

МЕЛЬНИК Константин Сергеевич

АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТОК РЕКИ МОСКВЫ

Специальность 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва – 2015

Работа выполнена в лаборатории гидрологии Института географии Российской академии наук.

Научный руководитель:

профессор

доктор географических наук

Николай Иванович Коронкевич

Зав. лаб. гидрологии ИГ РАН

Официальные оппоненты:

профессор

доктор географических наук

Вениамин Александрович Семенов

Г.н.с. «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»

доктор технических наук

Владимир Ильич Клепов

Доцент кафедры гидрологии, гидрогеологии, регулирования стока МСХА им. К. А. Тимирязева

Ведущая организация:

Кафедра гидрологии суши географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва)

Защита состоится «22» мая 2015 г. в «11.00» на заседании диссертационного совета

Д 002.046.04 при Институте географии Российской академии наук по адресу: 119017, г. Москва, Старомонетный пер, д. 29.

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

Автореферат разослан « » 2015 г.

Отзывы на автореферат (в электронном виде и на бумаж. носителях в двух экземплярах, заверенных печатью) просим направлять по адресу: 119017, г. Москва, Старомонетный пер, д. 29, ученому секретарю Диссертационного совета Д 002. 046.04. Факс: 8 (495) 959-00-33, e-mail: direct@igras.ru, zirinas@mail.ru

Ученый секретарь диссертационного совета,

кандидат географических наук



И.С. Зайцева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования.

Актуальность темы диссертационной работы определяется значимостью оценки гидрологических последствий, связанных с антропогенной нагрузкой на водные ресурсы рассматриваемого региона, одного из наиболее хозяйственно-освоенных в России. Отдельные части бассейна реки Москвы хорошо изучены в гидрологическом отношении, как и отдельные факторы формирования водных ресурсов. Вместе с тем, остается недостаточно изученным целый ряд вопросов. К их числу относится оценка влияния на годовой сток реки Москвы и его режим ряда антропогенных факторов, особенно Московской агломерации, и их комплекса в отдельные периоды и особенно на современном этапе, когда произошла существенная перестройка в структуре хозяйственной деятельности на фоне климатических изменений. В значительной мере такая ситуация объясняется общим снижением интенсивности гидрологических исследований в последние годы (большая часть работ выполнена довольно давно) и отсутствием долговременных регулярных наблюдений за расходами воды в устье реки Москвы. В данной работе предпринята попытка ответить на вопросы, связанные с оценкой гидрологической роли основных антропогенных факторов в бассейне реки Москвы и их комплекса.

Цель данной работы заключается в оценке основных антропогенных воздействий и их комплекса на годовой сток и водный режим реки Москвы в характерные периоды за последние 150 лет.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Дать базовую гидрологическую характеристику реки Москвы и ее бассейна с учетом ранее выполненных различными авторами исследований.
- Охарактеризовать природные и хозяйственные условия в бассейне реки Москвы, наиболее важные для достижения поставленной цели.
- Выявить гидрологическую роль отдельных угодий на территории водосбора.
- Оценить влияние прудов и водохранилищ на переформирование стока
- Выявить влияние на сток р. Москвы основных видов водопотребления.
- Оценить совокупное влияние комплекса антропогенных факторов на годовой сток р. Москвы и его внутригодовое распределение на фоне происходящих в последнее время климатических изменений.

Объектом исследования являются река Москва и ее бассейн.

Для рассмотрения выделяются следующие основные периоды:

- Середина XIX столетия (1850-е гг.), когда условия формирования стока были близки к естественным;
- Начало XX столетия (1900-1920-е гг.). Это период, предшествующий быстрому росту антропогенных воздействий на водные ресурсы и существенным изменениям в характере ведения сельского хозяйства, связанных, в частности, с широким внедрением зяблевой пахоты под яровые культуры;
- С конца XIX столетия до 60-х гг. XX столетия - период, за который ранее исчислялась норма стока для большинства рек СССР [*Воскресенский*, 1962; *Ресурсы поверхностных вод...*, 1973; *Водные ресурсы и водный баланс...*, 1967] и для которого имеются обобщенные данные воднобалансовых станций [*Коронкевич*, 1990]. Этот период принят в качестве исходного для расчетов гидрологических изменений в другие периоды;
- Начало второй половины XX столетия (1960-1980-е гг.) – период в целом наибольшего антропогенного воздействия на водные ресурсы
- Начало XXI столетия (2000-2010 гг.), характеризующееся выраженным разнонаправленным воздействием на водные ресурсы отдельных антропогенных факторов и наибольшим развитием урбанизированных площадей на фоне происходящих климатических изменений.

Кроме того, рассматривались и другие периоды, в частности, после 2012 года, когда произошло резкое расширение города Москвы. Учтена и среднемноголетняя (за 1930-1980 г.) величина стока, принятая в последнее время в качестве нормы в Государственном гидрологическом институте (ГГИ) и Росгидромете. Однако она включает годы значительного антропогенного воздействия на водные ресурсы и отчасти происходящих современных климатических изменений. Поэтому далее под термином «норма стока» подразумевается среднемноголетний сток за период с конца XIX столетия до 1960-х гг., а последняя норма обозначается как «норма за 1930-1980 г.»

Исходные материалы. При проведении диссертационного исследования использовались ряды данных гидрометеорологических наблюдений (Ресурсы поверхностных вод. Основные гидрологические характеристики - ОГХ; Государственный водный кадастр - ГВК); Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации («ВНИИГМИ-МЦД»), данные баз лаборатории гидрологии Института географии РАН, кафедры гидрологии суши МГУ им. М.В. Ломоносова, Московской государственной сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева, АО «Мосводоканал»,

Гидрометцентра, а также архивные статистические сведения, посвященные социально-экономическому развитию Московского региона, хозяйственно-бытовому и коммунальному хозяйству, данные дистанционного зондирования Земли и результаты их обработки, электронные топографические карты, карты почв и ландшафтов.

Методология и методы исследований. В основе диссертационного исследования лежит метод географо-гидрологического сравнения, включающий в себя использование ландшафтно-гидрологического подхода и методов водного и водохозяйственного баланса; применялся также статистический подход в оценке хозяйственной, водохозяйственной и гидрометеорологической информации. Гидрологические изменения во времени определялись также на основании анализа гидрометеорологических рядов. Пространственные изменения гидрологических характеристик и обработка картографических материалов выполнялись на основе ГИС-технологий. Алгоритм диссертационного исследования соответствует изложенным выше задачам.

Основные защищаемые положения:

1. На протяжении всего рассматриваемого 150-летия изменения стока реки Москвы в результате преобразования ландшафтов были соизмеримы с другими антропогенными воздействиями, а в отдельные периоды – ведущими. В результате ландшафтных преобразований в начале XXI века годовой сток по сравнению с нормой возрос почти на 10%, а летне-осенний на 27%. Главным образом, это следствие увеличения урбанизированных площадей, особенно в пределах Московской агломерации. Рост урбанизированных площадей на 1% приводит в среднем к такому же увеличению годового речного стока, а рост водонепроницаемых площадей на 1% - к увеличению речного стока на 2 - 3%.

2. С 1930-х гг. основная роль в изменении годового стока и водного режима в бассейне реки Москвы принадлежит гидротехническим преобразованиям. Водохранилища не только позволяют обеспечить одну треть максимального годового водозабора, но и не менее чем на одну треть уменьшить объем половодья 1% обеспеченности выше г. Москвы, в значительной мере обезопасив ее от катастрофических наводнений. Переброска стока позволяет увеличить ресурсы годового стока р. Москвы в черте г. Москвы в 2 с лишним раза, а во всем бассейне почти на 70%.

3. Влияние суммарного водопотребления на уменьшение годового стока реки Москвы невелико, составляя в последние десятилетия менее 3%.

4. Комплекс антропогенных и климатических факторов привел к увеличению стока реки Москвы в первом десятилетии XXI столетия в 1,7 раза по сравнению с нормой. При этом на долю антропогенных факторов приходится 75-80%, а климатических – 20-25%. Однако в самые последние годы наметилась тенденция уменьшения стока.

Научная **новизна** работы.

Впервые:

- Разработан алгоритм, позволяющий оценить гидрологическую роль как основных антропогенных факторов формирования стока р. Москвы, так и их комплекса;

- Проанализировано влияние на сток ландшафтных преобразований в бассейне р. Москвы, гидротехнических воздействий, использования воды и их комплекса за характерные периоды последних 150 лет (середина XIX столетия, начало XX века, 1960-1980 гг., первое десятилетие XXI века, период исчисления нормы стока);

- Показана ведущая гидрологическая роль урбанизации территории среди ландшафтных преобразований в бассейне р. Москвы в последние десятилетия;

- Выявлен вклад отдельных антропогенных воздействий в суммарное изменение годового стока р. Москвы и его сезонное распределение за последние 150 лет;

- Оценено соотношение антропогенных и климатических факторов в общем изменении стока р. Москвы в начале XXI столетия;

Практическая значимость обусловлена получением новых данных о закономерностях влияния антропогенных факторов в бассейне реки Москвы, что позволяет более обоснованно вести водное хозяйство и прогнозировать дальнейшее его развитие с учетом хозяйственной деятельности на водосборах, в том числе на территории г. Москвы, оптимизировать масштабы и режим переброски стока в этот регион. Разработанный алгоритм комплексной оценки гидрологической роли антропогенных факторов может быть применен для решения аналогичных задач и в других районах.

Личный вклад автора в получение результатов, изложенных в диссертации. Все результаты, представленные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно, либо при его непосредственном участии в коллективе соавторов. В опубликованных в соавторстве работах автору принадлежит участие в постановке и реализации задач, обработке и анализе результатов исследования, особенно касающихся бассейна реки Москвы.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы были доложены и представлены: на 7-ом Всероссийском гидрологическом съезде (2013),

на Шестой и Седьмой международных научных конференциях молодых ученых и талантливых студентов "Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность" (г. Москва, ИВП РАН, 2012, 2013), на 10-ой и 11-ой международных конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов"; (г. Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2013, 2014), на Второй Всероссийской научно-практической интернет конференции "Географическая наука и образование. Современные проблемы и перспективы развития" (г. Новосибирск, 2013), на 18-ой совместной сессии Объединённого научного совета по фундаментальным географическим проблемам РАН (г. Баку, 2014), на Восьмой Международной практической конференции "Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей" (г. Москва, ИВП РАН, 2014), на третьей открытой конференции Научного образовательного центра "Речной сток: пространственно-временная изменчивость и опасные гидрологические явления" (г. Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2014), на научных семинарах лаборатории гидрологии ИГ РАН (г. Москва, 2013, 2014, 2015).

Публикации. По результатам исследования опубликовано 11 научных работ, из них 3 статьи в журналах и изданиях, рекомендованных ВАК и 8 работ в сборниках научных трудов и материалах конференций.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, семи глав и заключения, объемом 188 страниц, включая 44 рисунка, 54 таблицы, а также 7 приложений. Библиографический список включает 170 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, а также положения, выносимые на защиту, отражена научная новизна и практическая значимость.

В первом разделе **Главы 1** дан обзор основных гидрологических исследований формирования стока в бассейне реки Москвы за последние 150 лет. Бассейн реки Москвы является одним из самых изученных в гидрологическом отношении речных бассейнов нашей страны. В этом заслуга целого ряда исследователей, изучавших различные гидрологические аспекты реки Москвы и ее бассейна, среди них: Н.И. Алексеевский, В.Д. Быков, С.Н. Голубчиков, В.С. Дыгало, В.А. Жук, В.И. Клепов, А.С. Курбатова, И.П. Кравченко, М.И. Львович, Н.П. Матвеев, О.Т. Машкевич, Н.А. Озерова, В.О. Полянин, А.И. Субботин, Т.Н. Чижмакова, Г.М. Черногаева, К.К. Эдельштейн, Ю.Б. Яблоков, С.В. Ясинский. Бассейн реки Москвы охватывался различными справочниками, освещавшими гидрологию более крупных территорий, в том числе СССР и России и в их европейской части. Первые научные исследования были приурочены к концу XVIII

- началу XIX вв. В начале это были самые общие представления о гидрографии, водном и ледовом режимах, качестве вод. В XIX столетии гидрологические наблюдения были связаны в основном с решением задач по отдельным видам использования вод, прежде всего, судоходства; с начала XX века – водообеспечения г. Москвы; во второй половине XX века на первый план вышли задачи комплексного решения водных проблем, которые актуальны и в наши дни. Во втором разделе первой главы отражены основные гидрологические особенности бассейна реки Москвы, площадь которого - 17 600 км², что составляет около 40% территории Московской области (**Рис.1.**).



Рисунок 1. Географическое положение бассейна реки Москвы

Характерной чертой его гидрографической сети является большое количество малых рек. К категории средних, т.е. имеющих площадь водосбора от 2 до 50 тыс. км², относятся и р. Москва, и ее наиболее крупные притоки Истра (2050 км²), Пахра (2720 км²) и Руза (2130 км²). Москва - река относится к восточно-европейскому типу

равнинных рек с преимущественно снеговым питанием. В отношении величины среднего многолетнего стока реки Москвы в замыкающем створе у разных авторов имеются большие разночтения, во многом связанные с отсутствием долговременных регулярных измерений расходов воды в устьевой части и разновременности оценок. Норма стока за период с конца XIX века до 1960-х годов XX века по расчетам, выполненных на основании данных «Ресурсы поверхностных вод. Гидрологическая изученность, 1973», составляет 180 мм или 101 м³/с, 3,2 км³/год. На долю подземного стока приходится 34% от общей величины, причем почти четверть поверхностной составляющей речного стока по данным Н.И. Коронкевича [1990] – на сток верховодки. В наиболее изученной верхней части бассейна реки Москвы у г. Звенигорода норма стока равна 32,3 м³/с. Эта величина очень близка к норме среднегодовых значений расход воды по (ГВК) за 1930 - 1980 гг., которая составляет 31,7 м³/с. С конца XIX века в годовом стоке р. Москвы у г. Звенигорода четко выделяются три периода. Первый: 1892-1930-х гг., характеризующийся относительно устойчивой величиной среднегодового стока (37,6 м³/с), для второго периода характерно резкое уменьшение годового стока (30,8 м³/с) до 1978-х гг. Третий период: с конца 1970-х и по настоящее время отличается увеличением стока до 41,9 м³/с. При этом в 2000-2010 гг. расход воды составил 40,0 м³/с. Правда, в самые последние годы (2005-2011 гг.) наметилась тенденция уменьшения стока – в среднем до 35,3 м³/с. Важно отметить высокую степень синфазности колебаний стока р. Москвы, ее притоков, р. Оки в ее верховьях и местного стока с территории Московской области в целом – рис.2.

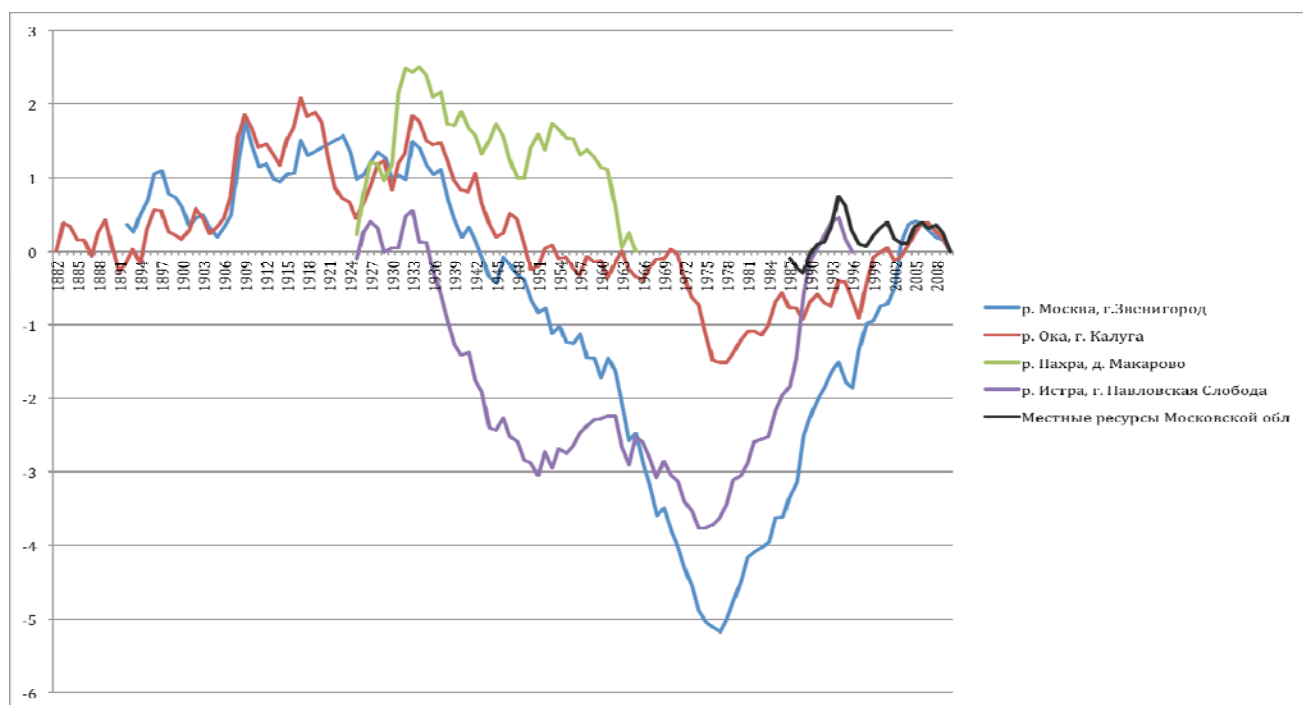


Рисунок 2. Разностно-интегральные кривые стока рр. Москвы, Пахры, Истры, Оки и Московской области в целом в отклонениях от нормы

Не менее существенные изменения происходят в последние десятилетия во внутригодовом его распределении. Если в среднем многолетнем аспекте на долю зимней межени (декабрь-февраль) в бассейне реки Москвы приходилось 6%, весеннего половодья (март-май) – 55%, летне-осенней межени (июнь-ноябрь) – 39%, то в последние десятилетия в центральной части Русской равнины происходит увеличение летне-осеннего и особенного зимнего стока на десятки процентов по сравнению с нормой при уменьшении стока весеннего половодья.

Вторая глава посвящена природным условиям формирования водных ресурсов в бассейне реки Москвы, особенно климату. Среднегодовая температура воздуха по многолетним данным за 1891-1980 г. изменялась на территории бассейна реки Москвы от 4 °С до 5 °С, средняя месячная температура января - от -10 °С до -11 °С, а июля - от 17 до 18 °С. В последние десятилетия отмечается рост как годовой температуры, так и особенно температуры холодного периода года на территории всего бассейна реки Москвы, особенно на территории г. Москвы. Рост зимних температур воздуха обусловил увеличение числа оттепелей и учащение количества зимних паводков.

Изменение годового количества осадков в значительной мере соответствует ходу изменения стока в бассейне реки Москвы. Как и сток, осадки возросли с конца 1970-х гг. Особенно существенные изменения произошли в их сезонном распределении. Так, если в период 1891-1980 г. на холодный период приходилось в среднем 29% годовых осадков, а на теплый – 71%, то в последующие десятилетия это соотношение составило 39 и 61% соответственно.

Влияние комплекса климатических условий на сток реки Москвы у г. Звенигорода в условиях, близких к естественным, выразилось в последние годы в его увеличении приблизительно на 22%. По данным ГВК, для всей Московской области это изменение оценивается в 17%. Поскольку бассейн реки Москвы занимает центральную часть Московской области, этот же процент принят и для всего бассейна.

Среди неклиматических факторов наиболее значительные изменения за последние 150 лет претерпели растительность (на большей части бассейна реки Москвы) и рельеф на территории г. Москвы. Залесенность территории в рассматриваемый 150-летний период, изменялась в пределах от 24 до 46%, составляя 42% в настоящее время. Полностью трансформировалось растительность на пахотных землях. Эти изменения в основном обусловлены влиянием антропогенных факторов. Наиболее существенные изменения в комплексе природных условий произошли на территории г. Москвы, где естественные ландшафты практически полностью заменены на урбанизированные территории с пониженной водопроницаемостью или полным ее отсутствием.

В третьей главе показана трансформация структуры землепользования (Рис.3), проанализировано развитие промышленного производства и сельского хозяйства. Бассейн реки Москвы издавна освоен человеком. Если судить по численности населения, то в бассейне реки Москвы происходило почти непрерывное нарастание общей антропогенной нагрузки на ее водосбор. Общая численность населения возросла к настоящему времени по сравнению с серединой XIX века почти в 19 раз, а численность городского населения - в 34 раза. Если в середине XIX века было 7 городов, то в начале XXI - 40 (при уменьшении сельских населенных пунктов). Общая численность населения города Москвы за все рассматриваемые периоды возросла в 30 раз. Площадь городов увеличилась к 2010 году почти в 20 раз, а к 2013 (в связи с расширением города Москвы) более чем в 30 раз, хотя большую часть ее новой территории пока нельзя считать урбанизированной. При этом общая площадь водонепроницаемых территорий, занятых крышами домов, дорогами, тротуарами и т.д., возросла почти в 20 раз. Длина дорог и занимаемая ими площадь выросли в 10 раз. Общая площадь урбанизированных территорий бассейна реки Москвы увеличилась середины XIX века к началу XXI века почти в 68 раз.

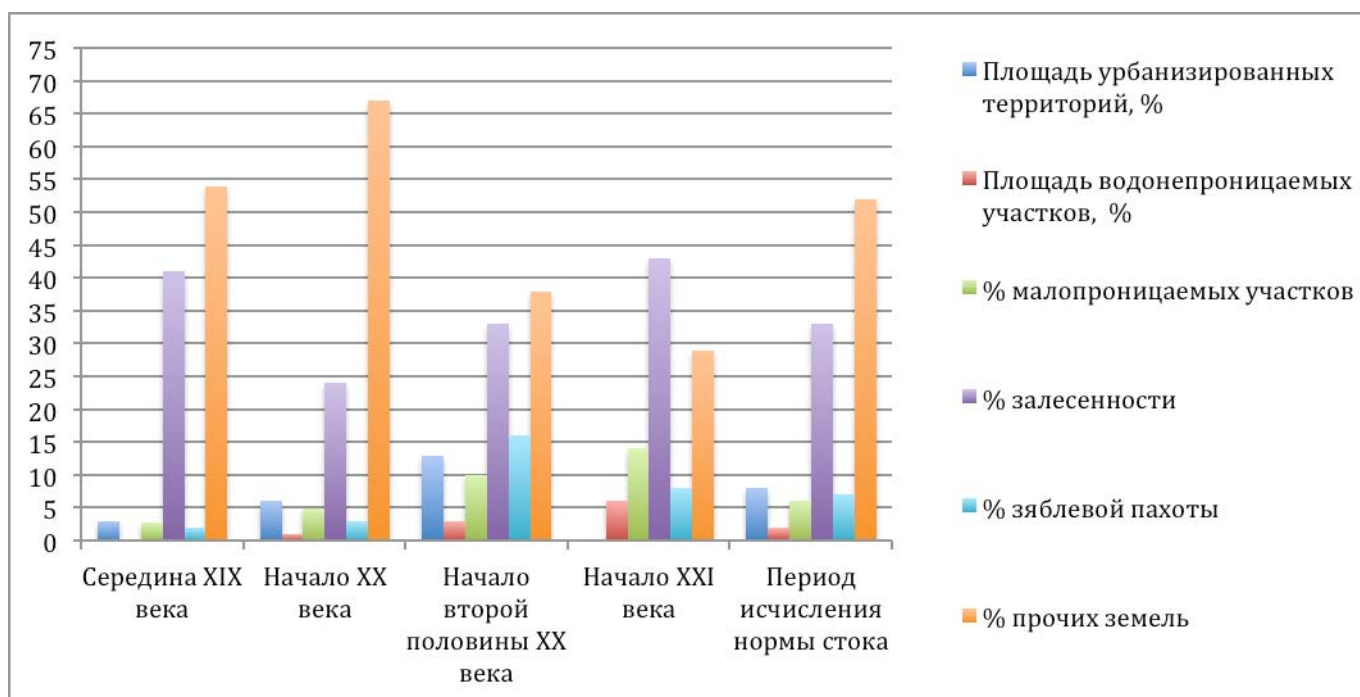


Рисунок 3. Динамика структуры землепользования в бассейне реки Москвы

Площадь г. Москвы к 2010 году увеличилась с 73 км² в середине XIX века до 1081 км² к началу XXI века, т.е. почти в 15 раз, а с учетом последнего расширения – в 34 раза. Площадь водонепроницаемых участков возросла к 2010 году в 50 раз, но их доля в общей площади современной Москвы (2511 км²) снизилась с почти 50 % - в 2010 г. до 24% в настоящее время. Доля малопроницаемых урбанизированных

участков (газоны, парки, и др. усиленно вытаптываемые участки), достигнув около 50% к 2010 г., составляет сейчас 29% территории города.

Пик промышленного производства в бассейне реки Москвы приходится на 1960 – 80 гг. В дальнейшем произошла структурная перестройка хозяйства в результате чего число людей, задействованных на промышленных предприятиях, уменьшилось почти в 5 раз, а объем произведенной продукции сократился в 1,5 раза. Тем не менее число рабочих остается в 4 раза, а объем продукции почти в 90 раз больше, чем в начале XX века.

Продуктивность сельского хозяйства в бассейне реки Москвы хотя и менялась в зависимости от погодных условий в целом росла со временем до конца XX века. Однако в последние десятилетия эта тенденция в значительной мере нарушена – сократились площадь пашни и посевов, численность скота. Произошло общее снижение уровня сельского хозяйства несмотря на отдельные примеры высокопродуктивного ведения сельского хозяйства и животноводства.

В главе 4 выполнен анализ (в значительной мере по данным водно-балансовых станций) гидрологической роли изменяющейся ландшафтной структуры бассейна реки Москвы. Основные расчеты гидрологический изменений выполнены применительно к средним климатическим условиям, соответствующим периоду исчисления нормы стока, то есть в некотором роде аналогично тому, что ранее было сделано А.М. Грином [1965] для Центрально-Черноземного района или группой авторов во главе с М.И. Львовичем [Львович, 1986; Львович, Черногаева, 1978; Львович, Чернышев, 1983] для территории г. Москвы. Расчеты выполнялись в следующем порядке: в начале определялся поверхностный склоновый сток, затем находилась, какая его часть достигает русловой сети, рассчитывался сток с гидрографической сети, определялся общий поверхностный сток и в заключение – полный речной сток. Если весенний поверхностный сток в условиях южной части лесной зоны сравнительно мало меняется на разных угодьях при одинаковом механическом составе почв (на суглинках обычно в пределах от 0,5-0,6 на зяби и полях, не распахиваемых с осени, до 0,8 на урбанизированных участках), то в теплый период года различия очень существенны. На сельскохозяйственных и лесных угодьях поверхностный склоновый сток практически равен 0, тогда как по данным [СНиП, 1996] коэффициент стока с кровли и асфальтобетонных покрытий составляет 0,6-0,7, булыжных и щебенчатых мостовых 0,4-0,5, газонов 0,1, кварталов с современной застройкой и средних городов 0,3-0,4, небольших городов и поселков 0,25-0,3.

Средневзвешенный с учетом структуры угодий и механического состава почв поверхностный сток изменяется от 52 мм в середине XIX века до 57 мм в начале

XXI века в зимне-весенний сезон и от 4 до 42 мм в летне-осенний сезон. Итого за год соответственно с 56 до 99 мм (при 72 мм за период исчисления нормы). С учетом редукции склонового стока, коэффициент которой определен по данным Н.И. Коронкевича [1990], достигало речной сети в середине XIX века 37 мм, а в начале XXI столетия-71 мм. На основании данных С.В. Басса [1963], А.И. Субботина [1966], Н.И. Коронкевича [1990] сток с площади гидрографической сети сравнительно мало менялся за рассматриваемые периоды, составляя в среднем от 20 мм в зимне-весенний сезон до 45 мм за год. Преобладание стока в зимне-весенний сезон объясняется повышенными снегозапасами в гидрографической сети за счет ветрового сноса с полей и высоким коэффициентом стока, достигающим, по данным указанных авторов, 0,8 и более. Общий речной поверхностный сток, представляющий собой сумму указанных выше его частей, менялся от 82 мм/год в середине XIX столетия до 114 мм в начале XXI века (при норме 94 мм).

В отличие от поверхностного стока, сток инфильтрационного происхождения, включающий в себя сток верховодки и подземную составляющую, находимую традиционным расчленением гидрографов, снижался от 87 мм в середине XIX века до 82 мм – в начале XXI века, что объясняется ухудшением водопроницаемости ландшафтов. Изменение стока инфильтрационного происхождения находилось умножением коэффициента инфильтрационного питания за период исчисления нормы стока (0,14), равного отношению величины этого стока к годовой инфильтрации (613 мм), на изменение величины поверхностного стока, но с обратным знаком.

Таким образом, полный речной сток (при норме за год-180 мм, за зимне-весенний сезон-110 мм, летне-осенний –70 мм), складывающийся из поверхностной и подземной составляющих, изменялся в рассматриваемые периоды следующим образом (табл.1.).

Анализ таблицы свидетельствует о тенденции (обусловленной в основном ростом урбанизации) увеличения со временем годового речного стока за счет, главным образом, поверхностного со склонов в теплое время года. Если отнести современное увеличение стока в основном на счет роста урбанизированных площадей (увеличение стока за счет уменьшения площадей зяблевой пахоты в значительной мере уравнивается его снижением в результате омоложения лесов), то в условиях бассейна реки Москвы получается, что 17% их рост по сравнению с серединой XIX века привел при средних климатических условиях к увеличению годового стока в бассейне реки Москвы на 16% - до 196 мм. Таким образом, 1% увеличения урбанизированных площадей приводит к росту годового речного стока в среднем на 1%. В отношении водонепроницаемых площадей

получается, что однопроцентное их увеличение способствует росту полного речного стока ориентировочно на 2 - 3%. Близкие соотношения получаются и для территории города Москвы, где влияние урбанизации сказывается особенно заметно. Сток в зимне-весенний сезон в начале XXI века оценивается в ее пределах при средних климатических условиях в 150 мм, в летне-осенний – в 203 мм, а годовой в 353 мм, что соответственно в 1,4, в 3 и более чем в 2 раза выше чем в середине XIX века.

Таблица 1. Полный речной сток в бассейне реки Москвы и его изменения по сравнению с периодом исчисления нормы стока при средних климатических условиях

Период	Показатель	Зимне-весенний сезон	Летне-осенний сезон	Год
Середина XIX века	Сток, мм	103	66	169
	Изменения стока, мм	-7	-4	-11
Начало XX века	Сток, мм	110	68	178
	Изменения стока, мм	0	-2	-2
Начало второй половины XX века	Сток, мм	109	76	185
	Изменения стока, мм	-1	6	5
Начало XXI века	Сток, мм	107	89	196
	Изменения стока, мм	-3	19	16

С учетом современных изменений атмосферных осадков увеличение стока реки Москвы в результате преобразования ландшафтов может быть еще выше. Однако этот вопрос требует дальнейшего исследования и представляется целесообразным пока придерживаться оценок для средних климатических условий.

В **пятой главе** прослежена динамика создания гидротехнических сооружений (ГТС) и их влияния, как на годовой сток, так и на его внутригодовое распределение. Различные аспекты этого влияния, особенно водорегулирующий, рассмотрены в работах А.Б. Авакяна [1979, 1987], К.М. Берковича [2012], К.К. Эдельштейна [1979, 1998], К.К. Эдельштейна, В.А. Скорнякова [1989], В.И. Клепова [2011] и в целом

ряде других. Однако эти работы не охватывают ряда аспектов влияния ГТС на годовой сток и водный режим.

Гидротехническое освоение бассейна реки Москвы с середины XIX века по 30-е гг. XX века представлено в основном изменением количества прудов, причем, в настоящее время общее их число более 2000, с общей площадью 108 км^2 , лишь не на много превышает то, что имело место в середине XIX столетия (около 1800, с общей площадью 89 км^2). При этом размер одного пруда составляет в среднем $0,05 \text{ км}^2$. С Истринского водохранилища, построенного в 1935 гг., началось создание основных объектов Москворецкого источника водоснабжения, завершившееся в 1977 г. запуском Вазузской системы (ВГТС). Общая площадь водохранилищ, расположенных в бассейне реки Москвы, оценивается в 129 км^2 , а суммарная величина их полезного объема в 770 млн. м^3 . Полезный объем созданных к настоящему времени водохранилищ в бассейне реки Москвы составляет примерно $1/3$ объема рекордного стока половодья 1908 г. приблизительно 1% обеспеченности на «входе» в г. Москву, что позволяет соответственно уменьшить размеры такого наводнения и в значительной мере избежать катастрофических затоплений.

Из Ивановского водохранилища с 1930-х гг. и по настоящее время осуществляется переброска стока по каналу им. Москвы в бассейн реки Москвы. В первые годы водоподача была наименьшей и составляла значительно менее 1 км^3 (Рис.4.), при этом на обводнение реки Москвы уходило более 70%. В 1960-1980 гг. общая величина фактически переброшенной воды возросла до $1,7 \text{ км}^3$, при этом на водообеспечение г. Москвы уходило уже несколько более 50%. В 1990-е гг. водоподача в бассейне реки Москвы была наибольшей и составляла около $2,2 \text{ км}^3$. В начале XXI века годовая подача воды по каналу снизилась до $1,6 \text{ км}^3$, с последующим уменьшением объемов подаваемой воды в 2009-2010 гг. до $1,3 \text{ км}^3$, при этом доля воды, затрачиваемая на обводнение р. Москвы, уменьшилась примерно до 40%. На рис. 4 показана и динамика численности населения г. Москвы. Долгое время увеличение подачи воды по каналу соответствовало росту населения, а в последние годы имеет место резкое расхождение тенденций – численность населения растет, а объемы переброски снижаются.

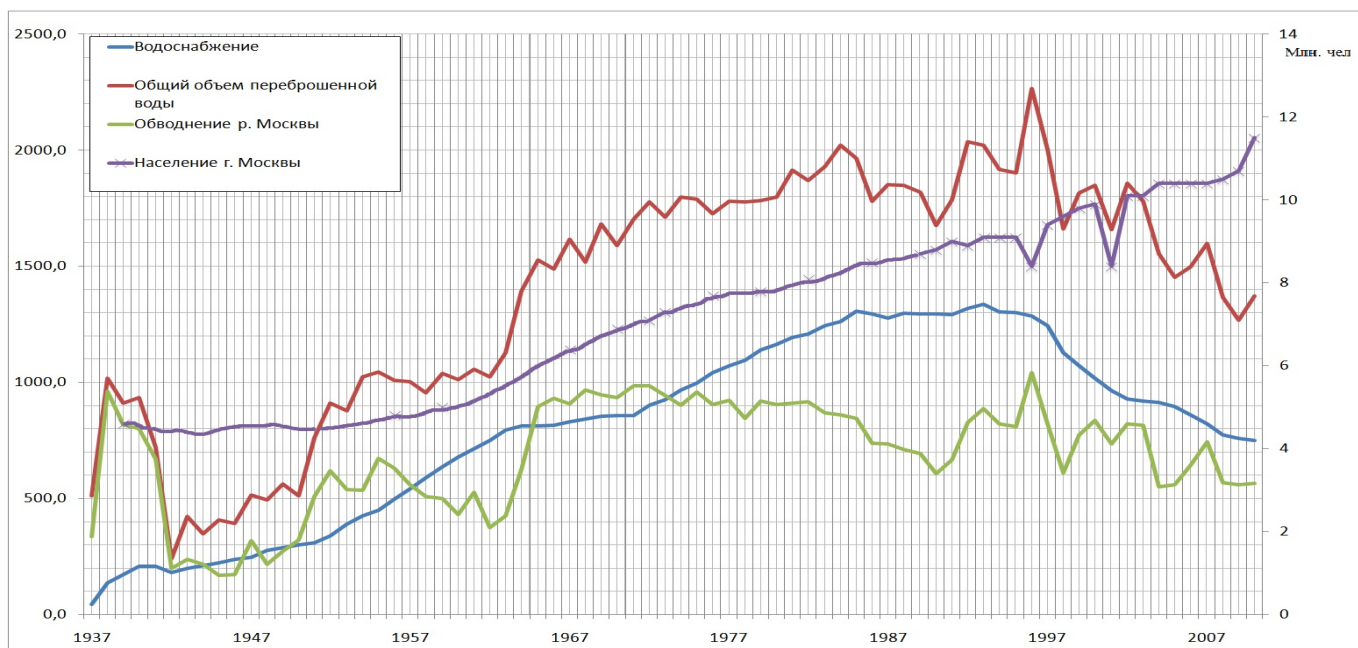


Рисунок 4. Переброска воды по каналу им. Москвы в бассейн реки Москвы и ее составляющие за период его эксплуатации, млн. м³ в сопоставлении с численностью населения г. Москвы, млн. чел.

Таблица 2. Влияние ГТС на годовой сток реки Москвы, в среднем за год

Показатель	Середина XIX века	Начало XX века	Начало второй половины XX века	Начало XXI века	Период исчисления нормы стока
Потери на испарение с поверхности прудов	-4,5/-0,2	-2,2/-0,07	-3,5/-0,1	-5,4/-0,2	-3,4/-0,1
Сработка мертвого объема водохранилищ	0	0	-1,7/-0,05	0	-0,14/-0,04
Потери на испарение с водохранилищ	0	0	-5,6/-0,2	-5,6/-0,2	-0,02/0
Переброска по каналу им. Москвы	0	0	1720/54	1600/50	(308)**/10
Переброска по ВГТС	0	0	192/6	-	0
Всего	-4,5/-0,2	-2,2/-0,07	1901/60	1589/50	(304)**/10

* В числителе - в млн. м³, в знаменателе – в % от среднего многолетнего стока реки Москвы в замыкающем створе

***В скобках величина, не учитываемая при исчислении нормы стока*

Годовая величина притока воды к Рублевскому гидроузлу, интегрирующему влияние Москворецких водохранилищ (Можайского, Рузского, Верхнерузского, Истринского, Озернинского) за 1983-2010 г., с учетом современных климатических изменений, составила 1838 млн. м³ (при норме 1657 млн. м³), из которых несколько более 60% поступило с зарегулированными водохранилищами территории, а около 40% приходится на боковой приток с незарегулированной территории.

Под влиянием ГТС коренным образом изменилась сезонная структура стока реки Москвы. По сравнению со створом Барсуки, фиксирующим условно-естественный сток, доля стока во время весеннего половодья (март – май) в Рублево уменьшилась в 1,7 раза, а в зимний и летне-осенний меженные периоды возросла соответственно почти в 2 и в 1,4 раза. Сезонная структура притока воды через ГТС к г. Москве за 2009 - 2010 гг. оказалась близкой к тому, что имело место в среднем за 1983 – 2010 г. и составила в зимнюю межень – 18%, в весеннее половодье – 37%, в летне-осеннюю межень – 45% годовых величин.

В **шестой главе** освещено использование водных ресурсов в бассейне реки Москвы. В основу расчетов были положены два главных источника [ГВК; *Водные ресурсы и водное хозяйство*, 2007, 2011], базирующиеся на систему статотчетности 2ТП (Водхоз), имевшую распространение на всей территории бывшего СССР и в значительной мере сохранившуюся после его распада. На их основе определялся современный водозабор и безвозвратный расход воды в процессе использования, исходя из следующих его значений согласно [*Водные ресурсы России...*, 2008] – в хозяйственно-питьевом секторе 20% от водозабора, в производственном 11%, в прочих отраслях (в основном орошение) 70%. Значительная часть рассматриваемого 150-летнего периода, особенно его первая половина, слабо освещена соответствующей информацией, и использование воды в это время оценивалось в основном по косвенным данным (динамике населения, промышленности, сельского хозяйства). Что касается безвозвратного расхода воды, то его доля от водозабора в эти периоды находилась на основании данных М.И. Львовича [1974] и [*Водные ресурсы России...*, 2008] и была значительно больше, чем указанные выше величины из-за меньшего развития водопроводной и канализационной систем.

Общий безвозвратный расход находился суммированием по отдельным отраслям водного хозяйства с величиной ущерба для речного стока в результате откачки подземных вод, который определялся по ГВК и составляет в среднем 40% от общей величины откачки.

Величина общего водозабора в бассейне р. Москвы, основную часть которого забирает на различные нужды г. Москва, выражается следующими цифрами (табл.3,

рис.5.). Она возросла к настоящему времени по сравнению с серединой XIX века почти в 45 раз при максимальных значениях около 2700 млн. м³ в конце 1980-х-начале 1990-х гг., после чего наметилась тенденция снижения водозабора в пределах 1,2 – 1,3 раза. Несколько особняком стоит водозабор в 2010 г. в связи с аномальной жарой летом этого года и повышенным водопотреблением.

Если на одного жителя в середине XIX века приходился 161 литр в сутки на одного человека, в начале XX века – 146 л (уменьшение объясняется быстрым ростом численности населения), то в начале второй половине XX века 589 л, а в начале XXI века этот показатель снизился до 385 л, что объясняется перестройкой структуры водного хозяйства и мерами по экономии воды. Увеличение водопотребления с 1960-х гг. в значительной мере обеспечено за счет переброски воды по каналу имени Москвы. В начале XXI столетия доля поверхностных вод в водопотреблении составляла более 80%.

Таблица 3. Водозабор и безвозвратный расход воды в процессе использования в бассейне реки Москвы, млн. м³/год

Показатель	Водозабор				Безвозвратный расход				Сточные воды
	Всего	В том числе на нужды							
		Хоз. быт.	Произв.	Прочие	Всего	Хоз. быт.	Произв.	Прочих	
Середина XIX века	47	15	27	5	28	10	14	4	19
Начало XX века	170	70	80	20	83	35	32	16	87
Начало второй половины XX века	2065	690	1175	200	407	138	129	140	1658
Начало XXI века	2106	1048	904	154	391	215	102	74	1715
Период исчисления нормы стока	540	170	310	60	144	53	50	41	396

В последние годы существенно (до 50%) против 1/3 в 1960-1980-х гг. возросла в водозаборе доля хозяйственно-питьевого сектора и соответственно с 57% до почти 43% снизилась доля производственного сектора.

Фактически же объем использования воды значительно больше за счет оборотных систем водоснабжения, в которых на производственные нужды использовалось в начале XXI века 5 км³ и, следовательно, валовый расход воды на все потребности превысил 6 км³. Однако забор воды в оборотные системы практически не влияет на величину речного стока.

Безвозвратный расход воды в процессе использования в бассейне р. Москвы вырос с около 30 млн. м³ в середине XIX века до примерно 400 млн. м³ начиная с начала второй половины XX века, а с учетом дополнительной фильтрации речных вод в подземные горизонты приблизился к 600 млн.м³.

Совокупное изменение годового стока реки Москвы в замыкающем створе по сравнению с периодом исчисления нормы стока под влиянием водопотребления оказывало сравнительно небольшое влияние на сток р. Москвы, максимально уменьшая его на рубеже XX и XXI вв. примерно на 3%. Гораздо более существенное влияние водопотребление оказывает на качество речных вод, поскольку количество сточных вод в начале XXI века превышало половину нормы годового стока реки Москвы в замыкающем створе, т.е. кратность их разбавления менее 2 раз, что явно недостаточно, учитывая еще и загрязнения, попадающие в реку со стоком с территории водосбора, особенно с урбанизированных участков.

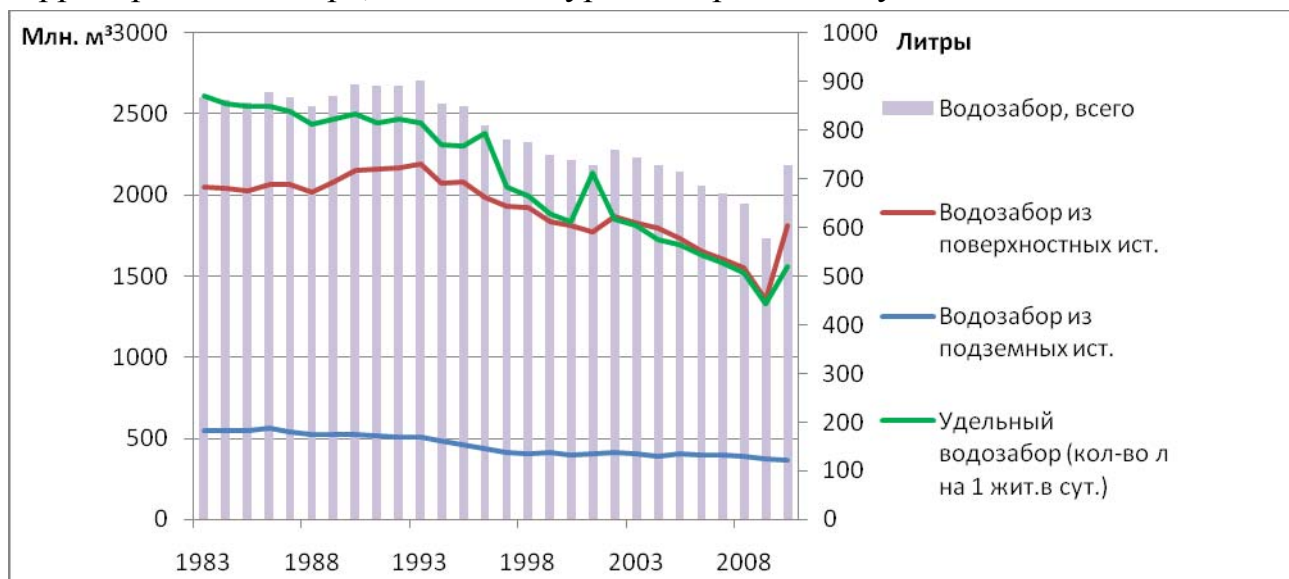


Рисунок 5. Динамика водозабора и удельного водопотребления в бассейне реки Москвы

Влияние водозабора и сброса сточных вод сравнительно мало меняет внутригодовое распределение стока, сказываясь, главным образом, в некотором

уменьшении доли стока теплого времени года, на который приходится основная доля безвозвратных изъятий воды.

В **седьмой главе** показано комплексное влияние антропогенных факторов на величину речного стока (табл.4). Как видно, наибольший вклад в изменение годового речного стока вносит гидротехническое воздействие, главным образом, переброска воды с середины 1930х-гг., что составило 60% общего стока реки Москвы во второй половине XX века при максимуме на рубеже XX и XXI вв., с последующим снижением до 50%.

Таблица 4. Изменение стока р. Москвы по сравнению с периодом исчисления его нормы (3170 млн.м³) под влиянием основных видов хозяйственной деятельности при средних многолетних климатических условиях, млн. м³.

Показатель*	Середина XIX века	Начало XX века	Начало второй половины XX века	Начало XXI века
Ландшафтные преобразования	-194/-6	-35/-1	88/3	282/9
Гидротехническое воздействие**	-5/ <-0,01	-2/<-0,01	1901/60	1589/50
Использование воды	58/2	18/<1	-102/-3	-54/-2
Всего	-141/-4	-19/<1	1887/60	1817/57

* В числителе - изменения в млн.м³; в знаменателе - в %

** Без учета гидротехнических воздействий в период исчисления нормы стока

Применительно к стоку реки Москвы в замыкающем створе сток в отдельные периоды можно представить следующим образом (рис.6.). Итого, с учетом всех изменений в начале второй половины XX века он превысил 5 км³/год, а в начале XXI века - приблизился к этой величине.

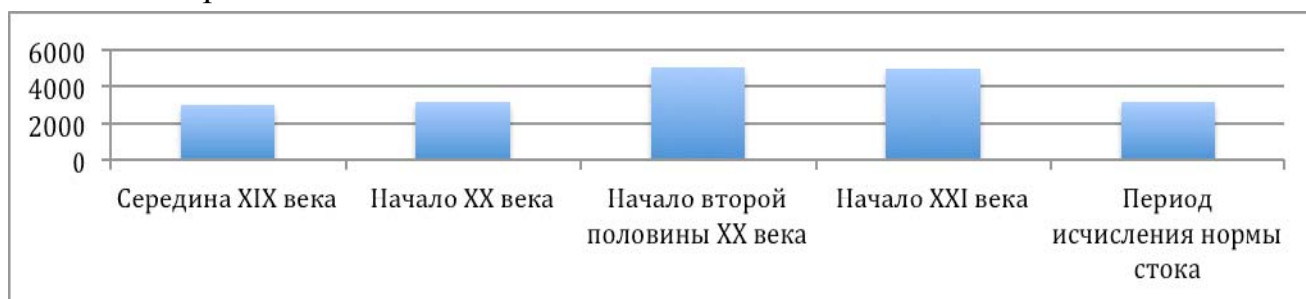


Рисунок 6. Средний годовой сток р. Москвы в замыкающем створе при средних климатических условиях, млн.м³

Москва – одна из немногих рек мира, резко увеличивших в последние десятилетия сток в результате комплекса антропогенных воздействий на фоне преобладающей почти повсеместно тенденции его снижения. Осредненный водохозяйственный баланс реки Москвы в начале XXI века, отталкиваясь от

величины стока в середине XIX века, виден из табл. 5. Приведенные здесь значения антропогенных воздействий определены по разнице с аналогичными показателями на уровне середины XIX века.

Таблица 5. Водохозяйственный баланс реки Москвы в начале XXI столетия при средних климатических условиях, млн. м³

Приходная часть		Расходная часть	
Условно-естественный сток р. Москвы на уровне XIX века	3029	Потери на дополнительное испарение с прудов и водохранилищ	6
Ландшафтные преобразования	475	Безвозвратные изъятия в процессе использования воды	363
Переброска стока	1600	Дополнительная фильтрация в подземные горизонты	137
Забор подземных вод	389		
Всего	5493	Всего	506
Баланс: 4987 млн. м³			

Указанные выше величины изменения стока приурочены к средним многолетним климатическим условиям, характерным для периода исчисления нормы стока. Вместе с тем, очевидно, что они довольно существенно изменились в последнее время, способствуя вплоть до последнего времени его увеличению (как уже отмечалось выше, в среднем на 17% по сравнению с нормой стока).

Итого, с учетом климатических изменений и всех видов хозяйственной деятельности фактический сток в бассейне реки Москвы в начале XXI века оценивается в среднем в 5526 млн. м³ (174 м³/с), что в 1,7 раза превышает его величину за период исчисления нормы. Из общего увеличения стока на 2356 млн.м³ более 77% (1817 млн.м³) приходится на долю антропогенных воздействий, а 23% - на влияние климата. Конечно, полученные величины стока в замыкающем створе бассейна реки Москвы следует считать весьма ориентировочными. Более важны размеры его относительных изменений, которые при средних климатических условиях оказались близки в отдельные сравниваемые отрезки времени с данными других авторов [Алексеевский, Ретейм, 2012, ГВК, Чижмакова, Яблоков, 1976].

Кардинально изменилось сезонное распределение стока (табл.6).

Таблица 6. Внутригодовое изменение стока реки Москвы в замыкающем створе при средних многолетних климатических условиях.

Показатель	Период исчисления нормы стока		Середина XIX века		Начало XX века		Начало второй половины XX века		Начало XXI века	
	млн.м ³	%	млн.м ³	%	млн.м ³	%	млн.м ³	%	млн.м ³	%
Зимняя межень	193	6	175	6	193	6	662	13	600	12
Весеннее половодье	1741	55	1635	54	1741	55	1959	39	1854	37
Летне-осенняя межень	1236	39	1219	40	1217	39	2436	48	2533	51
Год	3170	100	3029	100	3151	100	5057	100	4987	100

Сток в зимнюю межень, увеличившись по сравнению с нормой более чем в 3 раза, возрос в доленом участии внутригодового распределения в 2 раза, сток летне-осенней межени-соответственно в 2 и 1,3 раза. Сток весеннего половодья в объемном выражении вырос сравнительно мало-менее чем на 10%, при снижении доли вклада в годовой сток в 1,4 раза.

В заключении сформулированы основные результаты работы:

1. Ландшафтные преобразования в бассейне реки Москвы привели к существенным изменениям его стока, особенно в последние десятилетия. В начале XXI века в результате трансформации ландшафтов годовой сток по сравнению с нормой возрос почти на 10%, а летне-осенний на 27%. Главным образом, это следствие увеличения урбанизированных площадей, особенно в пределах Московской агломерации. Рост урбанизированных площадей на 1% приводит в среднем к такому же увеличению годового речного стока, а рост водонепроницаемых площадей на 1% - к его увеличению на 2 - 3%.

2. Совокупное влияние гидротехнических преобразований (пруды, водохранилища, переброска) на сток реки Москвы в замыкающем створе выразилось в его незначительном (менее 1%) уменьшении до 1930-х гг., а затем в увеличении – в 1960-1980х гг. на 60%, в начале XXI столетии –на 50%. Коренным образом изменилась сезонная структура стока реки Москвы под влиянием ГТС, позволяющая обеспечить 1/3 максимального годового водозабора на различные хозяйственные нужды и не менее, чем на 1/3 уменьшить объем максимального половодья, формирующегося выше г. Москвы, в значительной мере обезопасив ее от

катастрофических наводнений. Во всем бассейне реки Москвы сток в зимнюю межень увеличился по сравнению с нормой более чем в 3 раза, а его доля в годовом стоке - в 2 раза. Соответственно для летне-осенней межени это составило рост в 2 и 1,3 раза. Сток весеннего половодья в объемном выражении вырос сравнительно мало - менее чем на 10%, при снижении его вклада в годовой сток в 1,4 раза.

3. Водозабор в бассейне реки Москвы на различные хозяйственные нужды достиг максимальных значений (свыше $2 \text{ км}^3/\text{год}$) начиная со второй половины XX века, превысив аналогичные показатели середины XIX века более чем в 40 раз, а начала XX века – более чем в 10 раз. Безвозвратный расход воды в последние десятилетия составил более $0,5 \text{ км}^3/\text{год}$, что привело к уменьшению стока реки Москвы в замыкающем створе по сравнению с его нормой в размере около 3%.

4. Москва – одна из немногих рек мира, резко увеличивших в последние десятилетия сток в результате комплекса антропогенных воздействий. В общем увеличении стока реки Москвы в начале XXI столетия в 1,7 раза по сравнению с его нормой, на долю антропогенных факторов приходится 75-80%, а климатических – 20-25%. Причем значительную часть стока ниже г. Москвы составляют загрязненные сточные воды. Однако в самые последние годы наметилась тенденция уменьшения стока.

5. Под влиянием комплекса антропогенных факторов за рассматриваемый 150-летний период доля стока зимней межени возросла в 2 раза, летне-осенней – в 1,3 раза, а весеннего половодья снизилась почти в 1,5 раза.

6. Совершенствование оценок влияния хозяйственной деятельности и природно-климатических факторов на общие водные ресурсы бассейна реки Москвы требует улучшения системы гидроклиматического мониторинга, в первую очередь, организации регулярных наблюдений за стоком реки Москвы на ее устьевом участке и реанимации работы воднобалансовых станций в ее бассейне. В научном аспекте одной из самых актуальных задач остается оценка гидрологической роли антропогенных факторов в меняющихся климатических условиях и в годы различной водности.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Изменение стока на территории города Москвы в результате ландшафтных преобразований// Водное хозяйство России. 2014. №6. Екатеринбург. С. 57 – 68;

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

Koronkevich N.I., Melnik K.S. Runoff Transformation under the Effect of Landscape Changes in the Moskva R. Basin and in the Territory of Moscow city// Water resources and the regime of water bodies.2015, vol.42, №2, pp.159-169

3. Мельник К.С. Гидротехническое воздействие на водные ресурсы в бассейне реки Москвы//Фундаментальные исследования, 2015, №2(6). (в печати).

Статьи в других изданиях и материалы научных конференций:

1.Коронкевич Н.И., Мельник К.С., Современные тенденции изменения поверхностных водных ресурсов Московского региона// Геоэкологические проблемы Новой Москвы: Сборник научных трудов/ Отв. ред. А.В. Кошкарев, Э.А. Лихачева, А.А. Тишков – М.: Медиа –ПРЕСС, 2013. С. 27-33.

2. Мельник К.С. Влияние Москворецких водохранилищ на процессы формирования речного стока в бассейне реки Москвы//Географическая наука и образование. Современные проблемы и перспективы развития. Материалы II Всероссийской научно-практической интернет конференции. Г. Новосибирск, НПГУ, 2013, с. 93-99

3. Мельник К.С. Изменение характера землепользования в бассейне реки Москвы и его влияние на процессы формирования стока// Сборник трудов Седьмой международной конференции молодых ученых и талантливых студентов “Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность” / Отв. Ред. Н.Н. Митина. – М.: ИВП РАН, 2012. – с. 102 -104.

4. 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. Речной сток. Пространственно-временная изменчивость и опасные гидрологические явления. Сборник трудов третьей открытой конференции Научного образовательного центра. \13 ноября 2014 г. М.: кафедра гидрологи суши МГУ, ИВП РАН, 2014, 24-44с.

5. Коронкевич Н.И. Мельник К.С. Изменение речного стока в бассейне р. Москвы в результате ландшафтных преобразований. Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежных зон морей: Труды VIII Международной научно-практической конференции: в 2 т. Москва РУДН. 24 -27 ноября 2014 г. - Москва: РУДН, 2014. Т.1 149-151 с.

6. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Георгиади А.Г., Долгов С.В., Кашутина Е.А., Мельник К.С. Вклад климатических и антропогенных факторов в долговременные изменения стока Волги и Дона//Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежных зон морей: Труды VIII Международной научно-практической конференции: в 2 т. Москва РУДН. 24 -27 ноября 2014 г. - Москва: РУДН, 2014. Т.1, 152-164 с
7. Мельник К.С. Современные тенденции изменения поверхностных водных ресурсов Московского региона//Материалы научно-исследовательской конференции Ломоносов 2013. М.: МГУ, 2013, С.1-2
8. Мельник К.С. Трансформации стока на территории г. Москвы // Материалы научно-исследовательской конференции Ломоносов 2014. М.: МГУ, 2014, С.1-2.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Подписано в печать 19.03.2015 г.
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Формат А4/2. Усл. печ. л.1.
Заказ № 264. Тираж 130 экз.
Типография «КОПИЦЕНТР»
119234, г. Москва, Ломоносовский пр-т, д.20
Тел. 8 (495) 213-88-17
www.autoreferat1.ru