водохозяйственного баланса территории и бассейна реки	15
1.3 Особенности водохозяйственного баланса Московского региона.....	21
1.4 Физико-географическое описание бассейна реки Москвы	25
1.5 Гидролого-водохозяйственное описание бассейна реки Москвы в современных условиях	29
ГЛАВА 2. Попуски воды в речных и водно-ресурсных системах.....	40
2.1 Классификация попусков воды в речных и водно-ресурсных системах....	40
2.2 Методика формирования и назначения обводнительных попусков	45
2.3 Обводнение рек и водотоков в бассейне реки Москвы	49
ГЛАВА 3. Разработка гидрологического обоснования формирования искусственного попуска в бассейне реки Москвы.....	58
3.1 Информационное обеспечение имитационного эксперимента по формированию искусственного попуска.....	59
3.2 Имитационная модель функционирования водно-ресурсной системы в бассейне реки Москвы	66
3.3 Проведение имитационного эксперимента по формированию искусственного попуска.....	71
ГЛАВА 4. Расчет и оценка гидрохимических характеристик водных ресурсов реки Москвы.....	80
4.1 Анализ исходных данных качества водных ресурсов в верхней части бассейна реки Москвы	80
4.2 Оценка современного состояния качества водных ресурсов реки Москвы	96

ГЛАВА 5. Разработка подходов к совместному управлению количеством и качеством водных ресурсов в бассейне реки Москвы для улучшения их экологического состояния	105
5.1 Современное состояние проблемы совместного управления количеством и качеством водных ресурсов	105
5.2 Методические подходы к совместному управлению количеством и качеством водных ресурсов в бассейне реки Москвы	111
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	119
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	121
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	141

Введение

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 должно 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.

Глава 1. Водохозяйственный баланс как методологическая основа управления водно-ресурсными системами

В Главе 1 показаны основные компоненты водохозяйственного комплекса. Представлена методика разработки и составления водохозяйственного баланса как методологической основы управления водно-ресурсными системами. Выполнен анализ основных составляющих водохозяйственного баланса и показаны особенности водохозяйственного баланса Московского региона и бассейна реки Москвы. Приводится обзор основных гидрологических и водохозяйственных исследований обводнительной составляющей водохозяйственного баланса. Дано физико-географическое и гидролого-водохозяйственное описание бассейна реки Москвы.

Разработке теоретических и практических вопросов по различным аспектам управления водно-ресурсными системами и особенностей составления водного и водохозяйственного балансов посвятили свои работы такие исследователи, как А.Е. Асарин [6; 7; 8], А.Ю. Александровский [3], Н.И. Алексеевский [4], К.Н. Бестужева [13; 14], А.Л. Великанов [21;24;25], Г.В. Воропаев [38; 39], Е.В. Венецианов [28], С.Г. Добровольский [51; 52], В.К. Дебольский [50], В.А. Жук [120], Г.Х. Исмайылов [61; 62; 64], Н.И. Коронкевич [96; 98; 102], Крицкий С.Н. и Менкель М.Ф. [106; 107], А.Г. Кудинов [108], Саваренский А.Д. [153], В.В. Шабанов [163] и другие. В разделе 1.1. диссертации по материалам отечественных исследователей дан обзор и краткий анализ основных особенностей компонентов водохозяйственного комплекса.

1.1. Обводнение, как один из компонентов водохозяйственного комплекса

Хорошо известно, что водные ресурсы в большинстве случаев используются комплексно для целого ряда отраслей хозяйства страны. В связи с возможным изменением водопотребления в сторону его увеличения, требования на воду обычно рассматриваются для нескольких уровней

развития экономики страны, которые должны быть привязаны к общегосударственным планам. В увязке с указанными требованиями обычно намечаются сроки проектирования водохозяйственных объектов. Поэтому обзор и анализ компонентов водохозяйственного комплекса необходим для постановки и решения задач, определяемых в настоящей диссертации. Рассмотрим основные характеристики этих компонентов [9; 10; 12; 106; 107; 131; 134].

Коммунальное и промышленное водоснабжение. При проектировании водоснабжения населенных мест, промышленных предприятий и сельского хозяйства учитывается количество воды, определяемое по нормам водопотребления, и зависит от численности населения, характера производства и его производительности, численности животных в сельском хозяйстве и т.д. [134]. Нормы потребления хозяйственно-питьевой воды населением зависят от благоустройства населенных мест, климатических условий и т. д. На бытовые нужды людей, пребывающих на производстве, норма потребления воды для цехов со значительным тепловыделением принимается равной 45 л, в остальных цехах – 25 л на 1 человека в смену. Кроме того, на производствах, требующих особого санитарного режима, расход воды принимается равным 500 л/час на одну душевую сетку. Число сеток определяется по расчету [120].

Нормы водопотребления санаториев, домов отдыха, дошкольных учреждений, школ, клубов, театров, коммунальных предприятий, спортивных сооружений, а также расходы воды на пожаротушение и для сельскохозяйственного водоснабжения приводятся в работе [76; 120]. Для всех этих водопотребителей подается вода питьевых качеств. Она должна быть прозрачной, не иметь запаха и привкуса, вредных солей и бактерий, обладать умеренной жесткостью и удовлетворять высоким требованиям по составу и количеству находящихся в воде микроорганизмов и веществ неорганического и органического происхождения. Большое количество воды (60–70% и более), доставляемой в города, возвращается обратно в реки через канализацию [166].

Промышленное водопотребление определяется нормами расхода воды на единицу продукции и производительностью предприятия. Нормы водопотребления разнообразны, как и виды производств. Даже на аналогичных предприятиях нормы разнятся, что зависит от схемы технологического процесса, типа оборудования, местных условий и других причин. Промышленное водопотребление в ряде случаев требует большого количества воды. Однако обычно лишь небольшая часть ее используется безвозвратно и идет на потери в технологическом цикле. Большая же часть воды уходит с предприятия, лишь изменив свои качества, которые во многих случаях целесообразно восстановить до исходных или приемлемых для водопользования, применяя очистку, охлаждение и т. д. Эти мероприятия необходимы также для поддержания водотоков в естественном состоянии.

Если расходы воды в реке в маловодные периоды достаточны и используются для снабжения предприятия только свежей водой, то такая схема промышленного водоснабжения называется прямоточной. В случаях же, когда отработанные воды после очистки или охлаждения непрерывно используются в технологическом цикле, а из источника восполняется лишь безвозвратный расход, схема водоснабжения называется оборотной, или циркуляционной. Существуют также смешанные или комбинированные схемы (прямоточно-оборотная и прямоточная наряду с оборотной).

Сельскохозяйственное орошение земли является весьма крупным водопользователем с довольно неравномерным режимом потребления воды. Вода в данном случае необходима для того, чтобы растворять в почве питательные вещества и перемещать их по всему растению. При этом все его ткани поддерживаются в состоянии насыщения водой, непрерывно поступающей и почти полностью испаряемой растением в атмосферу. Процесс физиологического испарения влаги растительностью, называемый транспирацией, требует очень больших расходов воды. Количество воды на 1 га, необходимое растениям в период вегетации определяется в зависимости от вида культур и запланированного веса урожая с 1 га (зерна, плодов, хлопка-

сырца и т. п. при обычной их влажности) [1; 138]. Для практических мелиоративных расчетов часто применяется другая величина – коэффициент водопотребления.

Гидроэнергетика. Речной сток на гидростанциях (ГЭС) используется для получения энергии, потребность в которой изменяется как в пределах суток, так и в течение года соответственно суточному и годовому графикам нагрузки. В пределах суток нагрузки колеблются от минимума ночью до максимума в дневные и вечерние часы. В выходные и праздничные дни, общее число которых в пределах недели бывает от 1 до 3, нагрузки резко снижаются. Суточные графики нагрузки строятся по средним величинам в интервале каждого часа. Но при решении некоторых энергетических задач, например, при выборе установленной мощности ГЭС, учитываются и мгновенные максимальные нагрузки. [147]

Водный транспорт (судоходство, лесосплав) в прежние годы предусматривался на больших реках, но в последнее время все в большей степени в качестве водных путей стали использоваться средние и даже малые реки. Новейшие суда с небольшой осадкой и реактивным водометным устройством вместо гребного винта позволяют широко и эффективно использовать для водного транспорта и малые реки. Общая протяженность действующих водных путей в нашей стране составляет около 145 тыс. км. Требования водного транспорта сводятся к тому, чтобы во время навигации на водных путях поддерживались безопасность движения и необходимые для плавания габариты пути: глубина, ширина и радиус закруглений.

Судоходство на некотором участке реки или по всей ее длине обеспечивается при соблюдении установленной минимальной гарантийной глубины судового хода, при которой и остальные размеры пути должны быть не менее расчетных. В каждом пункте по реке эта глубина отсчитывается от отметки низкого меженного горизонта, называемого проектным, на ближайшем опорном водомерном посту. Отметки проектного горизонта вдоль реки находятся для каждого из нескольких опорных водомерных постов по

многолетней кривой продолжительности средних суточных горизонтов за период навигации при заданной продолжительности расчетного уровня (в % навигационного времени).

В зависимости от значения реки или ее участка как транспортного пути продолжительность расчетного уровня принимается: для водных магистралей – 95-99% (т. е. в среднем за многолетние 1-5% дней навигационного периода уровень стоит ниже проектного, а 95-99% превышает его или равен ему); для путей местного значения – 93-96%; для подъездных путей – 90-96%.

Поддержание гарантийной глубины на судовом ходе достигается различными мероприятиями [11]. Наиболее радикальным из них является шлюзование реки, т. е. превращение ее в достаточно глубоководные подпорные бьефы при помощи плотин со шлюзами. Иногда шлюзование является мероприятием по использованию реки исключительно для транспортных целей, соответственно, чему определяются высоты водоподъемных плотин и размеры шлюзов при них. В таком виде шлюзованы реки Москва, Ока, Шексна, нижние участки Северского Донца, Дона и др.

На *рыбное хозяйство* серьезное воздействие оказывает гидротехническое строительство. Плотины закрывают доступ рыбе и их нерестилищам и нарушают воспроизводство морских проходных рыб (осетра, стерляди, севрюги, семги и другие), поднимающихся для икрометания в реки. Определенный ущерб рыбному хозяйству наносит забор воды из рек для орошения. Использование без рыбозащитных устройств многочисленных насосных установок и самотечных каналов приводит к выносу на поля в течение одного лишь сезона большого количества молоди. Поступление в реки неочищенных промышленных стоков, нефти и продуктов молевого лесосплава, безусловно, пагубно для рыбы. Водная эрозия также причиняет ущерб рыболовству. Продукты эрозии заносят места размножения, зимовальные ямы, мешают развитию кормовой базы.

Как правило, между компонентами водохозяйственного комплекса необходимы согласованные действия по обеспечению интересов различных

отраслей хозяйства. Это относится, в том числе и к интересам рыбного хозяйства. Необходимы широкое проведение мероприятий по рыбоохране и строгий контроль за их выполнением. При проектировании и эксплуатации водохранилищ режим их сработки (глубина и сроки) и режим допусков в нижний бьеф должны согласовываться с рыбохозяйственными организациями.

В связи с использованием водохранилищ для разведения и лова рыбы возникают дополнительные требования к режиму их работы. Не допускаются, в частности, резкие колебания уровней водохранилищ во время нереста и позже, до появления мальков. Особенно это относится к сработке, вызывающей значительное уменьшение площади зеркала и обсыхание отложенной икры. Зимой нельзя снижать уровни до тех отметок, при которых возможно или промерзание до дна мелководных участков, или придавливание здесь рыбы в конце зимы массами льда, накопившегося при довольно высоких уровнях [70].

Обводнение рек и водотоков (обводнительные попуски) при гидротехническом и водохозяйственном проектировании и строительстве относятся к специфическому водопользованию, которым является сама река. Требуется сохранять реку в необходимом экологическом и санитарном состоянии, для чего должно быть соблюдено заполнение русла водой, достаточная проточность с приемлемыми скоростями и тому подобное. Так как при гидротехническом и водохозяйственном освоении рек происходит существенное изменение гидрологического режима речного стока (уменьшение скорости воды в половодье или полное отсутствие половодья в весенний период вследствие заполнения объема водохранилищ весенним стоком), в отдельных случаях бывает необходимо осуществлять искусственные попуски воды с целью улучшения ее качества [72].

На рисунке 1.1.1. представлена обобщенная схема основных компонентов водохозяйственного комплекса.

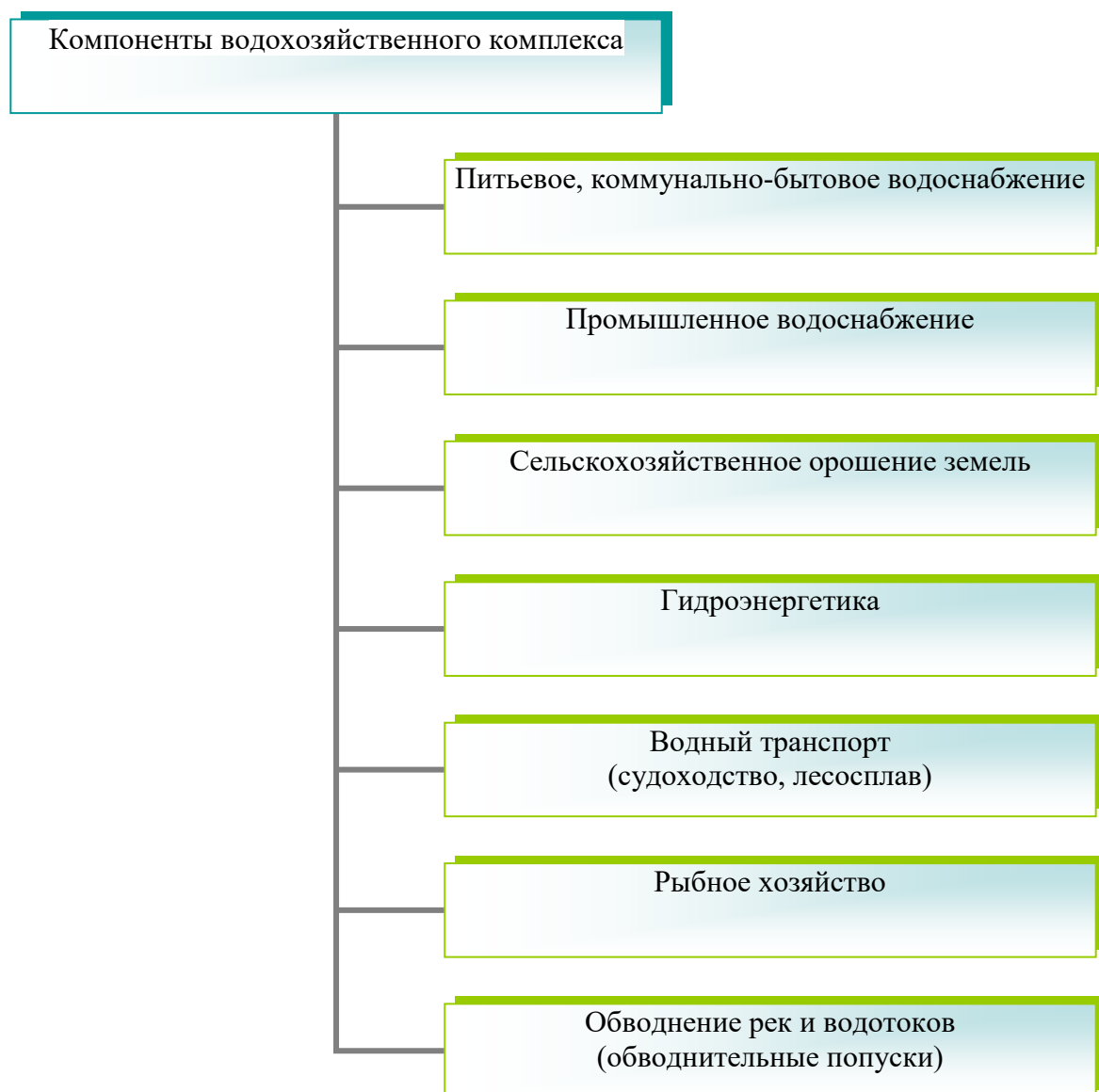


Рисунок 1.1.1. – Схема основных компонентов водохозяйственного комплекса

1.2. Методы и способы построения водохозяйственного баланса территории и бассейна реки

Термин «водохозяйственный баланс» используется исследователями, занимающимися водохозяйственными задачами для того, чтобы отделить это понятие от понятия водного баланса. Термин «водный баланс» характеризует распределение и пути перемещения влаги по земной поверхности, а применительно к речным бассейнам – баланс атмосферных осадков, испарения, поверхностного и подземного стока.

Водохозяйственный баланс определяется соотношением между водными

ресурсами рассматриваемой территории и водопотреблением, зависящим от определенного уровня развития отраслей экономики и населения, учитывая требования к сохранению окружающей природной среды. Таким образом, водохозяйственный баланс является результатом сопоставления водных ресурсов (объемов поверхностных и подземных вод, доступных для многолетнего гарантированного использования) и расчетного водопотребления при прогнозируемом уровне развития экономики.

Водохозяйственные балансы составляются для речных бассейнов, частей бассейнов и водохозяйственных участков. Расчет водохозяйственных балансов осуществляется по расчетным створам, являющимся замыкающими для вышерасположенных частей речного бассейна. Количество доступных для использования водных ресурсов в границах расчетного водохозяйственного участка определяется как сумма объема стока, поступившего с вышележащего участка рассматриваемого водного объекта и объема стока, формируемого в пределах расчетного водохозяйственного участка.

На основании расчетов водохозяйственных балансов для всех расчетных водохозяйственных участков, входящих в речной бассейн, определяется водохозяйственная обстановка соответствующего речного бассейна на всех расчетных уровнях, оценивается достаточность (или недостаток) водных ресурсов для удовлетворения установленных водопользователями объемов допустимого забора (изъятия) водных ресурсов и возможность развития водохозяйственного комплекса в ближайшей, планируемой и отдаленной перспективе [27].

Материалы расчета водохозяйственного баланса включают:

- линейную расчетную балансовую схему;
- описание особенностей рассматриваемого водного объекта;
- содержание и описание исходной информации для водно-балансовых расчетов;
- постворную характеристику естественных водных ресурсов в расчетных створах, ограничивающих водохозяйственные участки

(статистические параметры, обеспеченные объемы стока фазово-однородных сезонов года, динамика изменения водности по длине реки);

- обоснование лимитирующих периодов в течение года и оценку их водности в многолетнем разрезе;
- оценку однородности и репрезентативности используемых многолетних (естественных, восстановленных или смоделированных) гидрологических рядов;
- расчетные требования на каждом водохозяйственном участке, включая отраслевое водопотребление и водоотведение, специальные и комплексные попуски в расчетных створах с учетом обязательств по международным соглашениям, потери из прудов и водохранилищ;
- вариантные водохозяйственные балансы в привязке к створам расчетной схемы и планируемым уровням реализации водохозяйственных планов, выраженных в рекомендуемом комплексе водохозяйственных и водоохраных мероприятий;
- обобщенные результаты водохозяйственных балансов в целом по бассейну с постворной оценкой водообеспеченности для анализа водохозяйственной эффективности рекомендуемых мероприятий [9; 17].

Структура стандартного водохозяйственного баланса включает приходную (П) и расходную (Р) части, а также результат водохозяйственного баланса. Результат водохозяйственного баланса характеризуется наличием резервов ($P \geq R$) или дефицитов ($P < R$) стока [88; 115].

Уравнение водохозяйственного баланса в общем виде представлено в формуле (1).

$$B = W_{\text{вх}} + W_{\text{бок}} + W_{\text{пзв}} + W_{\text{вв}} + W_{\text{дот}} \pm \Delta V \pm W_{\text{л}} - W_{\text{исп}} - W_{\text{ф}} - W_{\text{у}} - W_{\text{пер}} - W_{\text{вдп}} - W_{\text{кп}}, \quad (1)$$

где: $W_{\text{вх}}$ – объем стока, поступающий за расчетный период с вышележащих участков рассматриваемого водного объекта, млн. м³; $W_{\text{бок}}$ – объем воды, формирующийся за расчетный период на расчетном водохозяйственном участке (боковая приточность); $W_{\text{пзв}}$ – объем водозабора

из подземных водных объектов, осуществляемый в порядке, установленном законодательством; $W_{\text{вв}}$ – возвратные воды на водохозяйственном участке: подземные и поверхностные воды, стекающие с орошаемых территорий, сточные и (или) дренажные воды, отводимые в водные объекты. Фактически учитывается объем воды, попадающий на расчетный водохозяйственный участок со стороны действующей системы водоотведения, которая определяет суммарное количество всех видов сточных вод (в том числе коллекторно-дренажных), отводимых в водоемы, подземные горизонты и бессточные понижения, а также подаваемых на очистные сооружения; $W_{\text{дот}}$ – дотационный объем воды, поступающий на водохозяйственный участок из систем территориального перераспределения стока (межбассейновые и внутрибассейновые переброски); $\pm \Delta V$ – сработка или наполнение водохранилищ на расчетном водохозяйственном участке; $\pm W_{\text{л}}$ – потери воды при оседании льда на берега при зимней сработке водохранилища и/или возврат воды в результате таяния льда весной; $W_{\text{исп}}$ – потери на дополнительное испарение с акватории водоемов; $W_{\text{ф}}$ – фильтрационные потери из водохранилищ, каналов, других поверхностных водных объектов в пределах расчетного водохозяйственного участка; $W_{\text{у}}$ – уменьшение речного стока, вызванное водозабором из подземных водных объектов, имеющих гидравлическую связь с рекой; $W_{\text{пер}}$ – переброска части стока (объема воды) за пределы расчетного водохозяйственного участка; $W_{\text{вдп}}$ – суммарные требования всех водопользователей данного расчетного водохозяйственного участка; $W_{\text{кп}}$ – требуемая величина стока в замыкающем створе.

B – результирующая составляющая (избыток или дефицит водных ресурсов) водохозяйственного участка. Результаты водохозяйственного баланса фиксируют величину дефицита водных ресурсов D , резерв воды $W_{\text{рез}}$ и проектный (транзитный) сток $W_{\text{пс}}$ на следующий водохозяйственный участок. При $B \geq 0$ резерв водных ресурсов равен балансу $W_{\text{рез}} = B$, а дефицит $D=0$; при $B < 0$ резерв водных ресурсов равен нулю $W_{\text{рез}} = 0$, а дефицит $D = -B$. [62; 63; 66; 114].

Основной вопрос, на который дает ответ водохозяйственный баланс, – какое количество воды может быть обеспечено водопользователям при заданной системе регулирующих мероприятий. Непосредственный вывод из ответа на этот вопрос – размеры водопотребляющих предприятий, которые обеспечиваются источником при заданном уровне развития его ресурсов. Сопоставление нескольких (если это требуется) вариантов таких балансов позволяет наметить водохозяйственные мероприятия (размеры регулирующих водохранилищ и других устройств), необходимые для обеспечения водой заданного уровня водопользования. Подробный водохозяйственный баланс есть завершающий итог разработки достаточно детальной и обоснованной схемы использования бассейна. Для бассейнов, в развитии экономики которых водный фактор играет существенную роль, составление региональных схем использования водных ресурсов должно предшествовать построению обобщающих водохозяйственных балансов.

Наиболее полное и наглядное представление о различных элементах водохозяйственного баланса в условиях сложной гидрологической и водохозяйственной обстановки (различный гидрологический режим в отдельных частях бассейна, каскада и системы водохранилищ и гидроэлектростанций) достигается путем исследования баланса применительно к достаточно длительному гидрологическому ряду, рассматриваемому в качестве прототипа предстоящего режима.

Балансы качества воды должны составляться параллельно с количественными балансами и на их основе. Методика составления балансов качества воды требует специальной разработки. При построении таких балансов необходимо принимать во внимание ряд факторов. В их числе: удаление загрязнений с безвозвратно изымаемой из источника водой; смещение загрязнений с водой водохранилищ и, как следствие, осреднение концентрации загрязнений по сезонам года – своего рода регулирование стока загрязнений; процессы самоочищения в руслах рек и водохранилищ.

Расчетные годы характеризуют критические, переломные условия обеспечения водой. Маловодный год – предельный по удовлетворению минимальных, ограниченных важнейшими нуждами размеров водопотребления. Средне-маловодный год – предельный по удовлетворению полных требований обслуживаемых предприятий. Назначение итогового водохозяйственного баланса – иллюстрировать условия обеспечения водой в характерные по водности годы. Соответственно этой задаче расчетный для построения итогового водохозяйственного баланса год должен пониматься как типичный для бассейна маловодный год, а не как год, однозначно определяющий условия водообеспечения. Практически за расчетный во многих случаях может приниматься самый маловодный год многолетнего ряда; если он исключительно маловоден или не типичен по сезонному распределению стока, в качестве расчетного может быть выбран один из ближайших к экстремальному год. Сток года, по которому составляется итоговый водохозяйственный баланс, трудно подобрать так, чтобы величина отдачи воды точно соответствовала гарантийной, установленной по расчетам регулирования стока. Вследствие этого в водохозяйственном балансе может возникнуть некоторый избыток воды. Расчетный для построения баланса год следует выбирать так, чтобы этот избыток был незначителен [167; 173].

Исходя из вышеизложенного, при составлении водохозяйственных балансов речных бассейнов, отдельных частей бассейнов или отдельных водохозяйственных участков и территорий, необходимо выделить три следующих основных компонента:

- 1 оценка естественных водных ресурсов;
- 2 установление требований водопользователей;
- 3 управление водными ресурсами – разработка комплекса водохозяйственных мероприятий, включая ресурсосберегающие и ресурсоохранные мероприятия, позволяющие изменить объём и режим водных ресурсов, которые могут быть предоставлены водопользователям в соответствии с их запросами.

1.3. Особенности водохозяйственного баланса Московского региона

В данном разделе диссертационного исследования рассмотрены и проанализированы основные особенности водохозяйственного баланса Московского региона. Исходные данные для анализа приняты по работам института Гидропроект разных лет [7; 8; 13; 14], а также материалам РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, выполненные в период с 2012 по 2015 годы [62; 63; 66]. Ниже рассмотрены основные показатели водохозяйственного баланса источников водообеспечения Московского региона в различные годы как в приходной, так и в расходной его частях.

Приходная часть водохозяйственного баланса. Приходная часть водохозяйственного баланса складывается из гарантированной водоподачи 95% и 97% обеспеченности поверхностных источников – водохранилищ с учетом компенсированного регулирования стока в бассейне р. Москвы. Из Волжского источника по каналу им. Москвы (на уровне 2010 года) подается соответственно 85 и 80 м³/с, из Москворецкой системы водохранилищ – соответственно 32 м³/с и 29 м³/с, из Вазузской гидротехнической системы – 19 м³/с и 17 м³/с. Суммарно из поверхностных источников подается для двух значений обеспеченности гарантированной водоотдачи соответственно 136 м³/с и 126 м³/с [62; 63; 163]. Суммарный отбор подземных вод оценивается на уровне 9,7 м³/с. Доочищенные сточные воды оцениваются на современном уровне величиной 8,4 м³/с. Водные ресурсы р. Пахры оценены для разных уровней развития хозяйства в 2 м³/с. Повторное использование вод составляет 0,7 м³/с.

Расходная часть водохозяйственного баланса. Как следует из таблицы 1.3.1., анализ водохозяйственной обстановки в Московском регионе на современном этапе показывает, что расходная часть водохозяйственного баланса состоит из: водопотребления населением, коммунальным хозяйством и промышленностью – 81 м³/с; собственных нужд водопроводных станций – 1,6 м³/с; водопотребления ТЭЦ – 6,80 м³/с; обводнения рек и водотоков – 41,9 м³/с; потери воды на фильтрацию и дополнительное испарение с

поверхности водохранилищ – $6,7 \text{ м}^3/\text{с}$; орошения сельскохозяйственных земель – $3,3 \text{ м}^3/\text{с}$; санитарного попуска ниже Рублево – $4,0 \text{ м}^3/\text{с}$; водопотребления за пределами региона – $2,1 \text{ м}^3/\text{с}$. Таким образом, расходная часть водохозяйственного баланса составляет $147,4 \text{ м}^3/\text{с}$. В данный водохозяйственный баланс не включены приходная и расходная составляющая малых рек Московской области и водопользователей на этих реках [58].

Как следует из таблицы 1.3.1., норматив необходимого обводнения рек и водотоков в черте города Москвы установлен в виде постоянной величины, равной $41,9 \text{ м}^3/\text{с}$ [62; 63; 159]. При этом суммарно с санитарным попуском ниже Рублево на нужды обводнения в Московском регионе направлено $45,9 \text{ м}^3/\text{с}$ [68]. По-видимому, эти попуски должны быть разными и устанавливаться для каждого водного объекта, в разных опорных створах и в целом по бассейну с учетом водности (обеспеченности) конкретного года. А также следует учитывать и потребности в воде водопользователей и состояние водной экологической системы.

Таблица 1.3.1. – Водохозяйственный баланс источников водообеспечения
Московского региона в различные годы, м³/с

	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010
<u>Расходная часть:</u>							
- Суммарное водопотребление г. Москвы	78,6	84,9	80,0	78,0	79,0	80,0	81,0
- Собственные нужды водопроводных станций	1,1	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6
- Водопотребление ТЭЦ	4,0	5,2	5,50	5,80	6,10	6,40	6,80
- Обводнение рек и водотоков	41,9	41,9	41,9	41,9	41,9	41,9	41,9
- Потери	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
- Орошение с/х земель	2,5	3,0	3,0	2,6	2,5	3,0	3,3
- Санитарный попуск ниже Рублево	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
- Водопотребление за пределами региона	1,6	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
Всего:	140,4	148,7	144,2	142,3	143,6	145,6	147,4
<u>Приходная часть:</u>							
- р. Москва <u>P=97%</u>	<u>29,0</u>	<u>29,0</u>	<u>29,0</u>	<u>29,0</u>	<u>29,0</u>	<u>29,0</u>	<u>29,0</u>
<u>P=95%</u>	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0
- р. Вазуза <u>P=97%</u>	<u>17,0</u>	<u>17,0</u>	<u>17,0</u>	<u>17,0</u>	<u>17,0</u>	<u>17,0</u>	<u>17,0</u>
<u>P=95%</u>	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
- р. Волга – канал им. Москвы <u>P=97%</u>	<u>80,0</u>	<u>80,0</u>	<u>80,0</u>	<u>80,0</u>	<u>80,0</u>	<u>80,0</u>	<u>80,0</u>
<u>P=95%</u>	85,0	85,0	85,0	85,0	85,0	85,0	85,0
- Подземные воды	11,3	11,0	10,7	10,4	10,1	9,8	9,7
- Доочищенные сточные воды	0,3	3,0	4,1	5,2	6,3	7,4	8,4
- р. Пахра	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
- Повторное использование	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
Всего:							
<u>P=97%</u>	<u>140,2</u>	<u>142,6</u>	<u>143,4</u>	<u>144,3</u>	<u>145,1</u>	<u>145,9</u>	<u>146,8</u>
<u>P=95%</u>	150,2	152,6	153,4	154,3	155,1	155,9	156,8
Дефицит (-) или избыток (+)							
<u>P=97%</u>	<u>-0,2</u>	<u>-6,1</u>	<u>-0,8</u>	<u>+2,0</u>	<u>+1,5</u>	<u>+0,3</u>	<u>-0,6</u>
<u>P=95%</u>	+9,8	+3,9	+9,2	+12,0	+11,5	+10,3	+9,4

Результаты водохозяйственного баланса. Анализ водохозяйственного баланса показывает, что для расчетной обеспеченности гарантированной водоотдачи поверхностных источников, равной 95% (по числу бесперебойных лет), превышение приходной части над расходной оценивается в 9,4 м³/с. Для расчетной обеспеченности гарантированной водоотдачи поверхностных источников, равной 97% (по числу бесперебойных лет) появляется дефицит гарантированной водоотдачи, равный 0,6 м³/с.

Наиболее напряженная обстановка с водообеспечением Москвы сложилась в 1996 году (формально может быть оценен как год 96% обеспеченности). Как показывают отчетные данные, начиная с апреля 1996 года в нижний бьеф Рублевского гидроузла санитарные попуски не делались. Не были выполнены также требования по обводнительным попускам в реки Уча, Клязьма и Яуза. Как показал анализ режима работы основных водохранилищ системы водоснабжения Московского региона, сложившиеся напряженная обстановка в этом году, объясняется не только относительно низкой естественной приточностью, но также несовершенством правил управления системой [84].

Следует отметить, что при появлении дефицита гарантированной водоотдачи в водно-ресурсной системе встает вопрос о необходимости и возможности сокращения отдельных составляющих расходной части водохозяйственного баланса. Как отмечается в публикациях [62; 63; 159], представленных выше, в балансе учтены запасы подземных вод Московской области. Для Москвы характерно превышение водоотбора над утвержденными эксплуатационными запасами, для Московской области существует значительная разница между разведанными эксплуатационными запасами и современным отбором подземных вод. Следует отметить, что формирование эксплуатационных запасов подземных вод региона в многолетнем разрезе происходит в основном за счет сокращения поверхностного стока, существенно различаясь для конкретных речных бассейнов [74; 79].

Что касается качества водных ресурсов, то постоянное нарушение водоохранного режима, поступление сточных вод промышленности, значительная нагрузка органических и минеральных удобрений на территории водосбора водохранилищ – источников водоснабжения, и прежде всего, Москворецкого приводит к нарастающему ухудшению качества речных вод, питающих водохранилища и водные тракты системы. Подробное описание качества воды реки Москвы изложено в главе 4.

1.4. Физико-географическое описание бассейна реки Москвы

Бассейн реки Москвы. Река Москва берет начало на Смоленско-Московской возвышенности и впадает в Оку у города Коломна Московской области. Река с притоками Сходня, Сетунь, Руза, Яуза, Истра, Пахра и другими более мелкими, является левым притоком реки Оки. На расстоянии 320 км от устья река Москва входит в черту города Москвы, где соединяется каналом имени Москвы (длина канала 126 км) с Волгой. В черте города в реку Москву впадает около 70 притоков, многие из них, прежде всего малые реки заключены в трубы и коллекторы (40 засыпано). Площадь бассейна реки Москвы 17 600 км². Общее падение русла от истока до устья составляет 155,5 м. Длина реки – 473 км. (в черте города Москвы – 83 км). Ширина изменяется от 120 до 200 метров. Глубина колеблется от 3 до 6 метров (выше Перервинского гидроузла до 14 метров) [18; 33; 34; 101; 102; 103].

С 1937 года через северную часть Московского региона проходит судоходный канал им. Москвы, соединивший реку Москву с верхней Волгой. Долина реки имеет хорошо выраженные террасы – современную и несколько древних. Река в прошлое геологическое время спрямляла свое русло, при этом прорывала наиболее узкие участки между соседними излучинами. Например, один из таких прорывов реки в недалеком прошлом имел место в городе Москве в районе современной Перервы [18; 33; 34].

Питание рек бассейна Москвы – смешанное, которое складывается из снегового 55-61%, из грунтового от 17 до 33% и из дождевого от 11 до 23%. Средний многолетний расход воды в верхнем течении (деревня Барсуки)

составляет 5,8 м³/с, у Звенигорода 38 м³/с, в устье 150 м³/с. Сток реки увеличился примерно вдвое с 1937 года в связи с вводом в эксплуатацию канала имени Москвы. Переброска волжской воды в бассейн реки Москвы идёт на обводнение самой реки (проектное количество – около 30 м³/с, фактическое с 2000 г. – 26 м³/с), притока Яузы (по проекту – более 5 м³/с, фактически – менее 2 м³/с). Существенная часть волжской воды, 30-35 м³/с, идёт на водопотребление города – и затем, после очистки сбрасывается в р. Москву. Река Москва и ее притоки относятся к равнинному типу рек [89; 149].

Реки бассейна относятся к рекам умеренного типа к подтипу рек континентального климата с весенним половодьем и летне-зимней меженью р. Москвы по сезонному распределению стока. Примерно в конце ноября начинается ледостав, который продолжается 110-130 дней. В конце марта – начале апреля на реке Москва начинается весеннее половодье, которое длится в разные годы по-разному.

Большому выпадению на дно реки Москвы частиц песка, глины и ила, посторонних предметов, загрязняющих её, способствуют низкие скорости течения воды (0,1-0,3 м³/с). Источником поступления основной массы наносов являются реки Яуза, Сетунь, Неглинная – притоки реки Москвы и системы ливневой канализации, покрывающей основную часть города. В черте города река образует большие петли: Дорогомиловскую, Лужниковскую, Москворецкую.

К бассейну реки Москвы относится 362 реки и более 500 ручьев [18; 19; 20; 101]. Крупнейшие из притоков в пределах города Москвы – Яуза, Неглинная, Сетунь и Городня, Сходня и некоторые другие.

Притоки реки Москвы. Река Руза – левый и самый длинный приток реки Москвы. Длина – 154 км; начинается в болотистом лесу Шаховского района. Вытекает около поселка Крутое Малое на Гжатско-Можайской возвышенности и впадает в Москву на отметке около 149 м. Длина реки 141 км, средний уклон 0,442 м/км. Ширина русла в среднем течении 20 м, в

низовьях 30-40 м. У деревни Палашкино построена плотина, образующая Рузское водохранилище.

Река Истра – левый приток реки Москвы. Длина – 113 км, площадь бассейна – 2050 км². Питание преимущественно снеговое. Среднегодовой расход воды у села Павловская Слобода (12 км от устья) – 12,1 м³/с. Ширина реки в нижнем течении – 17-30 метров, глубина – 1,0-1,5 метра, скорость течения – 0,1-0,3 м/с, дно песчаное. Ниже по течению – Истринское водохранилище.

Река Яуза – левый и наиболее крупный приток реки Москвы в черте города. Длина Яузы – 34 км, впадает в реку Москву возле Устьинского моста. Генеральный план реконструкции Москвы предусматривает благоустройство и очистку этой реки.

Река Лихоборка – самый крупный правый приток р. Яузы на севере Москвы. Длина реки – 16 км (от МКАД до соединения с Лихоборским обводным каналом заключена в подземный коллектор). Площадь бассейна около 58 км². Средний расход – 0,5 м³/с. Река используется для обводнения рек Москва и Яуза волжской водой, которая перебрасывается из Химкинского водохранилища через Головинские пруды и Головинский ручей.

Река Серебрянка. Протекает в северо-восточной части Москвы. Длина реки – 12 км, в черте Москвы – 8,6 км, в том числе в открытом русле – 3,7 км. Площадь водосбора реки около 30 км². Среднегодовой расход воды составляет 0,028 м³/с. В среднем течении р. Серебрянка соединяется с р. Сосенкой, вытекающей из Черкизовского пруда, и образует р. Хапиловку – крупнейший левый приток р. Яузы [85].

Река Сходня. Река на северо-западе Москвы, крупный (второй после р. Яузы) левый приток р. Москвы. Длина 47 км. Протекает в открытом русле, в том числе в черте Москвы более 5 км. Площадь бассейна в городе 17,2 км². Средний годовой расход воды 1,8 м³/с. Принимает слева деривационный канал, по которому из Химкинского водохранилища (через Сходненскую ГЭС) в р. Сходню поступает волжская вода для обводнения р. Москвы [177].

Река Неглинная – левый приток реки Москвы. В настоящее время река заключена в трубу и над нею разбит Александровский сад. Длина реки Неглинной – 7,5 км.

Река Сетунь. Река на западе Москвы, крупнейший правый приток р. Москвы. Длина 38 км. Глубина от 2 до 5 метров. В черте Москвы – около 20 км в сохранившейся долине и естественном открытом русле. Площадь бассейна 190 км². Средний расход воды 1,33 м³/с.

Река Городня. Большая часть реки протекает по югу Москвы. Второй по длине после Сетуни правый приток р. Москвы. Ее длина 16 км, в том числе 14 км – в открытом русле. Площадь бассейна около 100 км². Средний расход воды 0,76 м³/с. Протекает через Верхнецарицынский, Нижнецарицынский и Борисовский пруды, по выходе из которых течёт в открытом русле и впадает в р. Москву у Бесединского моста [85; 124; 125; 126].

Озера Московского региона. Общее число озёр, в том числе малых, в бассейне реки Москвы превышает две тысячи. Их общая площадь составляет более 130 кв. км. По своему происхождению и возрасту они различны. Более 350 крупных озёр имеют площадь водной поверхности 8 тыс. га. Важнейшими из них являются: Тростенское, Нерское, Круглое на Московской возвышенности и Чёрное, Великое, Святое, Дубовое, расположенные среди верховых и переходных болот Мещерской низменности. Многие озера имеют глубину от 2,5 до 10 метров. Озера ледникового происхождения расположены в основном на Клинско-Дмитровской гряде: Тростенское, Нерское, Круглое, Долгое. Более обширные, но неглубокие озера расположены в Мещерской низине: Чёрное, Святое, Дубовое, Великое, Карасево. Озера водно-ледникового происхождения как правило, со временем зарастают и превращаются в торфяные болота.

Много озёр расположено в поймах реки Москвы. Это запрудные и остаточные (старицы) озера, образовавшиеся в результате перемещения русла рек. Все они небольшого размера и были образованы талыми водами в весенний период. Особенность таких озёр заключается в том, что они имеют

дугообразную форму и вытянуты вдоль русла в пойме реки. Глубина старичных озер меняется, увеличиваясь при промыве речными струями и уменьшаясь вследствие накопления илистых отложений. Обычная глубина их 1-1,5 метра, реже – до 2,5 метров. Дно таких озер песчаное или илистое. На территории города Москвы кроме небольших естественных озер, есть много прудов, созданных искусственным путем [10].

Основа питания большинства озер – поверхностный сток (70-80 %). Вскрытие происходит в апреле – мае, замерзание – в октябре – ноябре, толщина льда 0,5-1 м. Весной, в пору таяния снега, уровень воды в озерах повышается, летом постепенно снижается, а осенью наступает еще один, меньший по масштабам, подъем уровня, связанный с обильными дождями. Разница уровней иногда может достигать десятков сантиметров [32].

Подземные водные ресурсы. Территория Московского региона характеризуется длительной интенсивной эксплуатацией пресных подземных вод каменноугольных водоносных горизонтов для нужд хозяйственно-питьевого водоснабжения. Северо-западные и западные районы области богаты подземными водами, современное формирование горизонтов которых связано с созданием водохранилищ. Наибольшую водоресурсную роль играют Рузско-Звенигородское и Сестринско-Истринское месторождения вод со значительным эксплуатационным запасом. Водоотбор подземных вод находится на уровне 3-3,5 тыс. м³/сут [34].

1.5. Гидролого-водохозяйственное описание бассейна реки Москвы в современных условиях

В пункте 1.5. выполнено исследование по изучению и анализу основных направлений функционирования одной из крупнейших водно-ресурсных систем России – Москворецкой водной системы, расположенной в верхней части бассейна реки Москвы.

Описание водно-ресурсной системы Московского региона. Водообеспечение Московского региона и прежде всего г. Москвы в

современных условиях осуществляется за счет стока рек Волги, Вазузы и Москвы [4]. Схема водно-ресурсной системы для водоснабжения г. Москвы представлена на рисунке 1.5.1.



Рисунок 1.5.1. – Схема водно-ресурсной системы для водоснабжения г. Москвы.

Централизованное водоснабжение Московского региона осуществляется в основном из поверхностных водоисточников. Ими являются Москворецкая, Вазузская и Волжская водные системы, в которые входят тринадцать водохранилищ и тракты подачи воды – река Москва с притоками и канал имени Москвы. В Москворецкую водную систему входят Истринское, Можайское, Рузское и Озерское водохранилища [2; 83]. Москворецкая водная система представлена на рисунке 1.5.2.



Рисунок 1.5.2. – Схема Москворецкой водной системы

Москворецкая водная система. В подсистему входят Истринское, Можайское, Рузское и Озернинское водохранилища, расположенные в верхнем течении р. Москвы и ее притоках. Водохранилищами подсистемы практически полностью зарегулирован сток верхней части водосбора р. Москва. Управление водными ресурсами подсистемы Москворецкой водохозяйственной системы построено так, что из водохранилищ производятся попуски воды в размерах, дополняющих до величины гарантированного расхода сток боковой проточности на участке от этих водохранилищ до створа Рублевского гидроузла (водозабор в г. Москву). Каждое из четырех водохранилищ подсистемы ведет компенсированное регулирование контролируемого им стока [83]. Москворецкие воды в водохозяйственном балансе г. Москвы составляют около 40%. Благодаря отсутствию в пределах водосбора городов и крупных промышленных предприятий влияние хозяйственной деятельности человека на состав вод проявляется в основном в повышении концентрации органических и

биогенных, веществ, поступающих с удобряемых сельскохозяйственных угодий [6].

Суммарный полезный объем водохранилищ равен 749 млн. м³, что составляет 83% среднего годового объема стока с их общей площади водосбора. Регулирование стока р. Москвы началось в 1935 г. с создания водохранилища на р. Истре. Затем, в послевоенные годы, построили Можайский и Рузский гидроузлы, образовавшие водохранилища на р. Москве выше Можайска, на Рузе и Озерне.

Истринское водохранилище эксплуатируется с 1935 г., Можайское – с 1960 г., Рузское – с 1966 г., Озернинское – с 1967 г. [2; 35].

Протяженность сильно изрезанной береговой линии в Озернинском водохранилище равна 65 км, в Можайском и Рузском она вдвое, а в Истринском – втрое длиннее. Средняя продолжительность ледостава на Москворецких водохранилищах колеблется от 153 суток (Озернинское) и 151 суток (Истринское) до 166 суток (Можайское водохранилище). Морфологические параметры данных водохранилищ представлены в таблице 1.5.1.

Таблица 1.5.1. – Морфологические параметры водохранилищ Москворецкой системы (по К. К. Эдельштейну) [41].

Параметр	Можайское	Рузское	Озернинское	Истринское
1	2	3	4	5
	Площадь, км ² :			
при НПУ	30,7	32,7	23,1	33,6
при УМО	15,2	16,5	10,3	11,7
	Объем, млн м ³ :			
при НПУ	235	220	144	183
при УМО	74	72	49	84
Глубина, максимальная, м	22,6	21,2	20,5	23,0
	Средняя глубина:			
при НПУ	7,7	6,7	6,2	5,4
при УМО	4,9	4,9	4,8	4,7
Длина, км	28,0	32,8	19,2	22,2
	Ширина, км:			
Максимальная	2,6	3,2	2,5	4,4
Средняя	1,1	1,0	1,2	1,5

Описание водохранилищ Москворецкой системы

Можайское водохранилище – один из новых водоемов Подмосковья (рисунок 1.5.3.). Оно образовано в 1960 г. в результате подпора р. Москвы плотиной в 3 км от г. Можайска, у пос. Марфин брод.

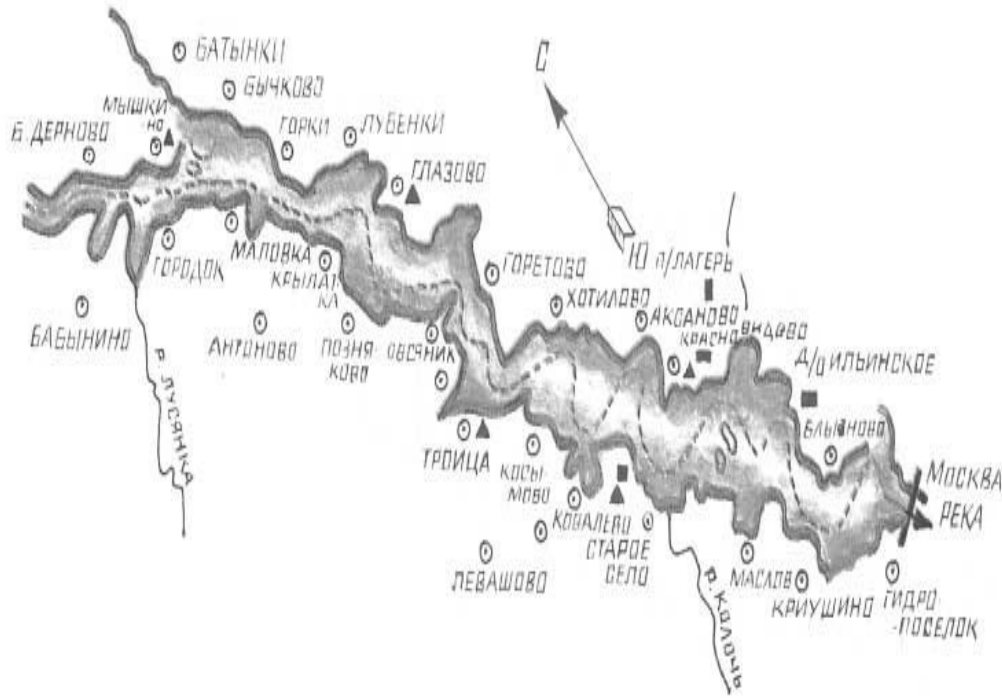


Рисунок 1.5.3. – Схема Можайского водохранилища

Площадь зеркала водохранилища 30,7 км². Длина водохранилища – 28 км, ширина 1–3 км. Чаша водохранилища – это затопленная пойма Москвы-реки с очень малым уклоном. Через водохранилище проходит русло реки. Максимальная глубина у плотины – 23 м.

В течение года уровень Можайского водохранилища срабатывается на 5 м. Грунты водохранилища суглинистые, супесчаные. В 1962 году уровень воды в Можайском водохранилище достиг проектного уровня. Можайское море подпитывают воды реки Лусянки у деревни Верхние Черняки, реки Колочь у деревни Старое село и великое множество других мелких ручьев. Продолжительность ледостава составляет 120-155 дней. Средняя толщина льда 0,7 м, максимальная – до 1 м. В конце июля в мелководных заливах на поверхности температура достигает 27-28 °С. В придонных слоях воды температура не поднимается в течение всего лета выше 6-10 °С. Можайский

гидроузел оборудован железобетонной плотиной длиной 900 метров, по которой организован в пропускном режиме автомобильный переезд, также действует гидроэлектростанция, мощностью 3,2 МВт (2х1,6 МВт) и среднегодовой выработкой 7,9 млн кВт/ч в год, работающая на напоре 19 метров [2].

Истринское водохранилище создано в целях водоснабжения столицы в 1935 г. на р. Истре, притоке Москвы-реки, в 70 км от устья. Площадь водного зеркала – 33,6 км², средняя ширина – 1,5 км, средняя глубина – около 5 м, максимальная у плотины – 23 м. Картограмма Истринского водохранилища представлена на рисунке 1.5.4.

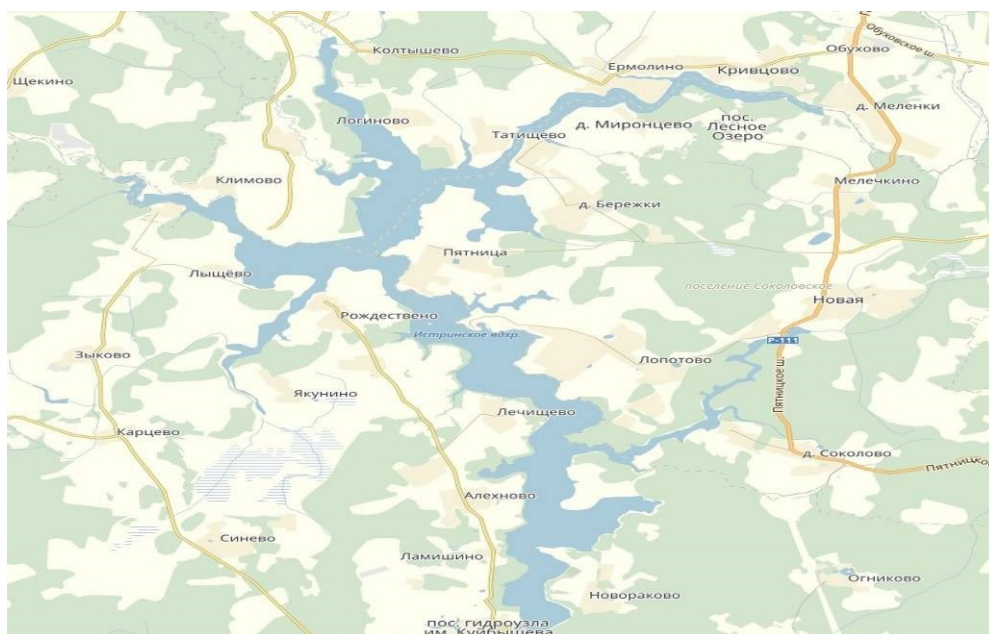


Рисунок 1.5.4. – Картограмма Истринского водохранилища

В водохранилище впадают наиболее значимые реки: Истра, Нудоль и Катыйш, а вытекает лишь одна – р. Истра. Имеет комплекс гидротехнических сооружений, в том числе земляную плотину, донный водоспуск, водосброс, ГЭС при водоспуске (мощностью 840 кВт/ч в год). Ранее Истринское водохранилище использовалось для пассажирского судоходства. Протяжённость судоходного пути составляла 36 км. Особенностью этого искусственного водоёма является наличие различных глубин и множества заливов по поймам рек. Мелководная зона водоёма составляет третью часть всей его площади. Береговая линия водоёма весьма изрезана. Водный баланс

Истринского водохранилища регулируется притоком с собственной водосборной площади и расходом воды, пропускаемой через плотину. Следовательно, водоем является проточным и имеет одновременно признаки как озера, так и реки.

Климат характеризуется теплым летом и умеренно холодной зимой. Значительное количество выпадающих осадков объясняется преобладанием западных ветров атлантического происхождения и повышенной циклонической деятельностью. Холодное время года длится 130-145 дней. Первый снег появляется в самом начале ноября. К концу зимы высота снежного покрова составляет в среднем 30-35 см. Снежный покров окончательно сходит в середине апреля. Теплый период составляет 205-215 дней. Длится он с начала апреля до первых чисел ноября. Самое теплое время года бывает в июле. Район находится в зоне достаточного увлажнения, среднегодовая сумма осадков 550-650 мм [2; 35].

Рузское водохранилище также в целях водоснабжения столицы заполнено в 1966 г. на р. Рузе (приток р. Москвы).

Плотина сооружена у деревни Палашкино длиной 600 и максимальной высотой 25 метров, по плотине организован автомобильный переход. Водосброс осуществляется с высоты 18,5 метров. Площадь этого руслового водохранилища – 32,7 км², длина – 33 км, средняя ширина – 1,0 км, наибольшая ширина – до 3,2 км. Средняя глубина – 6,7 м, максимальная глубина – 21 м. Водообмен – 1 объем в год. Сброс воды на Рузской ГЭС, мощностью 0,5 МВт, осуществляется с высоты около 20 метров.

Климат района умеренный континентальный с ярко выраженными временами года. Средняя температура января минус 10°C, июля – плюс 17°C. Осадков выпадает около 600 мм в год. Замерзание водоема приходится на конец ноября, вскрытие – на середину апреля. Данное водохранилище представлено на рисунке 1.5.5. [35; 41].



Рисунок 1.5.5. – Картосхема Рузского водохранилища.

Озернинское водохранилище начало заполняться в 1966 г. на западе Московской области в результате строительства гидроузла на р. Озерна. Его основное назначение – аккумуляция весеннего стока для последующего снабжения водопроводной водой столицы. Площадь зеркала – 23,1 км², водохранилище заполнено до крайней отметки в 1970 г. Его протяженность – 19 км, ширина – до 3 км, глубина – до 20 м, объем водохранилища – 140 млн. м³. Озернинское водохранилище представлено на рисунке 1.5.6.

В составе гидроузла железобетонная плотина длиной 910 метров, по ней организован автомобильный проезд, водосброс осуществляется с высоты 20 метров. Имеет многолетнее регулирование стока. Замерзает в конце ноября, вскрывается в середине апреля. Несудоходно [35; 41].



Рисунок 1.5.6. – Картосхема Озернинского водохранилища.

Канал имени Москвы – уникальное гидротехническое сооружение, которое имеет комплексное назначение – Водоснабжение столицы, обводнение реки Москвы и других рек (обводнение рек и водотоков в бассейне реки Москвы описано в главе 2) и судоходное соединение её с Волгой [43]. Строительство канала велось с 1932 по 1937 годы. Канал им. Москвы – это первый в стране не самотечный канал. Канал соединяет реки Волгу и Москву, начинается вблизи города Дубны на правом берегу Волги и заканчивается в Москве. От Иваньковского водохранилища канал поднимается на водораздел пятью ступенями – пересекает Клинско-Дмитровскую гряду – преодолевая высоту 38 метров. Переход судов из одной ступени (бьефа) в другую происходит через однокамерные шлюзы. Подъем воды осуществляется пятью мощными насосными станциями, расположенными вблизи шлюзов. Шесть водохранилищ (Икшинское, Пестовское, Пяловское, Учинское, Клязьминское, Химкинское) водораздельного бьефа канала – единая распределительная система. Сюда поступает воды, подаваемая насосными станциями канала из Иваньковского водохранилища и собственный сток малых рек водораздела. Общая протяженность канала 126 км, ширина судоходного канала на уровне воды – 83-85 м., глубина около 5 метров [34; 41].

Ниже приведены краткие сведения о гидротехнических сооружениях в бассейне р. Москвы, расположенные в хронологической последовательности:

- в 1783–1786 гг. сооружен водоотводный канал в черте г. Москвы на период ремонта Большого Каменного моста;
- в 1785 г. построена Бабьегородская плотина (снесена в 1836 г. и восстановлена в 1843 г., окончательно разобрана в 1935 г.);
- в 1835–1836 гг. прорыт новый отрожек водоотводного канала и сооружена Краснохолмская плотина (разобрана в 1935 г.);
- в 1874–1976 гг. построена система шлюзовых гидросооружений на р. Москве ниже города Москвы (от Перервы до устья р. Северки) – шесть плотин и шлюзов. Плотины реконструированы в 1923–1931, а шлюзы – в 1960–1972 гг.;
- в 1933 г. сооружена плотина в Рублево;
- в 1931 г. сооружена Карамышевская плотина;
- в 1936 г. построен Истринский гидроузел на р. Истре (Истринское водохранилище);
- в 1932–1937 гг. построен канал Волга-Москва им. Москвы; заново построен Перервинский гидроузел;
- в 1940 г. сооружен Яузский гидроузел;
- в 1959 г. на реке Москве сооружен Можайский гидроузел (Можайское водохранилище);
- в 1966 г. на р. Рузе сооружен Рузский гидроузел (Рузское водохранилище);
- в 1967 г. на реке Озерне сооружен Озернинский гидроузел (Озернинское водохранилище).

Система гидротехнических сооружений на р. Москве и её основных притоках создана главным образом с целью обеспечения водоснабжения Московского региона и, прежде всего, г. Москвы [77; 142].

Выводы

1. Анализ баланса Московского региона показывает, что он значительно напряжен. Для расчетной обеспеченности гарантированной водоотдачи поверхностных источников, равной 97% (по числу бесперебойных лет) появляется дефицит гарантированной водоотдачи, равный 0,6 м³/с.

2. Установлено, что одним из компонентов водохозяйственного комплекса является обводнение рек и водотоков. Для Московского региона это обводнение подразумевает обводнение рек и водотоков в черте города. В водохозяйственном балансе Москвы обводнение на протяжении многих лет не менялась, является величиной постоянной и равной 41,9 м³/с.

3. В условиях маловодного периода, когда проявляется дефицит гарантированной водоотдачи источников водообеспечения, именно данный компонент – обводнение рек и водотоков – обычно подвергается сокращению. И, таким образом, в отличие от других составляющих водохозяйственного баланса становится замыкающим в расходной части водохозяйственного баланса. В современных условиях, исходя из охраны природы, очевидно, следует иметь в качестве резерва необходимый объем обводнительного попуска. Поэтому представляется чрезвычайно важным изучение и уточнение многих вопросов, относящихся к обводнительной составляющей водохозяйственного баланса и обводнению рек Московского региона в целом.

4. Анализ режима функционирования и особенностей составления водохозяйственного баланса водно-ресурсной подсистемы Московского региона показал, что управление водными ресурсами Москворецкой водной системы 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 Москва).

Глава 2. Попуски воды в речных и водно-ресурсных системах

В **Главе 2** представлены основные результаты по исследованию попусков воды в нижние бьефы Москворецких водохранилищ. Дана характеристика и классификация попусков воды в речных и водно-ресурсных системах применительно к Московскому региону. Описана методика формирования и назначения обводнительных попусков воды в настоящее время. Дано описание обводнения рек и водотоков в бассейне реки Москвы.

На большинстве крупных речных систем страны основная доля расходной части водохозяйственного баланса обычно приходится на осуществление комплексного попуска [59] воды, необходимого для обеспечения работы гидроэлектростанций и водного транспорта, для обводнения нижних бьефов гидроузлов, включая пойменные луга, сохранение требований качества речных вод и околотоводных экосистем, и, наконец, попуски к устьевому створу для поддержания водно-солевого режима замыкающих водоемов.

В отечественной науке многими авторами, такими как Грин Г.Б. [44], Лебедева И.П. [112], Венецианов Е.В. [28], Шабанов В.В. [163], Раткович Л.Д. [145], Дубинина В.Г. [54], Колесников Ю.М. [92] и некоторыми другими, были выполнены исследования по обоснованию и классификации различных видов попусков воды в речных руслах и в нижние бьефы гидроузлов. Однако часть этих исследований проведена достаточно давно и, как правило, не носит строгого системного подхода. Поэтому в данной главе проведена систематизация и подробная классификация всех видов попусков, которые осуществляются как в нижние бьефы гидроузлов, так и при обводнении рек и водоемов.

2.1. Классификация попусков воды в речных и водно-ресурсных системах

Проблемам создания классификации попусков в настоящее время посвящены работы Г.Х. Исмайлова [65; 68], Т.И. Ивановой [59] и других. Данное исследование выполнено применительно к Московскому региону.

Анализ существующей практики водопользования показывает, что все пуски можно классифицировать по назначению: хозяйственные, обводнительные, экологические, санитарные, режимные и природоохранные (рисунок 2.1.1.).



Рисунок 2.1.1. - Классификация пусков по назначению [68]

Остановимся на описании видов пусков подробнее. Гарантированные *хозяйственные пуски* включают в себя:

1) *энергетические пуски* проводят для получения электрической энергии при покрытии пика графика энергосистемы. Все остальные пуски также могут проходить через турбины гидроэлектростанции, а так как они имеют подчинённый характер, то их используют для выработки базисной электроэнергии;

2) *навигационные пуски* необходимы для поддержания гарантированных глубин в навигационный период. Иногда проводят единовременные пуски

для создания повышенных глубин на некотором участке нижнего бьефа для обеспечения прохождения каравана крупнотоннажных судов [163].

Режимные попуски, назначение которых:

- 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 среднегодового притока к устьевому створу для поддержания водно-солевого режима и предотвращения интрузии морских вод [22; 23; 122].

Экологические попуски – сбросы воды из водохранилищ для поддержания состояния водных объектов, соответствующего экологическим требованиям [82]. Данные попуски должны обеспечить необходимые условия для существования и воспроизводства рыбного стада и функционирования сложившихся на данном объекте водных и околотовных экосистем [113], которые способствуют повышению их биологической продуктивности. Сложность определения экологического попуска сильно осложняет реализацию большинства известных методик на практике.

Природоохранные попуски (комплексные экологические попуски) – минимальные попуски, которые обеспечивают сохранение естественного состояния водного объекта [54; 92]. Кроме попуска на санитарные цели природоохранный попуск должен обеспечить промывку водных объектов во время половодий и паводков, а также включать следующие компоненты:

- 1) попуск на затопление нерестилищ с созданием минимально необходимых глубин и скоростей течения на них, который должен обеспечивать длительность затопления, а в дальнейшем – плавный спад уровней (условия для нереста рыб);
- 2) попуск для затопления пойменных и дельтовых угодий, в частности заливных лугов. Требования к данному попуску не должны быть слишком жесткими, в том числе к их повторяемости, которая вероятнее всего находится

в зоне обеспеченностей 50-75%. Этот попуск необходим для пойменных и дельтовых озёр, которые используют водоплавающие птицы, в частности перелётные (для отдыха) [144; 161].

Санитарные попуски – минимальный расход воды, обеспечивающий разбавление поступающих в реку загрязнений до нормируемых концентраций, работу существующих водозаборных сооружений, предотвращение промерзания реки зимой и сохранение в период открытого русла скоростей течения не ниже 0,2-0,3 м/сек и, следовательно, обеспечивающий соблюдение нормативов качества воды и благоприятные условия водопользования (в соответствии с «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами»). На основании этих правил установили три вида нормативов качества воды в водоемах в зависимости от характера их использования: водоемы хозяйственно-питьевого использования; водоемы культурно-бытового использования; водоемы, используемые для рыбохозяйственных целей. Разным аспектам исследования санитарных и обводнительных попусков, в том числе в нижние бьефы гидроузлов посвящены, например, такие работы как [28; 54; 71; 92].

Санитарные попуски не нормированы. Иногда поддерживаются условия, согласно которым расходы воды в реке должны быть не ниже минимальных среднемесячных расходов в маловодном году с повторяемостью один раз в 20 лет. Однако упомянутое условие не рассматривается как основа к тому, чтобы обречь реку на постоянное существование с таким лимитом. Если на рассматриваемом участке реки отмечается значительный расход воды для водопользователей, расположенных ниже по течению, то вопрос о санитарных попусках отпадает.

Обводнительные попуски – специальные попуски, обеспечивающие сохранение качества воды в нижних бьефах гидроузлов, промывку русла водоёмов и заливание пойменных лугов, и поддержание повышенных уровней воды для нереста рыбы в низовьях рек. Например, такие обводнительные рыбохозяйственные попуски с холостыми сбросами воды через

нижневолжские гидроузлы как специальная мера позволяют максимально приблизиться к естественному стоку в низовье Волги [84; 85]. Подробная классификация обводнительных попусков представлена в работе [54]. В работах [44] и [112] рассмотрены специальные попуски в нижние бьефы и их природоохранное значение. Обводнительные попуски должны обеспечить гидродинамическое и экологическое равновесие водотока, сохраняя реку элементом ландшафта. При этом каждому уровню водности рек должно соответствовать определенное значение обводнительного попуска как природоохранного расхода воды, гарантирующего природную устойчивость реки во всех аспектах ее функционирования, в соответствии с реальными изменениями его в различные фазы гидрологического цикла [28; 118].

Очевидно, что одной из главных природоохранных функций реки является сохранение качества воды в ней, под которым понимается комплекс показателей, характеризующих степень пригодности воды для того или иного вида хозяйственного использования. Физические, химические и биологические (в том числе бактериологические) характеристики качества воды у водозаборов, расположенных на водоеме, формируются в результате различных процессов трансформации. Состав воды за время ее пребывания в водоеме связан с круговоротом вещества и энергией в экосистеме.

Место обводнительного попуска в системе комплексного попуска отражает схема, представленная на рисунке 2.1.2.

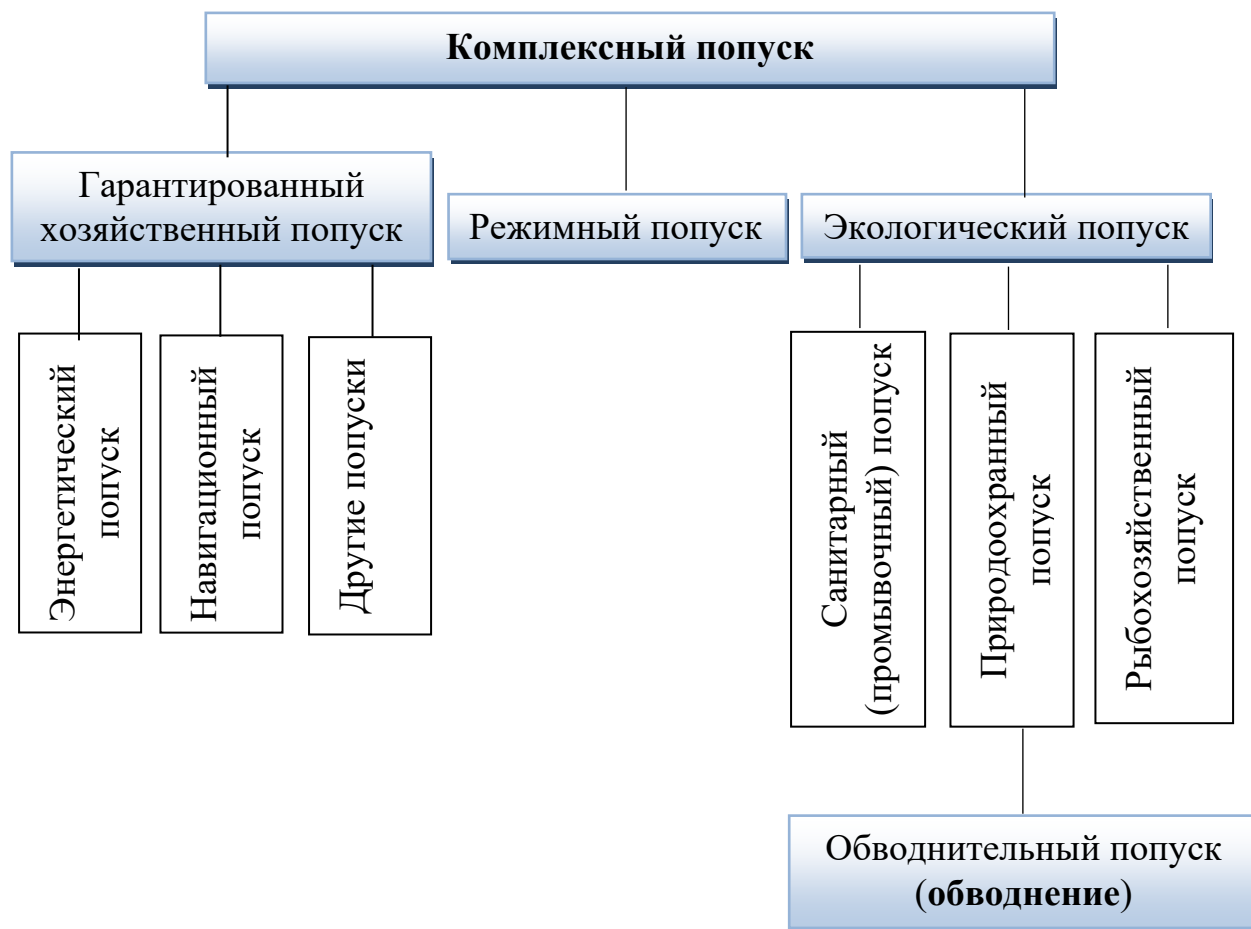


Рисунок 2.1.2. - Состав комплексного попуска

Таким образом, многие авторы определяют обводнительные попуски как элемент природоохранных попусков или же приравнивают их к санитарно-промывочным – элемент экологических попусков. В своем исследовании при описания режима обводнения реки Москвы мы используем формулировку искусственный или обводнительный попуск в зависимости от назначения – гидравлической промывки русла реки или обводнения рек и водотоков.

2.2. Методика формирования и назначения обводнительных попусков

В настоящее время каких-либо однозначных приемов установления попусков, кроме энергетических, судоходных и сельскохозяйственных, отвечающих требованиям охраны окружающей среды, нет. Сложившаяся практика назначения экологических, в том числе и природоохранных попусков воды по величине естественного минимума летне-осенней или

зимней межени не имеет научной основы и может приводить к искусственному занижению дефицитов водных ресурсов при расчетах водохозяйственных балансов на перспективу.

Как известно, в практике водохозяйственного проектирования используется подход к определению минимально допустимых (санитарных) расходов воды, принимаемых по минимальным расходам воды года 95%-ной обеспеченности. Экологически это не совсем обоснованно и уже привело к существенным изменениям состояния водных экосистем. Отсутствие нормативов надёжности для этого вида водопользования приводит к тому, что эти попуски являются замыкающими элементами водохозяйственного баланса территории или водоема, что не может считаться правильным.

Анализ режима работы водно-ресурсной системы (ВРС) показывает, что при возможном росте водопотребления в Московского регионе в перспективе, в том числе и попусков для обводнения рек, возможности существующих водоисточников при 97%-й обеспеченности гарантированной водоотдачи водохранилищ будут исчерпаны в ближайшей перспективе. В связи с этим был поставлен вопрос об уточнении и корректировке величины и обеспеченности гарантированной водоотдачи водохранилищ Московского региона. Такая ситуация может сложиться в том случае, если будут исчерпаны все другие резервы, связанные с экономией используемых водных ресурсов. Разным аспектам исследования санитарных и обводнительных попусков, в том числе в нижние бьефы гидроузлов в задачах водохозяйственной направленности, посвящены, например, такие работы, как [54; 78; 92]. В этих работах указывается, в частности, что в настоящее время отсутствует единое толкование характеристик стока, оставляемого ниже створов регулирования и изъятия водных ресурсов. Различными авторами понятие минимального стока ниже гидроузлов и водозаборов определяется по-разному: минимально допустимые, минимально необходимые расходы воды, рыбохозяйственные попуски, сельскохозяйственные попуски, навигационные попуски, санитарные попуски и др., то есть они имеют преимущественно целевое отраслевое

назначение. Подробная классификация обводнительных попусков представлена в работе [54]. В работах [44] и [112] рассмотрены специальные попуски в нижние бьефы и их природоохранное значение. Исследуются также различные виды попусков в нижние бьефы гидроузлов. В этих работах авторы пришли к выводу, что все попуски носят отраслевой характер и к сохранению естественных водных экосистем не имеют отношения. В работе [92] отмечается в частности, что в проектной практике допустимый минимум речного стока зачастую определяется произвольно и соответствует бытовому расходу 95%-ной обеспеченности, 50% и даже 30% расхода 95%-ной обеспеченности. Норматив допустимых обводнительных (или экологических) попусков устанавливается в виде постоянных величин. По-видимому, эти попуски должны быть разными и устанавливаться для каждого водного объекта в разных створах и в целом по бассейну с учетом водности (обеспеченности) года и потребностей в воде потребителей, для поддержания состояния его водной экосистемы.

В современных условиях, исходя из охраны природы, необходимо в реках резервировать необходимый объем обводнительного попуска. Величина этого попуска зависит от водности реки, типа реки, водной и околородной флоры и фауны. Чем выше обводнительный (экологический) попуск, особенно в период половодья, тем ниже регулирующая возможность создаваемых и эксплуатируемых водохранилищ. Поэтому одним из основных вопросов рационального регулирования стока водохранилищ и оптимального распределения водных ресурсов между участниками водохозяйственного комплекса (ВХК) является вопрос установления экологических (природоохранных), в том числе и санитарных, попусков в нижние бьефы гидроузлов [88].

В типовых правилах эксплуатации водохранилищ объем природоохранного попуска рекомендовано принимать в размере 75% от объема половодья года 95%-ной обеспеченности в течение половодного периода; в остальные месяцы объем попуска должен обеспечивать сохранение

минимального среднемесячного расхода 95%-ной обеспеченности. Ведомственный документ МПР России № Нм-53/163 (1997 г.) требует, чтобы для промывки и обводнения поймы в весенний период в нижний бьеф гидроузла поступило не менее 20% объема стока половодья года 75-95% обеспеченности [86; 87].

Санитарные попуски как элемент экологических должны обеспечивать разбавление поступающих в источники загрязнений от сточных, дренажных, ливневых, а также термальных вод. При минимально допустимых расходах воды не должно быть обратного тока реки под влиянием ветра, течений, а также должна гарантироваться такая проточность, которая исключает промерзание рек зимой (кроме тех, которые промерзают в естественных условиях). В соответствии с рекомендациями [115] санитарный попуск обычно назначается не меньше минимального среднемесячного расхода воды маловодного года обеспеченностью (по стоку) 95%. Такое нормирование некорректно, поскольку не учитывает наличия внутригодового распределения стока, что может вызвать разницу в установленных минимальных расходах.

Как показано в [161], правильнее назначать в период межени минимальные расходы воды, равные среднемесячным минимумам 95%-ной обеспеченности отдельно для летне-осенней и для зимней межени или равные среднесезонным расходам воды той же обеспеченности. В период половодья при этом следует предусматривать ежегодный попуск для промывки русла и на некоторых реках для обводнения поймы. Этот попуск должен даваться в течение 10 или 5 дней с расходом не ниже среднего декадного или (на малых реках) среднего пентадного максимального расхода воды обеспеченностью 50-75%. Один раз в 2-3 года расход весеннего попуска должен обеспечивать затопление поймы. Учитывая, что экосистема водного потока складывается в период половодья и межени, следует говорить о не нарушаемом экологически безопасном гидрографе как неприкосновенной части каждого водного объекта. Он должен быть динамичным и изменяться в зависимости от водности года.

Однако каких-либо научно-обоснованных методов и критериев установления подобных экологических гидрографов нет. Есть, например, предложения [160], которые сводятся к следующему: в год 25% обеспеченности экологический гидрограф стока приравнивается к естественному обеспеченностью 50%; при этом наблюдается максимум воспроизводства живой природы (луга, рыба); в год 50% обеспеченности экологический сток приравнивается к естественному гидрографу обеспеченностью 75%, а в год 75% обеспеченности – соответственно, 95% обеспеченности; в год 95% обеспеченности экологический сток описывается гидрографом естественного стока 99% обеспеченности [85].

2.3. Обводнение рек и водотоков в бассейне реки Москвы

Обводнение в зоне системы канала имени Москвы. Обводнение в бассейне реки Москвы призвано решить проблемы с водоснабжением и судоходством Московского региона. К 1931 году уровень загрязнения вод данного региона достиг критических значений. Оздоровление рек виделось возможным только при промывке, то есть обводнения русел рек. Поэтому обводнительные попуски в Московском регионе были установлены при проектировании канала имени Москвы. Обводнительный попуск в р. Москву был определен в Институте гигиены и санитарии им. Эрисмана в начале 1930-х годов исходя из «допускаемой нормы растворенного в воде кислорода 4 мг/л». Анализ гидрологической информации естественного стока р. Москвы в створе Рублевского гидроузла показал, что летние меженные расходы колеблются от 20 до 7 м³/с в зависимости от водности, что приводило к ухудшению качества воды. Для достижения определенных норм качества воды был необходим расход в р. Москве не ниже 35-36 м³/с [71]. Для достижения данного расхода необходимо было предусмотреть специальный попуск. Величина данного попуска складывалась из обязательного попуска Москворецкой воды ниже створа Рублево, подачи волжской воды через реку Сходню и попусков воды через р. Лихоборку и р. Серебрянку.

Для р. Москвы предусматривался обводнительный попуск из канала в размере 25 м³/с, с учетом санитарного попуска в нижний бьеф Рублевского гидроузла в размере 5 м³/с. Это означало, что минимальный расход в створе сооруженного в 1937г. Карамышевского гидроузла на р. Москве не будет ниже 30 м³/с (по сравнению с 7 м³/с в естественных условиях). Принцип разбавления, по-видимому, был применен и при назначении обводнительных расходов в реках Уча, Клязьма и Яуза (1 м³/с, 4 м³/с и 5,9 м³/с соответственно). В дальнейшем гарантированный обводнительный попуск из канала в р. Москву был увеличен до 31 м³/с [71; 82; 123].

В таблице 2.3.1. приводится перечень объектов и объемов обводнения рек в зоне канала им. Москвы.

Таблица 2.3.1. – Перечень объектов и объемов обводнения рек в зоне канала им. Москвы

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

Кроме рек и водотоков, представленных в таблице 2.3.1., по-видимому следует иметь в виду в качестве объектов обводнения также и некоторые другие малые реки и водотоки, такие как Неглинная, Химка, Таракановка, Пресня, Филька, Нищенка, Хапиловка и некоторые другие.

Обводнение в зоне бассейнов рек Москвы и Вазузы. Согласно «Правилам использования водных ресурсов водохранилищ Москворецкой водной системы» [130] попуски из этих водохранилищ должны обеспечивать

гарантированный расход $29 \text{ м}^3/\text{с}$ в створе Рублевской плотины. И только в чрезвычайных условиях допускается его снижение до $20 \text{ м}^3/\text{с}$.

Водный режим реки на этом участке определяется также переброской волжской воды по каналу им. Москвы через судоходные шлюзы № 7 и 8, по деривационному каналу из Химкинского водохранилища в р. Сходню в размере $27 \text{ м}^3/\text{с}$ и по Лихоборскому сбросу в р. Яузу.

По территории города протекает 118 рек и ручьев. Из них частично или полностью заключены в подземные коллекторы 67 рек и ручьев. Общая протяженность рек города составляет 515 км, густота речной сети – $0,36 \text{ км}/\text{км}^2$, длина водотоков с открытым руслом – 315 км. Наиболее крупные притоки р. Москвы на участке ниже Рублевского гидроузла: р. Яуза (с длиной в пределах города 29,5 км) с притоками Лихоборка (15,0 км) и Хапиловка (12,5 км); р. Сетунь (15,8 км), реки Пономарка и Нищенка (16,0 км). Перечень объектов и объемов обводнения в зоне бассейна рек Москва и Вазуза представлены в таблице 2.3.2.

Таблица 2.3.2. – Перечень объектов и объемов обводнения в зоне бассейна рек Москвы и Вазузы

Река	Куда впадает	Объем обводнения, $\text{м}^3/\text{с}$	Среднегодовой расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$	Длина реки, км
Москва	Ока	25,0 – 30,0	50,1 (Павшино)	146
Сходня	Москва	27,0	1,82	47,0
Яуза	Москва	5,9	0,56	48,0
Клязьма	Ока	4,0	–	245,0
Городня	Москва	–	0,76	16,0

Начиная с 1986 г. правилами управления водными ресурсами канала была предусмотрена возможность осуществления компенсационного режима подачи волжской воды в р. Москву с таким расчетом, чтобы минимальный расход в створе Карамышевского гидроузла был не ниже $35 \text{ м}^3/\text{с}$. Обводнительные расходы в реках Уча, Клязьма и Яуза во всех предыдущих водно-балансовых расчетах сохранялись на прежнем уровне. Из приведенных

цифр складывается суммарная величина расходной части водохозяйственного баланса Москвы на обводнение, равная 45,9 м³/с [71].

Кроме рек и водотоков, представленных в таблице, объектами обводнения могут быть также другие реки Москвы - Неглинная, Химка, Таракановка, Пресня, Филька, Нищенка, Пономарка и др.

В таблице 2.3.3. приводится перечень основных объектов и объемов обводнения рек Московского региона.

Таблица 2.3.3. – Перечень объектов и объемов обводнения рек и водотоков в зоне канала им. Москвы и рек Москва и Вазуза [85]

Река	Куда впадает	Среднегодовой расход воды, м ³ /с	Площадь водосбора, км ²	Объем обводнения, м ³ /с
Москва (Павшино)	Ока	50,1	7550	30,0
Сходня	Москва	1,82	248	27,0
Яуза	Москва	9,4	272	5,9
Клязьма (устье)	Ока	185	42500	4,0
Уча	Клязьма	-	320	1,0
Серебрянка	Хапиловка	0,028	30,0	1,0
Лихоборка	Яуза	0,5	58,0	3,0
Сетунь	Яуза	1,33	190	-
Хапиловка	Яуза	-	75,0	-
Чертановка	Городня	0,032	55, 0	-
Городня	Москва	0,76	100	-

Анализ и оценка рациональных объемов обводнения водных объектов Московского региона. Максимальная водоподача для «водоснабжения» водопроводной системы «Мосводоканала» достигла максимума в 1993-1995 гг. Начиная с 1996 г. и до настоящего времени водоподача на «водоснабжение» непрерывно снижалась. Особенно это касается водоподачи Северной и Восточной водозаборных станций, забирающих воду из водораздельного бьефа канала им. Москвы.

Объем годового стока в нижнем бьефе Рублевского гидроузла после водозабора Рублевской водозаборной станции составил в среднем 540 млн. м³, максимальный – 992 млн. м³, минимальный – 34 млн. м³. Минимальные среднемесячные расходы воды были меньше регламентированного значения 5 м³/с в 8 % месяцев. В крайне маловодном 1996 г. в течение 8 месяцев попуски в нижний бьеф Рублевского гидроузла не подавались вовсе.

Среднемесячные расходы воды, подаваемые из водораздельного бьефа на обводнение рек в период с мая по март, изменялись: в р. Москву – от 33,1 до 19,5 м³/с (средние), от 28,9 до 12,3 м³/с (минимальные), от 36,4 до 26,6 м³/с (максимальные); в р. Яузу – соответственно, средние от 5,0 до 0,7 м³/с, минимальные от 5,0 до 0 м³/с, максимальные от 5,0 до 1,0 м³/с. Средние минимальные и максимальные попуски в р. Клязьму изменялись от 4,0 до 1,0 м³/с. Попуски в реку Учу были постоянными круглогодично и равными 1,0 м³/с. При этом попуски в реки Москва и Яуза весной, обычно в апреле, снижались в зависимости от расходов воды в реке Москве вплоть до 0, в р. Клязьму весной снижались [82]. Расходы воды, подаваемые насосной станцией «Темпы» из Иваньковского водохранилища в канал им. Москвы, изменялись таким образом: среднегодовые – от 82 до 58 м³/с; среднемесячные – от 101 до 28 м³/с.

Максимальная годовая водоподача, равная 2,60 км³, имела место в 1996 г. После 1996 г. годовая водоподача насосной станцией «Темпы» непрерывно снижалась. Минимальная годовая водоподача, равная 1,83 км³, имела место в 2001 г. Сумма обводнительных попусков, поступающих в р. Москву, меньше, кроме крайне маловодного 1996-1997 г., расходов воды в нижних бьефах Карамышевского и, особенно, Перервинского гидроузлов. По ориентировочной оценке, в реку Москву кроме попусков поступает часть возвратных вод от водоснабжения Московского региона и фильтрационные воды из водораздельного бьефа. К створу Перервинского гидроузла в реку Москву поступает и собственный сток реки Яузы.

Обеспеченность расходов воды 33-35 м³/с в нижнем бьефе

Карамышевского гидроузла оценивается равной 90% по числу бесперебойных месяцев. Минимальный среднегодовой расход воды (1996/1997 г.) составил около 32 м³/с, среднемесячный – 28 м³/с. Минимальный среднегодовой расход воды в нижнем бьефе Перервинского гидроузла составил в 1996/1997 годах 47 м³/с, среднемесячный – 42 м³/с.

Следует отметить, что, начиная с 1996 г. попуски в р. Язуз сократились с 5,0 м³/с сначала до 2,5 м³/с, затем до 1,0 м³/с. В некоторые месяцы 2002 и 2003 годов попуски не осуществлялись вовсе. Также сократились с 1996 г. попуски в р. Клязьму с 4,0 м³/с сначала до 2,0 м³/с, а затем и до 1,0 м³/с. Причины такого сокращения в данной работе не рассматриваются.

Начиная с 2000 года суммарный средний обводнительный попуск был меньше расчетного значения на 6-8 м³/с за счет в основном уменьшения обводнительных попусков в реки Язуз и Клязьму. При этом средние расходы воды в нижнем бьефе Карамышевского гидроузла были близки к 35 м³/с. Расходы воды в нижнем бьефе Перервинского гидроузла всегда превышали 40 м³/с.

Максимальное расчетное снижение суммарной гарантированной вододачи 95%-й обеспеченности в экстремально маловодный год, аналогичный 1921/1922, может достигать 30-50% в течение одного-двух месяцев. Уменьшение или устранение суммарного дефицита водных ресурсов в крайне маловодные годы возможно за счет: уменьшения расходов воды на шлюзование через Ивановский гидроузел и, соответственно, санитарных попусков в его нижний бьеф; ввода новых источников водообеспечения Московского региона; форсированного использования подземных вод; уменьшения удельного водопотребления населения и промышленности и сокращения потерь воды в водораспределительной сети [82].

Для повышения надежности водообеспечения Московского региона в крайне маловодных условиях и удовлетворения дополнительной потребности в воде при росте городской застройки, восстановлении экономической активности промышленных предприятий и увеличении обводнительных

попусков может потребоваться ввод новых источников.

Строительство новых водохранилищ для увеличения гарантированных обводнительных попусков обеспеченностью 95% по рекам в современных условиях маловероятно. Увеличение гарантированной водоподачи 95%-й обеспеченности в канал имени Москвы за счет изменения режима регулирования стока в существующих Верхневолжском, Вышневолоцких и Иваньковском водохранилищах, при соответствующем экологическом и экономическом обосновании этого изменения, может быть незначительным.

Увеличение подачи воды из Иваньковского водохранилища по каналу им. Москвы для обводнения рек в современных условиях, т.е. без ввода новых источников водообеспечения, возможно в многоводные, средние и среднемаловодные годы за счет уменьшения, прежде всего, расходов воды в нижнем бьефе Иваньковского гидроузла. Расчетная обеспеченность среднего за V-III суммарного обводнительного попуска 45,0 м³/с; 56,7 м³/с и 66,7 м³/с, в том числе из канала им. Москвы 33,3 м³/с; 45 м³/с и 55,0 м³/с, оценивается равной:

- по числу бесперебойных лет 95; 91 и 85%;
- по числу бесперебойных декад 99; 98 и 96%.

Все действующие «Основные положения правил» и «Основные правила» для водохранилищ [128-133] – источников водообеспечения Московского региона устарели и нуждаются в пересмотре. В новой редакции «Основных правил» должны быть представлены такие направления исследования, как: обоснование размеров и обеспеченности гарантированной водоподачи из водохранилищ; разработка оптимальных диспетчерских правил использования водных ресурсов водохранилищ при их совместной работе; определение порядка ограничения водоподачи потребителям в крайне маловодные годы; рекомендации по компенсации дефицита водных ресурсов; определение уровня воды, до которого, по условиям сохранения качества воды и природоохранным требованиям, допустима сработка водохранилищ.

Таким образом, в данной работе обводнение рек Московского региона рассматривается как специальный попуск для гидротехнической промывки русел рек с целью обеспечения данной территории водой в соответствии с потребностями хозяйства.

Выводы

1. Анализ литературных источников показал, что в настоящее время не существует единой методики оценки допустимых объемов обводнительных попусков в водные объекты, в том числе в нижние бьефы водохранилищ гидроузлов, отсутствует также единообразие в терминах. Нет единого толкования характеристик стока, оставляемых ниже створов регулирования и изъятия водных ресурсов. Таким образом, многими авторами понятие обводнительных попусков в нижние бьефы гидроузлов и водозаборов определяется по-разному: минимально допустимые, минимально необходимые расходы воды, природоохранные попуски, санитарные попуски и др., т.е. они имеют преимущественно целевое отраслевое назначение. В данной диссертации мы используем формулировку обводнительный или искусственный (обводнительный) попуск в зависимости от назначения – гидравлической промывки русла рек или обводнения рек и водотоков.

2. Природоохранные требования со стороны нижнего бьефа водохранилищ гидроузлов обеспечиваются обводнительными попусками. Указанные попуски не могут приниматься постоянной величиной, тем более равными величине меженного стока 95 % обеспеченности. Более приемлемые по условиям охраны природы, рекомендуемые различными авторами, попуски, изменяющиеся по величине в периоды половодья и межени, не имеют надежного научного и эколого-экономического обоснования. Формирование того или иного варианта обводнительного попуска в нижний бьеф гидроузла должно обеспечить как экологические, природоохранные и санитарные условия водотока, так и качество воды, под которым понимается комплекс показателей, характеризующих степень пригодности воды для того или иного вида хозяйственного использования. Принятие того или иного

варианта формирования экологически безопасного гидрографа попусков осложняется отсутствием в настоящее время методологии и жестко нормированных требований к режиму водных объектов, критериев допустимости того или иного воздействия на природные комплексы, а также методов научно-обоснованной экономической оценки ущерба от недодачи воды отдельным участникам водохозяйственных комплексов.

3. Попуски из водохранилищ Москворецкой водной системы должны обеспечивать согласно основным положениям «Правил использования водных ресурсов водохранилищ Москворецкой водной системы» гарантированный расход $29 \text{ м}^3/\text{с}$ в створе Рублевской плотины и лишь в чрезвычайных условиях допускается его снижение до $20 \text{ м}^3/\text{с}$. Ниже Рублевского гидроузла участок реки представляет собой систему водохранилищ, образованных гидроузлами Карамышево, Перерва и Трудкоммуна. Водный режим реки на этом участке определяется также переброской волжской воды по каналу имени Москвы через судоходные шлюзы № 7 и 8, по деривационному каналу из Химкинского водохранилища в р. Сходню и по Лихоборскому сбросу в р. Яузу.

Глава 3. Разработка гидрологического обоснования формирования искусственного попуска в бассейне реки Москвы

В **Главе 3** представлено гидрологическое обоснование формирования искусственного попуска воды в верхней части бассейна реки Москвы. Выполнено исследование, направленное на изучение и анализ основных направлений функционирования одной из крупнейших водно-ресурсных систем России – Москворецкой водной системы, состоящей из четырех водохранилищ.

Сущность исследования, выполненного в рамках данной главы диссертации, состоит в том, чтобы в период прохождения по реке пика естественного весеннего половодья наложить на него искусственную волну сбросов воды из водохранилищ с таким расчетом, чтобы обеспечить в течение некоторого времени расход воды больший, чем $700 \text{ м}^3/\text{с}$.

Хорошо известно, что гидрометеорологические условия для каждого конкретного года складываются под воздействием большого числа различных факторов. Основные из них – значительные запасы воды в снеге и почве перед началом половодья и дружное таяние снега, глубина промерзания. Следовательно, принятие решения о гидравлической промывке основывается 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 информация; информация о водопотреблении и возможных его ограничениях; информация о потере стока на испарение, ледообразование, фильтрацию; информация о правилах регулирования стока; морфометрические характеристики чаши водохранилища; характеристики нижнего бьефа. представлена разработка гидрологического обоснования формирования искусственного попуска в верхней части бассейна реки Москвы. В данной главе выполнено исследование, направленное на изучение и анализ основных направлений функционирования одной из крупнейших

водно-ресурсных систем России – Москворецкой водной системы, расположенной в верхней части бассейна реки Москвы.

3.1. Информационное обеспечение имитационного эксперимента по формированию искусственного попуска

При разработке конкретных задач при управлении водно-ресурсной системой, обеспечивающей надёжное функционирование её водохранилищ, с помощью имитационных экспериментов на математической модели обычно используется информация, имеющаяся в распоряжении проектных организаций для проведения гидрологических расчетов. При выборе информации необходимо стремиться к тому, чтобы точность получаемых в процессе имитационных расчетов результатов была не ниже точности традиционных водохозяйственных расчетов [75].

В данной главе диссертации рассматривается участок реки Москвы длиной 248 км, от истока до створа Рублевского гидроузла (площадь водосбора 7550 км²), и притоки, впадающие на этом участке. Физико-гидрологическое описание бассейна реки Москвы дано в главе 1. Там же приводятся данные о створах действующих гидроузлов и гидрометрических пунктах, характеризующих приток к водохранилищам.

Информация, используемая в настоящей работе, была приведена в соответствие с целями и задачами проводимого исследования. Используемую исходную информацию условно можно разделить на следующие группы:

- гидрологическая информация;
- информация о водопотреблении и возможных его ограничениях;
- потери стока на испарение, ледообразование, фильтрацию;
- информация о правилах управления водными ресурсами;
- морфометрические характеристики чаши водохранилища.

К *гидрологической информации* относятся календарные ряды средне-интервальных расходов воды незарегулированного притока к заданным створам ВРС. Все материалы по стоку (до 1965 г. включительно) заимствованы из ранее выпущенных институтом «Гидропроект»

гидрологических разделов проектов Можайского, Рузского и Озернинского гидроузлов. С 1966 по 2010 г. дополнение стоковых рядов выполнено по данным наблюдений на притоках, опубликованных в «Гидрологических ежегодниках» [40; 159].

Ввиду того что река Москва и её притоки Руза, Озерна и Истра на рассматриваемом участке зарегулированы водохранилищами: Можайским (с 1960 г.), Рузским (с 1966 г.), Озернинском (с 1967 г.) и Истринским (с 1935 г.), сток с момента введения в строй гидроузлов до текущего года ретрансформирован, т.е. приведен к естественным условиям. Естественный режим рассматриваемых рек изменен в результате хозяйственной деятельности человека и, прежде всего, вследствие регулирования стока водохранилищами. В связи с этим для периодов с момента ввода в эксплуатацию водохранилищ он был ретрансформирован, то есть приведен к естественным условиям. В настоящей работе использованы материалы ретрансформации стока по методике Гидропроекта [40].

В нашем распоряжении имелись следующие ряды гидрологических данных:

1. р. Москва, створ Можайского гидроузла;
2. р. Истра, створ Истринского гидроузла;
3. р. Руза, створ Рузского гидроузла;
4. р. Озерна, створ Озернинского гидроузла;
5. р. Москва, боковая приточность между створами 4-х вышеуказанных гидроузлов Москворецкой водной системы и Рублевским гидроузлом;
6. р. Москва, створ Рублевского гидроузла [142; 159].

Детализация гидрологической информации соответствует требованиям, предъявляемым к расчетам регулирования стока: год разделен на 20 интервалов, длительность которых составляет декаду для периода март-июнь и месяц для периода июль-февраль. Начало водохозяйственного года – первая декада марта [142].

В створе Можайского гидроузла естественные расходы получены по сумме расходов р. Москвы во входном створе у д. Барсуки, р. Лусянки у д. Черники и р. Колочь у д. Бородино. Общая площадь, охваченная данными наблюдениями, составляет 90% от водосборной площади Можайского водохранилища. С остальной части водосборной площади сток определен по модулю суммарного стока указанных рек [40].

В створах Рузского, Озернинского и Истринского гидроузлов восстановление естественного стока произведено по формуле (2).

$$Q_{\text{ест.}} = Q_{\text{зар.}} \pm \Delta Q, \quad (2)$$

где: $Q_{\text{зар.}}$ – зарегулированный сток; $\Delta Q = \Delta W / \Delta t$ – сработка или наполнение водохранилища, определенные по осредненному уровню и кривой объема водохранилища.

В створе Рублевского гидроузла естественный приток получен суммированием расходов р. Москвы у г. Звенигорода и р. Истры у с. Павловская Слобода, которые, в свою очередь, приводились к естественным условиям путем введения суммарных поправок ΔQ , принятых для Можайского, Рузского, Озернинского и Истринского водохранилищ [40].

Боковая приточность, формирующаяся с частных водозаборов р. Москвы и её притоков от створов гидроузлов до Рублевской плотины, получена по разности расхода р. Москвы у Рублево и суммы расходов нижеперечисленных гидроузлов.

Таким образом, исходная информация по гидрологии [159] представляет собой ряды стока за период с 1914 по 2010 годы (97 лет) с разбивкой внутри года за период половодья (март-июнь) и по месячным интервалам за период межени (июль-февраль). Среднемесячные, среднедекадные (за период III-VI) и среднегодовые расходы воды р. Москвы и её притоков в створах Можайского, Рузского, Озернинского и Истринского гидроузлов, а также боковой приточности от гидроузлов до створа Рублевской плотины за расчетный период с 1918/1919 по 2009/2010 гг. приведены в приложении 1.

В диссертации был проведен анализ динамики среднего многолетнего объема притока воды в водохранилища Москворецкой водной системы за 97 лет. Были определены маловодные и многоводные годы. На рисунке 3.1.1. представлена диаграмма, показывающая изменение среднего многолетнего объема притока воды в Можайское водохранилище за период с 1914 г по 2010 годы. Как следует из рисунка 3.1.1., максимальные значения объема притока воды отмечаются в 1933г. (535,49 млн. м³), 1998 г. (589,30 млн. м³) и в 2009 г. (540,64 млн. м³). Минимальные значения – в 1921 г. (126,06 млн. м³), 1937 г. (174,74 млн. м³) и в 1964 г. (172,87 млн. м³).

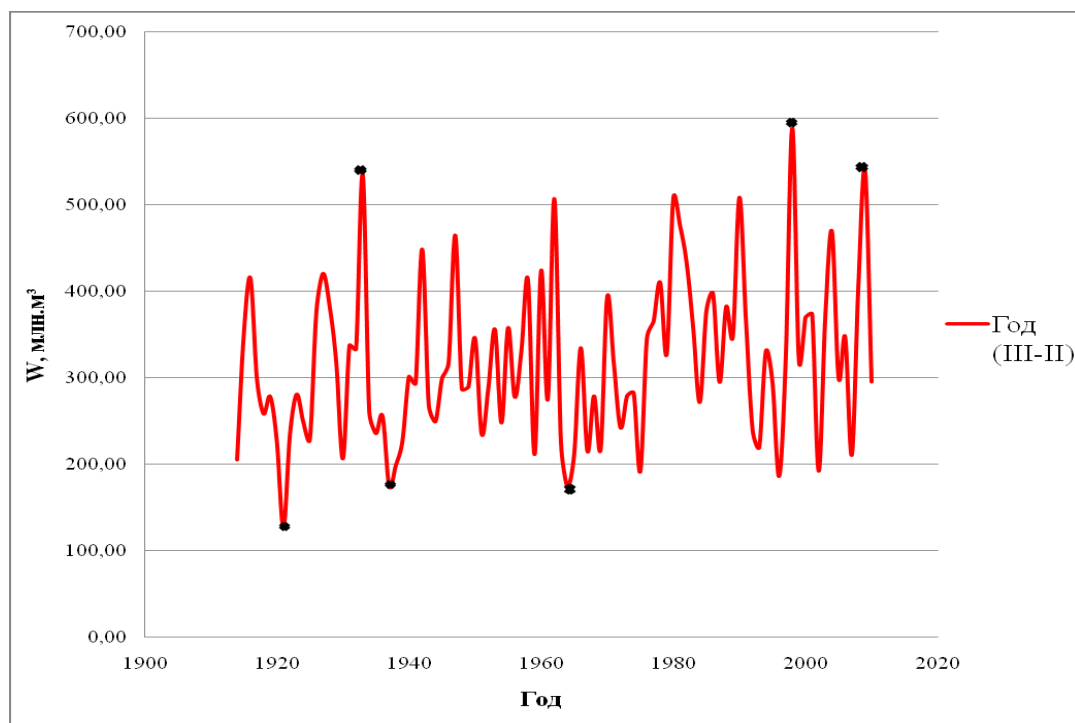


Рисунок 3.1.1. – Средние годовые значения стока р. Москвы в створе Можайского гидроузла, млн. м³.

На рисунке 3.1.2. представлена диаграмма, показывающая изменение среднего многолетнего объема притока воды в Истринское водохранилище за период времени с 1914 по 2010 гг. Из рисунка 3.1.2. видно, что максимальный уровень объема притока воды в водохранилище был достигнут в 1976 г. (321,48 млн. м³), в 1980 г. (331,29 млн. м³) и в 1990 г. (363,16 млн. м³). Минимальные отметки соответствуют 1921 г. (83,19 млн. м³), 1975 г. (131,05 млн. м³) и 1996 г. (121,16 млн. м³).

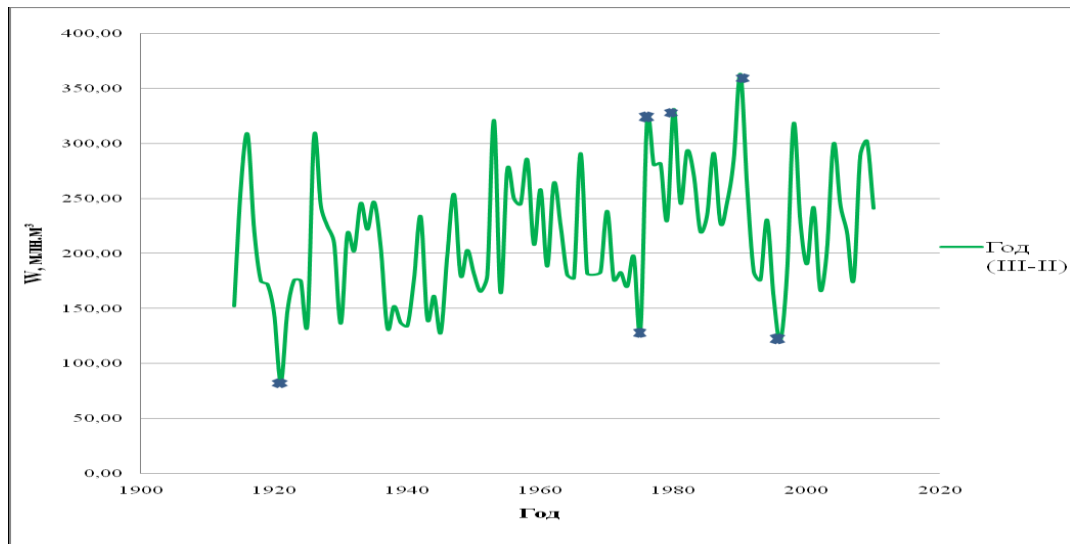


Рисунок 3.1.2. – Средние годовые значения стока р. Истра в створе Истринского гидроузла, млн. м³.

На рисунке 3.1.3. представлена диаграмма, показывающая изменение среднего многолетнего объема притока воды в Рузское водохранилище за период времени с 1914 по 2003 годы.

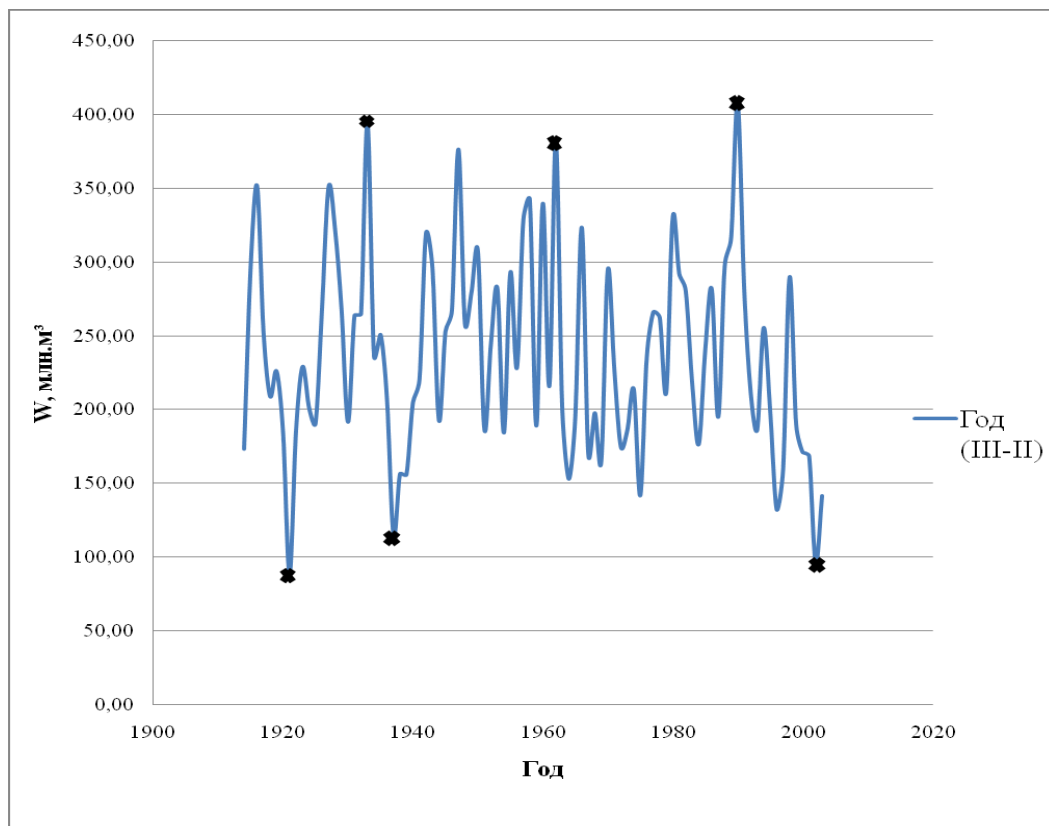


Рисунок 3.1.3. – Средние годовые значения стока р. Руза в створе Рузского гидроузла, млн. м³

За рассматриваемый период наблюдений максимальные значения объема притока воды в Рузское водохранилище были зарегистрированы в 1933 г. (394,08 млн. м³), в 1962 г. (381,15 млн. м³) и в 1990 г. (407,98 млн. м³). Минимальные значения – в 1921 г. (88,85 млн. м³), в 1937 г. (115,26 млн. м³) и в 2002 г. (96,40 млн. м³).

На рисунке 3.1.4. показаны значения среднего многолетнего объема притока воды в Озернинское водохранилище за период времени с 1914 по 2010 гг. Из рисунка 3.1.4. следует, что 1947 г. (262,54 млн. м³), 1985 г. (256,15 млн. м³) и 1991 г. (293,73 млн. м³) – годы с максимальным уровнем объема притока воды. Минимальный уровень характерен для 1921 г. (88,85 млн. м³), 1964 г. (92,41 млн. м³) и 1975 (101,74 млн. м³).

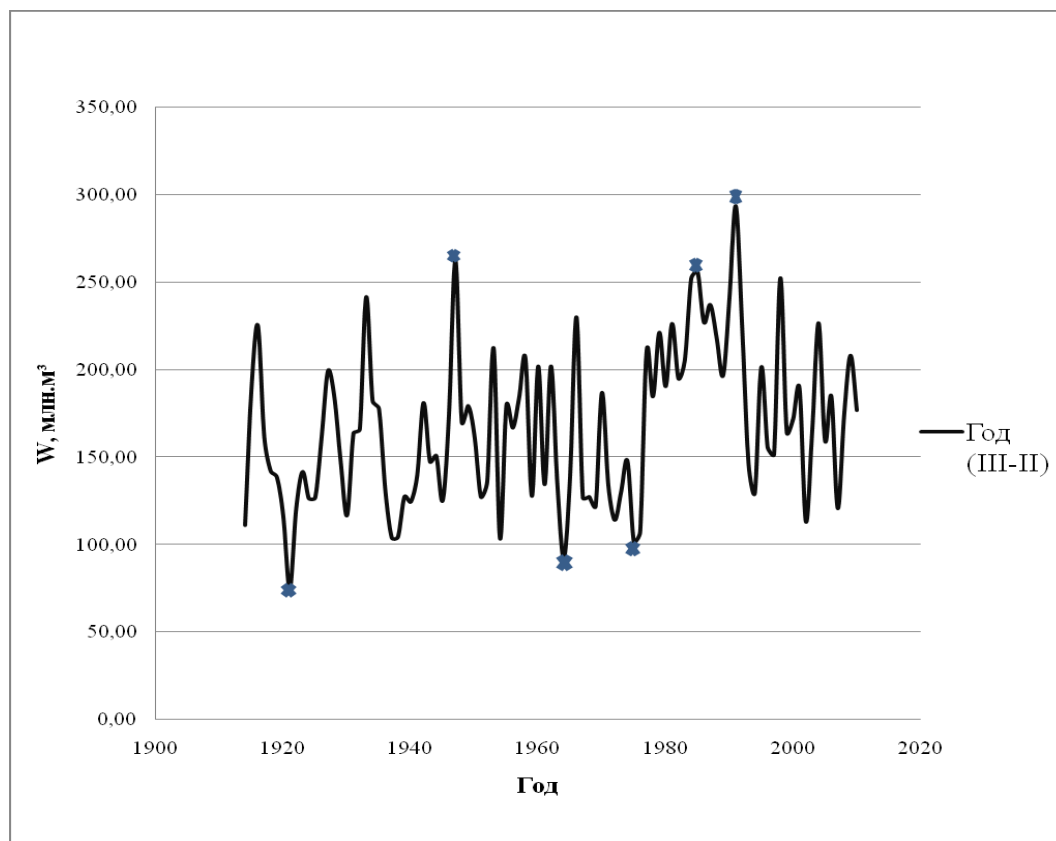


Рисунок 3.1.4. – Средние годовые значения стока р. Озерна в створе Озернинского гидроузла, млн. м³

Диаграмма, показывающая изменение среднего многолетнего объема притока воды в Рублевское водохранилище за период времени с 1914 по 2003 годы представлена на рисунке 3.1.5. Согласно данным, представленным на

диаграмме, максимальные уровни объема притока воды соответствуют 1916 г. (1000,78 млн. м³), 1927 г. (870,77 млн. м³) и 1933 г. (977,02 млн. м³). Годы с минимальными значениями – 1964 г. (265,30 млн. м³), 1992 г. (265,43 млн. м³) и 1996 г. (201,13 млн. м³).

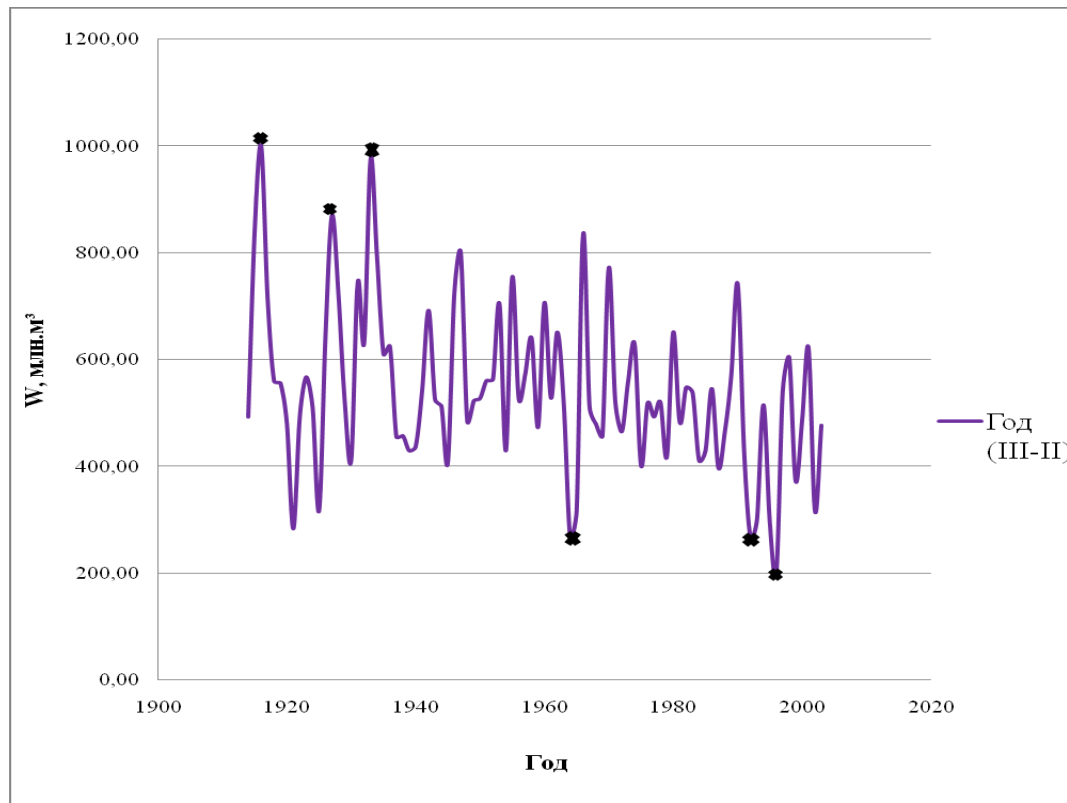


Рисунок 3.1.5. – Средние годовые значения стока р. Москвы в створе Рублевского гидроузла (боковой приток), млн. м³

Информация о заявках на воду для водопользователей системы задана величинами годовой и месячной потребности в воде. Такая информация задается в данном исследовании вариантно.

Потери стока на дополнительное испарение с поверхности водохранилищ системы, ледообразование в зимний период в виде льда, оседающего на бортах чаши водохранилища, фильтрация в борта и тело плотины гидроузла задаются в табличной форме. Потери на испарение из водохранилищ вычисляются путем умножения нормы испарения с единицы площади на среднюю за интервал площадь поверхности водохранилища.

Информация о правилах управления водными ресурсами задается в виде ограничений в соответствии с задачей, решаемой с помощью модели. К

морфометрическим характеристикам чаши водохранилища относятся зависимости $W=f(z)$ и $F=k(z)$, где z – отметка уровня водохранилища, W и F – соответственно объем и площадь зеркала водохранилища. В настоящее время при задании этих данных в качестве исходной информации используются интерполяционные таблицы, позволяющие аппроксимировать морфометрические характеристики практически с любой заданной точностью [142].

3.2. Имитационная модель функционирования водно-ресурсной системы в бассейне реки Москвы

Для совместного учета большого количества исходных данных необходимо применение методов, позволяющих находить наиболее объективные значения. Помощь в этом оказывают различные модели, позволяющие системно организовать имеющуюся информацию [139]. Для анализа функционирования системы водоснабжения Москвы в условиях дефицита водных ресурсов, обусловленного гидрологическими факторами, была адаптирована имитационная модель Simyld [23].

Математическая модель Simyld (3,4) является имитационной моделью в том смысле, что предназначена для анализа функционирования водохозяйственных или водно-ресурсных систем с несколькими водохранилищами в течение длительных периодов времени. Результаты имитации поведения водно-ресурсной системы могут служить информацией для лиц, принимающих решения в отношении параметров и режимов работы ВРС, а также могут быть использованы при составлении водохозяйственных балансов [25; 26; 77; 127; 135].

Основные принципы модели Simyld состоят в следующем. Принято, что функционирование физической ВРС в части движения и перераспределения воды в ней может быть представлено как циркуляция потока в сети. При этом реальные элементы ВРС представляются как элементы графа (сети) в виде узлов и дуг.

Узел есть точка соединения или разветвления внутри сети, то есть соединения каналов, речных русел и так далее. Водохранилища представляются как узлы, способные запастись водой в определенных пределах. Водопотребители, а также вода, поступающая в систему естественным образом в виде притока или подаваемая искусственно, локализуются в узлах.

Движение воды в системе осуществляется по дугам (связям), аналогам каналов, русел, закрытых трубопроводов и т.п. с ограниченной сверху и снизу пропускной способностью.

Для того чтобы удовлетворить необходимые условия применения теории сетей к линейно-узловой схеме, отображающей физическую систему, должны быть присоединены следующие узлы: узел начальных запасов воды и приточности; узел водопотребления; узел сбросов; узел конечных запасов; узел, обеспечивающий баланс масс.

Соединения физических узлов с дополнительными осуществляется следующими дугами:

- дуги начального запаса;
- дуги желаемого запаса воды в водохранилище на конец интервала (правила управления);
- дуги конечного запаса, дополняющие желаемые запасы до максимальной емкости;
- дуги водопотребления;
- дуги сбросов излишков воды из системы.

Потоки в дугах начальных запасов для каждого интервала времени равны запасу воды в водохранилище на начало интервала плюс приток за текущий интервал. Максимальная и минимальная пропускная способность в этих дугах равны между собой.

Потоки в дугах желаемых запасов воды в водохранилище на конец интервала определяются правилами управления водохранилищами. Верхнее ограничение потока в этой дуге характеризует уровень воды в водохранилище (аналог диспетчерской отметки) на данный интервал. Это ограничение

задается пользователем модели на основании изучения закономерностей изменения притока к системе и роли в ней каждого водохранилища. Нижнее ограничение потока характеризует минимально возможный запас воды в водохранилище и соответствует обычно мертвому объему.

Поток в дугах водопотребления представляется объемом воды, необходимым для удовлетворения заданных потребностей. При этом верхнее ограничение соответствует полной норме водопотребления, а нижнее в общем случае может быть равно нулю. Если в системе недостаточно воды, то поток в дугах соответствует тому фактическому объему воды, который может быть получен для удовлетворения потребностей [71].

Поток в дугах, характеризующих сброс излишков воды из системы, определяется объемом воды, который не может быть ни аккумулирован, ни использован потребителями. Сброс возможен только в том случае, когда запас воды в водохранилище равен верхнему пределу, а поток в дугах, исходящих из этого водохранилища, – максимальный. Верхнее ограничение в дугах, характеризующих сброс, принимается равным увеличенному в несколько раз запасу воды во всей системе. Нижнее ограничение равно нулю. Общее число дуг (N) в сети определяется уравнением по формуле (3).

$$N = N_i + 3N_n + N_d + N_s + 4, \quad (3)$$

где N_i – число рек и каналов; N_n – число водохранилищ и не аккумулирующих соединений; N_d – число дуг потребления; N_s – число дуг сбросов воды; 4 – балансовая группа дуг, а именно: 1 – для всех дуг начальных запасов, 2 – для всех дуг конечных и желаемых запасов, 3 – для всех дуг потребления, 4 – для всех дуг сбросов [77].

При решении сетевой задачи каждой дуге приписывается определенная «цена» перемещения единицы потока. Цены для соединений в физической системе – положительные числа, причем в зависимости от представлений пользователя о стоимости перетока по данной дуге они могут изменяться. Цены для дуг сбросов воды из системы – большие положительные числа. Для дуг водопользователей и желаемых запасов воды в водохранилищах на конец

каждого расчетного интервала пользователем должны быть заданы приоритеты. В модели эти приоритеты преобразовываются в цены перемещения потока – отрицательные величины (аналог выгоды).

Целью управления в сетевой трактовке является удовлетворение запросов пользователей и поддержание желаемых запасов воды в водохранилищах при минимизации стоимости перемещения потоков в сети.

Математически задача минимизации стоимости перемещения потока для интервала времени Δt представлена в формуле (4).

$$\sum q_{ij} - \sum q_{ji} = 0 \quad \text{при } j=i, \dots, N, \quad (4)$$

$$l_{ij} \leq q_{ij} \leq v_{ij} \quad \text{при всех } i \text{ и } j$$

$$\min z = \sum q_{ij} c_{ij},$$

где q_{ij} – поток из узла i к узлу j за время Δt ; c_{ij} – стоимость перемещения единицы потока из узла i к узлу j за то же время Δt ; l_{ij} , v_{ij} – нижний и верхний предел величины потока в дуге, связывающий узел i с узлом j ; z – целевая функция [25; 26].

Как показано выше, оптимальное распределение воды в модели осуществляется таким образом, чтобы стоимость перемещения потока в системе была минимальной. Процедура оптимизации осуществляется согласно известному алгоритму «out-of-kilter», который работает с линейными целевыми функциями и ограничениями, то есть по существу решается задача линейного программирования.

Особенности принятой формализации схемы ВРС, обуславливающие возможности алгоритмизации процесса управления, т.е. регулирования стока водохранилищами, состоят в следующем. Основой описания правил управления в модели является понятие «гидрологического состояния» отдельных водохранилищ или системы в целом, определяемого для каждого интервала времени внутри года. При этом под «гидрологическим состоянием» понимается суммарный запас воды, определяемый как сумма наличного количества воды в водохранилищах системы и притока к ним.

Введение понятия гидрологического состояния позволяет иметь три закона управления водно-ресурсной системой, соответствующих трем гидрологическим состояниям – влажному, среднему, сухому. В соответствии с каждым из этих состояний назначается набор законов управления, выражаемый системой приоритетов удовлетворения требований потребителей и поддержания запасов воды в водохранилищах. Последнее особенно существенно, поскольку определяет тот факт, что в принятом алгоритме формализации схемы ВРС водохранилище выступает как потребитель с соответствующими приоритетами удовлетворения своих запросов. При этом в зависимости от гидрологического состояния в начале каждого интервала Δt задается отметка водохранилища, которую с определенным приоритетом надо достичь в конце интервала, что по существу является аналогом диспетчерских графиков в принятом в водохозяйственной практике смысле.

В целом работа с моделью может быть разделена на следующие этапы:

- выполняется содержательное (инженерное) описание схемы ВРС и исследуемых задач;
- задается формальное параметрическое описание отдельных элементов сети и протекающих в ней процессов;
- на основе анализа исходной гидрологической и водохозяйственной информации для каждого интервала времени Δt определяется гидрологическое состояние отдельных водохранилищ и системы в целом;
- в зависимости от гидрологического состояния устанавливается система приоритетов удовлетворения требований различных водопользователей, в том числе и водохранилищ;
- с помощью оптимизационной процедуры определяются потоки в сети, необходимые для удовлетворения требований пользователей и обеспечения желаемых запасов воды в водохранилищах, при выполнении условия минимизации стоимости перемещения воды;
- состояние системы на конец данного интервала принимается за начальное для следующего интервала времени.

Анализ использования математической модели Simyld для решения целого ряда задач разными исследователями [14; 25; 127; 135] позволил сделать вывод о том, что рассмотренная математическая модель обладает достаточными возможностями для управления режимом работы водно-ресурсной системы в условиях дефицита водных ресурсов.

3.3. Проведение имитационного эксперимента по формированию искусственного попуска

В данном разделе представлена разработка гидрологического обоснования формирования искусственного обводнительного попуска в верхней части бассейна реки Москвы для цели улучшения экологического состояния. Разным аспектам данной задачи посвятили свои исследования Н.И. Алексеевский [120], В.В. Беликов [12], В.А. Жук [4], С.А. Иваненко [12], Г.Х. Исмайылов [67], Ю.М. Колесников [92], М.Г. Рябышев [152], К.К. Эдельштейн [4, 120] и другие.

Известно, что к весне водохранилища срабатывают свои запасы, их уровень понижается. За счет чего образуются объемам водохранилища. Ежегодно перед половодьем проводится снегомерная съемка в бассейне рек, по данным которой составляется прогноз притока воды в водохранилище. Если ожидаемый приток больше свободного объема, то предстоит сбрасывать излишек воды при заполнении водохранилища.

Заранее предусмотренный и рассчитанный сброс воды из водохранилищ можно использовать для промывки русла реки. Главное условие успеха промывки – суммирование пика половодья с водосборной площади, сток с которой не зарегулирован, с расходами сброса воды из водохранилищ. При этом важны возможно достоверные оценки развития половодья во времени и скорости добегания воды от водохранилищ до замыкающих створов [34].

Известно, что половодный сток реки – самый действенный механизм природного самоочищения русла. В этот период времени речной поток характеризуется большими скоростями и выходит из берегов, вызывая смыв

донных отложений (ДО) и распределение их на пойме. С постройкой в верховьях р. Москвы четырех 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 всей длине р. Москвы привело, как и можно было ожидать, к снижению самоочищающейся способности реки и образованию благоприятных условий для накопления загрязненных донных отложений. В настоящее время актуальными являются исследования, посвященные изучению современного геоэкологического состояния р. Москвы [172], Москворецких водохранилищ [30; 37; 50; 105; 165; 168], и экологических проблем ресурсов Московской области [31; 97; 109]. Рядом авторов выполнены работы о формировании и составе донных отложений р. Москвы [93; 110; 111].

Летне-осенние паводки в бассейне верховьев реки Москвы обуславливаются обложными и затяжными дождями. Случалось, что летние расходы реки превосходили расходы половодий. Так было, например, в 1930 и в 1933 годах, когда максимум расхода у Павшина достигал $815 \text{ м}^3/\text{с}$. Высокий летний сток выдался в дождливый период 1980 году. Из заполненных водохранилищ за август пришлось сбросить излишний объем воды 272 млн. м^3 , что составляет 35% суммарного объема водохранилищ. Если бы сток не аккумулировался водохранилищами, на реке прошел бы достаточно высокий летний паводок [34; 95; 151].

Сущность исследования, выполненного в рамках данной главы диссертации, состоит в том, чтобы в период прохождения по реке пика естественного весеннего половодья наложить на него искусственную волну сбросов воды из водохранилищ с таким расчетом, чтобы обеспечить в течение некоторого времени расход воды больший, чем $700 \text{ м}^3/\text{с}$. Как отмечается в исследованиях разных авторов [34; 92], только при таких значениях расхода воды можно полностью открыть Карамышевскую и Перервинскую плотины в

г. Москве и не опустить уровень воды в районе городских промышленных водозаборов до критических отметок, при которых возникает угроза нарушения работы водозаборов и остановки производственных объектов.

Например, весной 1970 года сложились благоприятные условия для промывки русла реки Москвы. На волну половодья с незарегулированной площади с расходом $500\text{--}550\text{ м}^3/\text{с}$ удалось наложить волну сбросов из водохранилищ с расходами $250\text{--}400\text{ м}^3/\text{с}$. Скорость течения в черте города возросла с $0,05\text{--}0,1\text{ м/с}$ в межень до $1\text{--}1,5\text{ м/с}$ при промывке [34].

Как это следует из разных источников [34; 92] р. Москва промывалась восемь раз (в 1947, 1951, 1960, 1962, 1970, 1981, 1982, 1998 годах). Эффективными были промывки 1970, 1981 и 1982 годах, особенно последняя, когда при значительном расходе реки была полностью раскрыта Перервинская плотина, поддерживающая подпор воды в городском участке реки. Создание в реке искусственного половодья достаточно сложно в отношении как предварительных расчетных прогнозов, так и оперативного руководства процессом промывки (организация дополнительных водомерных постов, определение затоплений местности с вертолетов, изучение объемов выноса загрязненного ила и нефтепродуктов и т.п.).

В дальнейшем благоприятная обстановка для проведения гидравлической промывки русла р. Москвы после предыдущей (в 1982 году) была реализована, в частности, весной 1998 года. Было принято решение об использовании последней в целях улучшения экологического состояния р. Москвы. Для этой цели 20–24 апреля 1998 года был организован пропуск весеннего половодья с полным раскрытием Рублевской, Карамышевской и Перервинской плотин. Промывка проводилась МГУП «Мосводоканал» и ГП «Канал им. Москвы» при взаимодействии с Гидрометцентром РФ и рядом заинтересованных организаций [12; 92].

Хорошо известно, что гидрометеорологические условия для каждого конкретного года складываются под воздействием большого числа различных факторов. Одни из основных условий – значительные запасы воды в снеге и

почве перед началом половодья и дружное таяние снега. Следовательно, принятие решения о гидравлической промывке опирается, прежде всего, на основе долгосрочного прогноза притока воды к водохранилищам и объема естественного весеннего стока. Эти положения относятся, прежде всего, к условиям реального эксперимента. Нами для решения данной задачи применен метод имитационного моделирования с помощью математической модели, основные положения которой представлены выше.

Как показывает практика, искусственная промывка русла реки Москвы является очень ответственным делом. Неслучайно авторы и организаторы такой искусственной промывки провели эксперимент в естественных условиях с использованием ограниченного расхода воды в течение только 2-3 дней. Соответственно, результат такой промывки оказался не совсем значимым. Для более наглядной картины рассматриваемого процесса эксперимент следует, по-видимому, значительно расширить как по величине диапазона подаваемого расхода воды, так и по продолжительности его проведения.

Кроме того, следует иметь в виду, что увеличение гарантированной водоотдачи из водохранилищ, а увеличенные попуски воды и есть повышение гарантированной водоотдачи, могут существенно повлиять на расчетную обеспеченность такой водоотдачи Москворецких водохранилищ. Это и есть те сложности в управлении, о которых пишут авторы искусственной промывки, выполненной в естественных условиях в разные годы в бассейне реки Москвы.

Известно, что расчетная обеспеченность гарантированной водоотдачи четырех водохранилищ Москворецкой водной системы (МВС) составляет 29-32 м³/с для расчетной обеспеченности 95–97% (по числу бесперебойных лет) [130]. Поэтому при изменении величины гарантированной водоотдачи в результате эксперимента, бесспорно, будет нарушена и расчетная обеспеченность такой водоотдачи. Следовательно, представляется очень важным исследовать и проанализировать весь диапазон возможных значений соотношения величины и расчетной обеспеченности гарантированной

водоотдачи водохранилищ Москворецкой водной системы при проведении эксперимента по искусственной промывке русла р. Москвы.

У разных авторов [12; 34; 152] встречались разные формулировки при описания данного процесса такие как – санитарная гидравлическая промывка, искусственная промывка, искусственное половодье. Все они связаны с описанием специального сброса воды из водохранилищ, т.е. попуском в нижний бьеф. Поэтому в диссертации при описании имитационного эксперимента мы остановились на формулировке *искусственный обводнительный попуск*, имея ввиду организованный пропуск весеннего половодья.

В данной главе диссертации представлены результаты имитационного эксперимента, направленного на определение соотношения величины гарантированной водоотдачи из водохранилищ Москворецкой водной системы, выявления дефицита гарантированной водоотдачи с увеличением значений искусственного попуска и различной длительности такого попуска. При исследовании мы не учитывали риски возможного затопления ряда коттеджных поселков, а также объектов недвижимости, построенных в пойме рек в черте города Москвы с нарушениями современного природоохранного законодательства.

Схема Москворецкой водной системы представлена на рисунке 3.3.1.

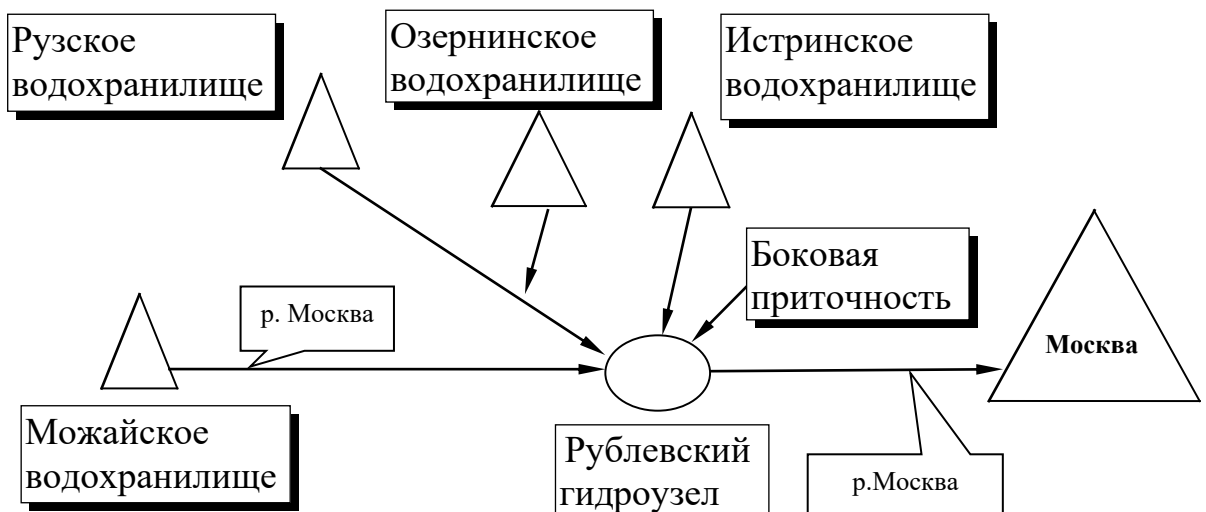


Рисунок 3.3.1. – Линейно-узловая схема Москворецкой водной системы

Для анализа значений искусственного обводнительного попуска в диапазоне от 600 до 1000 м³/с в течение одной декады, двух декад и трех декад апреля была использована имитационная модель Simyld. Нами были рассмотрены среднегодовые расходы воды р. Москвы и её притоков в створах Можайского, Рузского, Озернинского и Истринского гидроузлов, а также боковой приточности от гидроузлов до створа Рублевской плотины за расчетный период с 1918/1919 по 2009/2010 годы.

Общий вид уравнения водного баланса при решении задачи формирования искусственного обводнительного попуска представлен в формуле (5).

$$B = W_{\text{м}} \pm \Delta V_{\text{м}} + W_{\text{ис}} \pm \Delta V_{\text{ис}} + W_{\text{р}} \pm \Delta V_{\text{р}} + W_{\text{оз}} \pm \Delta V_{\text{оз}} + W_{\text{б}}, \quad (5)$$

где:

$W_{\text{м}}$ – приток воды к Можайскому водохранилищу,

$W_{\text{ис}}$ – приток воды к Истринскому водохранилищу,

$W_{\text{р}}$ – приток воды к Рузскому водохранилищу,

$W_{\text{оз}}$ – приток воды к Озернинскому водохранилищу,

$W_{\text{б}}$ – боковой приток к Рублевскому водозабору,

$\Delta V_{\text{м}}$ – изменение объема воды в Можайском водохранилище,

$\Delta V_{\text{ис}}$ – изменение объема воды в Истринском водохранилище,

$\Delta V_{\text{р}}$ – изменение объема воды в Рузском водохранилище,

$\Delta V_{\text{оз}}$ – изменение объема воды в Озернинском водохранилище,

B – результирующая составляющая (избыток или дефицит водных ресурсов). Знак (+) в уравнении соответствует сработке водохранилища, знак (–) – наполнению водохранилища.

В таблице 3.3.1. представлены результаты имитационного эксперимента по определению зависимости дефицита гарантированной водоотдачи Москворецкой водной системы при разной величине искусственного обводнительного попуска воды в створе Рублевского гидроузла на р. Москве и переменном числе декад, при которых происходит такая подача воды. Для анализа был выбран маловодный год 95% обеспеченности, который

соответствует 1920/1921 гидрологическому году из многолетней выборки исходных данных в бассейне р. Москвы. Этот год по своим гидрологическим показателям близок к 1998/1999 водохозяйственному году, в котором проводился эксперимент в натурных условиях.

Таблица 3.3.1. – Зависимость дефицита гарантированной водоотдачи МВС при разном расходе искусственного попуска и переменном числе декад (апрель 1920/1921 г.)

Значение искусственного попуска воды (м ³ /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 материалов таблицы 3.3.1., суммарный дефицит гарантированной водоотдачи водохранилищ МВС при формировании искусственного попуска воды существенно отличается в зависимости от длительности временного интервала и при разном подаваемом расходе воды. Для всех значений такого попуска, сформированного в течение двух и трех декад апреля, при расходе воды от 600 до 1000 м³/с имеет место дефицит гарантированной водоотдачи. Этот дефицит монотонно возрастает с увеличением значения расхода воды [87].

Результаты имитационного эксперимента представлены на рисунке 3.3.2.

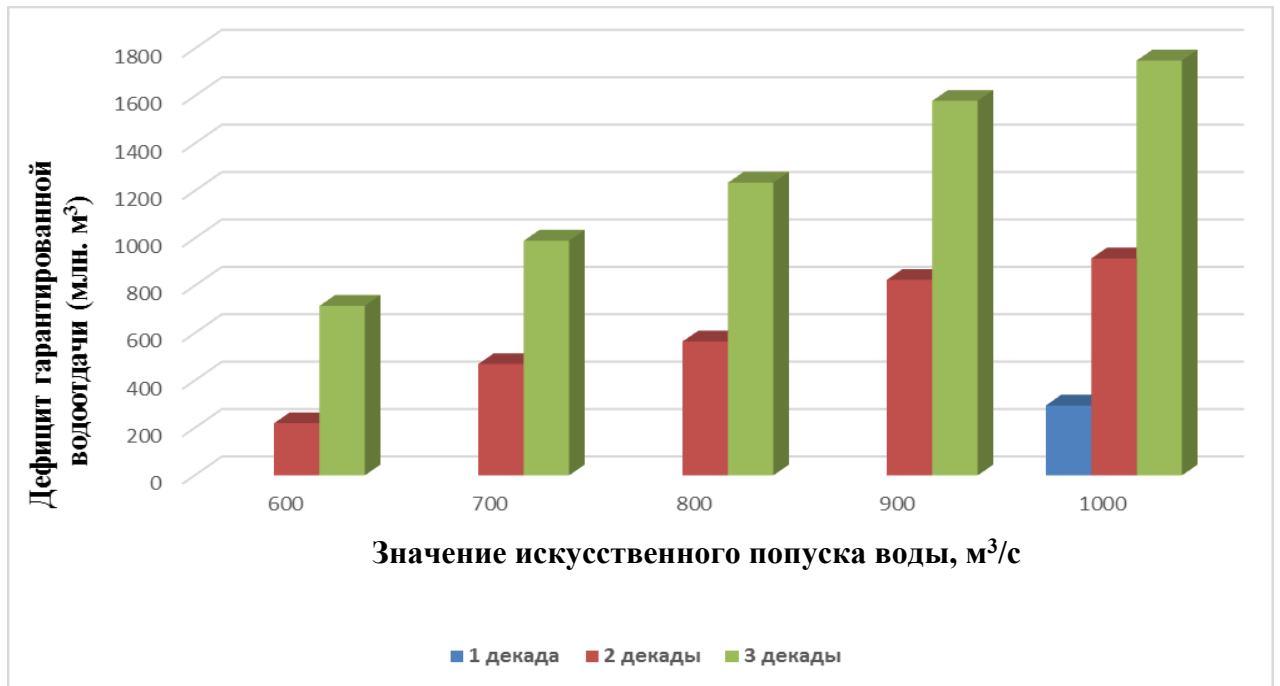


Рисунок 3.3.2. – Зависимость дефицита гарантированной водоотдачи МВС от разного расхода искусственного попуска

Анализ полученных результатов показывает, что минимальный дефицит гарантированной водоотдачи наблюдается для одной декады апреля и при расходе воды в течение этой декады, равном 1000 м³/с. Следовательно, при подаче в створ Рублевского водозабора расхода воды в количестве от 600 до 900 м³/с в течение одной декады апреля маловодного 1920/1921 гидрологического года можно не опасаться нарушить действующие правила управления ВРС в бассейне р. Москвы. Во всех остальных случаях дефицит гарантированной водоотдачи будет монотонно возрастать. Очевидно, что решить задачу искусственного попуска невозможно без учета качества водных ресурсов.

Выводы

1. Как показала практика, последняя искусственная промывка русла р.Москвы, выполненная в реальных условиях (в 1998 году), оказала влияние на санитарно-экологическое состояние водотока. Эффективность данного

мероприятия могла быть более благотворной при комплексном обосновании такой промывки.

2. Рассмотрены значения искусственного попуска воды в диапазоне от 600 до 1000 м³/с в течение, соответственно, одной декады, двух декад и трех декад апреля для года 95% обеспеченности. Установлена зависимость дефицита гарантированной водоотдачи четырех водохранилищ Москворецкой водной системы от величины гарантированной водоотдачи этих водохранилищ и различных временных интервалов попуска при проведении имитационного эксперимента.

3. Предложенные методические приемы разработки и проведения имитационного эксперимента по формированию искусственного обводнительного попуска в бассейне реки Москвы позволят обеспечить безаварийное проведение искусственной промывки русла в натурных условиях. Показано, в частности, что для искусственного попуска воды в размере от 600 до 900 м³/с в течение одной декады дефицит гарантированной водоотдачи Москворецких водохранилищ отсутствует даже в маловодный год.

4. Как следует из результатов имитационного эксперимента, решая задачу количественных характеристик попусков воды для обводнения, следует детально рассмотреть при этом и качественные показатели водных ресурсов. Формирование и проведение искусственной промывки русла р. Москвы – оперативный способ управления качеством воды, обладающий сегодня наибольшей доступностью.

Глава 4. Расчет и оценка гидрохимических характеристик водных ресурсов реки Москвы

В современных условиях качество водных ресурсов в бассейне реки Москвы определяется сочетанием естественных особенностей и антропогенных нагрузок выше водохранилищ, процессов внутри водоемов. Свидетельством неблагополучия в данной области является снижение качества воды и ухудшение экологического состояния воды в реке Москва по мере территориального и экономического роста Московской агломерации. Вопросам изучения качества водных ресурсов и оценке современного экологического состояния различных водных объектов посвятили свои исследования В.С. Боровков [15], Е.В. Венецианов [28], Ю.С. Даценко [48], М.Г. Ершова [49], М.Б. Заславская [56], Н.И. Коронкевич [96], А.М. Никаноров [121], В.В. Пуклаков [49], В.В. Шабанов [164], С.И. Шашков [123], К.К. Эдельштейн [170], С.В. Ясинский [172] и другие ученые.

В Главе 4 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 (биологическое потребление кислорода, нитритный азот, нефтепродукты, фенолы) для четырех створов реки.

4.1. Анализ исходных данных качества водных ресурсов в верхней части бассейна реки Москвы

Важным вопросом для решения задачи совместного управления режимом и качеством поверхностных водных ресурсов является качество поступающих к водозаборам речных вод. *Качество окружающей среды* – состояние окружающей среды, которое определяется физическими, химическими, биологическими и иными показателями и (или) их совокупностью. *Качество воды* – комплекс показателей, характеризующих

степень пригодности воды для того или иного вида хозяйственного использования [148].

Критериями оценки качества вод может являться любая совокупность количественных показателей, характеризующих свойства изучаемых объектов и используемых для их классифицирования и ранжирования [94; 140]. Кроме того, необходимо учитывать происхождение загрязняющего вещества, а также условия целевого использования водных объектов и их приоритетность при комплексном использовании [53; 158].

В роли нормативов качества воды, в зависимости от сочетания условий, фактического состояния и использования водного объекта, могут приниматься:

- предельно допустимые концентрации (ПДК) для химических веществ в воде объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (гигиенические);
- предельно допустимые концентрации для химических веществ в воде объектов рыбохозяйственного значения (рыбохозяйственные ПДК_{р-х});
- ориентировочно допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде объектов питьевого и хозяйственно-бытового (хозяйственно-питьевого) и рекреационного (культурно-бытового) водопользования;
- ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воде объектов, имеющих рыбохозяйственное значение [137; 154-156].

Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, как правило, более жесткие, чем нормативы водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения. При определении нормируемых показателей в качестве норматива концентраций использованы опубликованные ПДК, максимально жесткие между рыбохозяйственными и гигиеническими ПДК [90; 116; 117].

В современных условиях качество водных ресурсов в бассейне реки Москвы определяется сочетанием естественных особенностей и

антропогенных нагрузок выше водохранилищ, процессов внутри водоемов [99; 100; 137; 157]. В соответствии с [146] перечень нормируемых загрязняющих веществ для водохранилищ МВС должен устанавливаться исходя из его отнесения к природным водным объектам, которые в результате человеческой деятельности подверглись физическим изменениям, приведшим к существенному изменению их основных характеристик: гидрологических, морфометрических, гидрохимических и другие. Перечень определяемых гидрохимических показателей воды устанавливается с учетом программы проведения режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод, проводимых ФГБУ "Гидрометцентром России".

Контроль качества поверхностных вод в г. Москве осуществляется в 45 постоянных створах наблюдения по 29 показателям (рН, прозрачность, растворенный кислород, взвешенные вещества, БПК₅, ХПК, сухой остаток, хлориды, сульфаты, фосфаты, ионы аммония, нитриты, нитраты, железо общее, марганец, медь, цинк, хром общий, никель, свинец, кобальт, алюминий, кадмий, нефтепродукты, фенолы, формальдегид, ПАВ, сульфиды, токсичность). Перечень контролируемых загрязняющих веществ, имеющих региональный приоритет, составляется на основе анализа действующих источников загрязнения, химического состава сточных вод и характера загрязнения поверхностных вод. На современном этапе в качестве временного норматива качества воды принято сохранение сложившегося гидрохимического фона [155; 162]. Контроль качества воды только в системах холодное водоснабжения г. Москвы осуществляет АО "Мосводоканал" [176].

Нормативы предельно допустимых концентраций химических веществ, установленных в соответствии с показателями предельно допустимого содержания химических веществ в окружающей среде, несоблюдение которых может привести к загрязнению окружающей среды, деградации естественных экологических систем, рекомендуется применять для веществ двойного генезиса. Установление подобных нормативов ПДК химических веществ производится на основе параметров естественного регионального фона [156].

Для водохранилищ МВС наиболее полные и достоверные данные по поступлению загрязняющих веществ дает пост I категории по классификации Роскомгидромета, расположенный на р. Москве в 0,1 км ниже п. Ильинское. Этот пост был использован экологической фирмой ООО «ВЕД» при разработке нормативов допустимого воздействия по бассейнам 11 водохранилищ Москворецкой и Волжской систем водоснабжения г. Москвы. На посту выполняются измерения по 31 показателю качества воды [175] (приложение 2).

Анализ данных приложения 2 показал, что можно выделить десять показателей, средние значения которых (C_{cp}) превышают допустимые значения ПДК_{р.-х.}. К выделенным потенциально опасным веществам, содержащимся в воде, относятся (приложение 3): БПК₅, ХПК, взвешенные вещества, нитритный и аммонийный азот, железо общее, медь, нефтепродукты, фенолы и марганец. Наибольшее отклонение от значения ПДК характерно для меди и фенолов. В этих случаях среднегодовые значения равны 0,004 мг/дм³, а ПДК составляют 0,001 мг/дм³, что в 4 раза превышает допустимые нормы. В 1,79 раза зафиксировано превышение значений аммонийного азота, ХПК превышает норму в 1,63 раза, в 1,47 раза – БПК₅, железо (общее) – в 1,60 раза, нефтепродукты – в 1,40 раза и нитритный азот – в 1,15 раза.

На основании анализа исходных данных [42] загрязняющих веществ воды р. Москвы были выбраны загрязняющие вещества, которые имели наиболее длинные ряды отборов проб по четырем створам наблюдений. Это биологическое потребление кислорода, нефтепродукты, фенолы и нитритный азот.

Биологическое потребление кислорода (БПК) – количество кислорода, израсходованное на аэробное биохимическое окисление под действием микроорганизмов и разложение нестойких органических соединений, содержащихся в исследуемой воде. БПК является одним из важнейших критериев уровня загрязнения водоема органическими веществами, он

определяет количество легкоокисляющихся органических загрязняющих веществ в воде. При анализе определяется количество кислорода, ушедшее за установленное время (обычно 5 суток – БПК₅) без доступа света при 20°C на окисление загрязняющих веществ, содержащихся в единице объема воды. Вычисляется разница между концентрациями растворённого кислорода в пробе воды непосредственно после отбора и после инкубации пробы. Для источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения и водных объектов, используемых в рыбохозяйственных целях, БПК_{полн} не должно превышать 3 мг О₂/л, для водоемов культурно-бытового водопользования – 6 мг/л. Соответственно, предельно допустимые значения БПК₅ для тех же водоемов равны примерно 2 мг/л и 4 мг/л.

Фенол (C₆H₅OH) — простейший представитель класса фенолов. Бесцветные игольчатые кристаллы, розовеющие на воздухе из-за окисления, приводящего к образованию окрашенных веществ. Это твёрдое бесцветное вещество с резким запахом. Умеренно растворим в воде (6 г на 100 г воды), в растворах щелочей, в спирте, в бензоле, в ацетоне. Биологическое значение фенола обычно рассматривается в рамках его воздействия на окружающую среду. Фенол ядовит. Раствор фенола раздражает слизистые оболочки глаз, дыхательных путей, кожу, вызывая химические ожоги. Фенол – один из промышленных загрязнителей. Фенол губителен для многих микроорганизмов, поэтому промышленные сточные воды с высоким содержанием фенола плохо поддаются биологической очистке. Относится к высокоопасным веществам (класс опасности II).

Азот нитритный (NO₂). Нитриты являются солями азотистой кислоты и появляются на одном из этапов биохимического окисления азота аммонийного до азота нитратного при условии доступа кислорода или в результате восстановления нитратов при дефиците кислорода. Источником загрязнения могут являться хозяйственно-бытовые и навозные стоки, сточные воды пищевых предприятий, стоки с сельскохозяйственных полей. Отрицательное воздействие на организм: высокотоксичны, реагируют с гемоглобином, что

вызывает гипоксию (кислородное голодание, одышку), слабость, сонливость, ощущение усталости, тошноту, ухудшение работы почек, сердца (сердцебиения), печени, нервной системы, щитовидной железы, авитаминоз, снижение потенции, снижение кровяного давления. Предельно допустимая концентрация нитритов в воде водоемов установлена в размере 3,3 мг/дм³ в виде иона NO₂⁻ или 1 мг/дм³ в пересчете на азот нитритов. Способ очистки сточных вод: биологическая фильтрация, окисление озоном, хлором, гипохлоритами щелочных и щелочноземельных металлов, пероксидом водорода, обратный осмос, ионообменные смолы.

Нефтепродукты – смеси углеводородов, а также индивидуальные химические соединения, получаемые из нефти и нефтяных газов. Химический состав нефти зависит от района добычи и в среднем определяется следующими данными: углерод (83-87%), водород (12-14%), азот, сера, кислород (1-2%, реже 3-6% за счет серы). Десятые и сотые доли процента составляют многочисленные микроэлементы, набор которых в любой нефти примерно одинаков. К нефтепродуктам относятся различные виды топлива, смазочные материалы, электроизоляционные среды, растворители, нефтехимическое сырьё. Нефтепродукты влияют на сердечно-сосудистую систему и на показатели крови, также возможно поражение печени, нарушение деятельности эндокринных желез. Особенности воздействия паров нефти и ее продуктов связаны с ее составом [141; 144; 170].

Следует отметить, что оценка экологического состояния поверхностных водотоков только на основе данных о составе и концентрациях загрязнителей в воде и во взвешенном веществе не может быть корректной без специальных режимных наблюдений из-за сильных флуктуаций расходов воды, концентраций взвешенных и растворенных веществ в течение года.

В диссертации были собраны и проанализированы исходные данные шести створов наблюдений за период времени с 1981 года по 2011 год [42]:

Створ 1 – р. Москва – г. Звенигород, 0,3 км выше города;

Створ 2 – р. Москва – г. Звенигород, 1,4 км ниже города;

Створ 3 – р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,3 км выше Бабьегородской плотины;

Створ 4 – р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,01 км выше шоссейного моста кольцевой автодороги;

Створ 5 – р. Москва – г. Москва, 19 км выше города, 0,5 км выше водозабора;

Створ 6 – р. Москва – г. Москва, 0,5 км ниже нефтезавода.

Для створа 1 имелись в наличии данные среднегодовой концентрации в ПДК: по фенолу с 1981 года по 2012 год с отсутствием данных за 1982, 1983, 1989, 1990, 2010 гг.; по нефтепродуктам с 1981 года по 2012 год с отсутствием данных за 1983, 1989, 1990, 2010 гг.; по БПК₅ с 1988 года по 2012 год с отсутствием данных за 1989–1993, 2010 гг.; по нитритному азоту с 1988 года по 2012 год с отсутствием данных за 1989–1992, 2010 годы.

Для створа 2 имелись в наличии данные среднегодовой концентрации в ПДК: по фенолу с 1981 года по 2011 год с отсутствием данных за 1982, 1983, 1988-1990, 2010 гг.; по нефтепродуктам с 1981 года по 2012 год с отсутствием данных за 1983, 1989, 1990, 2010 гг.; по БПК₅ с 1988 года по 2012 год с отсутствием данных за 1989-1993, 2010гг.; по нитритному азоту с 1987 года по 2011 год с отсутствием данных за 1989, 1990, 2010 годы.

Для створа 3 имелись в наличии данные среднегодовой концентрации в ПДК: по фенолу, нефтепродуктам, БПК₅, нитритному азоту с 2003 по 2012 годы с отсутствием данных за 2010 год.

Для створа 4 имелись в наличии данные среднегодовой концентрации в ПДК: по фенолу, нефтепродуктам, БПК₅, нитритному азоту с 2005 по 2012 годы с отсутствием данных за 2010 год.

Для створа 5 и створа 6 имелись в наличии данные среднегодовой концентрации в ПДК: по фенолу, нефтепродуктам, БПК₅, нитритному азоту с 2003 по 2004 годы (за два календарных года).

Таким образом, для получения статистически обоснованных данных анализа качества вод – на участке бассейна реки Москвы от г. Звенигорода до выхода ее из черты г. Москвы – были выбраны следующие четыре створа:

Створ 1 – р. Москва – г. Звенигород, 0,3 км выше города;

Створ 2 – р. Москва – г. Звенигород, 1,4 км ниже города;

Створ 3 – р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,3 км выше Бабьегородской плотины;

Створ 4 – р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,01 км выше шоссейного моста кольцевой автодороги. Данные створы наблюдений обозначены на рисунке 4.1.1.

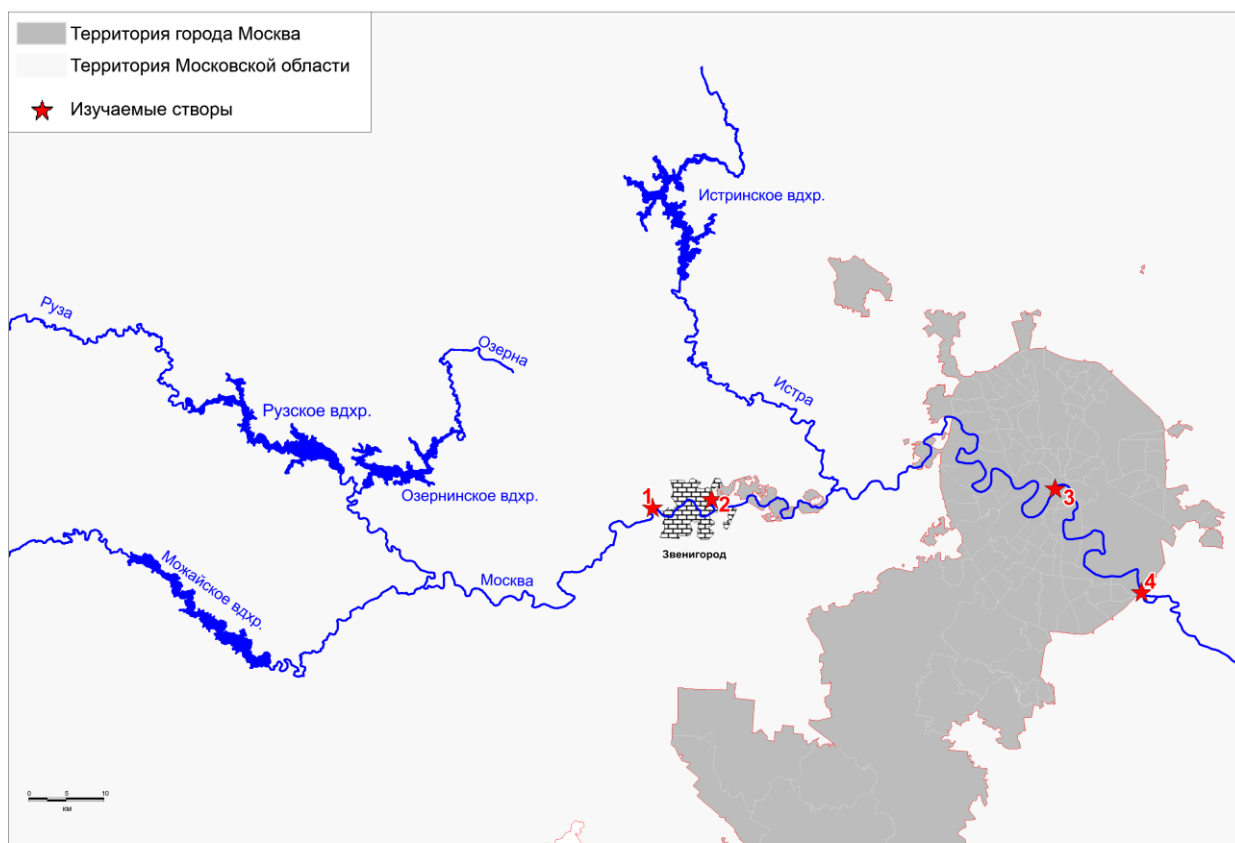


Рисунок 4.1.1. – Картограмма месторасположения изучаемых створов наблюдений

В нашем исследовании проведен анализ концентраций (среднегодовых превышений кратности ПДК) по представленным выше трем показателям и данных о величине БПК₅ (O₂) в мг/л. Исходные гидрохимические данные за

2011 и 2012 годы помещены в приложении 4. Ниже представлены результаты анализа данных вышеуказанных гидрохимических показателей (без учета БПК₅) на четырех створах. Рисунок 4.1.2. показывает изменение концентрации загрязняющих веществ в воде р. Москвы в створе 1 за период с 1981 по 2012 годы.

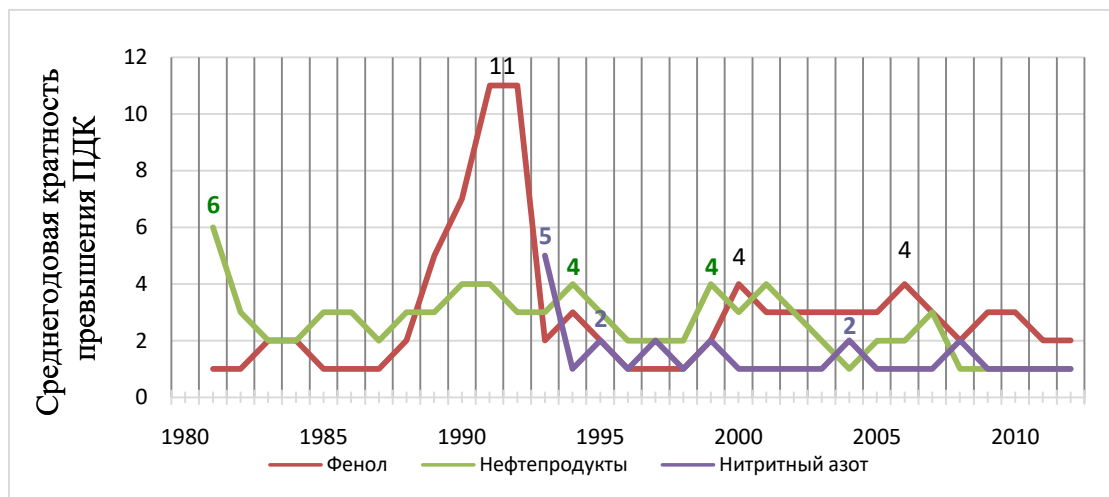


Рисунок 4.1.2. – Динамика загрязнения воды р. Москвы в створе 1

На всем протяжении рассматриваемого периода на створе 1 концентрация загрязняющих веществ в р. Москве колебалась по отдельным показателям в различных интервалах. Так, ярко выражены пики уровня с максимальными значениями концентраций рассматриваемых загрязнителей: 11,0 в 1991, 1992 годах – фенолы; 5,0 в 1993 году – нитритный азот. Колебания концентрации нефтепродуктов незначительны, с максимальной – в 1981 году. Результаты анализа графика створа показывают, что в целом наибольшее значение среднегодовых концентраций в данном створе характерно для фенолов по сравнению с нефтепродуктами и нитритным азотом.

Рисунок 4.1.3. показывает изменение состояния загрязнения р. Москвы в створе 2 за период времени с 1981 по 2012 годы.



Рисунок 4.1.3. – Динамика загрязнения воды р. Москвы в створе 2

Дальнейший анализ данных выявил, что на всем протяжении рассматриваемого периода изменения загрязнения воды р. Москвы на створе 2 по анализируемым показателям были незначительны. Результаты анализа графика в створе 2 показывают, что в целом доминирующие позиции среднегодовых концентраций в данном створе на протяжении рассматриваемого периода менялись: в конце 80-х годов двадцатого века, когда преобладало загрязнение нефтепродуктами. В период с 1991 по 1994 годы ярко выражено увеличение концентрации всех рассматриваемых загрязнителей, однако, с преобладанием фенолов, с повторением его же пика в 2000 году. С 2004 года наблюдали наибольшие превышения концентрации фенолами и нефтепродуктами. В целом с 2005 года наблюдается стабильное снижение концентрации исследуемых показателей в воде реки Москвы на створе 2. Максимальные концентрации следующие: 10,0 – 11,0 в 1991, 1992 годах – фенолы; 6,0 в 1994 году, 8,0 в 1988 году – нефтепродукты; 7,0 в 1992 году – нитритный азот. С 2008 года среднегодовая концентрация нефтепродуктов в воде достигла минимального показателя <1 . Следует отметить тот факт, что в 2012 году на створе 2 данные о концентрации фенолов и нитритного азота отсутствуют.

Рисунок 4.1.4. показывает изменение концентрации загрязняющих веществ в воде в створе 3 за период времени с 2003 по 2012 гг.



Рисунок 4.1.4. – Динамика загрязнения воды р. Москвы в створе 3

Результаты анализа данных на створе 3 показывают, что в целом максимальные значения среднегодовых концентраций на протяжении рассматриваемого периода следующие: максимальные концентрации зафиксированы у фенолов, концентрации нефтепродуктов и нитритного азота имеют тенденцию к снижению за рассмотренный период. При этом на протяжении всего периода на створе 3 концентрации загрязняющих веществ по анализируемым показателям колебались незначительно. Однако максимальные значения концентрации для всех исследуемых веществ характерны для 2006 года. Так, в данном году среднегодовая концентрация фенолов была 7,0, нитритного азота – 5,0.

В заключение поворного анализа хотелось бы отметить, что на всем протяжении рассматриваемого периода в створе 4 концентрации загрязняющих веществ в воде значительно колебались по сравнению с данными по другим створам. Наиболее стабильной была ситуация в отношении концентрации нефтепродуктов от 3,0 до 5,0, с максимальным значением 6,0 в 2012 году. Нестабильной – фенолов от 5,0 до 8,0 с резкими скачками в 2009 году до 10,0 и в 2012 году до 45,0. Были зафиксированы резкие увеличения концентрации нитритного азота в 2006 году до 20,0 и в 2012 году до 10,0. При этом отсутствовало сопряжение максимальных значений концентраций для разных загрязнителей, характерное для других створов.

Рисунок 4.1.5. показывает изменение концентрации загрязняющих веществ в створе 4 –за период времени с 2005 по 2012 годы.



Рисунок 4.1.5. – Динамика загрязнения воды р. Москвы в створе 4

Результаты анализа графика изменения загрязнения воды р. Москвы показывают, что максимальные значения среднегодовых концентраций на створе 4 характерны для нитритного азота, что отличает данный створ от остальных трех. Концентрации всех веществ в воде имеют тенденцию к снижению за рассмотренный период, исключение составляет высокая концентрация фенолов в 2012 году.

Ниже дан сравнительный анализ изменения среднегодовой концентрации (в среднегодовой кратности превышения ПДК) загрязнения воды по каждому из четырех показателей загрязнителей в тот же период по четырем створам.

На рисунке 4.1.6. в графической форме представлено изменение концентрации фенолов за рассматриваемый период времени по четырем створам.

Как следует из рисунка 4.1.6., изменение концентрации фенолов в воде в верхнем течении р. Москвы имеет следующие основные закономерности. В целом за весь рассматриваемый период наблюдений на створах 1 и 2 концентрация фенолов невысокая. При этом самая высокая концентрация 10,0-11,0 была зафиксирована в 1991 и 1992 годах также в этих створах (это объясняется отсутствием данных по створам 3 и 4 в данный период). А в 1993

году концентрация резко снизилась до 1,0-2,0. Второй пик резкого увеличения до 9,0 на створе 2 наблюдали в 2000 году.

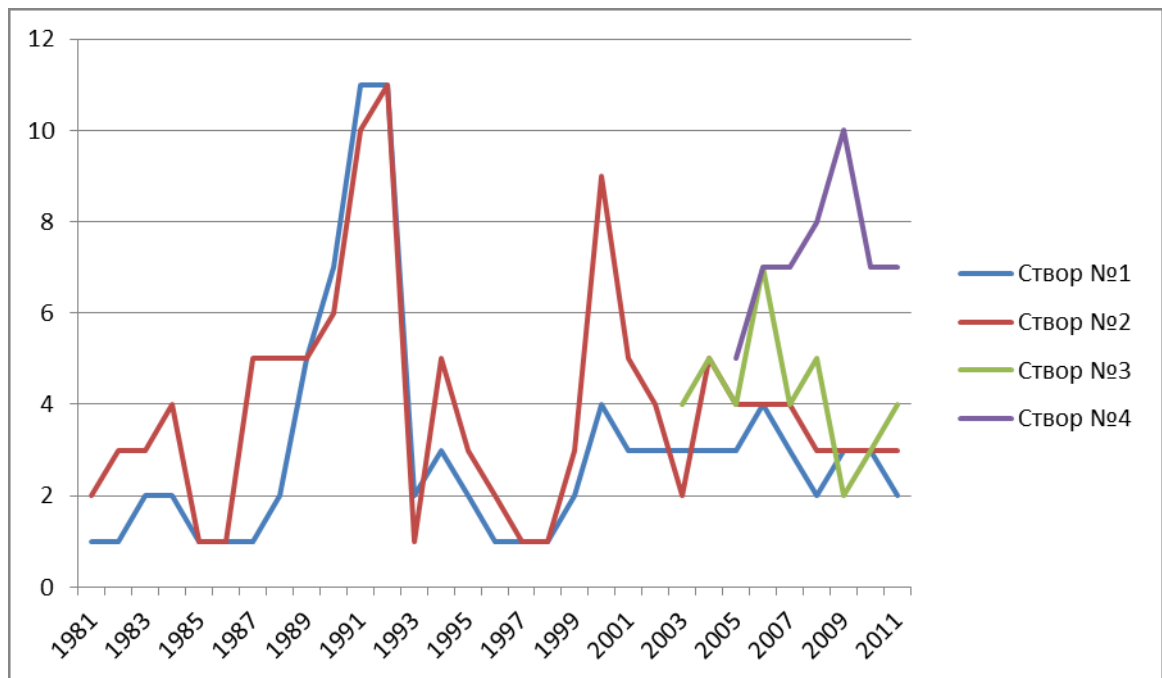


Рисунок 4.1.6. – Динамика загрязнения фенолами воды реки Москвы

Створ 3 характеризуется небольшим разбросом значений по годам. В 2003 году – начало наблюдений в данном створе – концентрация фенолов составила 4,0. В последующие годы концентрация вещества в створе незначительно колебалась от 3,0 до 5,0. Однако с 2008 года явно прослеживается тенденция к постепенному снижению концентрации, с минимальным показателем 2,0 в 2009 году. Концентрация фенолов на створе 4 превышает среднегодовые арифметические показатели предыдущих створов, их перепады составляют от 5,0 до 10,0. При этом также сохраняется плавное увеличение концентрации фенолов при движении вниз по течению реки Москвы. Так, например, в 2011 г. динамика в рассматриваемых четырех створах была следующей: 2,0 – 3,0 – 4,0 – 7,0.

Данные о концентрации нефтепродуктов приведены в графической форме на рисунке 4.1.7. Анализ полученных результатов показывает, что первый створ характеризуется стабильно низкими значениями за весь рассматриваемый период времени (от 2,0 до 4,0). На этом фоне выделяется единичное превышение концентрации до 6,0 в 1981 году. Створ 2 отличается

таким же незначительным, но более высоким превышением средних значений от 2,0 до 6,0. Однако на данном створе максимальную концентрацию 8,0 наблюдали в 1988 году.

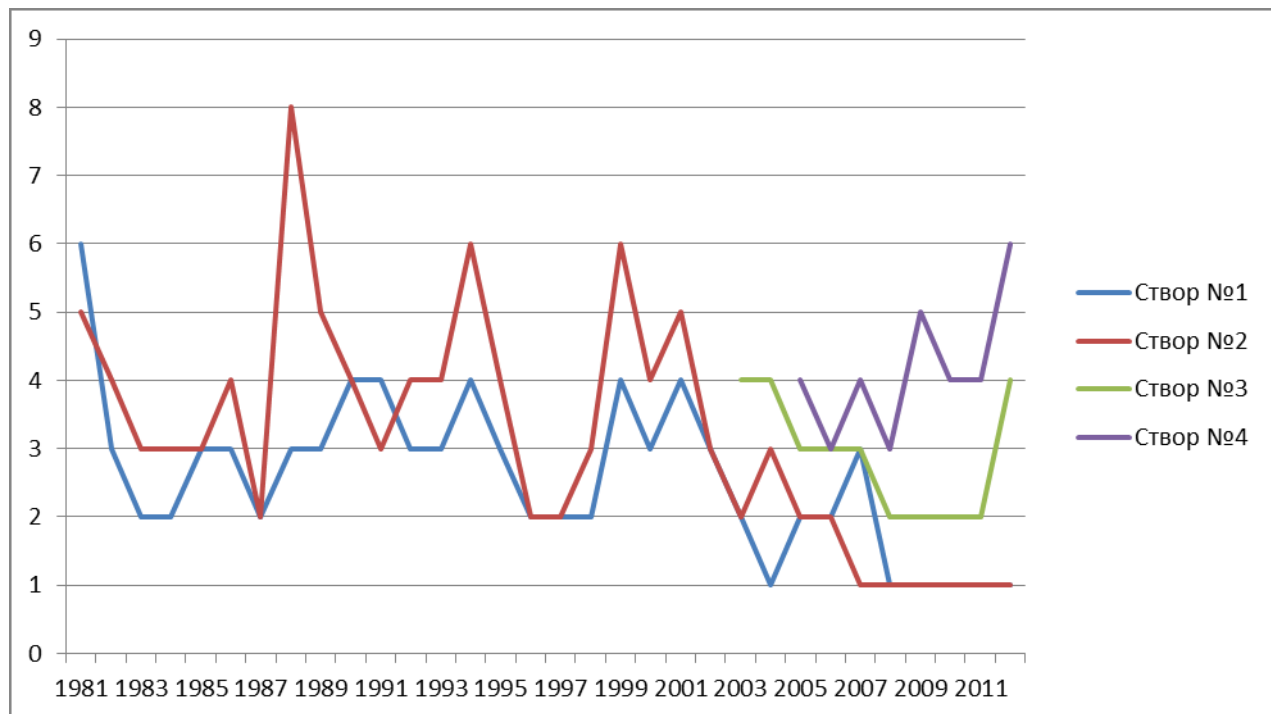


Рисунок 4.1.7. – Динамика загрязнения нефтепродуктами воды реки Москвы

Следует отметить, что на створах 1 и 2 с 2008 по 2012 годы среднегодовая концентрация нефтепродуктов снизилась до минимальных значений < 1 . Что касается створа 3, то можно отметить, что за период с 2003 по 2011 годы концентрация нефтепродуктов снизилась от 4,0 до 2,0. Четвертый створ имеет отличие от других. В период с 2005 до 2011 годы явно прослеживается повышенная концентрация данного загрязнителя по сравнению с концентрациями в других створах. Ее уровень колебался от 3,0 (минимальное значение в 2006 году) до 6,0.

Результаты анализа данных о величине БПК₅ (O₂), представленных на рисунке 4.1.8., показывают, что: на створе 1 за весь рассматриваемый период наблюдений значение БПК₅ невысокое: от 1,77 до 7,1 мг/л; на створе 2 величина БПК₅ практически не отличается от предыдущего створа. В 1994 году наблюдали наиболее высокое значение БПК₅ (7,3 мг/л), которое в 1995

году снизилось до 2,98 мг/л и в последующих годах держалось примерно на одном уровне при незначительном колебании. На створе 3 зафиксировано незначительное колебание значений БПК₅ в период с 2003 по 2012 годы. В 2003 году – начало наблюдений в данном створе – величина БПК₅ составила 3,19 мг/л. С 2003 по 2006 годы наблюдали постепенное увеличение значения БПК₅ на створе 3, которое затем медленно снизилось к 2011 году.

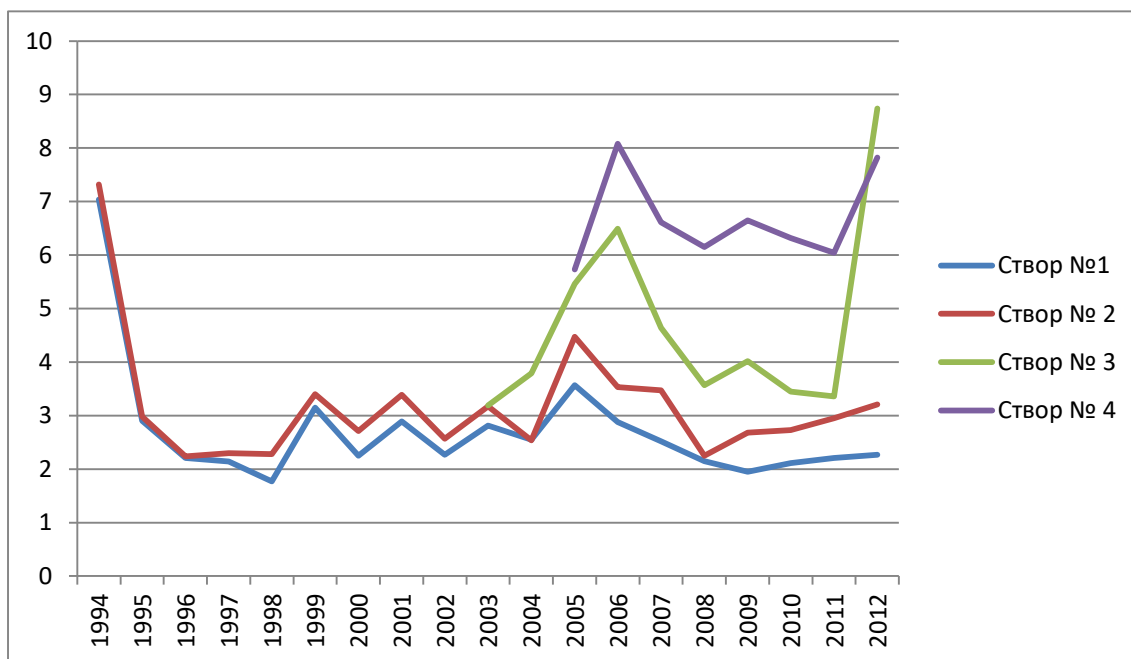


Рисунок 4.1.8. – Динамика изменения величины БПК₅ (O₂)

В створе 4 наиболее высокое значение БПК₅, более 8,0 мг/л, было зафиксировано в 2005 году. Однако в период с 2007 по 2011 годы он практически не изменялся, но оказался выше по сравнению с другими створами. 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 возрасла 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.

Анализ концентрации нитритного азота в воде р. Москвы, представленных на рисунке 4.1.9., показывает, что створ 1 имеет стабильно низкие значения за весь рассматриваемый период времени (от 1,0 до 2,0). На этом фоне выделяется единичное превышение концентрации до 5,0 в 1993 году. Створ 2 отличается таким же незначительным превышением значений данного вещества.

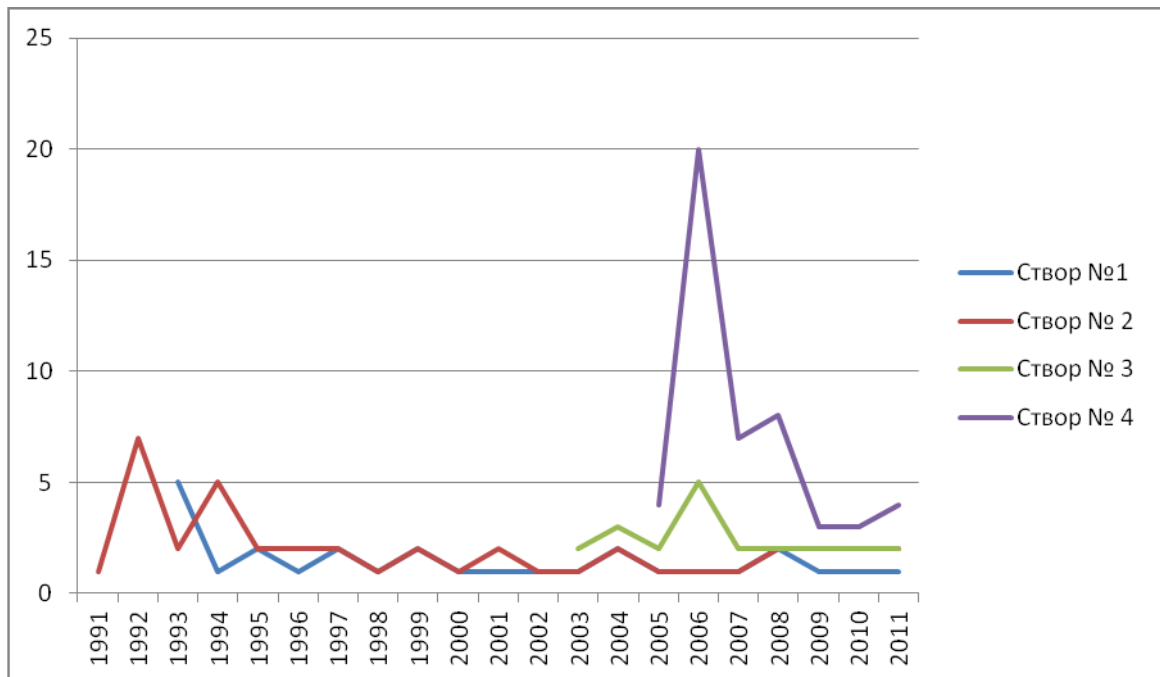


Рисунок 4.1.9. – Динамика загрязнения нитритным азотом воды реки Москвы

Однако в данном створе максимальная концентрация наблюдалась в 1992 г. Что касается створа 3, то можно отметить, что за период с 2007 по 2011 годы уровень содержания нитритного азота находится практически в одинаковом интервале: от 2,0 до 1,0. В 2006 году мы видим значительный скачок среднегодовой арифметической концентрации нитритного азота – 5,0. Концентрации веществ на створе 4 имеют существенные отличия от концентраций на других трех створах. Например, достаточно высокая концентрация нитритного азота наблюдается в 2006 г. – 20,0, которая далее идет на спад и в 2011 году и снижается до 4,0. В 2012 году концентрация вещества вновь увеличилась до отметки 10,0 [90].

4.2. Оценка современного состояния качества водных ресурсов реки Москвы

При загрязнении воды несколькими загрязняющими веществами применяются комплексные оценки качества воды в природных водоемах. Для определения оценки современного состояния воды в верхней части бассейна р. Москвы использована одна из методик интегральной оценки качества воды по комплексу гидрохимических показателей – Гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ) [150; 169]. Этот индекс представлен в формуле (6) и выражает среднюю долю превышения ПДК по строго лимитированному числу индивидуальных ингредиентов.

$$ИЗВ = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ПДК_i}, \quad (6)$$

где: C_i – концентрация компонента; $C_i/ПДК_i$ – значение среднегодовой кратности превышения ПДК по компоненту; n – число показателей, используемых для расчета индекса, $n = 6$ [90; 169].

Результаты данного гидрохимического анализа позволяют определять классы качества воды в виде интегральной характеристики загрязненности поверхностных вод. В число шести используемых для анализа основных показателей, при расчете ИЗВ входят в обязательном порядке концентрация растворенного кислорода и значение БПК₅. Кроме того выбираются четыре показателя, являющиеся для данного водного объекта наиболее неблагоприятными, или которые имеют наибольшие приведенные концентрации (отношение $C_i/ПДК_i$). Данными показателями в воде реки Москвы чаще всего бывают нитраты, нитриты, аммонийный азот (в форме органических и неорганических аммонийных соединений), тяжелые металлы, фенолы, нефтепродукты. Для расчета ИЗВ при равенстве приведенных концентраций предпочтение отдается веществам, имеющим санитарно-токсикологический признак вредности (как правило, такие вещества обладают относительно большей токсичностью).

Для расчета индекса загрязнения вод для всего множества нормируемых компонентов, включая водородный показатель рН, биологическое

потребление кислорода BPK_5 и содержание растворенного кислорода были найдены отношения $C_i/ПДК_i$ фактических концентраций к ПДК и полученный список отсортирован. При расчете ИЗВ для составляющих $C_i/ПДК_i$ по неоднозначно нормируемым компонентам применяется следующие условия:

- для BPK_5 (ПДК – не более 3 мг $O_2/дм^3$ для водоемов хозяйственно-питьевого водопользования и не более 6 мг $O_2/дм^3$ для водоемов хозяйственно-бытового и культурного водопользования) устанавливаются специальные значения нормативов, зависящие от самого значения BPK_5 , которые представлены в таблице 4.2.1.

Таблица 4.2.1. – Специальные значения нормативов (ПДК), зависящие от самого значения BPK_5 [169]

Показатель BPK_5 (мг $O_2/л$)	Значение норматива (ПДК)
Менее 3	3
От 3 до 15	2
Свыше 15	1

- концентрация растворенного кислорода нормируется с точностью до наоборот: его содержание в пробе не должно быть ниже 4 мг/дм³, поэтому для каждого диапазона концентраций компонента (от более 6 до менее 1 мг $O_2/л$) устанавливаются специальные значения слагаемых $C_i/ПДК_i$ от 6 до 60;

- для водородного показателя pH (диапазон допустимых значений в интервале от 6,5 до 8,5) для каждого сверхнормативного значения pH , выходящего за границы этого диапазона, устанавливаются специальные значения слагаемых $C_i/ПДК_i$, представленные в таблице 4.2.2.

Таблица 4.2.2. – Специальные значения слагаемых $C_i/\text{ПДК}_i$ [169]

Значения рН ниже диапазона нормы (<6.5)	Значения рН выше диапазона нормы (>8.5)	Значение слагаемого
		$C_i/\text{ПДК}_i$
Менее 6.5 до 6	Свыше 8.5 до 9	2
Менее 3 до 5	Свыше 9 до 9.5	5
Менее 5	Свыше 9.5	20

В зависимости от величины полученного индекса загрязнения воды р.Москвы, ее участки были подразделены на классы качества воды. Показатели назначения классов воды приведены в таблице 4.2.3.

Таблица 4.2.3. – Классы качества вод в зависимости от значения индекса загрязнения воды [169]

Воды	Значения ИЗВ	Классы качества вод
Очень чистые	до 0,2	I
Чистые	0,2–1,0	II
Умеренно загрязненные	1,0–2,0	III
Загрязненные	2,0–4,0	IV
Грязные	4,0–6,0	V
Очень грязные	6,0–10,0	VI
Чрезвычайно грязные	>10,0	VII

Рассмотрим расчет ИЗВ на примере загрязнения поверхностных вод р. Москвы за 2005 год, используя исходные данные, представленные в Государственном водном кадастре.

Используя данную методику, мы выполнили оценку качества воды р. Москвы для выбранных четырех створов, рассчитали показатели ИЗВ. Исходными гидрохимическими данными были наибольшие, приведенные в Государственном водном кадастре, концентрации шести веществ (значения среднегодовой кратности превышения ПДК) за период с 2005 по 2012 годы,

некоторые из которых представлены в приложении 8. Полученные данные представлены в таблице 4.2.4. [90].

Таблица 4.2.4. – Оценка качества воды р. Москвы в зависимости от значения индекса загрязнения

Створ забора проб	Значения ИЗВ	Воды	Классы качества вод	Источник загрязнения
2005 год				
Створ 1	2,05	загрязненные	IV	организованный сброс сточных вод отсутствует
Створ 2	2,1	загрязненные	IV	ТОО «Водоканал», санаторий им. В. П. Чкалова
Створ 3	2,5	загрязненные	IV	Мосводоканал, МП «Мосводосток», транзит сточных вод
Створ 4	3,5	загрязненные	IV	объединение «Курьяновская станция аэрации», транзит сточных вод
2006 год				
Створ 1	1,8	умеренно загрязненные	III	организованный сброс сточных вод отсутствует
Створ 2	2,4	загрязненные	IV	МУП «Водоканал»
Створ 3	3,3	загрязненные	IV	Северные и Рублёвские водопроводные станции («Мосводоканал»), транзит сточных вод
Створ 4	5,1	грязные	V	объединение «Курьяновские очистные сооружения» («Мосводоканал»), транзит сточных вод
2007 год				
Створ 1	1,8	умеренно загрязненные	III	организованный сброс сточных вод отсутствует
Створ 2	2,1	загрязненные	IV	МУП «Звенигородское ЖКХ»
Створ 3	2,7	загрязненные	IV	нет сведений
Створ 4	5,2	грязные	V	объединение «Курьяновская станция аэрации»
2008 год				
Створ 1	1,6	умеренно загрязненные	III	организованный сброс сточных вод отсутствует
Створ 2	1,9	умеренно загрязненные	III	МУП «Звенигородское ЖКХ»
Створ 3	2,4	загрязненные	IV	ГУП «Мосводосток», ОАО «Пассажирский порт»
Створ 4	4,7	грязные	V	нет сведений

Створ забора проб	Значения ИЗВ	Воды	Классы качества вод	Источник загрязнения
2009 год				
Створ 1	3,0	загрязненные	IV	нет сведений
Створ 2	2,0	загрязненные	IV	предприятия ЖКХ
Створ 3	2,1	загрязненные	IV	предприятия ЖКХ
Створ 4	3,3	загрязненные	IV	предприятия ЖКХ
2011 год				
Створ 1	1,6	умеренно загрязненные	III	нет сведений
Створ 2	2,1	загрязненные	IV	МУП «Звенигородское ЖКХ»
Створ 3	2,7	загрязненные	IV	ГУП «Водосток», ОАО «Пассажирский порт» и др.
Створ 4	3,8	загрязненные	IV	Курьяновские очистные сооружения, ГУП «Мосводосток»
2012 год				
Створ 1	2,5	загрязненные	IV	ООО «Лесные Поляны»
Створ 2	2,6	загрязненные	IV	МУП «Звенигородский городской канал», МП «Горные инженерные системы»
Створ 3	7,0	очень загрязненные	VI	ГУП «Мосводосток»
Створ 4	11,3	чрезвычайно загрязненные	VII	Курьяновские очистные сооружения, ГУП «Мосводосток»

По данным таблицы 4.2.4. в период с 2005 года по 2012 год качество воды реки Москвы изменилось во всех створах от класса III «умеренно загрязненная» и IV «загрязненная» в 2005 году до класса VI «очень загрязненная» в 2012 году (створ 3) и до класса VII «чрезвычайно загрязненная» (створ 4).

Изменение качества воды по створам в рассматриваемый период представлено в таблице 4.2.5.

Таблица 4.2.5. – Оценка качества воды р. Москвы (2005 – 2012 гг.)

Год	Значения ИЗВ	Воды	Классы качества вод
створ 1			
2005	2,1	Загрязненные	IV
2006	1,8	умеренно загрязненные	III

Год	Значения ИЗВ	Воды	Классы качества вод
2007	1,8	умеренно загрязненные	III
2008	1,6	умеренно загрязненные	III
2009	3,0	загрязненные	IV
2011	1,6	умеренно загрязненные	III
2012	2,5	загрязненные	IV
створ 2			
2005	2,1	загрязненные	IV
2006	2,4	загрязненные	IV
2007	2,1	загрязненные	IV
2008	1,9	умеренно загрязненные	III
2009	2,0	загрязненные	IV
2011	2,1	загрязненные	IV
2012	2,6	загрязненные	IV
створ 3			
2005	2,5	загрязненные	IV
2006	3,3	загрязненные	IV
2007	2,7	загрязненные	IV
2008	2,4	загрязненные	IV
2009	2,1	загрязненные	IV
2011	2,7	загрязненные	IV
2012	3,9	загрязненные	IV
створ 4			
2005	3,5	загрязненные	IV
2006	5,1	грязные	V
2007	5,2	грязные	V
2008	4,7	грязные	V
2009	3,3	загрязненные	IV
2011	3,8	загрязненные	IV
2012	5,5	грязные	V

Как следует из данных таблицы 4.2.5., гидрохимический индекс загрязнения воды изменялся от минимального значения 1,6 в 2008 году до максимального 3,0 в 2009 году. Соответственно, качество воды р. Москвы в данном створе в рассмотренном периоде относилось к классу III «умеренно загрязненная» и IV «загрязненная».

Соответственно, качество воды р. Москвы в створе 1 в рассмотренном периоде изменялось, то относилось к классу IV «загрязненная» (2005, 2009, 2012 годы), то к классу III «умеренно загрязненная». Гидрохимический индекс загрязнения воды изменялся от минимального значения 1,6 в 2008, 2011 годах до максимального 3,0 в 2009 году. Качество воды р. Москвы в створе 2 в рассмотренном периоде относилось к классу IV «загрязненная», исключение составил 2008 году, когда был определен класс III «умеренно загрязненная». Гидрохимический индекс загрязнения воды изменялся от минимального значения 1,9 в 2008 году до максимального 2,6 в 2012 году.

Качество воды реки Москвы в створе 3 в рассмотренном периоде относилось к классу IV «загрязненная». Значения ИЗВ изменялись от минимального значения 2,1 в 2009 году до максимального 7,0 в 2012 году.

Качество воды р. Москвы в створе 4 с 2005 по 2012 годы относилось к различным классам загрязнения: IV «загрязненная» в 2005, 2009, 2011 годах, V «грязная» в 2006–2008, 2012 годах. Гидрохимический индекс загрязнения воды в данном створе резко изменялся от минимального значения 3,3 в 2009 году до максимального 11,3 в 2012 году. Было проведено сравнение индексов загрязнения воды р. Москвы по течению и во времени.

Динамика изменения уровня гидрохимического загрязнения воды р. Москвы постворно на участке от г. Звенигорода до г. Москвы представлена на рисунке 4.2.1.

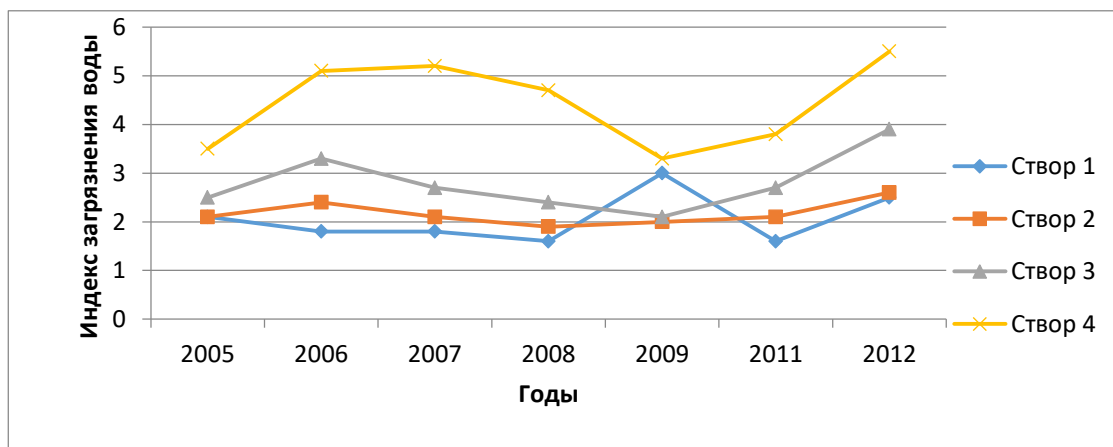


Рисунок 4.2.1. – Динамика изменения уровня гидрохимического загрязнения воды р. Москвы (2005-2012 гг.)

Как показывает анализ данных, представленных на рисунке 4.2.1., уровень гидрохимического загрязнения воды р. Москвы варьировался от минимального значения показателя 1,6 (2008, 2011 годы) в створе 1 до максимального значения 5,5 (2012 год) в створе 4. В целом можно увидеть постворное снижение ИЗВ к 2009 году (исключение – полученные значения для створа 1), а затем синхронный рост до 2012 года с постепенным и последовательным увеличением значений концентраций веществ [90]. Таким образом, на основе данных, полученных для 2012 года (рисунок 4.2.2.), можно сделать вывод о современном состоянии качества воды реки Москвы.

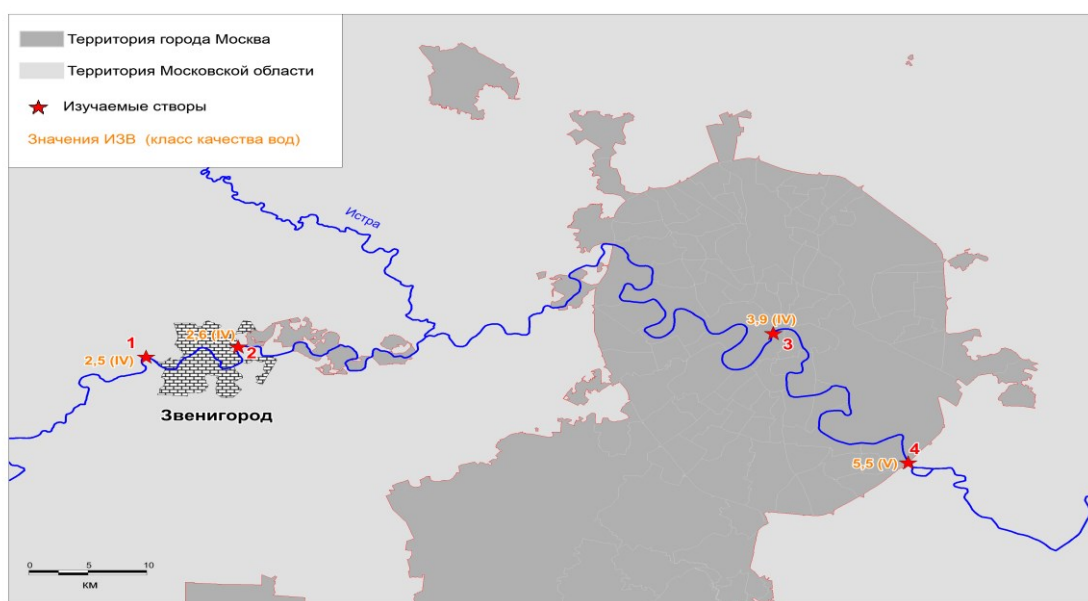


Рисунок 4.2.2. – Современное состояние качества воды реки Москвы (2012 г.)

Как следует из данных рисунка 4.2.2, значение гидрохимического индекса загрязнения воды увеличивалось постепенно вниз по течению реки Москвы от минимального значения 2,5 в створе 1 до максимального 5,5 в створе 4. Соответственно, происходит изменение качества воды в реке Москве в 2012 году от класса IV «загрязненная» (створ 1) и до класса V «грязная» (створ 4).

Выводы

1. 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 показал, что наибольшие среднегодовые значения концентраций всех исследуемых загрязняющих веществ имеют место в створах 3 и 4, расположенных в черте города Москвы.

2. В результате исследования установлено, что среднегодовая концентрация нефтепродуктов имеет повышенные показатели в створах 3 и 4 по сравнению со створами 1 и 2. Наименьшие среднегодовые значения концентраций загрязняющих веществ наблюдаются в створах 1 и 2 (г. Звенигород). Наибольшие среднегодовые значения концентраций загрязняющих веществ имеют место в створах 3 и 4. Для этих створов характерны максимальные значения ПДК с большим разбросом по всем показателям за исследуемый период времени.

3. Были рассчитаны показатели гидрохимического индекса загрязнения воды р. Москвы за период с 2005 по 2012 годы. Выявлена пространственно-временная закономерность распределения качества воды по течению реки Москвы на участке от города Звенигорода до выходы ее из черты города Москвы. Значение гидрохимического индекса загрязнения воды увеличивалось постепенно вниз по течению реки Москвы от минимального значения 2,5 в створе 1 до максимального 5,5 в створе 4. Реку Москву в целом можно отнести к IV классу качества вод – «загрязненные» по большинству створов и к V классу – «грязные» в створе 4.

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

При исследовании процессов функционирования водохранилищ, работающих в единой системе водоснабжения с целью управления режимом и качеством воды, традиционно возникают разные задачи в области гидролого-водохозяйственного и эколого-экономического обоснования поддержки принятия решений [104]. Нами были изучены методические вопросы совместного управления режимом и качеством воды в сложившейся водно-ресурсной системе в бассейне реки Москвы. Проблемы интенсивного использования водных ресурсов в связи с возрастающим дефицитом воды, а также постоянные изменения в окружающей среде в результате глобального изменения климата, по-видимому, делают актуальным проблему дальнейшего совершенствования теории функционирования сложных водно-ресурсных систем, включающих в себя многие водохранилища, работающие в компенсационном режиме [144]. В данной главе предложены подходы к совместному управлению количеством и качеством водных ресурсов в бассейне реки Москвы с целью улучшения ее экологического состояния.

5.1. Современное состояние проблемы совместного управления количеством и качеством водных ресурсов

В соответствии со статьей 42 Водного кодекса Российской Федерации [36; 174] "при эксплуатации гидротехнических сооружений должны предусматриваться и своевременно осуществляться мероприятия по охране водных объектов, а также водных биологических ресурсов и других объектов животного и растительного мира". Проблема управления качеством воды речных бассейнов и их экологическим состоянием весьма актуальна в настоящий момент. В современной научной литературе по проблеме совместного управления количеством и качеством водных ресурсов рассматриваются различные аспекты взаимосвязи между параметрами

режимов работы водохранилищ и показателями функционирования экосистем [5; 45-47; 73; 81; 171].

Например, в монографии [29] изучается вопрос определения допустимого водопотребления из реки с учетом ее качества. Решение данной задачи предлагается проводить на основе определения объемов экологического стока, который предназначен для сохранения минимального средообразующего объема и выполнения рекой ее природных функций, а также представлять результаты и проводить их анализ, выражая объемы речного стока через модульные коэффициенты (K_p).

В современной гидрологической практике приняты различные способы назначения величины экологического стока. Ряд авторов [33; 161] делают упор на определение нижнего минимально допустимого предела стока. Однако данный способ не отвечает всем требованиям, предъявляемым к экологическому стоку, особенно в части обеспечения условий нормального существования водных организмов.

Способ, учитывающий степень сохранности естественного состояния системы [113], основан на идее В.В. Шабанова использовать в качестве показателя оценки экологического состояния водного объекта степень сохранности экосистемы (ΔP). Данный метод позволяет определять величину допустимого изъятия воды для любого природного водного объекта разной степени зараженности.

Следует отметить, что исследованиям связи между параметрами режимов работы водохранилищ и показателями функционирования их экосистем не уделяется должного внимания, что сказывается на условиях формирования качества воды в них. В этих условиях одним из наиболее надежных критериев для определения рациональных объемов обводнительных попусков в нижние бьефы гидроузлов с целью поддержания экологических, санитарных и природоохранных условий водотоков нами предлагается использовать расчетную обеспеченность обводнительных попусков в нижние бьефы гидроузлов.

Обводнительные попуски в нижние бьефы гидроузлов должны соответствовать естественному расходу воды в реке 95% обеспеченности. Поэтому они устанавливаются на стадии проектирования в соответствии со строительными нормами и правилами. Анализ данных обводнительных попусков в нижние бьефы гидроузлов Москворецкой водной системы (МВС), функционирующих в соответствии с «Основными положениями правил» [130] водохранилищ, а также естественные расходы воды 95% обеспеченности, имевшие место в естественных условиях, показали, что эти значения достаточно близки. Однако при этом отчётные данные, а также детальные водохозяйственные балансы, разработанные для Московского региона, показывают, что даже в условиях не самых маловодных лет обводнительные попуски снижаются против рекомендуемых величин.

Некоторые исследователи [67] считают, что следует ввести для обводнительных попусков двухступенчатый норматив обеспеченности, первая ступень которого относилась бы к величине обязательного во всех условиях водности обводнительного попуска в требуемом по экологическим или санитарным условиям режиме, а вторая – для условий нормальной водности. Второй норматив может составить около 90% (по числу бесперебойных лет) и относиться к обводнительному попуску в р. Москву. Другие исследователи [136] разрабатывают прогнозы по организации волн попусков для разбавления возможных аварийных сбросов загрязняющих веществ в речную сеть бассейна, по организации санитарных сбросов для промывки руслового тракта г. Москвы.

Природоохранные требования со стороны нижнего бьефа водохранилищ гидроузлов обеспечиваются экологическими попусками. Указанные попуски не могут приниматься постоянной величиной. Принятие того или иного варианта формирования экологически безопасного гидрографа попусков осложняется отсутствием в настоящее время методов и четко нормированных требований к режиму водных объектов, критериев допустимости некоторого воздействия на природные комплексы. Назначение определенного варианта обводнительного попуска в нижний бьеф гидроузла должно обеспечить как природоохранные, экологические и санитарные условия водотока, так и качество воды,

характеризующееся степенью пригодности воды для конкретного вида хозяйственного использования.

Одним из подходов к совместному управлению количеством и качеством водных ресурсов реки Москвы является принцип разбавления [136] при назначении обводнительных расходов на реках. Результаты сравнительного анализа по определению связи между среднегодовыми значениями объема притока воды к водохранилищам МВС и концентрациями некоторых загрязняющих веществ (фенолов, нефтепродуктов и нитритного азота) для изучаемых створов на р. Москве показали преобладание прямых связей.

Анализируемые данные в графической форме для значений притока воды к Озернинскому, Можайскому и Рузскому водохранилищам и концентрацией веществ в створе 1 приведены на рисунках 5.1.1., 5.1.2., 5.1.3.

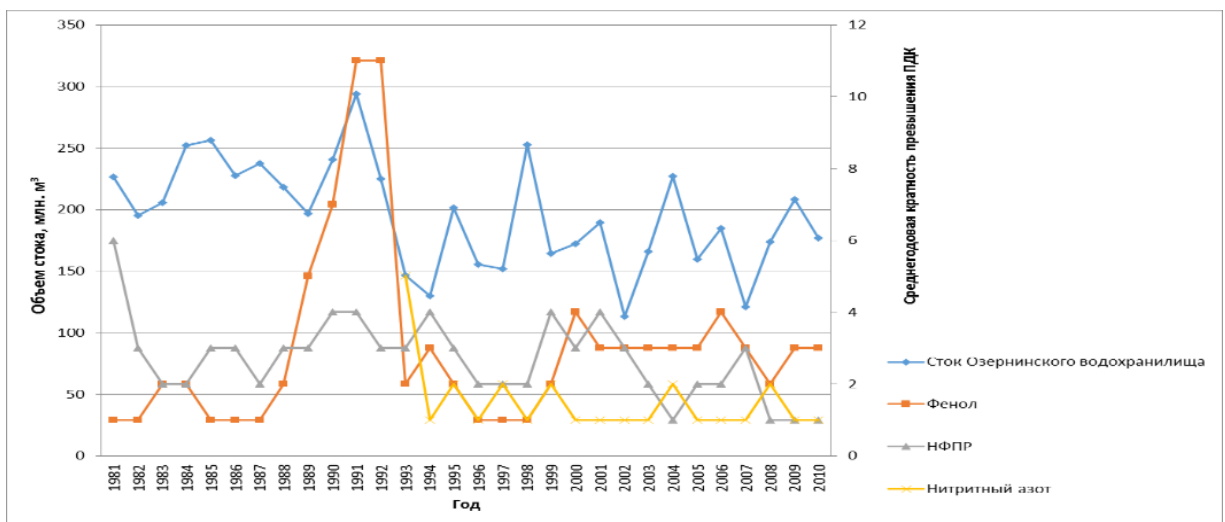


Рисунок 5.1.1. – График зависимости между значениями притока воды к Озернинскому гидроузлу и концентрацией загрязняющих веществ в створе 1

Результаты анализа графиков на рисунке 5.1.1. показывают, что между стоком Озернинского водохранилища и концентрацией веществ в створе 1 происходит синхронное колебание всех показателей. В рассматриваемый период преобладает прямая зависимость между показателями. В 1984, 1987, 1998 и 2009 годах наблюдается обратная зависимость, при которой увеличение объема стока сопряжено с уменьшением концентрации загрязняющих веществ (происходит разбавление загрязняющих веществ), а в 1994 и 2007 годах – снижение объемов стока – с увеличением концентрации.

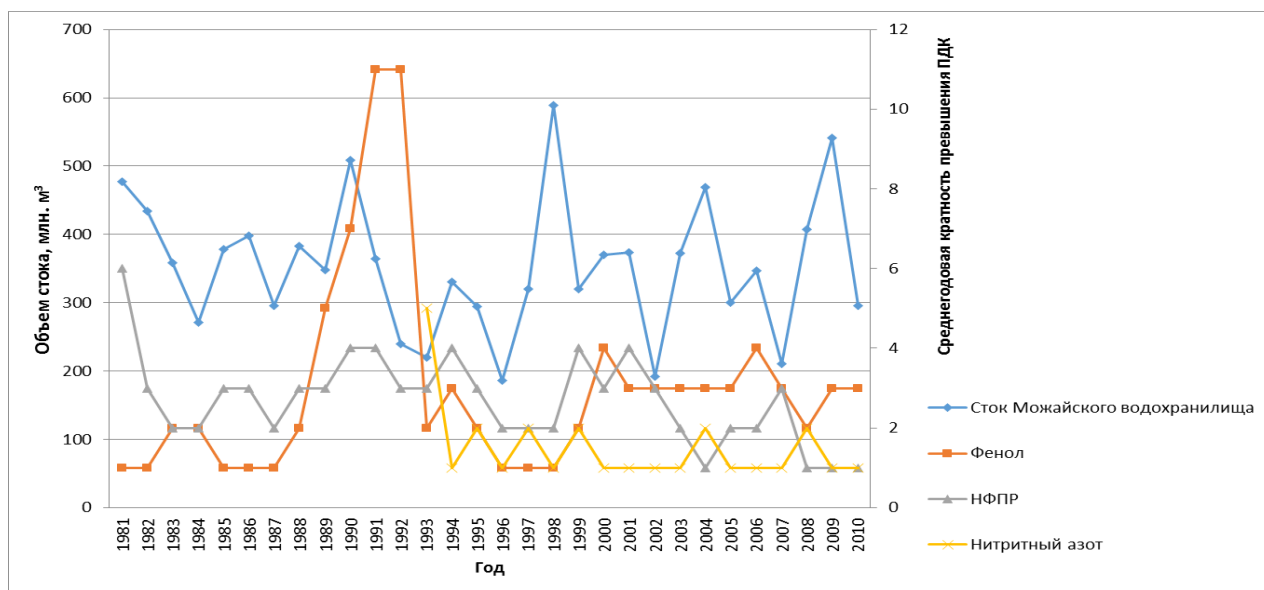


Рисунок 5.1.2. – График зависимости между значениями притока воды к Можайскому гидроузлу и концентрацией загрязняющих веществ в створе 1

На рисунке 5.1.2. видно что, между стоком Можайского водохранилища и уровнем загрязнения воды реки Москвы в створе 1 также происходит синхронное колебание показателей, с преобладанием прямой зависимости. Только в 1997–1998 годах наблюдается обратная зависимость, при которой увеличение объема стока сопряжено с уменьшением концентрации загрязняющих веществ, а 1999 и 2007 – снижение объемов стока – с увеличением концентрации.

При анализе данных рисунка 5.1.3. четко видно, что между стоком Рузского водохранилища и уровнем загрязнения воды реки Москвы в створе 1 проявляется как прямая в большинстве случаев, так и обратная зависимость (1991, 1992, 1994 и 1998 годы). В 1991 и 1992 годах показано, что уменьшение объема притока воды к Рузскому водохранилищу сопряжено с резким увеличением концентрации фенолов. Одиннадцатикратное превышение ПДК является абсолютным максимумом в данном створе за весь период анализируемых исходных данных. Надо отметить, что в данные годы наблюдался повышенный сток и по другим водохранилищам.

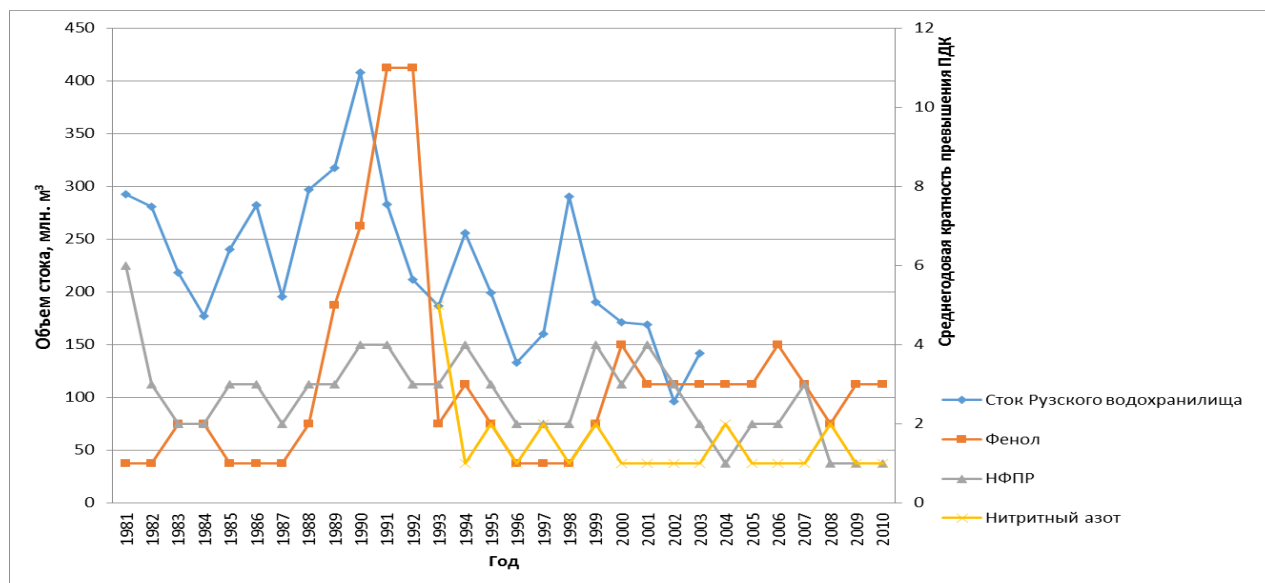


Рисунок 5.1.3. – График зависимости между значениями притока воды к Рузскому гидроузлу и концентрацией загрязняющих веществ в створе 1

Таким образом, на основе полученных данных можно сделать предположение, что в большинстве случаев увеличение объема значения стока р. Москвы к Москворецким водохранилищам может быть сопряжено с увеличением концентрации загрязняющих веществ в р. Москве ниже по течению. Неоднозначной является связь между резким увеличением концентрации отдельных показателей загрязняющих веществ и уменьшением притока воды к водохранилищам. Однако при анализе отсутствовали исходные данные по объемам возможного поступления от различных источников загрязнения. Поэтому влияние сбросов загрязняющих веществ в воду реки Москвы не учитывалось.

При этом в отдельные годы увеличение стока р. Москвы к водохранилищам было сопряжено с уменьшением концентрации рассматриваемых загрязнителей в воде. В подобных случаях, возможно говорить об эффективности использования принципа разбавления воды при совместном управлении количеством и качеством водных ресурсов реки Москвы. Однако необходимо продолжить исследования направлений по увеличению эффективности данного способа совместного управления.

5.2. Методические подходы к совместному управлению количеством и качеством водных ресурсов в бассейне реки Москвы

Совместное управление количеством и качеством водных ресурсов опирается на методические средства стохастической гидрологии [69], теории и практики управления водными ресурсами [16; 60; 61; 80; 104]. Наиболее важные задачи стохастической гидрологии связаны с теорией корреляции, то есть построением совместного распределения двух и более случайных величин. Эта задача возникает при приведении характеристик, определяемых по коротким рядам наблюдений к более продолжительным, при описании и имитационном моделировании стока на основе марковских процессов и др. [18].

Корреляция (корреляционная зависимость) – это вероятностная или статистическая взаимосвязь двух или более случайных величин. Математической мерой корреляции двух случайных величин служит коэффициент корреляции. В диссертационном исследовании применен коэффициент корреляции Пирсона [55; 57; 119], который устанавливает тесноту этой связи, поэтому его также называют коэффициентом линейной корреляции (r). Для расчета коэффициента корреляции была использована формула (7):

$$r_{XY} = \frac{\text{cov}_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2}}, \quad (7)$$

где $\bar{X}$ – среднее значение величины X ; $\bar{Y}$ – среднее значение величины Y

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^m \frac{X_i}{m}; \quad \bar{Y} = \sum_{i=1}^m \frac{Y_i}{m}.$$

Перед корреляционным анализом проведена проверка исходных данных на выпадающие значения. Согласно критерию Шапиро-Уилка распределения исходных данных подчиняется нормальному закону, а значит для исключения выпадающих значений применимо правило трех сигм (можно исключить данные, которые выходят за пределы трех стандартных отклонений от

среднего). [55] Пример влияния выпадающих значений на результаты корреляционного анализа для створа 4 приведен в приложении 5.

Примем значения признаков X – концентрации фенолов и Y – концентрации нефтепродуктов в створе 1. Рассчитаем коэффициент корреляции между концентрациями фенолов и нефтепродуктов в водах р. Москвы в створе 1:

$$\bar{X}=2.906, \bar{Y}=2.625,$$

$$\sum[(X-\bar{X})(Y-\bar{Y})]=19.875,$$

$$m\sigma_X = \sqrt{\sum(X-\bar{X})^2} = 13.737, \quad m\sigma_Y = \sqrt{\sum(Y-\bar{Y})^2} = 6.442,$$

$$r_{xy}=19.875/(13.737 \times 6.442)=0.225 \approx 0,23.$$

Все промежуточные данные и их суммы, необходимые для расчета данного коэффициента корреляции представлены в приложении 6. По формуле (7) были рассчитаны коэффициенты корреляции для установления связи между объемами притока к Истринскому, Можайскому, Рузскому, Озернинскому водохранилищам, объемом стока боковой приточности (на участке бассейна р. Москвы от створов данных водохранилищ до Рублевского гидроузла) с одной стороны и концентрацией фенолов или нефтепродуктов (среднегодовой кратностью превышения ПДК) – с другой. Для расчетов были взяты исходные данные Гидропроекта и Государственного водного кадастра, временной ряд которых представлен в главах 3 и 4. Оценка значимости полученных значений коэффициентов корреляции.

Оценим полученное нами эмпирическое значение коэффициента Пирсона, сравнив его с соответствующим критическим значением для заданного уровня значимости из таблицы критических значений коэффициента корреляции Пирсона. При нахождении критических значений для вычисленного коэффициента корреляции Пирсона число степеней свободы рассчитывается как $k=m-2$. Для выборки с числом элементов $m=32$ и уровнем значимости $p=0.05$ критическое значение коэффициента Пирсона

$r_{\text{крит}}=0.35$. В таблицах 5.2.1. и 5.2.2. жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции.

Полученные значения коэффициента корреляции представлены в таблице 5.2.1. Жирным шрифтом выделены значимые связи.

Таблица 5.2.1. – Значение коэффициента корреляции между концентрацией загрязняющих веществ в воде р. Москвы и средним многолетним объемом притока (млн. м³).

Показатель	Год	Содержание фенолов				Содержание нефтепродуктов			
		ств. 1	ств. 2	ств. 3	ств. 4	ств. 1	ств. 2	ств. 3	ств. 4
Год	1.00	0.05	0.00	-0.31	0.46	-0.55	-0.51	-0.94	0.34
Приток к Можайскому водохранилищу	0.22	-0.06	-0.11	-0.18	-0.53	0.01	0.10	-0.06	-0.53
Приток к Истринскому водохранилищу	0.27	0.07	0.00	-0.19	-0.34	-0.02	0.09	-0.30	-0.33
Приток к Рузскому водохранилищу	-0.11	0.23	0.13	-	-	0.42	0.41	-	-
Приток к Озернинскому водохранилищу	0.34	0.28	0.23	0.02	-0.45	0.09	0.11	0.06	-0.52
Сток боковой приточности	-0.36	-0.04	-0.05	-	-	0.22	0.17	-	-

Анализ данных таблицы 5.2.1. показал, что коэффициент корреляции между концентрацией фенолов в водах р. Москвы в створе 1 и среднем многолетнем объеме притока воды принимал значение в пределах от минус 0,06 до плюс 0,28, в створе 2 – от минус 0,11 до плюс 0,23, в створе 3 – от минус 0,19 до плюс 0,02, в створе 4 – минус 0,53 до минус 0,34.

Коэффициент корреляции между уровнем концентрации нефтепродуктов в воде р. Москвы и средним многолетним объемом притока воды к различным гидроузлам принимал значение в пределах от: в створе 1 – от минус 0,02 до плюс 0,42, в створе 2 – от плюс 0,09 до плюс 0,41, в створе 3 – от минус 0,30 до плюс 0,06, в створе 4 – минус 0,53 до минус 0,33.

Линейный коэффициент корреляции принимает значения от минус 1 до плюс 1. Связи между признаками могут быть слабыми и сильными (тесными). Шкала Чеддока для оценивания связи между признаками представлена ниже:

$0,1 < r_{xy} < 0,3$: слабая связь; $0,3 < r_{xy} < 0,5$: умеренная связь;

$0,5 < r_{xy} < 0,7$: заметная связь; $0,7 < r_{xy} < 0,9$: высокая связь;

$0,9 < r_{xy} < 1$: весьма высокая связь [169].

Как видно из таблицы 5.2.1. на створах 1 и 2 (около г. Звенигорода) значимые связи между концентрацией фенолов и средним многолетним объемом притока не установлены. В створе 4 между уровнем загрязнения фенолами воды и объемом притока к Можайскому водохранилищу выявлена заметная обратная связь ($r = -0,53$). В связи с этим можем сделать предположение, что влияние есть. Но для определения более точных характеристик данной связи необходимо дальнейшее проведение исследований между данными признаками.

Таким образом, высокие значения объема притока сопряжены с низкими концентрациями фенолов, низкие объемы притока – с высокими концентрациями. Можно сделать предположение, что вода реки Москвы на выходе из черты города Москва будет наиболее загрязнена фенолами в условиях пониженной водности водоема. Следовательно, в маловодные годы проведение обводнения русла р. Москвы может быть оперативным способом управления качеством воды.

Как показывает анализ данных таблицы 5.2.1. в створах 1 и 2 между концентрацией нефтепродуктов и притоком к Рузскому водохранилищу выявлена умеренная прямая связь ($r \approx 0,42$), которая является значимой [91]. Значимые связи на створах 1 и 2 приведены на графиках рисунков 5.2.1. и 5.2.2. Предположительно причиной появления значимой связи с притоком к Рузскому водохранилищу может быть увеличение количества осадков. Следствием этого становится увеличение поверхностного и подземного стока в данной части водосбора в отдельные годы. В условиях усиленной антропогенной нагрузки на бассейн реки Москвы это могло привести к

увеличению поступления загрязнителей с близлежащих территорий, в том числе с высоко урбанизированной территории на участке от г. Звенигорода до г. Москвы. Источники загрязнения, определенные Государственным водным кадастром, указаны в главе 4. Однако, в приведенных сведениях, отсутствует количественная характеристика фактического поступления загрязнителей в воды реки Москвы. Вследствие чего в диссертационной работе данный факт не учитывался.

При этом в целом заметно, что на створах 1 и 2 со временем концентрации нефтепродуктов падают, изменения концентрации нефтепродуктов на створах 1 и 2 (1981-2012 гг.) приведены в приложении 7. Кроме того, на створе 4 выявлена заметная обратная связь между концентрацией нефтепродуктов и притоком к Можайскому ($r = -0,53$) и Озернинскому ($r = -0,52$) водохранилищам. Однако данные значения коэффициентов корреляции на имеющемся массиве данных недостоверны, но могут быть интересны для дальнейших исследований.

Оценка связи между годом и концентрацией нефтепродуктов показала, что связи статистически значимы и отрицательны. Значения коэффициента корреляции на створе 1 ($r = -0,55$), на створе 2 ($r = -0,51$), на створе 3 ($r = -0,94$). Выявлено, что связь на створах 1 и 2 заметная, на створе 3 – высокая. Таким образом, можно сделать предположение, что снижение концентрации нефтепродуктов с 1981 года может быть сопряжено с увеличением водности в русле реки Москвы или связано с улучшением систем водоочистки на данном участке (от г. Звенигорода до г. Москвы).

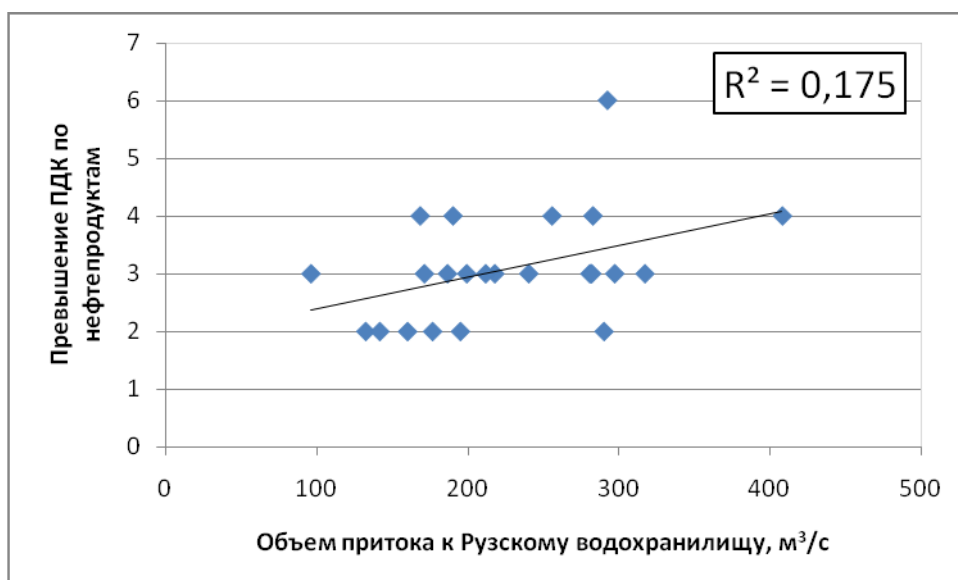


Рисунок 5.2.1. – Связь между концентрацией нефтепродуктов на створе 1 и объемом притока к Рузскому водохранилищу (1981-2003 гг.)

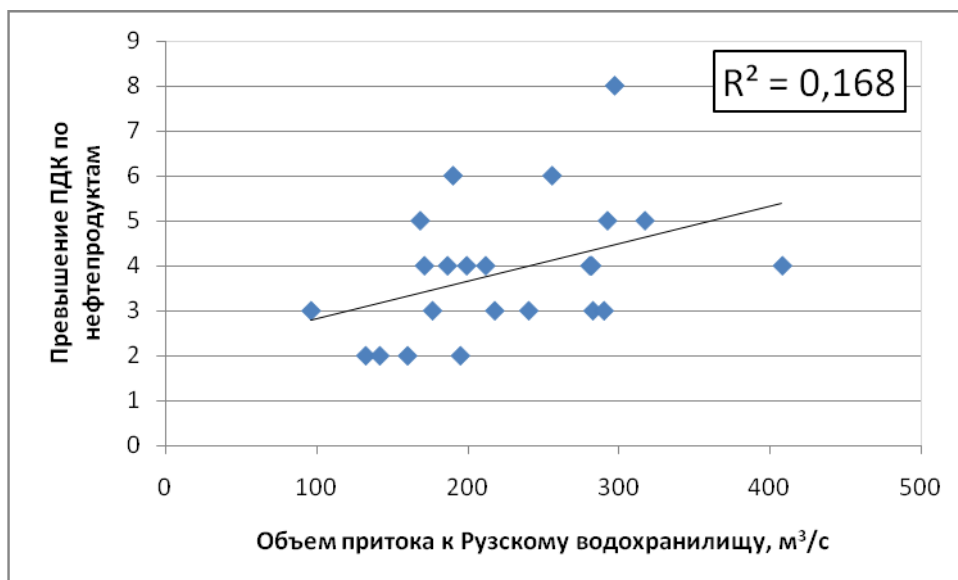


Рисунок 5.2.2. – Связь между концентрацией нефтепродуктов на створе 2 и объемом притока к Рузскому водохранилищу (1981-2003 гг.)

На рисунках 5.2.1. и 5.2.2. показан коэффициент детерминации, отражающий долю дисперсии концентрации нефтепродуктов, объясняемую дисперсией влияющей на нее объемом притока к Рузскому водохранилищу на створах 1 и 2.

Выводы

1. Результаты сравнительного анализа по определению связи между среднегодовыми значениями объема притока воды к водохранилищам МВС и

концентрациями некоторых загрязняющих веществ (фенолов, нефтепродуктов и нитритного азота) для изучаемых створов на р. Москве показали преобладание прямых связей. При этом в отдельные годы увеличение стока р. Москвы к водохранилищам сопровождалось уменьшению концентрации рассматриваемых загрязнителей в воде. В данных случаях возможно говорить об эффективности использования принципа разбавления воды при совместном управлении количеством и качеством водных ресурсов реки Москвы. Однако необходимо продолжить исследования направлений по увеличению эффективности данного совместного управления.

2. При помощи корреляционного анализа в створе 4 выявлены: заметная обратная связь между концентрацией фенолов и нефтепродуктов в водах р. Москвы и объемом притока к Можайскому водохранилищу ($r = -0,53$), между концентрацией нефтепродуктов и объемом притока к Озернинскому водохранилищу ($r = -0,52$). Однако данные значения коэффициентов корреляции на имеющемся массиве данных недостоверны, требуют расширения массива исходных данных (временного ряда). В дальнейшем планируется расширить массив и продолжить работу в этом направлении.

3. Значимые умеренные прямые связи выявлены между концентрацией нефтепродуктов и объемом притока к Рузскому водохранилищу в створах 1 ($r = 0,42$) и 2 ($r = 0,41$). Анализ изменения концентраций нефтепродуктов с 1981 года показал, что концентрации со временем достоверно снижаются ($r \approx -0,53$), можно предположить, что это связано с улучшением систем водоочистки.

4. Намечены подходы к совместному управлению количеством и качеством водных ресурсов в бассейне реки Москвы для улучшения ее экологического состояния. Представляется, что следует составлять балансы качества воды параллельно с количественными балансами и на их основе. При построении таких балансов необходимо принимать во внимание ряд факторов. В их числе: удаление загрязнений с безвозвратно изымаемой из источника водой; смещение загрязнений с водой водохранилищ вниз по течению (при

обводнении) и, как следствие, осреднение концентрации загрязняющих веществ по сезонам года – своего рода регулирование стока загрязнения воды; процессы самоочищения в руслах рек и водохранилищ

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 ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения / Н.Н. Абрамов. – М.: Стройиздат, 1979. – 231 с.
2. Авакян А.Б. Водохранилища / А.Б. Авакян, В.А. Шарапов, В.П. Салтанкин. – М.: Мысль, 1987. – 325 с.
3. Александровский А.Ю., Хасянов С.В. Оценка влияния ограничений по скорости изменения уровня воды в водохранилище на показатели работы каскада ГЭС / А.Ю. Александровский, С.В. Хасянов // Водное хозяйство России. – 2014. – №4. – С. 65-73.
4. Алексеевский Н.И. и др. Особенности формирования и расчета притока воды к тракту Москворецкого водоисточника / Н.И. Алексеевский, В.И. Жук, В.Ю. Иванов, Н.Л. Фролова // Водные ресурсы. – 1998. Т.25. – №2. – С. 146-151.
5. Алексеевский Н.И. и др. Учет изменчивости стока и качества воды ниже Москворецких водохранилищ для обеспечения надежности водоснабжения столицы / Н.И. Алексеевский, В.И. Жук, Н.Л. Фролова // ЭКВАТЭК 2008: управление водно-ресурсными системами в экстремальных условиях: сборник докладов междунар. конференции. – М., 2008. – С. 183-189.
6. Асарин А.Е. Методические указания по составлению правил использования водных ресурсов водохранилищ гидроузлов электростанций / А.Е. Асарин К.Н. Бестужева, А.Ш. Резниковский и др. / Под ред. В.С. Серкова – М.: Министерство топлива и энергетики Российской Федерации РАО "ЕЭС России", 2000. – 56 с.
7. Асарин А.Е. Проблемы водообеспечения / А.Е. Асарин // Водные ресурсы. – 2005. – №5. – С. 634-636.
8. Асарин А.Е., Бестужева К.Н. Водноэнергетические расчеты / А.Е. Асарин, К.Н. Бестужева. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 223 с.
9. Асарин А.Е., Полад-Заде П.А., Семенов А.Н. Водные ресурсы России и их использование / А.Е. Асарин, П.А. Полад-Заде, А.Н. Семенов // Гидротехническое строительство. – 2007. – №6. – С. 4-9.

10. Бабкин В.И. Водные ресурсы Российской Федерации в XX веке / В.И. Бабкин // Водные ресурсы. – 2004. – №4. – С. 395-400.
11. Бахтиаров В.А. Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты / В.А. Бахтиаров. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 430 с.
12. Беликов В.В., Колесников Ю.М., Иваненко С.А. Математическое моделирование пропуска весеннего половодья через городской бьеф р. Москвы / В.В. Беликов, Ю.М. Колесников, С.А. Иваненко // Водные ресурсы. – 2001. – Т.28. – №5. – С. 566-572.
13. Бестужева К.Н. Водные ресурсы и система водообеспечения Московского мегаполиса / К.Н. Бестужева // Юбилейный сборник научных трудов Гидропроекта (1930-2000), вып. 159. М.: АО «Институт Гидропроект», 2000. – С. 461-490.
14. Бестужева К.Н. Обоснование гарантированной водоотдачи системы водохранилищ / К.Н. Бестужева, Д.Н. Коробова, В.И. Пойзнер, В.И. Клёпов // Международный конгресс «Оптимальное использование водных ресурсов». – Варна: ИВП БАН. – 1983. – С. 397-404.
15. Блази С., Боровков В.С., Курочкина В.А. Комплексная экологическая безопасность водных объектов на урбанизированных территориях // Экология урбанизированных территорий. – 2012. – № 1. – С. 45-49.
16. Боровков С.В. Регулирование стока рек фильтрующими плотинами: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.17. – Санкт-Петербург, 2007. – 171 с.
17. Бусалаев И.В. Сложные водохозяйственные системы / И.В. Бусалаев. – Алма-Ата: Наука Казахской ССР, 1980. – 230 с.
18. Быков В.Д. Москва-река / В.Д. Быков // – М.: МГУ, 1951. – 106 с.
19. Быков Л.С. Канал им. Москвы – крупный водохозяйственный комплекс и его народнохозяйственное значение / Л.С. Быков // Водные ресурсы – 1974. – № 3. – С. 80-84.
20. Вагнер Б.Б. Озёра и водохранилища Московского региона / Б.Б. Вагнер, В.Т. Дмитриева. – М.: МГПУ, 2004. – 105 с.

21. Великанов А.Л. Регулирование стока как задача теории управления водными ресурсами / А.Л. Великанов // Водные ресурсы. – 1999. Т.27. – №5. – С. 583-593.
22. Великанов А.Л., Клёпов В.И. Некоторые особенности экологического ущерба при вынужденном сокращении гарантированной отдачи водно-ресурсной системы / А.Л. Великанов, В.И. Клёпов // Всесоюзная конференция «Методология экологического нормирования». – Харьков: Харьков ВНИИ по охране вод, 1990. – С. 36-39.
23. Великанов А.Л., Клёпов В.И. Определение гарантированной водоотдачи системы водохранилищ для водоснабжения / А.Л. Великанов, В.И. Клёпов // Гидротехническое строительство. – 1983. – № 9. – С. 15-18.
24. Великанов А.Л., Клёпов В.И., Минкин Е.Л. Совместное использование поверхностных и подземных вод в Московском регионе при современных экологических требованиях / А.Л. Великанов, В.И. Клёпов, Е.Л. Минкин // Водные ресурсы. – 1994. – № 6. – С. 711-714.
25. Великанов А.Л., Коробова Д.Н., Пойзнер В.И. Моделирование процессов функционирования водохозяйственных систем / А.Л. Великанов, Д.Н. Коробова, В.И. Пойзнер. – М.: Наука, 1983. – 104 с.
26. Великанов А.Л., Кудинов А.Г. Прогноз водопотребления как основа разработки стратегии управления водными ресурсами / А.Л. Великанов, А.Г. Кудинов // Международный конгресс «Вода, экология, технология» ЭКВАТЭК–2002. М: «СИБИКО Интернэшнл», 2002. – С. 44-46.
27. Великанов А.Л., Хранович И.Л., Клёпов В.И. и др. Проблемы надежности при многоцелевом использовании водных ресурсов / А.Л. Великанов, И.Л. Хранович, В.И. Клёпов и др. – М.: Наука, 1994. – 225 с.
28. Венецианов Е.В. Об экологической ситуации в Волжском бассейне / Е.В. Венецианов // Водные ресурсы. – 1999. – Т.27. №2. – С. 252-254.
29. Вершинская М.Е. Эколого-водохозяйственная оценка водных систем: монография. – М.: Изд-во РГАУ–СХА, 2016. – 143 с.

30. Вишневская Г.Н. Внутриводоёмные процессы в долинных водохранилищах разного возраста / Г.Н. Вишневская, Д.В. Ломова // Метеорология и гидрология. – 2016. – № 12. – С. 63-75.
31. Владимиров А.М. Принцип оценки экологического стока рек / А.М. Владимиров, Ф.А. Имамов // Вопросы экологии и гидрологические расчеты. Сборник научных трудов – СПб: Изд-во РГГМИ, 1994. – 170 с.
32. Водные ресурсы России и их использование. – СПб: Государственный гидрологический институт, 2008. – 600 с.
33. Водоснабжение Москвы (1979–1925) / под редакцией П.В. Сытина. – М.: Московское коммунальное хозяйство, 1979. – 39 с.
34. Водоснабжение Москвы (в вопросах и ответах) / А.С. Матросов и др. – М.: Московский рабочий, 1983. – 141 с.
35. Водохранилища Москворецкой водной системы. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 266 с.
36. Водный кодекс Российской Федерации. – М.: Проспект, 2014. – 48 с.
37. Волков Д.А. Экологическое состояние подмосковных водохранилищ в условиях изменения структуры природопользования (на примере водохранилищ системы канала имени Москвы): диссертация ... кандидата географических наук. – М.: МГУ, 2013. – 165 с.
38. Воропаев Г.В., Исмаилов Г.Х., Федоров В.М. Развитие водохозяйственных систем (методы анализа и оценки эффективности их функционирования) / Г.В. Воропаев, Г.Х. Исмаилов, В.М. Федоров. – М.: Наука, 1989. – 295 с.
39. Воропаев Г.В. Некоторые вопросы управления использованием водных ресурсов / Г.В. Воропаев // Водные ресурсы. – 1992. – №5. – С. 5-11.
40. Гидрологическое обоснование проекта «Основные положения правил эксплуатации водохранилищ Москворецкой ВХС». – М.: Гидропроект, 1989. – 45 с.

41. Гидрологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз). / Под ред. К.К. Эндельштейна. – М.: Издательство «Перо», 2015. – 286 с.
42. Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Ежегодное издание, 1981–2012 гг.
43. Григорьева И.Л. Сравнительная гидротехническая оценка современного состояния некоторых водных объектов Верхней Волги / И.Л. Григорьева, А.Б. Комиссаров // Водные ресурсы. – 2014. Т.41. – № 3. – С. 269-284.
44. Грин Г.Б. Попуски в нижний бьеф. – М.: Энергия, 1971. – 95 с.
45. Данилов-Данильян В.И. Обоснование стратегии управления водными ресурсами. – М.: Научный мир, 2006. – 336 с.
46. Данилов-Данильян В.И., Пряжинская В.Г. и др. Водные ресурсы и качество вод: состояние и проблемы управления / В.И. Данилов-Данильян, В.Г. Пряжинская и др. – М.: РАСХН, 2010. – 415 с.
47. Даценко Ю.С. Основы управления водными экосистемами: метод.пособие. М.: Изд-во Моск.ун-та, 2001. – 108 с.
48. Даценко Ю.С. Формирование и трансформация качества воды в системах источников водоснабжения города Москвы: диссертация ... доктора географических наук. – М.: МГУ, 2015. – 219 с.
49. Даценко Ю.С., Пуклаков В.В., Ершова М.Г., Эдельштейн К.К. Использование гидрологической модели для воспроизведения экологического состояния водохранилищ // Материалы Первой открытой конференции Научно-образовательного центра Ресурсы и качество вод суши: оценка, прогноз и управление. – М.: ИВП РАН, 2011. С. 82-97.
50. Дебольский В.К. Экспериментальное исследование разрушения подводных преград при воздействии экстремальных волновых процессов / В.К. Дебольский, И.И. Грицук, А.В. Остякова, И.Н. Завьялов, Н.К. Пономарев,

Е.К. Синиченко. – М.: Вестник РУДН, серия Инженерные исследования. – 2014. – №4. – С. 78-83.

51. Добровольский С.Г. О междугодичных изменениях составляющих мирового водного баланса и запасов воды на суше / С.Г. Добровольский // Водные ресурсы. – 1981. – № 6. – С. 165-169.

52. Добровольский С.Г. Глобальные изменения речного стока / С.Г. Добровольский. – М.: ГЕОС, 2011. – 660 с.

53. Долгоносов Б.М. Сезонные изменения в распределении вероятностей показателей качества речной воды / Б.М. Долгоносов, К.А. Корчагин // Водные ресурсы. – 2014. – Т.41. – №1. – С.39-47.

54. Дубинина В.Г. Методические основы экологического нормирования безвозвратного изъятия речного стока и установления экологического стока (попуска). – М.: Научный мир, 2001. – 211 с.

55. Елисеева И.И. Юзбашев М.М. Общая теория статистики. Учебник / под ред. чл. кор. РАН И.И. Елисеевой. – М.: Финансы и статистика, 2001. – С. 182-241.

56. Ершова М.Г., Заславская М.Б., Эдельштейн К.К. Использование балансовой модели для расчета содержания органического вещества в водохранилище: тез.докл. на III Всес. симпоз. «Антропогенное эвтрофирование природных вод». – Черноголовка (Моск. обл): [Б.и.], 1983. – С. 45-46.

57. Железняков Г.В., Неговская Т.А., Овчаров Е.Е. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока. – М.: Колос, 1984. – 224с.

58. Забелин В.А., Рогачев Г.П. Водопотребление и водообеспечение Москвы и Московской области в перспективе / В.А. Забелин, Г.П. Рогачев // Водные ресурсы. – 1974. – №5. – С. 68-76.

59. Иванова Т.И. Совершенствование методики расчета объемов водозабора в проектах территориального перераспределения стока: дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГУ, 2010. – 157 с.

60. Исмаилов Г.Х., Шаталова К.Ю. Формализация гидрологических особенностей в моделях управления водохозяйственными системами / Г.Х. Исмаилов, К.Ю. Шаталова // Водные проблемы на рубеже веков. – 1999. – С. 279-290.

61. Исмаилов Г.Х., Прошляков И.В., Раткович Л.Д. Методология управления большими водохозяйственными системами на примере Волжско-Камского каскада водохранилищ // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – №4. – С. 16-21.

62. Исмаилов Г.Х., Клёпов В.И., Муращенкова Н.В. и др. Разработать водохозяйственный баланс Московского региона в годы различной водности. Отчет о научно-исследовательской работе по Государственному контракту от 22 октября 2012 года № 4 – НИОКР/ 1-3-2012 по базовому проекту 12фцп-У4-01 «Оптимизировать совместное функционирование водохранилищ в единой системе водоснабжения с целью управления режимом и качеством воды на примере Московского региона». ФГБОУ ВПО. – М.: Московский государственный университет природообустройства, 2012. – 103 с.

63. Исмаилов Г.Х., Клёпов В.И., Муращенкова Н.В. и др. Разработать перечень обводняемых объектов и рациональный объем обводнения Московского региона. Отчет о научно-исследовательской работе по Государственному контракту от 22 октября 2012 года № 4 – НИОКР/ 1-3-2012 по базовому проекту 12фцп-У4-01 «Оптимизировать совместное функционирование водохранилищ в единой системе водоснабжения с целью управления режимом и качеством воды на примере Московского региона». ФГБОУ ВО. – М.: Московский государственный университет природообустройства, 2013. – 150 с.

64. Исмаилов Г.Х., Клёпов В.И. Водохозяйственный баланс Московского региона в современных условиях // Природообустройство. – 2013. – № 5. – С. 47-50.

65. Исмаилов Г.Х., Клёпов В.И. Разработка методики определения рациональных объемов обводнительных попусков в Московском регионе // Природообустройство. – 2014. – № 5. – С. 47-50.

66. Исмаилов Г.Х., Клёпов В.И., Муращенкова Н.В. и др. Разработать предложения по схеме компенсационного управления ресурсами поверхностных вод Московского региона». Отчет о научно-исследовательской работе по Государственному контракту от 22 октября 2012 года № 4 – НИОКР/ 1-3-2012 по базовому проекту 12фцп-У4-01 «Оптимизировать совместное функционирование водохранилищ в единой системе водоснабжения с целью управления режимом и качеством воды на примере Московского региона». М.: РГАУ МСХА, 2014. – 77 с.

67. Исмаилов Г.Х., Клёпов В.И. Разработка алгоритма эксплуатации водохранилищ Московского региона в современных условиях: материалы Международного научного форума «Проблемы управления водными и земельными ресурсами». – М.: РГАУ – МСХА, 2015. – С. 85-94.

68. Исмаилов Г.Х., Клёпов В.И. Разработка методики определения рациональных объемов обводнительных попусков в Московском регионе // Природообустройство. – 2014. – № 5. – С. 70-75.

69. Картвелишвили Н.А. Стохастическая гидрология. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 164 с.

70. Кизяев Б.М. Водное хозяйство: проблемы и пути решения / Б.М. Кизяев, С.Д. Исаева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – №6. – С. 23-27.

71. Клёпов В.И. Управление природоохранными попусками в бассейне Верхней Волги как способ повышения надежности водообеспечения Московского региона / В.И. Клёпов // Водные ресурсы. – 2007. – №5. – С. 626-630.

72. Клёпов В.И., Сотникова Л.Ф. Водные ресурсы рек России и их использование / В.И. Клёпов, Л.Ф. Сотникова // Труды 5-ой Межд. научно-практической конференции «Проблемы природопользования, устойчивого

развития и техногенной безопасности регионов». – Днепропетровск: Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины, 2009. – С. 55-57.

73. Клёпов В.И. Водные ресурсы и качество вод: состояние и проблемы управления / В.И. Клёпов, В.И. Данилов-Данильян, В.Г. Пряжинская и др. // М.: РАСХН, 2010. – С. 146-167.

74. Клёпов В.И. Гидролого-водохозяйственное обоснование устойчивого водообеспечения крупного региона / В.И. Клёпов // Всероссийская научная конференция «Устойчивость водных объектов, водосборных и прибрежных территорий; риски их использования». – Калининград: Изд-во АН РАН, 2011. – С. 53-62.

75. Клёпов В.И. Методика построения правил управления водно-ресурсной системой в условиях пониженной водности // Бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов в России». – 2011. – №1. – С. 26-29.

76. Клёпов В.И. Надежность и риск при управлении сложной водно-ресурсной системой (на примере Московского региона) // Природообустройство. – 2011. – №2. – С. 30-36.

77. Клёпов В.И. Развитие методологии управления сложными водно-ресурсными системами :дис. ... д-ра тех. наук : 05.23.16. – Москва, 2011. – 280 с.

78. Клёпов В.И. Управление водными ресурсами Московского региона для устойчивого водообеспечения в маловодных условиях // Гидротехническое строительство. – 2011. – № 12. – С. 25-30.

79. Клёпов В.И., Кудинов А.Г. К водохозяйственному балансу Московского региона // Бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов в России». – 2012. – №2. – С. 20-23.

80. Клёпов В.И. Развитие методологии управления сложными водно-ресурсными системами (на примере Московского региона) // Тезисы V11 Всероссийского гидрологического съезда. – СПб.: ГГИ [Электронный ресурс], 2013.

81. Клёпов В.И., Исмайлов Г.Х. Управление количеством и качеством водных ресурсов в Московском регионе. Доклады ТСХА. М.: Изд-во РГАУ – МСХА, 2015. – С. 379-384.

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

83. 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 Т.1: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. – Ростов-н/Д: Изд-во Южного федерального университета, 2015 – С.121-127.

84. 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.

85. 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. –М., 2015. – С. 76-84.

86. 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.

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

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

89. Клёпов В.И., Рагулина И.В. Количество и качество водных ресурсов в бассейне реки Москвы // Экология. Экономика. Информатика. Сборник статей: в 2-х т. Т.1: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Выпуск 1. – Ростов-н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. – С. 629-634.

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

91. 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) / под ред. Ю.А. Омельчук, Н.В. Ляминой, Г.В. Кучерик. – Севастополь: СевГУ, 2017. – С.624-630.

92. Колесников Ю.М., Храменков С.В., Волков В.З., Медведев Л.И. Промывка русла р. Москвы и ее воздействие на экологическую обстановку // Водные ресурсы. – 2000. – Т. 27. № 46. – С. 449-456.

93. Коломийцев Н.В. Оценка техногенной нагрузки на водные объекты по загрязненности донных отложений / Н.В. Коломийцев, Б.И. Корженевский, Т.А. Ильина, Е.Н. Гетьман // МиВХ. – 2015. – № 6. – С. 15-19.

94. Комплексные критерии качества вод и технологий / А. Попов, Н. Сечкова, Г. Оболдин // ВодаMagazine. – 2016. – №1. – С. 25-36.

95. Коронкевич Н.И. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. – М.: Наука, 1990. – 205 с.

96. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Долгов С.В., Зайцева И.С., Кашутина Е.А., Ясинский С.В. Гидрологические последствия антропогенного

воздействия на водосборы и водные объекты европейской части России // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Том III. Управление водными ресурсами речных водосборов. – Пермь: Пермский ГУ, 2011. – С. 120-124.

97. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Георгиади А.Г., Долгов С.В., Зайцева И.С. Риски экстремальных гидрологических ситуаций на территории России // Устойчивость водных объектов, водосборных и прибрежных территорий; риски их использования. Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции (Калининград, 25–30 июля 2011 г.). – Калининград: Капрос, 2011. – С. 209-216.

98. Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Современные тенденции изменения поверхностных водных ресурсов Московского региона. Геоэкологические проблемы Новой Москвы: сборник научных трудов. – М.: Медиа – ПРЕСС, 2013. – С. 27-33.

99. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Георгиади А.Г., Долгов С.В., Зайцева И.С., Кашутина Е.А., Мельник К.С., Ясинский С.В. Природные и антропогенные изменения речного стока // Сб. трудов Третьей открытой конференции научно-образовательного центра «Речной сток: пространственно-временная изменчивость и опасные гидрологические явления». 13 ноября 2014 г. – М.: Кафедра гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова, ИВП РАН, 2014. – С. 24-44.

100. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Бибикова Т.С., Долгов С.В., Зайцева И.С., Кашутина Е.А., Мельник К.С., Ясинский С.В. Гидрологические последствия хозяйственной деятельности на водосборах // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Труды Четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием. – Москва, 15–18 сентября 2015 г. – М.: ИВП РАН, 2015. – С. 305-308.

101. Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Антропогенные воздействия на сток реки Москвы: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2015. – 168 с.

102. Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Трансформация стока под влиянием ландшафтных изменений в бассейне реки Москвы и на территории города Москвы / Н.И. Коронкевич, К.С. Мельник // Водные ресурсы. – 2015. Т. 42. – № 2. – С. 133-143.

103. Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Изменение стока реки Москвы в результате антропогенных воздействий / Н.И. Коронкевич, К.С. Мельник // Водные ресурсы. – 2017. –Т.44. – №1. – С. 3-14.

104. Красов В.Д. Управление поверхностными водными ресурсами при нестационарности их формирования и использования : дис. ... д-ра. техн.наук :05.23.16. Москва, 2013. – 307 с.

105. Кременецкая Е.Р., Белова С.Л., Соколов Д.И., Ломова Д.В. Особенности продуцирования и трансформации органического вещества в Можайском водохранилище при пониженном уровне воды / Е.Р. Кременецкая, С.Л. Белова, Д.И. Соколов, Д.В. Ломова // Водные ресурсы. – 2015. Т.42. – № 1. – С. 71-85.

106. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком / С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель. – М.: Наука, 1981. – 255 с.

107. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами / С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель. – М.: Наука, 1982. – 271 с.

108. Кудинов А.Е. Современные водохозяйственные балансы основных речных бассейнов Российской Федерации / А.Е. Кудинов // Водные ресурсы. – 2005. – №5. – С. 533-538.

109. Кулюкин А.С. Экологические проблемы ресурсов Московской области: дис. ... канд. гео. наук / А.С. Кулюкин.– М.: ГУЗ, 2004. – 152 с.

110. Курочкина В.А. Формирование и экологические свойства русловых отложений в водостоках на урбанизированных территориях: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 25.00.36 / В.А. Курочкина. – М., 2012. – 21 с.

111. Латушкина Е.Н. Распределение микроэлементов в донных отложениях реки Москвы в условиях техногенного воздействия: на примере

юго-восточного района г. Москвы: дис. ... канд. геол-минер. наук: 25.00.36 / Е.Н. Латушкина. – М., 2005. – 171 с.

112. Лебедева И.П. Специальные попуски в нижние бьефы, их природоохранное значение: автореф. дис. ... канд. техн. наук / И.П. Лебедева. – М.: ИВП АН СССР, 1986. – 25 с.

113. Маркин В.Н. Универсальный метод. Определение экологического стока путем оценки по степени сохранности экосистемы // ВодаMagazine. – 2012. – №1. – С. 30-33.

114. Методика расчета водохозяйственных балансов водных объектов. – М.: МПР РФ, 2007. – 40 с.

115. Методические указания о составе, содержании, порядке разработки, согласования, утверждения, уточнения схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов. ИВН 33-5.1.07-87. – М.: Минмелиоводхоз СССР, 1987. – 67 с.

116. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты (утверждены Приказом МПР России от 12.12.2007 г. №328, согласованы в Минюсте РФ 23 января 2008 г. №10974). – М.: МПР РФ, 2008.

117. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. – М.: МПР РФ, 2007.

118. Мешков В.В. Оптимизация попусков воды из Гилевского водохранилища в период прохождения паводка с целью обводнения поймы р. Алей: дис. ... канд. с-х. наук: 06.01.02. – Барнаул: Алт. гос. аграр. ун-т, 2009. – 154 с.

119. Михайлов В.М., Добровольский А.Д. Общая гидрология. – М.: Наука, 1991.

120. Моделирование качества воды в источнике водоснабжения / С.В. Храменков, Н.И. Алексеевский, В.А. Жук и др. // Водоснабжение и санитарная техника. – 1999. – № 4. – С. 16-19.

121. Никаноров А.М. Научные основы мониторинга качества вод: монография / А.М. Никаноров; Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Гидрохим. ин-т. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2005. – 574 с.

122. Никифорова Д.А. Имитационная модель для расчета емкости наливных водохранилищ : канд. ... техн.наук : 05.23.16. – Москва, 2007. – 191 с.

123. Обоснование попуска воды из канала им. Москвы в р. Москву. Том 1. Попуск из канала им. Москвы / отв. исполн. С.Н. Шашков. – М.: Электроэнергетический Совет СНГ «Ассоциация Гидропроект», 2005. – С. 15-18.

124. Озерова Н.А. Источники водоснабжения Москвы // Полимерные трубы: информационно-аналитический журнал. – 2008. – № 3 (21). – С. 78-87.

125. Озерова Н.А. История изучения гидрографической сети реки Москвы: дис. ... канд. Геогр. наук. М.: РАН, 2011. – 239 с.

126. Озерова Н.А. Москва-река в пространстве и времени / отв. ред. д.г.н. проф. В.А. Широкова. – М.: Прогресс-Традиция, 2014. – 320 с.

127. Озиранский Ю.С. Управление режимами работы водохранилищ при объединении речных бассейнов: автореф. дис. ... канд. техн. наук – М., 1986. – 23 с.

128. Основные положения правил использования водных ресурсов Верхневолжского водохранилища на р. Волге. – М.: Госводхоз РСФСР, 1963. – 12 с.

129. Основные положения правил использования водных ресурсов водохранилищ водораздельного бьефа канала имени Москвы. – М.: Госводхоз РСФСР, 1963. – 23 с.

130. Основные положения правил использования водных ресурсов водохранилищ Москворецкой водной системы. – М.: Госводхоз РСФСР, 1963. – 32 с.

131. Основные положения правил использования водных ресурсов Вышневолоцкой водной системы. – М.: Госводхоз РСФСР, 1963. – 12 с.
132. Основные положения правил использования водных ресурсов Иваньковского водохранилища на р. Волге. – М.: Госводхоз РСФСР, 1963. – 12 с.
133. Основные правила использования водных ресурсов водохранилищ Вазузской гидротехнической системы. – М.: Минводхоз РСФСР, 1981. – 18 с.
134. Плешков Я.Ф. Регулирование речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 560 с.
135. Плоткин Ю.Г. Управление водным режимом проточных озер с использованием прогнозов притока (на примере озера Сайма и реки Вуокса): автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.27. – М., 2003. – 28 с.
136. Полянин В.О. Ландшафтно-гидрологический подход к моделированию стока воды с речного водосбора: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – М., 1991. – 24 с.
137. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03. – М.: Минздрав России, 2003. – С.3-31.
138. Пуклаков В.В. Гидрологическая модель водохранилища: руководство для пользователей. – М.: Геос, 1999. – 96 с.
139. Пуклаков В.В., Гречушникова М.Г., Степаненко В.М. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2011613255 «Модель тепло-массообмена водохранилища (ТМО)». – Заявка № 201613255. – Дата поступления 3 марта 2011 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 27 апреля 2011 г.
140. Пути восстановления и реабилитации водных объектов / А. Попов // ВодаMagazin. – 2016. – №5. – С. 48-51.

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

142. Рагулина И.В. Анализ исходной гидрологической информации в бассейне реки Москвы // Экология. Экономика. Информатика. Сборник статей: в 2-х т. Т.1: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Выпуск 1. – Ростов-н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. – С.642-646.

143. Распоряжение правительства РФ от 28.07.2011 о концепции федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах».

144. Раткович Д.Я. Актуальные проблемы водообеспечения / Д.Я. Раткович. – М.: Наука, 2003. – 352 с.

145. Раткович Л.Д. Вопросы рационального использования водных ресурсов и проектного обоснования водохозяйственных систем / Л.Д. Раткович, В.Н. Маркин, И.В. Глазунова. – М.: ФГБОУ ВПО РГАУ МСХА – им. К.А. Тимирязева институт природообустройства им. А.Н. Костякова, 2014. – 218 с.

146. РД 52.24.24. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. – М.: Изд-во Министерства природных ресурсов, 2007. – С.309-330.

147. Резниковский А.Ш., Александровский А.Ю., Атурин В.В. и др. Гидрологические основы гидроэнергетики / А.Ш. Резниковский, А.Ю. Александровский, В.В. Атурин. – М.: Энергия, 1979. – 232 с.

148. Реймерс Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.

149. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность Том 10. Книга 1. Верхне-Волжский район. – М.: Московское отд. Гидрометиздат, 1973. – 475 с.

150. Рисник Д.В. Биоиндикация качества воды по структурным показателям фитопланктонных сообществ и диагностика причин экологического неблагополучия в Волжском бассейне :дис. ... канд. био. наук: 03.02.08. – Москва, 2012. – 330 с.

151. Рябышев М.Г. Проблемы источников водоснабжения Москвы // Водные ресурсы. – 1974. – №3. – С. 23-26.

152. Рябышев М.Г. Использование и охрана водных ресурсов Москвы / М.Г. Рябышев. – М.: Информационный бюллетень СЭВ, 1984. – С. 23-34.

153. Саваренский А.Д. Метод расчета регулирования стока / А.Д. Саваренский // Гидротехническое строительство, 1940. – №2. – С. 24-28.

154. СанПиН 2.1.4.559–96. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 24.10.1996 N 26).

155. СанПиН 2.1.5.980-00, Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. (Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22 июня 2000).

156. СанПиН Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод (утв. главным государственным санитарным врачом РФ 22.06.2000 г.).

157. Строганов С.Н., Захаров Н.Г. Волга, Ока и Москва-река в качестве источников водоснабжения г. Москвы / С.Н. Строганов, Н.Г. Захаров. – М.: Мосгублит, 1927. – Вып. 3. – 51 с.

158. Строительные нормы и правила (СНИП, 11-31-74). Водоснабжение, Наружные сети и сооружения. М.: Стройиздат, 1976. – С. 12-13.

159. Схема внешних источников водообеспечения Москвы. Дедовск: ОКБ Гидропроекта, 1987. – 43 с.

160. Фащевский Б.В. Основы экологической гидрологии / Б.В. Фащевский. – Минск, 1996. – 240 с.

161. Фащевский Б.В. Проблемы Экологического нормирования водного режима рек // Мелиорация и водное хозяйство. – 1993. – №5. – С. 17-19.
162. Федеральная целевая программа (ФЦП) «Обеспечение населения России питьевой водой». – М.: Министерство экономики, 1996. – 333 с.
163. Шабанов В.В. Комплексное использование водных ресурсов и охрана природы / В.В. Шабанов, И.Г. Галямина, Э.С. Беглярова и др. – М.: Колос, 1994. – 318 с.
164. Шабанов В.В., Маркин В.Н. Оценка качества воды и экологического состояния водных объектов // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2008. – № 10. – С. 28-38.
165. Шапоренко С.И., Ясинский С.В., Вишневская И.А. Изменение морфометрических параметров водохранилищ Москворецкой водной системы за период их эксплуатации // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2014. – № 1. – С. 4-22.
166. Шевелев Ф.А., Орлов Г.А. Водоснабжение больших городов зарубежных стран / Ф.А. Шевелев, Г.А. Орлов. – М.: Стройиздат, 1987. – 269 с.
167. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. Влияние климатических изменений на водные ресурсы и водный режим / И.А. Шикломанов, В.Ю. Георгиевский // Сборник материалов "Всемирная конференция по изменению климата". – М.: Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, 2003. – С. 250.
168. Шилькрот Г.С. Биогеохимические процессы и потоки веществ и энергии в нарушенных водных экосистемах // Известия РАН. Серия географическая. – 2008. – №3. – С. 35-44.
169. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
170. Эдельштейн К.К., Даценко Ю.С., Пуклаков В.В. Экспериментальная оценка погрешности модельного расчета стратификации

водной толщи в водохранилище // Вестник Московского ун-та. Сер. 5. География. – 2005. – № 6. – С. 20-24.

171. Эльпинер Л.И., Шаповалов А.Е. Управление качеством и количеством вод в интересах охраны здоровья населения // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2012: труды шестой международной конференции (ежегодный сборник) / под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2012. – С. 430-438.

172. Ясинский С.В., Гуров Ф.Н., Кашутина Е.А. Современное геоэкологическое состояние реки Москвы в пределах урбанизированной части ее водосбора. Часть I // Водное хозяйство России. – 2005. – Том 7.– № 1. – 111 с.

173. Ясинский С.В., Кашутина Е.А. Влияние региональных колебаний климата и хозяйственной деятельности на изменение гидрологического режима водосборов и стока малых рек // Водные ресурсы. – 2012. – Т.39. –№ 3. – С. 269-291.

174. <http://base.garant.ru/12147594/5/>

175. <http://gidro-ved.ru/ru/about>

176. <http://www.mosvodokanal.ru/>

177. <http://textual.ru/gvr/index.php?card=178461>

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Средние годовые значения стока р. Москвы в створах гидроузлов за
1914/1915 по 2010/2011 гг., млн. м³.

Год (III- II)	Створ Можайского гидроузла	Створ Истринского гидроузла	Створ Рузского гидроузла	Створ Озернинского гидроузла	Створ Рублевского гидроузла (боковой приток)*
1914	205,06	152,17	173,42	111,2	493,25
1915	349,55	259,62	295,6	189,65	841,69
1916	415,82	308,7	351,63	225,44	1000,78
1917	297,98	221,45	251,95	161,72	717,86
1918	258,28	175,23	209,25	142,36	560,79
1919	278,32	172,25	226,16	138,52	556,89
1920	227,23	145,35	184,51	116,05	480,75
1921	126,06	83,19	88,85	74,95	284,09
1922	234,74	148,07	186,37	120,11	493,51
1923	280,9	175,99	229,25	141,75	568,2
1924	249,33	175,27	201,5	126,57	509,85
1925	228,67	135,86	191,06	127,06	317,67
1926	376,94	306,89	268,98	161,29	646,07
1927	420,86	243,86	350,92	199,43	870,77
1928	382,96	224,85	322,32	184,7	723,97
1929	317,52	209,6	267,86	147,4	518,52
1930	206,34	136,38	191,84	116,89	414,2
1931	337,82	218,27	264,04	163,81	745,07
1932	333,44	202,21	265,18	166,18	632,48
1933	535,49	245,95	394,08	241,77	977,02
1934	260,37	221,79	236,34	182,67	793,12
1935	235,48	247,07	251,04	177,81	611,23
1936	255,62	205,85	207,27	131,37	625,93
1937	174,74	132,34	115,26	104,18	456,42

Год (III- II)	Створ Можайского гидроузла	Створ Истринского гидроузла	Створ Рузского гидроузла	Створ Озернинского гидроузла	Створ Рублевского гидроузла (боковой приток)*
1938	198,18	152,33	156,53	104,59	458,37
1939	226,16	137,1	156,2	127,45	429,96
1940	301,57	134,36	205,12	124,58	437,7
1941	293,62	176,81	220,44	139,62	542,52
1942	448,97	233,86	319,47	181,23	693,2
1943	268,09	140,57	296,2	147,71	526,71
1944	249,18	161,69	192,94	150,89	513,11
1945	299,33	128	253,13	125,39	408,81
1946	317,63	198,97	267,63	174,94	725,21
1947	465,2	254,18	376,63	262,54	801,19
1948	287,18	180,08	258,43	170,33	486,32
1949	289,72	203,33	279,49	179,55	522,89
1950	345,82	181,73	307,26	162,11	528,42
1951	234,72	165,34	186,66	127,37	561,6
1952	287,54	180,43	244,68	136,31	564,15
1953	356,13	321,41	281,88	212,44	705,4
1954	247,9	164,42	184,5	103,71	430
1955	357,94	276,15	293,22	179,65	755,87
1956	277,93	250,22	228,41	166,94	527,56
1957	330,74	245,18	329,11	184,26	573,44
1958	413,63	285,57	342,07	206,38	640,91
1959	211,33	208,16	189,21	127,91	474,09
1960	424,31	258,37	339,92	202,11	707,76
1961	275,12	188,29	216,11	134,58	529,13
1962	507,43	264,13	381,15	202,15	652,31
1963	224,99	225,73	199,67	134,6	516,53
1964	172,87	180,66	153,13	92,41	265,3

Год (III- II)	Створ Можайского гидроузла	Створ Истринского гидроузла	Створ Рузского гидроузла	Створ Озернинского гидроузла	Створ Рублевского гидроузла (боковой приток)*
1965	211,61	177,76	195,78	139,54	318,87
1966	334,7	291,23	323,61	230,23	836,33
1967	214,92	182,02	169,97	126,89	512,25
1968	278,89	180,85	197,89	127,5	479,94
1969	217,39	183,22	165,55	122,09	458,25
1970	393,66	238,8	294,91	187,02	773,66
1971	316,11	176,07	227,78	133,87	521,48
1972	242,45	183,22	175,15	114,18	465,96
1973	278,97	169,91	186,16	130,31	561,06
1974	282,55	197,5	213,8	147,93	628,67
1975	191,64	131,05	142,02	101,74	402,08
1976	345,69	321,48	235,59	107,51	518,52
1977	365,33	280,49	266,22	210,64	493,72
1978	410,64	281,94	262,38	184,8	520,61
1979	327,67	230,19	212,03	221,43	418,97
1980	508,29	331,29	330,47	190,66	652,33
1981	476,74	245,7	292,32	226,5	483,39
1982	433,88	293,43	280,7	195,19	548,75
1983	358,12	271,43	217,8	205,57	538,57
1984	271,65	219,83	176,69	252,13	412,04
1985	377,68	234,92	240,3	256,15	430,18
1986	397,51	291,57	281,85	227,39	546,3
1987	294,95	227,65	195,11	237,3	398,22
1988	382,58	246,41	297,12	218,37	464,99
1989	347,87	285,33	317,12	196,84	571,2
1990	509,05	363,16	407,98	240,76	742,72
1991	364,11	262,26	282,72	293,73	429,82

Год (III- II)	Створ Можайского гидроузла	Створ Истринского гидроузла	Створ Рузского гидроузла	Створ Озернинского гидроузла	Створ Рублевского гидроузла (боковой приток)*
1992	239,16	183,72	211,84	224,98	265,43
1993	219,82	176,03	186,56	146,36	301,23
1994	330,52	230,95	255,72	129,84	515,93
1995	294,67	160,29	199,25	201,58	293,94
1996	185,91	121,16	132,54	155,71	201,13
1997	320,32	181,87	160,17	151,77	541,81
1998	589,3	318,39	290,06	252,62	604,5
1999	320,16	228,8	190,22	164,38	373,69
2000	369,97	190,49	171,31	171,94	486,47
2001	373,73	242,15	168,54	189,28	622,51
2002	192,03	166,62	96,4	113,33	316,96
2003	371,81	203,34	141,81	165,72	477,93
2004	469,36	299,97	-	226,89	-
2005	300,11	244,79	-	159,7	-
2006	347,03	219,23	-	184,81	-
2007	210,84	175,94	-	120,88	-
2008	406,91	288,66	-	173,71	-
2009	540,64	302,42	-	208,29	-
2010	295,37	240,89	-	176,96	-

Створ Рублевского гидроузла (боковой приток)* – естественные годовые (III-II) объемы стока боковой приточности на участке бассейна р. Москвы от створов Истринского, Озернинского, Можайского и Рузского до Рублевского гидроузла за 1914/15 – 2003/2004 гг.

Приложение 2

Среднегодовые концентрации воды р. Москва ниже пос. Ильинское
(2007г.)

Определяемое вещество	Единицы измерений	Среднегодовое значение	ПДКр.-х.
Прозрачность	см	23,8	—
Цветность	ПКШ	9,57	—
рН	ед. рН	7,60	6,5-8,5
БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	2,94	2,0
ХПК	мгО ₂ /дм ³	24,5	15,0
Взвешенные вещества	мг/дм ³	16,2	не бол. 0,75 кпр.фону
Минерализация	мг/дм ³	295	1000
Хлориды	мг/дм	23,9	300
Сульфаты	мг/дм	12,0	100
Кальций	мг/дм	52,7	180
Магний	мг/дм	13,0	40,0
Жесткость	мг-экв/дм ³	3,68	—
Натрий + калий	мг/дм		170
Гидрокарбонаты	мг/дм	181,0	—
Нитритный азот	мг/дм	0,023	0,02
Нитратный азот	мг/дм ³	0,79	9,0
Аммонийный азот	мг/дм	0,7	0,39
Фосфаты	мг/дм	0,117	0,2
Кремний	мг/дм	2,80	—
Железо (общее)	мг/дм	0,16	0,1
Медь	мг/дм ³	0,004	0,001
Цинк	мг/дм	0,009	0,010
Никель	мг/дм	0,007	0,01
Марганец (суммарно)	мг/дм ³	0,109	—
Свинец	мг/дм ³	0,001	0,006
Хром (VI)	мг/дм	0,001	0,02
Хром (общ.)	мг/дм	0,002	—
Нефтепродукты	мг/дм ³	0,07	0,05
Формальдегид	мг/дм ³	0,024	0,1
СПАВ	мг/дм ³	0,034	0,1
Фенолы	мг/дм ³	0,004	0,001

Определение перечня потенциально опасных загрязняющих веществ

Определяемое вещество	Единицы измерений	Среднегодовое значение ($C_{\text{ср}}$)	ПДК _{р.-х.}	$C_{\text{ср}}/\text{ПДК}_{\text{р.-х.}}$
БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	2,94	2,0	1,47
ХПК	мгО ₂ /дм ³	24,5	15,0	1,63
Взвешенные вещества	мг/дм ³	16,2	5,85*	2,77
Хлориды	мг/дм ³	23,9	300	0,08
Сульфаты	мг/дм ³	12,0	100	0,12
Кальций	мг/дм ³	52,7	180	0,29
Магний	мг/дм ³	13,0	40,0	0,33
Нитритный азот	мг/дм ³	0,023	0,02	1,15
Нитратный азот	мг/дм ³	0,79	9,0	0,09
Аммонийный азот	мг/дм ³	0,7	0,39	1,79
Фосфаты	мг/дм ³	0,117	0,2	0,59
Железо (общее)	мг/дм ³	0,16	0,1	1,60
Медь	мг/дм ³	0,004	0,001	4,00
Цинк	мг/дм ³	0,009	0,010	0,90
Никель	мг/дм ³	0,007	0,010	0,70
Свинец	мг/дм ³	0,001	0,006	0,17
Хром (VI)	мг/дм ³	0,001	0,02	0,05
Нефтепродукты	мг/дм ³	0,07	0,05	1,40
Формальдегид	мг/дм ³	0,024	0,1	0,24
СПАВ	мг/дм ³	0,034	0,1	0,34
Фенолы	мг/дм ³	0,004	0,001	4,00
Марганец (суммарно)	мг/дм ³	0,109	0,04**	2,73

Исходные данные о загрязнении поверхностных вод р. Москвы
(Государственный водный кадастр)

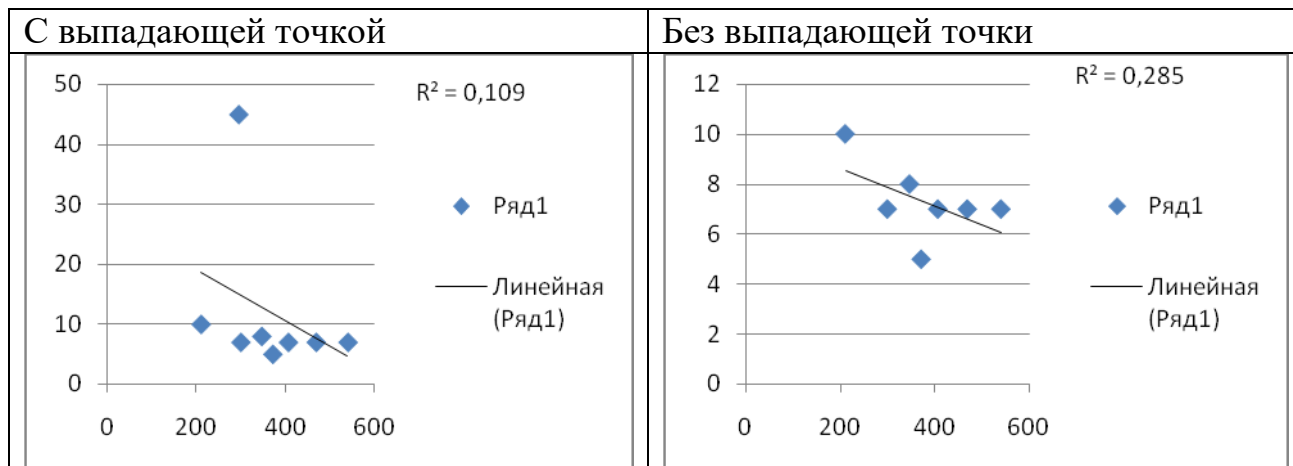
Основные ЗВ в створах рек и источники загрязнения	Кол-во проан-ых проб	Среднегод.концентр в ПДК		Наибольшие в году концентрации в ПДК и их даты					
		Арифметич.	Медианная	I концетр.	дата	II концетр.	дата	III концетр.	дата
2011 год									
Створ 1. Москва – г.Звенигород, 0,3 км выше города									
БПК ₅ (O ₂), мг/л	12	2,21	2,18	3,16	14.04	2,90	29.03	2,66	06.09
ХПК, мг/л	12	19,4	20,2	25,5	12.07	22,9	01.04	22,9	29.03
Нефтепродукты	12	<1	<1	<1	12.07	<1	25.05	<1	01.04
Фенолы	11	2	2	4	18.10	3	13.01	3	07.12
Аммонийный азот	12	1	1	3	17.06	2	13.01	2	10.08
Нитритный азот	12	1	1	3	01.04	2	14.11	2	13.01
Соединение меди	12	4	4	5	09.02	5	01.04	5	14.11
Формальдегид	10	<1	<1	<1	06.09	<1	12.07	<1	07.12
Створ 2. Москва – г.Звенигород, 1,4 км ниже города									
БПК ₅ (O ₂), мг/л	13	2,95	2,88	5,48	14.11	3,40	06.06	3,40	06.09
ХПК, мг/л	13	21,3	22,9	26,4	13.01	26,4	12.07	26,2	29.03
Нефтепродукты	13	<1	<1	1	01.04	<1	09.02	<1	17.06
Фенолы	12	3	3	6	18.10	5	01.04	4	29.03
Аммонийный азот	13	2	2	5	17.06	3	13.01	2	09.02
Нитритный азот	13	2	1	3	01.04	3	17.06	2	14.11
Соединение меди	13	5	5	7	09.02	6	01.04	6	06.09
Формальдегид	11	<1	<1	<1	12.07	<1	13.01	<1	07.12
Створ 3. Москва – г.Москва, в черте города, 0,3 км выше Бабьегородской плотины									
БПК ₅ (O ₂), мг/л	39	3,36	3,28	5,20	12.01	4,72	14.04	4,58	01.12
ХПК, мг/л	38	28,8	28,0	43,1	12.01	39,8	10.08	38,9	24.08
Фенолы	38	4	5	12	11.03	7	30.05	6	14.09
Нефтепродукты	39	2	2	7	26.07	3	14.09	3	21.12
Аммонийный азот	39	2	2	7	19.04	6	18.02	4	01.12

Нитритный азот	38	3	2	6	13.10	4	27.09	4	20.09
Соединение железа	21	2	1	3	14.04	3	12.04	3	30.05
Соединение меди	39	7	6	20	20.09	15	07.10	12	19.04
Соединение цинка	39	1	1	2	20.01	2	26.02	2	27.01
Растворенный кислород, мг/л	39	8,63	9,14	4,09	10.08	5,40	03.08	5,62	03.06
Фосфаты	21	<1	<1	<1	28.11	<1	17.11	<1	19.05
Створ 4.Москва – г.Москва, в черте города, 0,01 км выше шоссейного моста кольцевой автодороги									
БПК ₅ (O ₂), мг/л	40	6,04	5,58	12,2	12.04	9,76	17.11	8,20	11.03
ХПК, мг/л	40	39,3	37,9	61,9	26.02	56,3	10.08	48,4	08.07
Фенолы	40	7	7	15	20.01	15	11.03	10	17.11
Нефтепродукты	40	4	4	12	26.07	6	08.07	5	02.02
Аммонийный азот	40	4	3	10	02.02	9	09.11	7	17.11
Нитритный азот	39	4	4	17	09.11	15	13.10	12	17.11
Соединение железа	22	2	2	5	02.02	4	12.04	3	14.04
Соединение меди	40	8	7	24	20.09	17	07.10	14	19.04
Соединение цинка	40	1	1	2	30.05	2	20.01	2	02.11
Растворенный кислород, мг/л	25,5	7,97	7,88	4,13	11.08	4,21	09.08	4,32	12.08
Фосфаты	22	1	<1	3	17.11	3	09.11	2	28.11
Основные ЗВ в створах рек и источники загрязнения	Кол-во проан-ых проб	Среднегод.кон центр в ПДК		Наиб.в году концентрации в ПДК и их даты					
		Ариф метич	Медиа нная			Ариф метич	Медиа нная		
2012 год									
Створ 1. Москва – г.Звенигород, 0,3 км выше города									
БПК ₅ (O ₂), мг/л	12	2,27	2,31	3,08	29.06	2,92	21.09	2,84	10.07
ХПК, мг/л	13	15	14,1	24,2	12.05	20,2	12.01	20,0	21.09
Нефтепродукты	13	<1	<1	1	12.05	1	13.04	1	29.06
Фенолы	13	2	2	4	16.02	3	17.08	3	13.04
Аммонийный азот	13	<1	<1	2	06.04	2	13.04	<1	20.12
Нитритный азот	13	<1	<1	1	29.06	1	06.04	1	13.04
Соединение меди	13	5	4	7	16.02	7	14.03	6	12.05
Формальдегид	10	<1	<1	<1	29.06	<1	19.10	<1	16.11

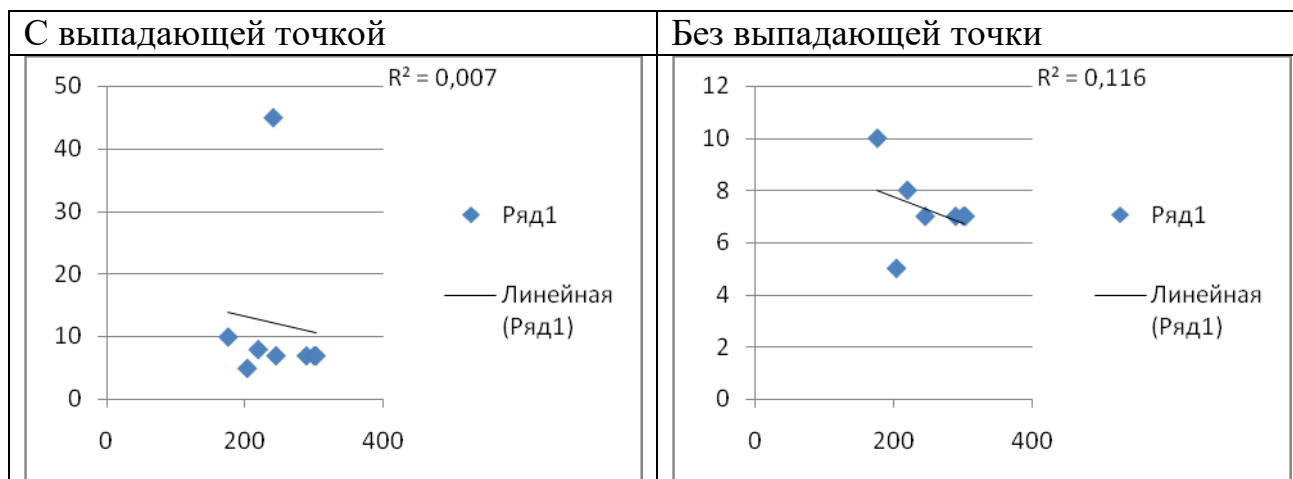
Створ 2. Москва – г.Звенигород, 1,4 км ниже города									
БПК ₅ (O ₂), мг/л	13	3,21	3,16	5,08	14.03	4,12	29.06	3,70	12.05
ХПК, мг/л	13	21,5	22,5	31,5	14.03	30,7	16.11	27,6	12.05
Нефтепродукты	13	<1	<1	1	17.08	1	13.04	1	12.05
Створ 3. Москва – г.Москва, в черте города, 0,3 км выше Бабьегородской плотины									
БПК ₅ (O ₂), мг/л	35	8,74	8,87	3,84	27.03	5,69	02.08	6,02	01.12
ХПК, мг/л	34	3,87	3,77	5,96	13.12	5,66	13.02	5,56	27.04
Фенолы	34	32,4	30,3	59,5	28.06	49,3	13.12	49,0	27.02
Нефтепродукты	34	4	3	9	06.11	9	18.04	8	20.01
Аммонийный азот	35	2	1	5	05.07	4	27.02	4	13.12
Нитритный азот	34	1	1	2	18.04	2	24.08	2	08.04
Соединение железа	34	2	2	3	01.03	3	13.07	3	05.07
Соединение меди	18	<1	<1	2	27.04	1	18.04	<11	08.04
Соединение цинка	35	6	6	13	13.02	8	06.02	8	01.03
Растворенный кислород, мг/л	35	1	1	2	22.05	2	06.02	2	02.10
Фосфаты	17	<1	<1	<1	18.04	<1	06.11	<1	27.02
Створ 4. Москва – г.Москва, в черте города, 0,01 км выше шоссейного моста кольцевой автодороги									
БПК ₅ (O ₂), мг/л	26,4	7,82	8,03	3,78	02.08	4,16	06.09	4,31	09.09
ХПК, мг/л	35	6,68	6,32	12,4	13.07	9,64	27.04	9,52	20.01
Фенолы	34	45,1	42,5	68,8	28.06	61,9	13.06	60,0	29.09
Нефтепродукты	32	6	5	12	24.08	10	08.04	10	17.04
Аммонийный азот	35	3	3	6	05.07	5	13.12	5	01.03
Нитритный азот	35	10	10	38	06.11	23	14.08	17	07.02
Соединение железа	35	11	11	21	30.10	20	29.09	20	02.10
Соединение меди	17	1	<1	3	29.05	2	08.04	2	17.04
Соединение цинка	35	8	7	14	13.02	12	02.10	10	22.05
Растворенный кислород, мг/л	35	1	2	2	22.05	2	02.10	2	07.02
Фосфаты	18	1	1	3	07.02	2	17.04	2	08.04

Влияние выпадающих значений на результаты корреляционного анализа для створа 4

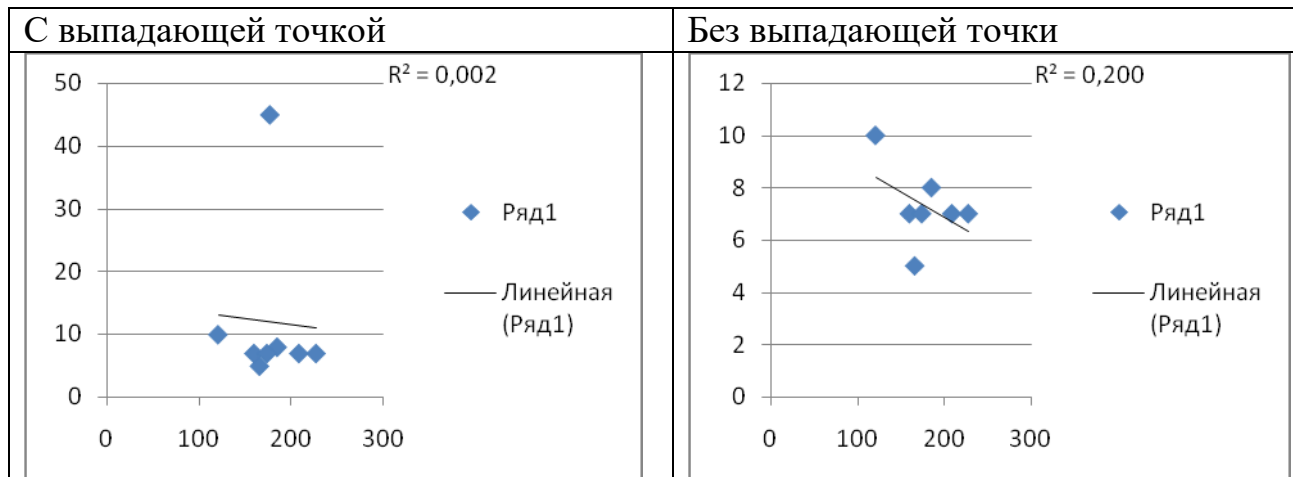
А) Приток к Можайскому водохранилищу – фенолы, створ №4:



Б) Приток к Истринскому водохранилищу – фенолы, створ №4:



В) Приток к Озернинскому водохранилищу – фенолы, створ №4:



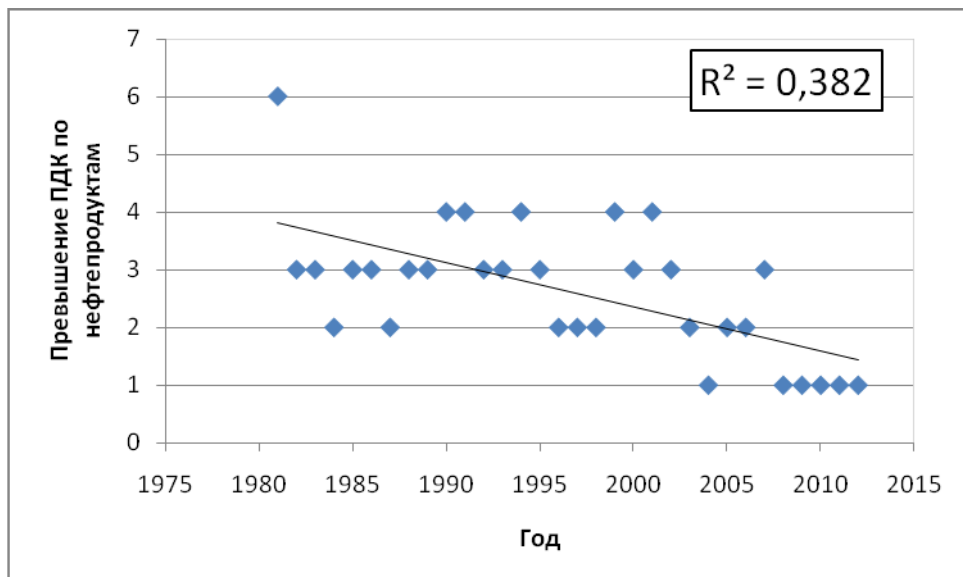
Расчет коэффициента корреляции между концентрациями фенолов и нефтепродуктов (в среднегодовой кратности превышения ПДК) в створе 1

№	X	Y	$X - X_{cp}$	$Y - Y_{cp}$	$(Y - Y_{cp}) * (X - X_{cp})$	$(X - X_{cp})^2$	$(Y - Y_{cp})^2$
1	1	6	-1.906	3.375	-6.433	3.633	11.391
2	1	3	-1.906	0.375	-0.715	3.633	0.141
3	2	3	-0.906	0.375	-0.34	0.821	0.141
4	2	2	-0.906	-0.625	0.566	0.821	0.391
5	1	3	-1.906	0.375	-0.715	3.633	0.141
6	1	3	-1.906	0.375	-0.715	3.633	0.141
7	1	2	-1.906	-0.625	1.191	3.633	0.391
8	2	3	-0.906	0.375	-0.34	0.821	0.141
9	4	3	1.094	0.375	0.41	1.197	0.141
10	7	4	4.094	1.375	5.629	16.761	1.891
11	11	4	8.094	1.375	11.129	65.513	1.891
12	11	3	8.094	0.375	3.035	65.513	0.141
13	2	3	-0.906	0.375	-0.34	0.821	0.141
14	3	4	0.094	1.375	0.129	0.009	1.891
15	2	3	-0.906	0.375	-0.34	0.821	0.141
16	1	2	-1.906	-0.625	1.191	3.633	0.391
17	1	2	-1.906	-0.625	1.191	3.633	0.391
18	1	2	-1.906	-0.625	1.191	3.633	0.391
19	2	4	-0.906	1.375	-1.246	0.821	1.891
20	4	3	1.094	0.375	0.41	1.197	0.141
21	3	4	0.094	1.375	0.129	0.009	1.891
22	3	3	0.094	0.375	0.035	0.009	0.141
23	3	2	0.094	-0.625	-0.059	0.009	0.391
24	3	1	0.094	-1.625	-0.153	0.009	2.641
25	3	2	0.094	-0.625	-0.059	0.009	0.391
26	4	2	1.094	-0.625	-0.684	1.197	0.391
27	3	3	0.094	0.375	0.035	0.009	0.141

№	X	Y	$X - X_{cp}$	$Y - Y_{cp}$	$(Y - Y_{cp}) * (X - X_{cp})$	$(X - X_{cp})^2$	$(Y - Y_{cp})^2$
28	2	1	-0.906	-1.625	1.472	0.821	2.641
29	3	1	0.094	-1.625	-0.153	0.009	2.641
30	2	1	-0.906	-1.625	1.472	0.821	2.641
31	2	1	-0.906	-1.625	1.472	0.821	2.641
32	2	1	-0.906	-1.625	1.472	0.821	2.641
Σ	-	-	-	-	19.875	188.719	41.5

Приложение 7

А) Изменение концентрации нефтепродуктов на створе 1 (1981-2012 гг.)



Б) Изменение концентрации нефтепродуктов на створе 2 (1981-2012 гг.)

