



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра гидрометрии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(бакалаврская работа)

На тему

**Влияние изменения климата на  
уровни воды (на примере озер  
Удомля и Песьво)**

Исполнитель

Козлов Сергей Михайлович

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

Доктор географических наук, профессор

(ученая степень, ученое звание)

Барышников Николай Борисович

(фамилия, имя, отчество)

«Я зашито допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич

(фамилия, имя, отчество)

15 июня 2019 г.

Санкт-Петербург

2019

Влияние изменения климатических характеристик европейской части РФ и оценка их влияния на водообеспеченность АЭС.



## Оглавление

	стр.
Оглавление	2
Введение	4
1 Физико-географическая характеристика Тверской области	6
1.1 Рельеф, геологическое строение и полезные ископаемые	7
1.2 Почвы, растительность и животный мир	10
1.3 Климат Тверской области	16
1.4 Состояние и охрана окружающей среды	19
1.5 Гидрография Тверской области	22
1.6 Туризм в Тверской области	29
2 Исходная информация. Результаты ее анализа	31
3.1 Результат анализа метеорологических характеристик	19
3.1.2 Внутригодовое распределение температур воздуха и сумм осадков в теплый и холодный периоды года	25
Анализ криогенного влияния на минимальный сток в условиях глобального потепления.	
3.2 Результат анализа среднегодового стока	29
3.2.1 Проверка рядов на однородность	32
3.2.2 Результат оценки временных трендов	32
3.2.3 Результат расчета статистических характеристик среднегодовых расходов воды	33
3.2.4 Внутригодовое распределение расходов воды в теплый и холодный период года	38
3.3 Сравнительный анализ метеорологических и гидрологических характеристик	39
Заключение	44
Список использованной литературы	46
Приложение А – Среднемесячные и среднегодовые расходы	49

воды по рекам Алдан и Амга, м<sup>3</sup>/с

Приложение Б – Среднемесячные и среднегодовые температуры  
воздуха, °С 51

## Введение

В последние десятилетия происходят существенные изменения климата, имеющие глобальный характер. Они затронули не только атмосферу, но и биосферу, гидросферу, криосферу и оказывают заметное влияние на различные сектора экономики. Под их влиянием на водных объектах Северо-Запада европейской территории России, в бассейнах рек Волги и Дона сложились напряженные условия, при которых под угрозу поставлено устойчивое функционирование водохозяйственных систем, в том числе атомных электростанций, которые существенно зависят от водного режима территорий.

Современные изменения климатических характеристик различных регионов Земли оказывают значимые и ощутимые воздействия на водные объекты, не исключением является и Волжско-Каспийский бассейн.

На территорию бассейна приходится и Тверская область. Площадь области равняется 84 100 км<sup>2</sup>. Высшая точка области имеет высоту 347 м, расположена на Цнинской возвышенности (Макушка Валдая). В состав Тверской области входит Удомельский городской округ, на территории которого располагается Калининская атомная электростанция. Калининская АЭС является водопользователем природных озер Песьво и Удомля.

Цель настоящей работы состоит в выявлении наметившихся изменений в формировании водных ресурсов, которые должны учитываться в правилах их использования при адаптации водохозяйственного комплекса АЭС к изменениям климата, а также оценка влияния изменения климата на гидрометеорологические параметры на примере Волжско-Каспийского бассейна и озер Песьво и Удомля в частности.

Задачи работы:

- сбор данных гидрометеорологических наблюдений;
- подсчет статистических характеристик годового стока;

– построение хронологических графиков гидрометеорологических характеристик;

– сравнительный анализ полученных результатов.

Исходные материалы получены в отделах гидрологической службы Калининской АЭС и метеорологической станции д. Ряд, расположенной в непосредственной близости к озерам-охладителям Калининской АЭС.

## 1 Физико-географическая характеристика территории Тверской области

Тверская область расположена в северо-западной части России. Ее протяженность с запада на восток составляет более 450 км, а с севера на юг - примерно 350 км. По занимаемой территории это одна из самых крупных областей в Центральном федеральном округе, в состав которого Тверская область входит административно. Область граничит с 6 субъектами Российской Федерации: Московской, Смоленской, Псковской, Новгородской, Вологодской и Ярославской областями.

Тверская область является частью Русской равнины с характерным для нее чередованием низменностей и возвышенностей. Западная часть области занята Валдайской возвышенностью с высотами 200-300 м и более. На юге к ней примыкают Бельская возвышенность с высотами 250 – 270 м., на юго-западе - Западно-Двинская равнина, на юго-востоке - Верхневолжская низина.

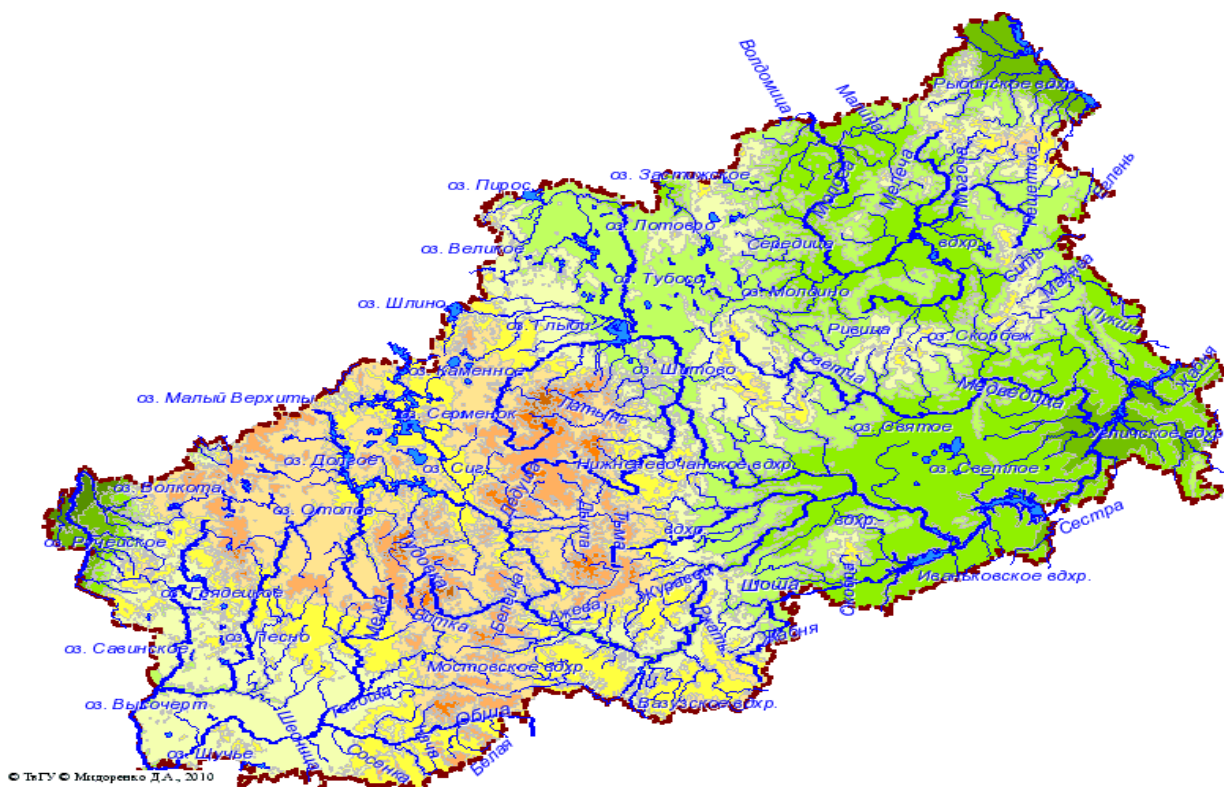


Рисунок 1.1 – Физико-географическая карта Тверской области

## 1.1 Рельеф, геологическое строение и полезные ископаемые

Территория Тверской области находится в северо-западной части Русской плиты древней Восточно-Европейской платформы, в области юго-западного замыкания Московской синеклизы. В основании синеклизы вдоль северо-западной границы области протягиваются авлакогены Среднерусской системы. Глубина залегания архейско-раннепротерозойского кристаллического фундамента свыше 1 км, увеличивается в северо-восточном направлении до 2 км и более; в авлакогенах – 2–3 км и более. Авлакогены заполнены рифейско-нижневендскими терригенными и туфогенными толщами. Осадочный чехол сложен верхневендско-нижнепалеозойскими терригенными породами; средне-верхнедевонскими терригенными и карбонатными отложениями с прослоями гипса и ангидрита; каменно-угольными и пермскими, преимущественно карбонатными, породами (в нижнем карбоне-угленосными); триасовыми, юрскими и меловыми глинами, песками, песчаниками с горизонтами фосфоритов. Покров рыхлых четвертичных отложений представлен ледниковыми валунными суглинками – моренами позднеплейстоценового валдайского (на западе и северо-западе области) и среднеплейстоценового московского (возможно и более раннего) оледенений, водно и озёрно-ледниковыми песчаными и глинистыми осадками, покровными суглинками, делювиальными, болотными отложениями; в долинах рек развит аллювий.

Имеются месторождения бурых углей, принадлежащие Подмосковному угольному бассейну, торфа, сапропеля, карбонатных пород для строительства, известкования почв и цемента; природного облицовочного материала, кирпичных и керамзитовых глин и суглинков, тугоплавких глин, строительных, силикатных и стекольных песков, песчано-гравийного материала, пресных и минеральных подземных вод.

Около 1 % площади приходится на низины (Плоскошская), треть территории занимают низменные равнины (Верхневолжская, Молого-



Шекснинская, Верхне- и Среднемоложские низины), 37 % покрывают возвышенные равнины (Вышневолоцкая и Западно-Двинская низины) и около 29 % территории занимают собственно возвышенности (Валдайская, Овинищенская).

Одной из основных характеристик рельефа является наклон (углы наклона). В пределах Тверской области он изменяется от  $0^\circ$  до  $3^\circ$ . Анализ распределения углов наклона показывает, что 96 % территории области приходится на углы наклона менее  $1^\circ$ , что подтверждает равнинный характер рельефа.

Общий уклон поверхности, который используют Волга, Медведица, Тьма, Тверца и другие крупные реки направлен с запада на восток. Кроме того, имеются второстепенные уклоны: на север, используемый Мстой и Мологой, на юго-запад, используемый Западной Двиной, Торопой и Межой.

Самое крупное поднятие Тверского края (около 30 % территории) - Валдайская возвышенность - занимает центр и запад области. Валдайская возвышенность представляет собой совокупность самостоятельных поднятий и гряд. Наиболее значительные из них: Цнинская возвышенность, Ильи горы, Свиные горы, Оковский Лес, Бельская возвышенность, Осташковская и Валдайская гряды.

К другим крупным положительным формам рельефа относятся Овинищенская возвышенность, Покров-Коноплянская и Карамышевская гряды на крайнем северо-востоке; Бежецкий Верх на востоке, включающий Моркины горы, Бежецкие гряды и Сонковскую возвышенность; Лесная гряда на севере; Торжковская и Лихославльская гряды в центре области.

Низменности и низины занимают 33 % территории Тверской области. Наиболее значительная - Верхневолжская низина - расположена на юго-востоке. Кроме того, можно выделить Молого-Шекснинскую, Верхнемолож-

скую и Среднемоложскую низины на северо-востоке; Вышневолоцкую низину в центре; крупную Западно-Двинскую низину на юго-западе и Плоскошскую низину на крайнем западе области.

На процессы рельефообразования в Тверской области оказывают влияние оползни, поверхностный смыв, карстовые процессы и оврагообразование. Кроме того, значительную роль в формировании рельефа играет развитая речная сеть.

С характером рельефа связаны микроклиматические особенности территории области, грунтовые воды, гидрографическая сеть, процессы почвообразования и растительный покров.

## 1.2 Почвы, растительность и животный мир

В ландшафтном отношении Тверская область относится к подзонам южной тайги и смешанных хвойно-широколиственных лесов. Преобладающим типом почв являются дерново-подзолистые почвы. Типичные подзолистые почвы встречаются фрагментарно на песчаных отложениях под хвойными лишайниковыми лесами. В местах с близким залеганием известняков формируются дерновые почвы. На плоских слабо дренированных равнинах господствуют торфяно-подзолисто-глеевые и перегнойно-подзолисто-глеевые почвы. К поймам рек приурочены аллювиальные почвы.

Тверская область - одна из самых лесистых в европейской части России, массивы лесов занимают более 60 % ее площади. Наиболее лесисты (80 %) юго-западный и северо-западный районы. Леса играют важную роль в экономике области, имеют исключительно важное гидрологическое и водоохранное значение, одновременно являются важнейшим стабилизирующим компонентом биосферы, способствующим сохранению и оздоровлению окружающей среды.

Общая площадь лесов области составляет 5057 тыс. га и состоит из лесного фонда, лесов не входящих в лесной фонд и древесно-кустарниковой растительности. Лесистость области составляет 54,1 %. Хвойные насаждения занимают 36 % территории, остальное - мягколиственные, в том числе 35 % - береза. Очень малую часть лесного фонда занимают твердолиственные породы. За последние годы заметных изменений в состоянии флоры области не произошло (Государственный доклад о состоянии окружающей среды Российской Федерации, Москва, 2006 г.).

Луга и сельскохозяйственные угодья занимают 24 % территории, луга в основном суходольные, в долинах рек - пойменные. Среди лесов и сельскохозяйственных угодий встречаются сильно деградированные, фрагментарно расположенные, суходольные разнотравно-злаковые луга.

В области много болот. Почти 47 % болот - верховые, остальные - переходные, низинных болот практически нет.

Леса области обладают ценными растительными ресурсами: грибами, ягодами, орехами и лекарственным сырьем.

Среди высших растений около 150 видов относится к лекарственным, 17 видов - к ягодным, хозяйственную ценность имеют черника, брусника, клюква, голубика.

К высокопродуктивным угодьям с черникой относятся чернично-долгомошные типы леса. Урожай черники составляет в среднем 150 кг/га. Продуктивными черничными угодьями являются хвойные насаждения с единичным участием берёзы, редким подростом. Продуктивные угодья брусники представлены брусничными типами леса с урожайностью брусники от 50 до 240 кг/га.

Местами встречаются болотные массивы сфагновой группы типов лесов (багульниковые, сфагновые). На них произрастает клюква. Общая продуктивность клюквы в среднем составляет 230-270 кг/га.

На территории Тверской области встречаются следующие виды растений, занесенные в Красную книгу РФ:

Башмачок настоящий - *Cypripedium calceolus*

Липарис лезеля - *Liparis loeselii*

Лобелия дортмана - *Lobelia dortmanna*

Лунник многолетний - *Lunaria rediviva*

Наяда гибкая - *Caulinia flexilis*

Пальчатокоренник длиннолистный - *Dactylorhiza longifolia*

Пальчатокоренник балтийский - *Dactylorhiza baltica*

Полушник озерный - *Isoetes lauctris*

Полушник щетинистый - *Isoetes echinospora*

Ятрышник шлемоносный - *Orchis militaris*

Водяной орех (чилиим) - *Trapa natans*

Лесами покрыто более 50% территории, наиболее лесисты (до 80%) юго-западный и северо-западный районы. Главные лесообразующие породы – ель, сосна, берёза, осина, ольха, дуб. Хвойные леса занимают 47% лесопокрытой площади, среди них преобладают еловые, приуроченные главным образом к Валдайской возвышенности. Сосновые леса господствуют в пределах задровых равнин. Мелколиственные вторичные леса (в основном берёзовые) занимают 53% площади. Дубовые леса встречаются довольно редко. Луга занимают 16% от общей площади области; большие площади пойменных лугов были затоплены в результате создания водохранилищ. Широко распространены болота, среди которых преобладают верховые; часть болот осушена.

На территории области обитает 66 видов млекопитающих, 257 видов птиц, 38 видов рыб. В Тверской области фаунистические комплексы позвоночных обнаруживают больше сходства с подзоной широколиственного леса, в то время как в Ленинградской и Новгородской областях большинство видов исторически связано с таежной формацией. Так, например, некоторые виды летучих мышей, обычные для Тверской области, не отмечены ни в Новгородской, ни в Ленинградской областях.

Хотя животный мир Тверской области типичен для южной тайги и хвойно-широколиственных лесов и, в основном, представлен лесными видами, фаунистически он является весьма неоднородным, пестрым и многообразным.

Типично таежные виды в фауне Тверской области представлены живородящей ящерицей, красной полевкой и трехпалым дятлом. Типичные обитатели широколиственных лесов: лесная, орешниковая и садовая сони, желтогорлая мышь и черный дрозд. Из южных остепененных регионов проникают садовая овсянка, сизоворонка, золотистая щурка, удод и безногая ящерица веретеница. С востока сравнительно недавно проникли овсянка-дубровник, зеленая пеночка и чечевица. Выделяется пять фаунистических комплексов.

Самая многочисленная фаунистическая группа - широко распространенные лесные животные. В нее входят обыкновенная и малая бурозубки, кутора, крот, прудовая, усатая и водяная ночница, рыжая вечерница, двухцветный кожанок, ушан, медведь, рысь, заяц-беляк, белка, лесная мышовка, лесная мышь, рыжая, пашенная полевки и экономка, лось.

Второе по многочисленности видов место занимает фаунистическая группа еще более широко распространенных видов не ограниченных пределами лесной зоны: волк, лисица, горностай, ласка, барсук, выдра, серая и черная крысы, домовая мышь и водяная крыса.

Также многочисленна группа западноевропейских видов, таких как выхухоль, лесная куница, черный хорек, европейская норка, садовая, лесная и орешниковая сони, желтогорлая мышь, подземная полевка и европейская косуля.

Близка к двум предыдущим по объему четвертая группа животных связанных с таежными биоценозами: крошечная, средняя и арктическая бурозубки, северный кожанок, россомаха, летяга, красная полевка.

Последняя пятая группа видов столь же многочисленна. Она связана с местообитаниями, возникшими, как результат деятельности человека: пашни, вырубки, постройки и т.п. В нее входят такие виды как обыкновенный еж, заяц-русак, мышь малютка, полевая мышь, обыкновенный хомяк и серая полевка. По происхождению эти виды - европейские и относительно южные. К этой же группе можно отнести и относительно южные виды нетопырей карлика и натузиуса.

В довольно общем виде в фауне Тверской области 54 % видов можно отнести к широко распространенным, 32 % - к южным и европейским, 14 % - к северным, таежным. Интересно, что в этой части области некоторые виды представлены даже иными подвидами, чем в более южных и западных районах: черная крыса, полевка-экономка и пашенная полевка. В западной части области особые подвиды образуют прудовая ночница, летяга и кутора.

В целом фауна Тверской области носит явно переходный характер между северо-западными и центральными областями Европейской части России. Редкие и исчезающие виды животных, занесенные в Красную книгу. В настоящее время в области нет надежной системы учета и мониторинга животного мира, поэтому нет и возможности сделать его полный и достоверный анализ. Относительно реальные данные имеются по охотничьим видам животных, промысловым видам рыб, краснокнижным и редким видам.

На Верхневолжье акклиматизированы и реакклиматизированы ондатра, бобр, енотовидная собака, американская норка, кабан, олени (пятнистый, европейский, марал), зубр. Обитание зубра в Тверской области представляет самую северную границу ареала этого вида.

В Красную книгу России занесены следующие виды птиц: беркут, большой подорлик, малый подорлик, белая куропатка, сокол-сапсан, скопа, обыкновенный серый сорокопуд, вертлявая камышовка, европейская белая

лазоревка, орлан-белохвост, орел-змееяд, европейский средний дятел, черный аист, чернозобая гагара, кулик-сорока, филин, большой кроншнеп.

Из млекопитающих в Красную книгу занесены зубр и выхухоль. В последние годы выхухоли на территории области практически не наблюдается. В настоящее время исследуются причины исчезновения данного вида с целью его реаклиматизации

Животный мир представлен типичными таёжными видами (лось, куница, рысь, бобр, лисица, заяц, европейская косуля, бурый медведь, волк, тетерев, глухарь, рябчик, утка, цапля, белая и серая куропатки и другие). Озёра, реки и водохранилища богаты рыбой (сиг, ряпушка, сазан, карась, жерех, лещ, щука, судак, карп, окунь, язь, плотва и другие).



### 1.3 Климат Тверской области

На территории Тверской области климат умеренно континентальный. Средние температуры января от  $-8,8$  °С на западе до  $-10,9$  °С на востоке, июля  $17-17,5$  °С. Осадков  $550-750$  мм в год. В течение года осадки выпадают неравномерно. В мае их количество резко возрастает, в июне достигает максимума ( $80-90$  мм). Снежный покров устанавливается в последней декаде ноября и держится до середины марта, достигая мощности  $40-60$  см. Продолжительность вегетационного периода  $165-170$  суток.

В сравнении с количеством радиации, приходящей от солнца в других областях нашей страны, Тверская область получает умеренной количество тепла. Продолжительность дня меняется от  $6,5$  часов до  $18$  часов.

Преобладающей воздушной массой над Тверской областью является континентальный воздух умеренных широт, который определяет летом тёплую погоду с температурами  $15 - 20$ °С (днём до  $20 - 25$ °С), с переменной кучевой облачностью, с небольшими скоростями ветра, которые к ночи снижаются до штиля. Нередко при данном типе погоды в середине дня случаются ливневые осадки и грозы. Зимой континентальный воздух умеренных широт формирует умеренно-морозную, чаще без осадков погоду с температурным фоном минус  $10 - 15$ °С. Довольно часто ( $20,7$  % случаев) с запада, с Атлантического океана, сюда приходит морской воздух умеренных широт, он вызывает летом похолодание до  $10 - 15$ °С, зимой же потепление до  $0$  до  $10$ °С. Это сопровождается пасмурной погодой и увеличением осадков.

С севера и северо-востока из районов Баренцева и Карского морей в Верхневолжье поступает холодный арктический воздух (морской или континентальный). Устанавливается ясная безоблачная погода с температурами до минус  $30-40$ °С в зимний период. Весной арктический воздух вызывает воз-

врат холодов и ночные заморозки. Летом - пасмурная, но чаще без осадков, холодная, ниже +10°C погода.

Иногда, в 5,4 % случаев, весной или осенью из районов Средней Азии и Казахстана вторгается сухой жаркий и пыльный континентальный тропический воздух. В любое время года эта воздушная масса вызывает повышение температуры: весной - быстрый сход снега, раннее распускание листьев и цветение, осенью - возврат тепла, так называемое "бабье лето". Летом с поступлением тропического воздуха связана сухая, жаркая погода с температурами до 30- 35°C. Устойчивое поступление тропического воздуха может вызвать засуху.

В Тверской области, находящейся в умеренных широтах, господствует западно-восточный общепланетарный перенос воздуха. Это обуславливает преобладание ветров юго-западного и западного направлений. В сумме их повторяемость составляет 35 - 40 %. Реже всего в области наблюдается восточный ветер - всего в 8 % случаев. Безветренные условия (штиль) отмечаются в 12 % случаев. Среднегодовая скорость ветра лежит в пределах 3,5 - 4,2 м/с и мало изменяется в пределах территории области. Ветры ураганной силы случаются крайне редко.

Средняя годовая температура воздуха по области колеблется от 2,7 до 4,1°C. Среднегодовая температура уменьшается в направлении с юга-запада на северо-восток. Январские изотермы ориентированы почти с севера на юг, так что зимой западные районы оказываются на 20С теплее восточных. Изотермы июля ориентированы с северо-востока на юго-запад.

В Тверской области за год в среднем выпадает 550 - 750 мм осадков. Из всей суммы осадков 70 % выпадают в жидком виде (дождь и морось), 18 % - в твёрдом (снег, град, снежная и ледяная крупа), 12 % - в смешанном виде

(мокрый снег, дождь со снегом). Количество выпадающих осадков в отдельные годы может существенно отличаться от средних показателей.

Влажность воздуха в Тверской области довольно высока на протяжении всего года и в среднем колеблется в пределах 80 %. В холодный период относительная влажность выше - 85 - 90 %, а летом она уменьшается до 65 - 70%.

Внутренние воды большей части территории принадлежат бассейну Каспийского моря, лишь западный и северо-западный районы – бассейну Балтийского моря. Берут начало реки Волга и Западная Двина. Основная река – Волга (протяжённость в пределах области 685 км) с притоками Селижаровка, Тьма, Тверца, Медведица, Кашинка, Молога (левые); Вазуза, Шоша, Нерль (правые). Наиболее крупные озёра – Селигер, Стерж, Вселуг, Пено, Волго, Сиг, Кафтино, Великое. На реках создано 9 крупных водохранилищ, в т. ч. Верхневолжское водохранилище, Ивановское водохранилище, Угличское водохранилище, Вазузское водохранилище, Рыбинское водохранилище на Волге, Вышневолоцкое на Цне.

В Удомельском городском округе Калининской атомной электростанцией в качестве озер-охладителей используются природные озера Песьво и Удомля, именуемые «Водохранилище Калининской АЭС».

## 1.4 Состояние и охрана окружающей среды

В Тверской области организованы особо охраняемые природные территории (ООПТ): государственные природные заповедники, памятники природы, государственные природные заказники и т.д. Природное разнообразие Тверской области обусловлено ее межзональным расположением (от темнохвойной тайги до широколиственных лесов с элементами тундровой и степной растительности), сложным разновозрастным рельефом.

К настоящему времени на территории Тверской области образованы: Центрально-Лесной государственный заповедник (ЦЛГЗ), 633 природных заказника, 403 памятника природы, 1 ботанический сад, т.е. 1039 ООПТ. Кроме того, на особом положении находится особо охраняемая природная территория - Государственный комплекс "Завидово", которому присвоен статус национального парка

Центрально-Лесной заповедник, расположен Тверской области России, на водоразделе Волги и Западной Двины. Заповедник основан в 1931 году, занимает площадь 21 тысячу га (20 тысяч га занимают леса, 3800 га -- болота, 26 га -- водоемы). Рельеф территории равнинный, слегка всхолмленный. По территории заповедника протекает река Межа. Болота занимают около 18% территории заповедника, самое крупное из них -- Катин мох (3 тысячи га).

Климат умеренно-континентальный, среднегодовая температура 3,6 °С, максимальная (в июле) 32 °С, минимальная (в январе) -40 °С, среднегодовое количество осадков 600 мм, высота снежного покрова 90-100 см. Большая часть заповедника покрыта коренными еловыми лесами центральной части Русской равнины, встречаются смешанные елово-широколиственные леса (с примесью липы, дуба, ильма, ясеня, березы, ольхи), верховые сфагновые болота. Животный мир богат: много бурых медведей, рыси, зайца-беляка (за год одна рысь ловит около 100 зайцев). Обычны -- лось, кабан, лесная куница, волк, барсук, хорь, европейская норка, енотовидная собака, выдра, горно-

стай, ласка, лисица (из-за близости грунтовых вод лисица не роет нор, а устраивает логова в корнях и дуплах поваленных деревьев), крот, еж, землеройка-бурозубка, белка, водяная крыса, полевки (серые и рыжие), мыши (желтогорлая, полевая и малютка).

Здесь зарегистрирован 141 вид гнездящихся птиц -- глухарь, рябчик, тетерев, белая куропатка (на болоте Катин мох), серый журавль, зяблик, зарянка, пеночка, славка, лесная завирушка, крапивник, глухая кукушка. Из хищных птиц -- ястреб, канюк, осоед, кобчик, чеглок, дербник, редки -- сапсан, кречет и беркут. Много сов - болотная, филин, серая неясыть, сычи (обыкновенный, мохноногий и воробьиный), зимой встречаются ястребиная и белая сова.

Общий объём выбросов загрязняющих веществ в атмосферу составляет 195,7 тыс. т, в т. ч. от стационарных источников – 60,2 тыс. т (преобладают оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, диоксид серы, взвешенные вещества), от автомобильного транспорта – 135,5 тыс. т (2013). Наиболее загрязнены города Тверь, Вышний Волочек, Зубцов. Загрязнение водных объектов связано с биогенными веществами (соединения азота и фосфора) и тяжёлыми металлами; наиболее загрязнённой является р. Тверца. Имеют место несанкционированные свалки.

Охраняемые природные территории занимают 20,9% площади Тверской области, среди них – Центрально-Лесной заповедник, национальный парк Завидово.

В Удомельском городском округе Калининской атомной электростанцией ежегодно производится выпуск молоди рыб-биомелиораторов в озера Песьво и Удомля в целях пополнения водных биологических ресурсов водоема-охладителя, которые активно участвуют в очищении озер от моллюсков дрейссены, в свою очередь мешающей нормальной эксплуатации турбинного оборудования КЛнАЭС.

Охраной и мониторингом состояния окружающей среды на предприятии занимается «отдел охраны окружающей среды» (ОООС), в состав которого входит специализированная и аттестованная лаборатория. Также силами работников Калининской АЭС ежегодно, с наступлением теплого периода, проводится череда экологических субботников.

## 1.5 Гидрография Тверской области

Реки в пределах Тверской области принадлежат к разным речным бассейнам, так как по ее территории проходит главный орографический водораздел между бассейнами Каспийского и Балтийского морей. Большинство рек тяготеет к Верхней Волге и лишь на северо-западе реки Мста, Цна и Шлина относятся к бассейну озера Ильмень, а на юго-западе берут начало реки бассейна Западной Двины.

Речная сеть густо и равномерно покрывает территорию области, в ней насчитывается около 450 рек длиной более 10 км, из которых 55 протяженностью свыше 50 км и 19 – свыше 100 км. Главная водная артерия – река Волга – омывает область по ее южной и юго-восточной окраине от истока до села Прилуки на протяжении около 700 км. Естественные водоемы представлены большим количеством ледниковых озер в северо-западном холмистом районе.

В области много озер и торфяных болот. Первые сосредоточены на северо-западе, вторые – на юго-востоке и в центре. Строение и форма речных долин соответствует ландшафту и характеру рельефа прорезаемой ими местности. Котловины озер на территории области преимущественно ледникового происхождения.

Почти все реки питаются в основном водами от таяния снега весной и от летне-осенних дождей. Это определяет их режим и распределение стока воды по сезонам: сток за теплый период составляет от 60 до 90% годового, а на зиму приходится не более 10%.

Главный объем воды протекает по рекам в период половодья во второй половине весны.

Весной, когда температура воздуха стремительно повышается, начинается дружное таяние снега, вызывающее значительный подъем воды на реках

еще до начала ледохода. В течение лета реки питаются в основном за счет дождей.

Продолжительность ледостава, в зависимости от метеоусловий, составляет от 4 до 5 месяцев.

В Тверской области протекает свыше 800 рек и ручьев общей протяженностью 17 тыс. км. Однако крупных и средних, длиной более 100 км, всего 21 река. Наиболее крупная из них - Волга. По территории области проходит 685 км ее водотока, она принимает 150 притоков в области, в том числе крупных (река Тьма - 140 км). Общая площадь бассейна реки Волга 59 650 км<sup>2</sup>, то есть более 2/3 площади Тверской области. В Тверской области находятся исток и верхнее течение реки Волги.

На Тверской земле берут свое начало также реки Днепр и Западная Двина (Даугава). Большая часть территории принадлежит бассейну Каспийского моря, лишь западные и северо-западные районы - бассейну Балтийского моря.

Общее количество озер в области площадью свыше 1 га - 1769 (1,4 % площади области), в них 4,3 км<sup>3</sup> запасов пресной воды. Крупных Тверских озер (с площадью более 10 км<sup>2</sup>) всего 19. В Тверской области основная озерная площадь (96,8 %) приходится на проточные и сточные озера. Наиболее крупные: Селигер, Стерж, Вселуг, Пено, Волго, Сиг, Кафтино, Великое. Большие озера образованы в результате деятельности ледников и талых вод. Крупные озера (Селигер, Кафтино) - тектонического происхождения: их котловины образовались в результате прогибов участков земной коры, а затем были обработаны ледником.

Отдельные карстовые озера (как правило небольшие) возникли на месте провалов и пустот в известняках, обычно они округлые и довольно глубокие. Многие озера образовались в поймах рек.



Большая часть озер очень живописны и являются местами отдыха, туризма, водного спорта, любительского рыболовства и спортивной охоты. На берегах многих озер расположены санатории, дома отдыха, пансионаты, пионерские лагеря, турбазы. Особой известностью пользуется озеро Селигер.

На многих реках имеются водохранилища: Ивановское, Угличское, Рыбинское на Волге, Вазузское на Вазузе, Вышневолоцкое на Цне и др. Всего 9 крупных водохранилищ. Тверскую воду пьют жители Москвы и Московской области. В западной части области по Валдайской возвышенности проходит главный водораздел европейской части страны, формирующий источники питьевой воды для европейской части России, Белоруссии, Украины и стран Балтии.

Реки области имеют общий характер питания и водного режима. Более 50 % всей воды, стекающей в реки, приходится на долю воды, образующейся от таяния снега. Остальная вода поступает в реки от дождей и от грунтовых вод.

В условиях зонального сочетания величины осадков (средняя многолетняя сумма - 750 мм) и суммарного испарения (500-525 мм) реки территории отличаются относительной многоводностью. Средний модуль стока достигает 6,5-7,0 л/(с\*км<sup>2</sup>).

Совокупность геолого-геоморфологических и климатических факторов обуславливает относительно слабое развитие овражно-балочной и речной сети. Густота овражно-балочного расчленения меньше 0,1 км/км<sup>2</sup>. Густота речной сети не превышает 0,41-0,54 км/км<sup>2</sup>.

Речные долины чрезвычайно разнообразны, слабо террасированы. Поверхность пойм ровная, на отдельных участках изрезана староречьями, нередко заболочена.

Характерная ширина русла малых рек 3-15 м, глубины на плесах 1-2 м, на перекатах 0,3-1,0 м. Берега рек низкие, высотой 1-2 м, изредка 4-5 м, умеренно-крутые, местами обрывистые, большей частью заросшие кустарником.

Реки территории питаются талыми, дождевыми и подземными водами. Основной генетической составляющей речного стока являются талые воды. Они формируют до 92% годового стока. Доля дождевого и подземного питания соответственно равна 5 и 3 %.

Средний модуль подземного стока составляет 2,5-3,0 л/(с\*км<sup>2</sup>). В зимний и летний период года доминирующее значение имеет подземное питание. Осенью возрастает роль дождевых осадков. В период половодья основным источником питания рек является снеготаяние.

Уровненный режим рек соответствует условиям и характеру поступления в русловую сеть воды определенного генезиса. Низкие уровни воды в зимний и несколько более высокие уровни в летний периоды года связаны с наличием практически единственного источника питания - подземные водоносные горизонты и их разгрузка. При выпадении дождей на реках формируются паводки в летне-осенний период. Весеннее снеготаяние вызывает мощное повышение уровней воды.

Весеннее повышение уровней обычно начинается 3-5 апреля и продолжается 20-30 дней. Ранние сроки начала половодья опережают средние на 15-20 дней, а поздние - запаздывают на 10-15 дней. Подъем уровня воды характеризуется большой интенсивностью (до 110 см/сутки). Средняя интенсивность повышения уровней воды колеблется от 20 до 35 см/сутки. Наивысшие уровни наблюдаются во второй декаде апреля. Общая продолжительность весеннего половодья 55-65 дней, наибольшая 89-105 дней.

В отдельные годы повышение уровней воды в русловой сети территории связано с формированием заторов и зажоров. Заторы периодически воз-

никают в осенний период. Подъем уровней воды при заторах колеблется от нескольких сантиметров до 1,5-3,0 м. Заторные максимумы уровней воды возникают в период половодья. Затопы вызывают повышение уровней воды на 40-200 см над меженным уровнем.

На реках области практически ежегодно формируются дождевые паводки. Их средняя продолжительность не превышает 12 дней. Интенсивность подъема уровней в паводок близка к интенсивности их спада. Каждые 10 лет возникает 8-15 паводков с расходами  $Q_m$ , превышающими норму стока  $Q_0$ . Один раз в 20-30 лет формируются паводочные расходы, превышающие норму стока в 5-6 раз. Наиболее часто (в 30 - 5 % случаев) такие паводки формируются в октябре. Высота паводочного подъема может превышать максимальные уровни половодья.

Летне-осенняя межень обычно наступает в начале - середине июня и заканчивается в октябре. Зимняя межень устанавливается в конце ноября - середине декабря. Заканчивается с началом подъема весеннего половодья, в среднем в конце марта - первой декаде апреля.

Явление пересыхания и перемерзания имеют ограниченное распространение. Ежегодное отсутствие стока наблюдается лишь на ручьях и логах, с площадью водосбора до 0,5 км<sup>2</sup>.

Внутригодовое распределение стока рек Тверской области соответствует восточно-европейскому типу (по классификации Б.Д. Зайкова). До 82,1% годового стока проходит в период весеннего половодья. В летне-осеннюю межень формируется 13,5% стока рек. Их зимний сток равен 4,4% годового объема стока. Роль отдельных гидрологических сезонов года в формировании стока зависит от колебаний водности рек. Доля весеннего стока в маловодные годы увеличивается до 86,5% и уменьшается до 74,3% в периоды повышенной водности рек.

При прохождении максимального стока происходит выход воды на пойму. В период прохождения максимального стока резко возрастают средние, поверхностные и придонные скорости водных потоков.

В условиях паводочного стока глубина водотоков изменяется от 0,63 до 1,20 м. В межень она существенно (в 10 раз) уменьшается. Ширина рек в межень колеблется от 0,4 до 4 м. Наибольшие глубины в створах переходов - 1,5-2,0 м, на самых малых реках они снижаются до 0,5 м.

Средние уклоны рек зависят от их размера. Чем больше размер реки, тем меньше уклон.

Относительно слабая расчлененность территории, высокий процент заселенности водосборов рек, наличие многочисленных небольших озер, болот препятствует активному развитию эрозионных процессов в пределах области.

Средняя многолетняя мутность воды в реках Тверской области составляет 6-37 г/м<sup>3</sup> при модуле стока наносов 1-9 т/(год\*км<sup>2</sup>). При этом, 50-75% взвешенных частиц имеют диаметр менее 0,05 мм.

При взаимодействии потока с речными отложениями часть взвеси накапливается на пойме и в русловой сети. Масса обмен между потоками и русловыми отложениями невелик. В гранулометрическом составе отложений существенно преобладают песчаные фракции. В зонах «скоростной тени» в их составе возрастает доля фракций пыли, ила и глины.

Водные ресурсы рек области используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения городов, крупных сел и городских поселков. Водопотребление из малых рек территории составляет в среднем 1-10% суммарного водопотребления или 5-10% среднего годового объема местного стока.

Особенно неблагоприятное положение с лесопользованием, которое ведется нерационально. Немало заготовленной древесины оставляется на лесосеках, где она подвергается разложению. Значителен ущерб и от лесных пожаров. В результате, в последние годы усилились процессы водной эрозии и, как следствие, ускорилось заиление и загрязнение малых рек.

В последние несколько лет очень остро встал вопрос загрязнения Волги и других рек Тверского региона сточными водами хозяйственно-бытового назначения и канализации. Причинами этого явления являются интенсивное частное и дачное домостроение в поймах рек, при этом всячески нарушаются водоохранные законодательные нормы. Неочищенные стоки домохозяйств самотёком или через грунтовые воды проникают в малые реки и, в итоге, попадают в Волгу.

Уровень загрязнённости верховьев Волги растёт год от года. В пробах воды, взятых в разных местах русла реки, растут показатели бактериальной загрязнённости, вызванные стоками фекальных масс. Такая неблагоприятная ситуация вызывает серьёзные опасения, так как река Волга является источником питьевого водоснабжения не только г. Твери и населённых пунктов Тверского региона. Иваньковское водохранилище (Московское море), расположенное в русле Волги, является резервуаром питьевой воды, из которого происходит большая часть водоснабжения г. Москвы и Московской области.

## 8. Туризм в Тверской области

Тверская область в 80-е годы XX века занимала 2-е место в Российской Федерации после Краснодарского края по количеству туристов, приезжавших на отдых в санаторно-курортные комплексы, дома отдыха, детские оздоровительные лагеря и самостоятельно ("дикарем").

В последующее десятилетие наблюдался некоторый спад организованного туристического потока в Тверскую область, связанный в первую очередь с экономическими реформами и преобразованиями государственного устройства нашей страны. К 2000 году ситуация стабилизировалась, а затем стал наблюдаться постоянный ежегодный прирост количества туристов, посещающих тверскую землю.

Кроме роста количественных показателей, стали происходить и качественные изменения. Получили развитие такие виды туризма, как деловой, экологический, культурно-познавательный, отдых выходного дня, экстремальные виды отдыха на воде.

В период с 2004 и по настоящее время в целях продвижения туристского - рекреационного потенциала Тверской области было издано около 20 самых различных путеводителей, который в дальнейшем распространялись на международных туристских выставках в Москве.

В области действует система профессионального образования по туристским специальностям. Подготовку специалистов для туристской индустрии ведут 10 учебных заведений, в которых ведется работа как по обучению молодых специалистов, так и по переподготовке кадров, осуществляющих деятельность в сфере туризма.

Ежегодно Тверскую область посещает более 1 млн. туристов. Среди приехавших в Тверскую область основную массу составляют граждане России, что позволяет говорить как о росте интереса у граждан России к внут-

ренному туризму, так и о росте интереса собственно к Тверской области. Вместе с тем, в последние два года наблюдается особенно значительный рост иностранного въездного туризма.

Отличие тверского туристского предложения от аналогов, с избытком предлагающихся на рынке, состоит в том, что в Тверской области имеется уникальная возможность формировать самый различный туристский продукт, основанный на сочетании разных видов туризма. В связи с чем, в Тверской области было выделено 8 зон приоритетного развития туризма с учетом особенности территории и распределения туристских потоков, так же и разнообразия многочисленных рекреационных ресурсов.

В целях эффективного использования финансовых средств, планируется проведение комплекса мероприятий по осуществлению проектов развития каждой из восьми туристских территорий. Эта работа предусматривает разработку новых туристских маршрутов и услуг, строительство средств размещения и других объектов туристской инфраструктуры.

Сегодня процесс создания новых туристских объектов находится в активной фазе. Растет число новых комфортабельных туристских комплексов. Так, по состоянию на начало 2011 года в Тверской области насчитывается 181 объект размещения, более чем на 18 000 мест. Но пока еще в Тверской области существует дефицит (около 2500-3000 мест), на средства размещения уровня 3-4 звезды. Имеющиеся инвестиционные проекты этого дефицита не закрывают, что делает инвестиции в Тверскую область очень актуальными.

## 2 Исходная информация

В качестве исходных данных использовались ряды наблюдений за температурой воздуха, месячными и годовыми суммами осадков по метеорологическим станциям Астрахань, Архангельск, Санкт-Петербург с первой половины XIX до начала XX веков. Конкретно для водохранилища КЛНАЭС по дер. Ряд Удомельского городского округа за период с 2007 по 2018 гг. Также данные по уровням воды в озерах-охладителях КЛНАЭС предоставил «Цех гидротехнических сооружений» (ЦГТС), в состав которого входит группа наблюдений и контроля (ГНК), состоящая из гидрологов и обходчиков гидротехнических сооружений.



### 3.1 Результат анализа гидрометеорологических характеристик

На первом этапе работы проводился сбор и систематизация метеорологических данных. Данные по метеостанции дер. Ряд за период с 2007 по 2018 года представлены в приложение Б – среднемесячная и среднегодовая температура воздуха и приложение В – месячная и годовая сумма осадков. Также в ходе работы имеются сравнительные графики изменения средней годовой температуры воздуха северного полушария; многолетние изменения средней годовой температуры воздуха в Астрахани, Санкт-Петербурге и Архангельске; многолетние изменения годовых сумм атмосферных осадков, осредненных по территории европейской части России; многолетние изменения испарения с водной поверхности по данным Подмосковной водно-балансовой станции; Минимальный 30-ти суточный сток р. Луги; многолетние изменения годовой приточности в озера Удомля и Песьво; изменения уровня воды оз. Удомля.

### 3.1.2 Внутригодовое распределение температур воздуха и сумм осадков в теплый и холодный период года

Устойчивые морозы на большей части территорий начинаются во второй декаде ноября. Наиболее низких значений температура воздуха достигает в январе.

Весна на большей части территории наступает в конце апреля – начале мая. В весенний сезон наряду с частыми ночными заморозками наблюдается интенсивное повышение температуры в дневные часы. Благодаря большому контрасту дневных и ночных температур суточные амплитуды достигают больших величин.

Лето начинается в середине-конце мая. Самым жарким месяцем является июль. Однако, несмотря на то, что летом преобладают жаркие дни, иногда при значительных похолоданиях бывают заморозки даже в июле.

Осень наступает в конце августа – первых числах сентября.

Режим осадков определяется условиями атмосферных циркуляций, географическим положением и характером рельефа.

Благодаря резко выраженному антициклоническому режиму зима сухая и малоснежная. Осадки выпадают в основном в теплый период года. Сумма осадков за холодный период составляет от 35 до 45 мм. Наибольшее количество осадков наблюдается летом и осенью.

По данным построены графики изменения среднемесячных температур воздуха за исследуемый период по месяцам, на каждом графике проведена линия тренда и посчитана значимость трендов. Графики показаны в приложение Д, результат расчета значимости трендов представлен в приложение Ж

Затем построены графики изменения месячных сумм осадков за исследуемый период по месяцам, на каждом графике проведена линия тренда и посчитана значимость трендов. Графики показаны в приложение Е, результат расчета значимости трендов представлен в приложение И

По данным таблиц построены графики внутригодового распределения среднемесячных температур и месячных сумм осадков за теплый и холодный периоды отдельно. Графики представлены в приложение К – среднемесячные температуры и приложение Л – месячные суммы осадков.

Из таблицы значимости трендов видно, что наблюдается тенденция к повышению температур в каждом месяце, а в декабре, на некоторых постах еще и в сентябре наблюдается тенденция к понижению температур. Среднегодовая температура также имеет тенденцию к повышению. Наибольшая тенденция к повышению температур наблюдается в июне, июле и октябре.

В отличие от среднемесячных температур месячные суммы осадков имеют тенденцию к понижению в течение всего года, за исключением мая, октября и в редких случаях ноября. В целом годовая сумма осадков имеет незначительную тенденцию на понижения. Но на некоторых постах годовая сумма осадков повышается.

#### 4 Исследование криогенного влияния на минимальный сток в условиях глобального потепления

На большей части территории России зимний период длится более трех месяцев. В этот период часть природных вод вовлекается в фазовые переходы вода-лед-вода. Формируются различные криогенные явления и связанные с ними специфические гидрологические процессы, которые оказывают влияние на взаимодействие поверхностных и подземных вод в речных бассейнах.

На рис. 1 приведены факторы формирования зимнего стока, и, соответственно, подземного питания рек, связанные с отрицательными зимними температурами воздуха.

*Рис. 1 Схематический гидрограф зимнего стока (1); потери стока на аккумуляцию воды в ледяном покрове (2). Уменьшение подземного питания рек за счет: снижения пропускной способности русел малых рек подо льдом (3), миграции незамерзшей влаги в зоне аэрации к фронту промерзания почво-грунтов (4), возникновения низкого давления воздуха над грунтовыми водами при снижении их уровня из-за уменьшения воздухопроницаемости мерзлого слоя (5)*

К первому, достаточно хорошо изученному явлению, относится аккумуляция воды во льду. Особенно это проявляется на территории распространения многолетней мерзлоты. Здесь зимой образуется мощный ледяной покров на реках толщиной 1-2 м, наледи разных типов и сезонные подземные льды. Зимой это приводит к уменьшению зимнего речного стока, а весной вызывает увеличение подземной составляющей речного стока. На основе специально проведенных исследований ГГИ, результатов экспедиционных работ в районах многолетней мерзлоты разработан комплекс методов расчета объемов и гидрографов аккумуляции воды во льду при наличии, недостаточности и отсутствии исходной информации с приемлемой для практики точностью.

Второй фактор влияния климатических условий на зимний сток связан с уменьшением пропускной способности русел рек подо льдом. Известно, что большая часть стока рек в речных бассейнах, расположенных от лесной зоны до зоны тундр, формируется очень малыми реками длиной менее 10 км (70-80% протяженности гидрографической сети). При толщине льда 0,3-0,5 м эти малые реки могут перемерзнуть или их живое сечение существенно уменьшается. В северных районах РФ малые реки перемерзают, а средние реки могут пересохнуть, если нет питания подземными водами. Если уменьшение подземного питания реки и речного стока зимой происходит с меньшей интенсивностью, чем снижение пропускной способности участка реки с интенсивным ледообразованием, то на малых реках (где лед жестко скреплен с берегами) может возникнуть напорный режим потока подо льдом. Реализация напора выразиться либо в разрушении льда, выхода воды на его поверхность с формированием наледей, либо в снижении притока подземных вод в реку. На широких реках напор компенсируется за счет свободного поднятия или прогибания ледового покрова.

Анализ гидрографов стока показывает, что чем ниже температура воздуха зимой и больше толщина ледового покрова, тем быстрее происходит снижение стока в реках. В менее суровые зимы мы наблюдаем уменьшение

толщины речного льда и сохранение в реках более высоких расходов воды к концу зимы. Увеличение толщины льда, например, в бассейне р. Северной Двины всего на 10 см приводит к снижению стока в конце зимы в малых ручьях, почти в 2 раза по сравнению с теплыми зимами. Для бассейна р. Алдан отклонение средней зимней температуры воздуха от средней многолетней на 2-3 градуса приводит к отклонению среднего зимнего стока рек на 20-30% от среднего многолетнего.

Третьей климатический фактор связан с миграцией незамерзшей влаги к фронту промерзания. Исследование условий формирования влагозапасов почвы в зимний период на Вятке, объектах Валдайского филиала ГГИ показали, что предельные значения увеличения влагозапасов в пункте за счет миграции составляют около 40 мм при слабом начальном промерзании (до 10 см) и около 25 мм при сильном (20—40 см). Соответственно, на эти величины могут снизиться временно и ресурсы грунтовых вод.

Четвертый климатический фактор начат изучаться сравнительно недавно, хотя влияние изменения атмосферного давления на уровень воды в колодцах, расходы целебных источников, работу водяных мельниц и т.д. известно уже более двухсот лет. В ГГИ были выполнены экспериментальные работы по выявлению влияния колебания давления воздуха в зоне аэрации на режим разгрузки подземных вод в водные объекты. Уже первые результаты показали, что разница давления в атмосфере и в ненасыщенной зоне почвогрунтов при прохождении атмосферных фронтов может составлять до 50-100 мм в эквиваленте водного столба, а зимой – до 200 и более мм при возникновении сезонно-мерзлого слоя, слабо пропускающего воздух, необходимый для заполнения пустот при снижении уровня грунтовых вод. При потеплении зим, прекращении промерзания почво-грунтов это физическое явление, удерживающее быструю сработку подземных вод, исчезает. Уместно, так же отметить, что зафиксирована связь колебания давления в зоне аэрации в те-

чение суток (на 2-5 мм в слое воды) с внутрисуточным ходом температуры воздуха при неизменном атмосферном давлении. Вероятно, это связано с внутрисуточной динамикой испарения с суши.

По результатам исследований сделан, пока предварительный вывод, о том, что кроме известных сил (гравитационных, капиллярно-пленочных, электромагнитных, температурных и т.д.) на движение воды в почво-грунтах существенное влияние оказывает колебание давления воздуха. Эта сила может привести к движению воды даже при отсутствии уклона в сторону дрены (водного объекта), имеющей меньшее давление воздуха.

Произошедшее за последние два десятилетия увеличение температуры воздуха холодного периода во многих районах РФ привело к снижению роли описанных выше факторов в формировании стока рек. Минимальный сток возрос в средней полосе европейской территории России в 1,5-2 раза к началу XXI века. При этом по данным ежегодных докладов Центра ГМСН существенных изменений в режиме уровней грунтовых и подземных вод за последние 10-20 лет не происходит. Не соответствие увеличения подземного питания рек и минимального стока и относительно стабильное состояние уровней грунтовых вод можно объяснить следующим. С одной стороны, в результате существенного потепления зим, уменьшения промерзания почво-грунтов возросла инфильтрация осадков и питание подземных водоносных горизонтов. С другой стороны, дренарующая способность гидрографической сети также выросла вследствие уменьшения или полного отсутствия ледяного покрова на малых реках и ручьях. Поэтому увеличение питания подземных вод зимой компенсируется более интенсивной их сработкой в верхних звеньях гидрографической сети (зоне питания подземных вод). В результате уровни грунтовых вод если и растут, то не в разы, как зимнее подземное питание рек.

Возникает вопрос, почему растут и минимальные расходы в летне-осеннюю межень. Одна из причин состоит, возможно, в следующем. Зимний

сток возрос, в первую очередь, за счет дренирования грунтовых вод, снижения регулирующей роли других, описанных выше факторов. В более холодные зимы предшествующего климатического периода эти воды срабатывались меньше (низкая дренирующая способность малых рек с ледяным покровом, промерзание подземных каналов стока и т.д.). Сток малых рек снижался. Соответственно снижался и сток в нижних звеньях гидрографической сети. Уровень воды в них понижался, и условия дренирования подземных вод из более глубоких водоносных горизонтов улучшались (рос их уклон к реке). В результате сток больших рек в этот климатический период формировался зимой в большей степени из более глубоких водоносных горизонтов. В более теплые зимы, как отмечено выше, дренирующая способность малых рек возрастает, уровень воды в нижних звеньях за счет притока с верхних становится существенно выше и дренирование ими глубоких водоносных горизонтов снижается. То есть, сработка в теплые зимы запасов подземных вод снижается за счет более интенсивной сработки грунтовых вод. А накопившиеся в приречных долинах (или не сработанные зимой) подземные воды перераспределяются на летне-осеннюю межень, когда снижается приток с верхних звеньев гидрографической сети.

Таким образом, потепление зим приводит к большему участию в питании рек в холодный период вод верхнего яруса, а в теплый период - нижнего яруса зоны активного водообмена литосферы. При этом средние годовые уровни как грунтовых вод, так и подземных могут существенно не изменяться. Из этого следует вывод, что один и тот же минимальный расход воды в реке может быть сформирован в теплые годы в большей мере за счет верхних водоносных горизонтов, а в холодные – за счет более глубоких.

Формирующийся зимой «криогенный барраж» подземному и поверхностному водному потоку способствует более равномерному пространственно-временному распределению водных ресурсов в бассейнах рек.

При сохранении современных тенденций увеличения температуры воздуха (связанного с глобальным потеплением климата), особенно происходя-



щего и прогнозируемого в зимний сезон, следует, вероятно, ожидать ослабление криогенного регулирования водного режима территорий. Это приведет к снижению увлажненности речных бассейнов из-за улучшения их дренирования гидрографической сетью. На многих реках Северо-Запада России, в бассейне Верхней Волги уже в течение 10 лет происходит снижение минимального стока рек, обсыхают колодцы, скважины. Возникают проблемы с водоснабжением населенных пунктов и предприятий.

Приведенные в работе, в основном, качественные результаты исследований роли криогенных явлений в формировании стока рек показывает на все еще слабое физическое понимание процесса взаимодействия речных и подземных вод на большей части территории России, особенно в районах распространения многолетней мерзлоты. Это продолжает сдерживать разработку достаточно обоснованных (теоретически и физически) блоков математических моделей, которые позволили бы адекватно воспроизводить на моделях взаимодействие поверхностных и подземных вод и более точно определять расчетные гидрологические характеристики.

## 5 Анализ изменения климатических характеристик европейской части РФ и оценка их влияния на водообеспеченность АЭС.

К числу наиболее заметных изменений климата относится его потепление. Известно, что рост температуры воздуха продолжается уже несколько столетий после так называемого «малого ледникового периода», отмечавшегося в конце XVII – начале XVIII веков. На этом фоне происходят колебания температуры с периодом около 60 – 70 лет. На рисунке 1 представлен график многолетних изменений средних годовых температур северного полушария. На графике отчетливо видна тенденция повышения температуры за весь период наличия инструментальных данных. Наиболее интенсивное потепление происходило с середины 1970-х гг. до начала XXI века. Кроме того, в отдельные периоды, например с 1940-х до 1970-х гг., отмечалось даже некоторое похолодание. Анализ графика показал, что как усиления потепления, так и периодические его ослабления или даже похолодания являются следствием проявления 60-70-летних ритмов. По оценке межправительственной группы экспертов по изменению климата глобальное потепление будет продолжаться и его величина, по большинству рассмотренных сценариев, превысит 1,5 °С к концу XXI в. по сравнению с 1850 – 1900 гг. [1].

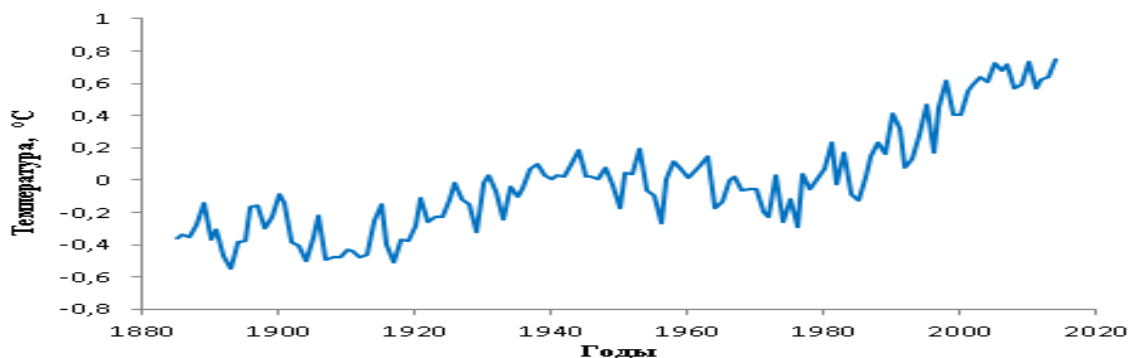


Рис.1 Многолетние изменения средней годовой температуры воздуха северного полушария.

На территории европейской части России также отмечается потепление. По данным метеорологических станций Астрахань, Архангельск и Санкт-Петербург, имеющих наиболее длинные ряды наблюдений, температура воздуха за период с первой половины XIX до начала XX веков повысилась на 1,0 – 2,7 °С (рис. 2). Как в случае с глобальными изменениями, более интенсивный рост температуры происходил с середины 1970-х гг. до настоящего времени.

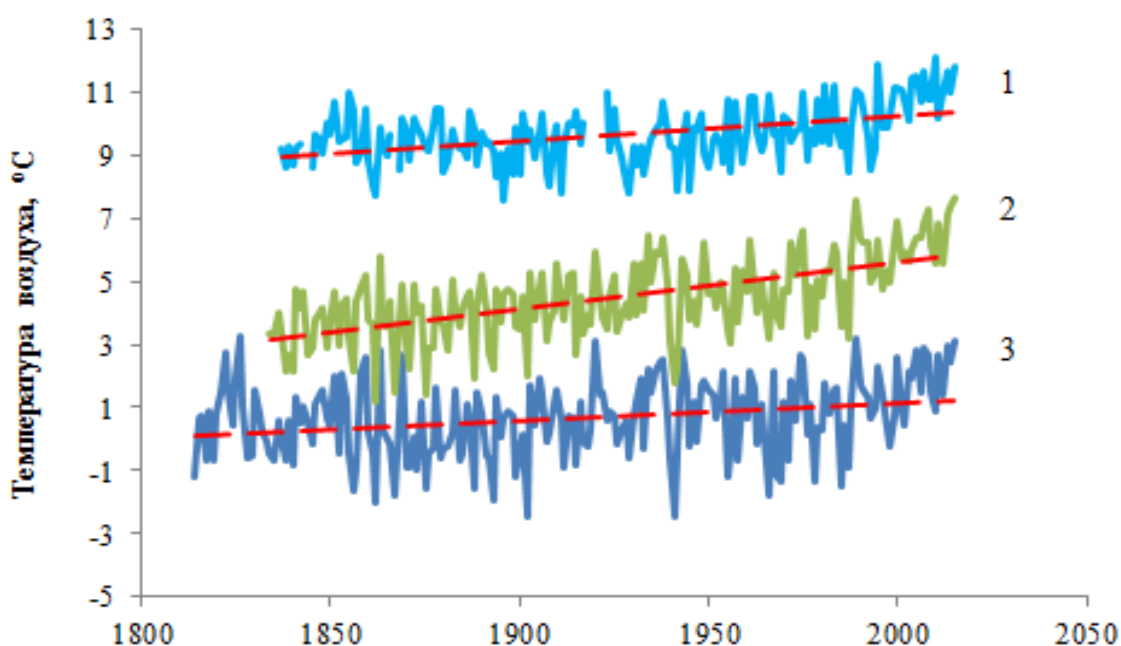


Рис. 2. Многолетние изменения средней годовой температуры воздуха в Астрахани (1), Санкт-Петербурге (2) и Архангельске (3)

В период с 1976 по 2015 гг. средняя годовая температура росла со скоростью  $0,54\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ . Весной эти изменения были существенно меньше ( $0,46\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ ), а в остальные сезоны – несколько больше ( $0,56\text{ – }0,57\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ ). В отдельные месяцы (август, декабрь) увеличение температуры происходило более интенсивно, достигая  $0,66\text{ – }0,67\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ . Наименьший ее рост отмечается в июне ( $0,40\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ ).

Многолетний режим атмосферных осадков характеризуется цикличностью, т.е. чередованием периодов их повышенного и пониженного количества. За 50-летний период с 1966 по 2015 гг. на территории европейской части России выделяются два таких периода (рис. 3). При этом в отдельные годы осадков выпадает существенно меньше нормы.

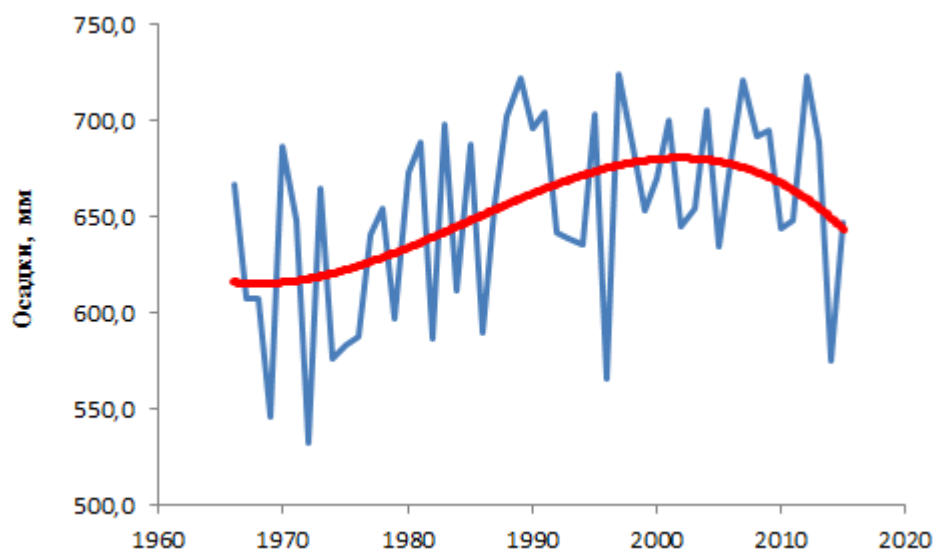


Рис. 3. Многолетние изменения годовых сумм атмосферных осадков, осредненных по территории европейской части России (красным цветом показан полиномиальный тренд 3-го порядка)

Изменения испарения с водной поверхности также подвержены колебаниям. Однако отсутствие данных из-за прекращения наблюдений на большей части водно-испарительной сети не позволяет провести площадной анализ. В данной работе использованы результаты наблюдений в единственном пункте – на Подмосковной водно-балансовой станции. Анализ этих данных показал (рис. 4), что более высокое испарение отмечалось в 1972 и 1964 гг, т.е. до начала современного потепления. Затем оно снизилось и в середине 1980-х годов начался его рост. Тренд, построенный за период современного потепления с 1976 по 2014 гг., имеет положительный знак. Несмотря на то, что увеличение испарения началось несколько позднее, чем рост температуры, тем не менее, есть основания полагать, что оно связано с потеплением.

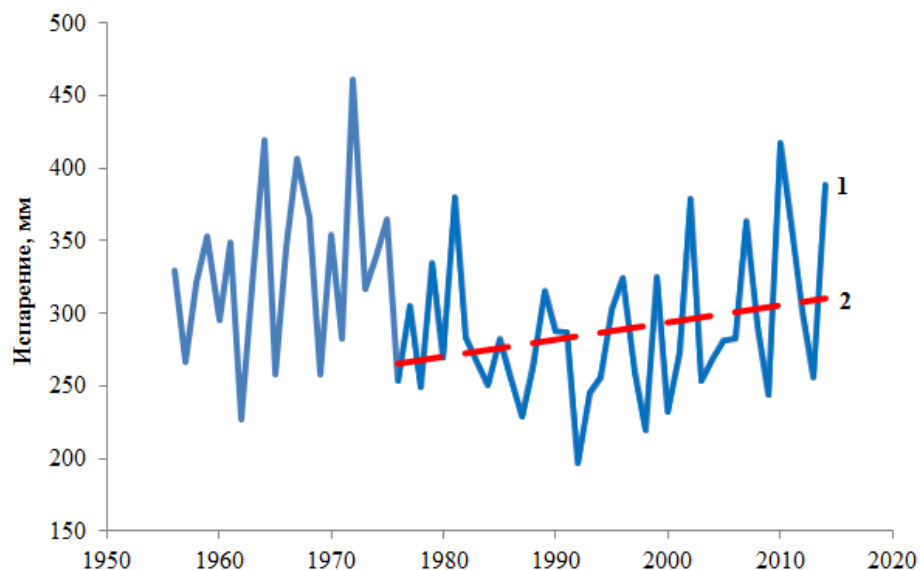


Рис. 4. Многолетние изменения испарения с водной поверхности по данным Подмосковной водно-балансовой станции (1) и линейный тренд его изменения с 1976 по 2014 гг(2).

Рассмотренные изменения влияют на формирование стока рек, питающих водоемы-охладители АЭС. Вместе с тем, реакция водного режима территорий на происходящее изменение климата и, в первую очередь, температуры воздуха, неоднозначна для водных объектов различных масштабов. Например, на малых реках северо-запада РФ и в бассейне верхней Волги начиная с 1995 г. наблюдается снижение минимального стока, в том числе зимой. Пересыхают родники, снижаются уровни грунтовых вод, деградирует первичная гидрографическая сеть. Одновременно с этим наблюдаются значительный сток в межень на крупных реках, идет активизация процессов подтоплений территорий, экзогенных процессов.

В условиях потепления климата и установления оттепельного зимнего режима дренирование малыми реками верхней зоны активного водообмена зимой возросло по следующим причинам.

Во-первых, за счет снижения аккумуляции подземных вод во льду в зоне аэрации при миграции незамерзшей влаги к фронту промерзания.

Во-вторых, уменьшились потери подземного питания рек на формирование ледяных образований: речного льда, наледей, сезонных подземных льдов.

В-третьих, при уменьшении толщины льда в реках возрастает пропускная способность русел.

В-четвертых, при уменьшении промерзания почво-грунтов возрастает их воздухопроницаемость. При более свободном проникновении воздуха в зону аэрации над грунтовыми водами зимой не создается более низкое давление, чем в атмосфере и подземные воды свободно разгружаются в реки.

Перечисленные процессы при повышении зимней температуры воздуха улучшают условия дренирования водоносных горизонтов малыми реками, составляющими 70-80% гидрографической сети. В результате происходит сработка запасов и снижение уровней грунтовых вод в приводораздельной зоне речных бассейнов, что постепенно приводит к их «подсушке» и снижению минимального стока. В качестве примера на рисунке 5 приведены график изменения минимального 30-ти суточного стока р.Луги.

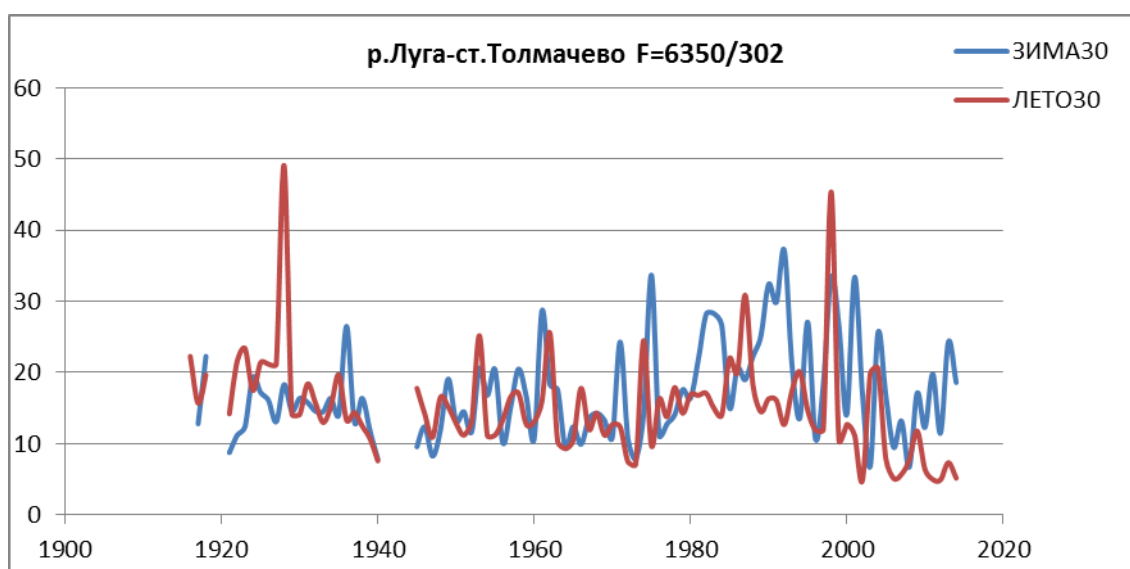


Рис. 5 Минимальный 30-ти суточный сток р.Луги (м³/с)

Снижение обводненности приводораздельных территорий приводит к деградации малых рек, озер, исчезновению родников. Например, в 2010 году по данным режимных наблюдений ОАО «Геоцентр-Москва» установлено,

что наибольшее снижение уровней составило на водоразделах от 1 до 8 метров. Это выразилось в осушении колодцев и неглубоких скважин, что повлекло за собой сбой водоснабжения отдельных населенных пунктов практически по всей территории Центрального Федерального Округа. Максимальное снижение уровней отмечается в южной части округа: Воронежская, Липецкая, Орловская, Брянская области. По многим территориям отмечается значительное падение уровней рек различного порядка. Так, на территории г. Калуги снижение уровня воды в р. Оке привело к осушению водоприёмной части водозабора поверхностных вод. На западе Тверской области уровень в р.Межи упал ниже среднеголетних значений на 0,9 м. По данным наблюдений на полигоне «Малая Истра» расход воды в р.Малая Истра снизился до минимальных значений, а в верховьях малых рек отсутствовал вообще. По данным Курского комитета водных ресурсов максимальное падение в р. Сейм в районе г. Курска составило 0,83 м, что повлекло за собой заметное понижение уровня воды в колодцах, так как существует прямая гидравлическая связь первых от поверхности водоносных горизонтов с поверхностными водами.

В Ленинградской области сложилась критическая ситуация с водоснабжением в Ломоносовском и Гатчинском районах в 2014-2015 гг. Уровень подземных вод осенью 2015 г. опустился до рекордно низких величин.

Серьёзные проблемы с аномально низкой водностью возникли в среднем и верхнем течениях Волги. На озерах-охладителях Калининской АЭС в 2015 г. наблюдались чрезвычайно низкие уровни, близкие к критическим для работы станции, хотя осадки и не были экстремально низкими (рис. 6).



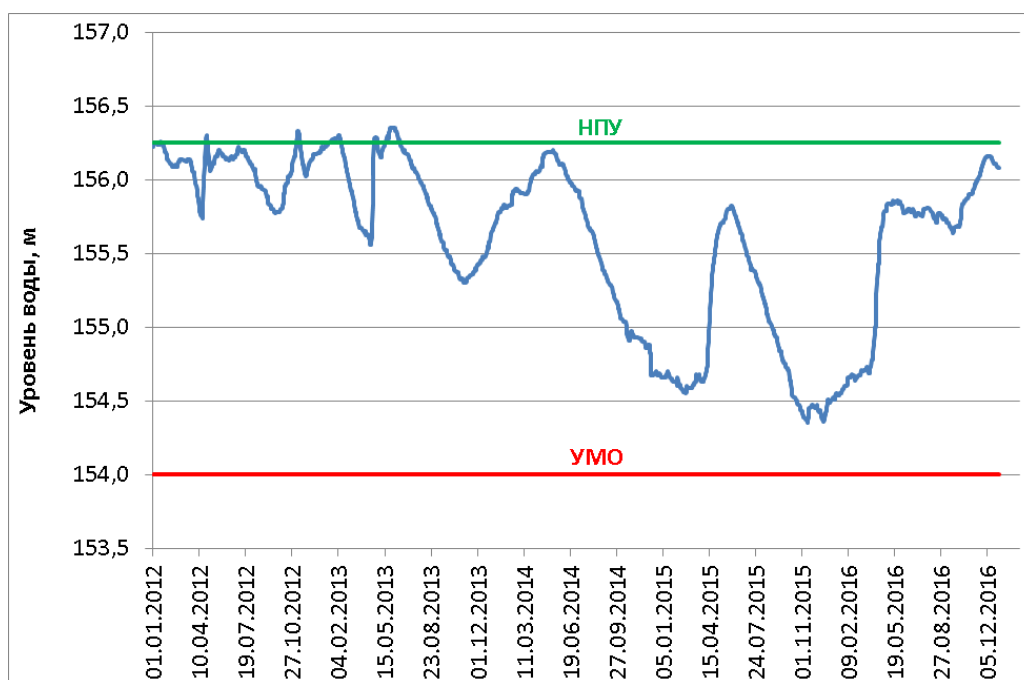


Рис. 6. Изменения уровня воды оз. Удомля в 2012-2016 гг

Рассмотренные выше процессы характерны для малых водотоков. На средних и больших реках разгрузка подземных вод наоборот, при возросшем стоке в период «подсушки» приводораздельных участков речных бассейнов снизилась. При произошедшем, главным образом, увеличении стока в верхних звеньях гидрографической сети уровень воды в нижних звеньях становится выше. Так, например, по данным Гидрометеорологического бюллетеня №5 от 28 января 2016 г. сток в январе на реках Волге и Каме был больше нормы для этого времени года в 1,3-1,7 раза в верхнем течение и в 1,9-2,6 раза в нижнем. На р. Уфе сток был выше в 2,3 раза. Увеличение зимнего стока в 2 раза на равнинных реках с площадью водосбора в 10 тыс. км<sup>2</sup> приводит к увеличению минимального уровня воды в среднем на 0,7 м, а при площади водосбора 100 тыс.км<sup>2</sup> – более 1 м. Следствием этого является постепенное уменьшение дренирующей способности (из-за повышения базиса дренирования) в нижних звеньях гидрографической сети. В результате ежегодно в теплые зимы снижается разгрузка подземных вод в межень в нижние звенья рек, происходит десятилетиями рост средних годовых уровней грун-

товых вод, наблюдается подтопление прибрежных территорий, заболачивание их долин.

Таким образом, при сохранении современных тенденций увеличения температуры воздуха, особенно происходящего и прогнозируемого в зимний сезон, следует, вероятно, ожидать дальнейшего ослабления криогенного регулирования водного режима территорий. Это будет приводить к увеличению многолетней изменчивости характеристик минимального стока, частоте возникновения экстремально низкой водности в бассейнах малых рек даже при сохранении в перспективе неизменности характера и величины выпадения атмосферных осадков.

Совместное влияние климатических факторов и регулирующей способности бассейнов подземных вод на сток рек можно проиллюстрировать анализом многолетних изменений приточности в водохранилище Калининской АЭС, представленного озерами Удомля и Песьво.

График многолетних изменений годовой приточности (рис. 7) показывает, что маловодные годы наступают с некоторой периодичностью. Наиболее четко выражены колебания с периодом между двадцатью и тридцатью годами. В них четко прослеживается чередование многоводных и маловодных фаз циклов увлажненности. По оценке Государственного гидрологического института основной период колебаний приблизительно равен 29 годам [2]. Однако строгая периодичность в колебаниях приточности отсутствует.

Анализ показал, что маловодные фазы основных циклов отмечались в 1904-1921, 1936-1949, 1963-1975, 1991-2003 гг., продолжительность которых составила 18, 14, 13, 12 лет соответственно. Многоводные фазы приходились на 1922-1935, 1950-1962, 1976-1991, а их продолжительность равнялась 14, 13 и 16 годам соответственно. Как в маловодные, так и в многоводные фазы циклов наблюдаются годы с противоположным знаком водности. Это связано с тем, что наряду с обсуждаемыми основными колебаниями существуют ритмы меньшей продолжительности (3-5 и 8-10 лет). На рисунке 7 они также отчетливо видны. Последний многоводный период 29-летнего цикла начался

в 2004 г. На его фоне отмечалась низкая приточность 2014-2015 гг., связанная с проявлением маловодной фазы 3-5-летнего цикла. Наблюдающееся потепление вносит в эти колебания свой вклад, увеличивая потери на естественное испарение, снижая запасы подземных вод в приводораздельных частях водосборов. В результате, в годы с осадками ниже нормы, эти факторы способствуют существенно большему уменьшению речного стока, чем в предшествующий климатический период. Этим и обусловлено снижение уровней в озерах Удомля и Песьво в 2015 г. до чрезвычайно низких значений.

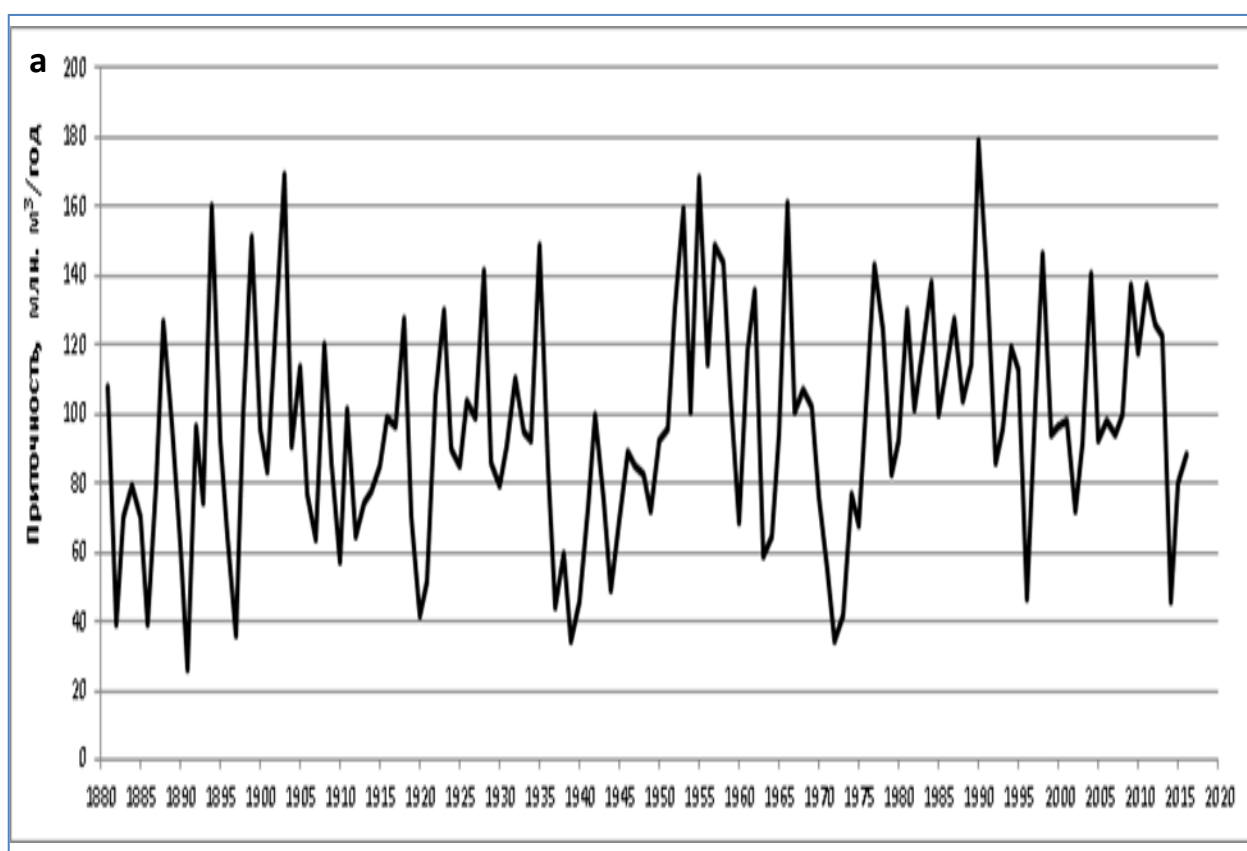


Рис. 7. Многолетние изменения годовой приточности в озера Удомля и Песьво.

## Выводы

В изменениях климата, которые в той или иной мере оказывают влияние на водообеспеченность АЭС, необходимо выделить следующее:

- на протяжении последних примерно 40 лет происходит рост температуры воздуха;
- в режиме атмосферных осадков отмечается чередование периодов с их повышенным и пониженным количеством;
- испарение с водной поверхности в последние годы имеет тенденцию к увеличению.

Рост температуры воздуха обусловил улучшение дренирующей способности верхних звеньев гидрографической сети, что способствовало снижению запасов подземных вод на приводораздельных участках водосборов и уменьшению их регулирующей роли в формировании минимального стока малых рек. Следствием этого является увеличение частоты наступления экстремально низких меженных расходов воды в реках и уровней в озерах.

При разработке адаптационных мероприятий водохозяйственного комплекса АЭС к происходящим изменениям климата целесообразно внести корректировку в правила использования водных ресурсов, отражающую, во-первых, возросшую вероятность наступления маловодий при произошедшем снижении регулирующей роли криогенных процессов формирования водного режима в речных бассейнах и, во-вторых, пространственно-временную неоднородность реакции влагооборота в речных бассейнах разного порядка на изменение климата.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Государственный водный кадастр. Раздел 1. Поверхностные воды. серия 2. Ежегодные данные. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Часть 1. Реки и каналы. Часть 2. Озера и водохранилища. Том 1 РСФСР. Выпуск 16.
- 2 Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. – М.: Стройиздат, 2004. – 72 с.
- 3 Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. – Нижний Новгород: Вектор-ТиС, 2007. – 134 с.
- 4 Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л., Гидрометеиздат, 1984, 444 с.
- 5 Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрометеиздат, 1972.
- 6 Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Гидрометеиздат, 1967.
- 7 География Тверской области. Под редакцией Ткаченко А.А. Тверь, 1992г.
- 8 Тверская область. Энциклопедический справочник. Тверь, 1994г.
- 9 Гагарина Э.И., Матинян Н.Н., Счастливая Л.С., Касаткина Г.А. Почвы и почвенный покров Северо-Запада России. Спб.: Издат-во СпбГУ, 1995г.
- 10 Цинзерлинг Ю.Д. География растительного покрова Северо-Запада Европейской части России, 1992г.
- 11 Атлас лесов.- М.:ГУГК.

