

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И
МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

НАУЧНО-ПРИКЛАДНОЙ СПРАВОЧНИК

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ИСПАРЕНИЯ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ
ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПО ДАННЫМ ВОДНОИСПАРИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Под ред. В.С. Вуглинского



Санкт-Петербург, 2021

УДК: 556.132
ISBN 978-5-907276-32-1

Научно-прикладной справочник: Многолетние изменения испарения на Европейской территории России по данным водноиспарительной сети. - СПб.: ООО "РИАЛ", 2021. - 64 с.

АННОТАЦИЯ

В настоящем научно-прикладном справочнике впервые представлены результаты обобщения данных многолетних наблюдений за испарением с водной поверхности на территории ЕТР по материалам стандартной водноиспарительной сети. Рассмотрены динамика водноиспарительной сети, применяемые приборы, методы производства наблюдений и обработки получаемой информации. Представлены результаты научного анализа и оценки многолетних изменений испарения с водной поверхности на ЕТР, основанные на данных самого массового сетевого прибора – испарителя ГГИ-3000. Проведен анализ пространственно-временных изменений сезонного испарения по данным длиннорядных станций, представлена карта распределения сезонного испарения для условий стационарной климатической ситуации, оценены изменения величин испарения за период 1981-2010 гг. (нестационарная климатическая ситуация) по сравнению с базовым периодом (1960-1980 гг.). Приведены результаты сопоставления многолетних изменений сезонного испарения по данным наземного испарителя ГГИ-3000 и континентального испарительного бассейна площадью 20 м². В табличных и графических приложениях представлены детальные оценки изменений сезонного испарения в условиях изменений климата по каждой станции, сведения о наличии и тесноте корреляционных связей между многолетними рядами сезонного испарения в различных пунктах ЕТР, сопутствующая и справочная информация.

Справочник предназначен для широкого применения при проведении научных исследований в области изучения водного баланса и оценки ресурсов поверхностных вод, при проектировании, строительстве и эксплуатации водохозяйственных объектов, в том числе водохранилищ, прудов-охладителей, искусственных водоемов, при обучении гидрологическим специальностям в ВУЗах и пр.

Справочник подготовлен в Отделе прогнозирования гидрологических процессов и экспериментальных исследований ФГБУ «ГГИ» к.г.н. Сперанской Н.А.

Редактирование справочника выполнил д.г.н., проф. Вуглинский В.С.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	5
СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	7
1 ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЕТР	8
2 СЕТЬ ВОДНОИСПАРИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ.....	10
2.1 Задачи водноиспарительной сети.....	10
2.2 Сеть водноиспарительных станций, ее плотность и распределение по территории	10
3 ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ, ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ.....	14
3.1 Приборы, оборудование и методы измерения.....	14
3.2 Сроки наблюдений за испарением с открытой водной поверхностью.....	17
3.3 Методика обработки данных наблюдений.....	19
3.3.1 Приведение данных за неполный месяц к месячной величине и к величине в целом за теплый период.....	19
3.3.2 Переход от данных наблюдений по наземному испарителю ГГИ-3000 к испарительному бассейну 20 м ² и к величине испарения с реального водоема.....	21
4. МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ИСПАРЕНИЯ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНОГО ИСПАРИТЕЛЯ ГГИ-3000.....	23
4.1 Статистические характеристики месячных и сезонных величин испарения.....	24
4.2 Многолетние изменения испарения в разных регионах ЕТР по данным наземного испарителя ГГИ-3000 и оценка факторов, обуславливающих эти изменения.....	27
4.2.1 Пространственно-временные изменения сезонного испарения по данным длиннорядных станций.....	27
4.2.2 Пространственное распределение сезонного испарения на ЕТР в условиях стационарного климата.....	32
4.2.3 Оценка изменений сезонного испарения в условиях нестационарного климата.....	33
4.2.4. Оценка трендов в многолетних рядах сезонного испарения.....	35
5. СОПОСТАВЛЕНИЕ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ СЕЗОННОГО ИСПАРЕНИЯ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНОГО ИСПАРИТЕЛЯ ГГИ-3000 И КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ИСПАРИТЕЛЬНОГО БАСЕЙНА ПЛОЩАДЬЮ 20 М ²	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	41
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	43
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	46

ПРЕДИСЛОВИЕ

Актуальность создания данного справочника объясняется тем фактом, что подобного обобщения данных наблюдений за испарением не проводилось с середины 1970-х годов, когда в ФГБУ "ГГИ" выполнялись работы по анализу сети водноиспарительных станций и разработки принципов ее оптимизации под руководством В.С. Голубева. Однако результаты данной НИР не были опубликованы.

Кроме того, после прекращения публикации данных наблюдений в ежегодниках "Материалы наблюдений за испарением с водной поверхности" в 1986 году, информация оказалась практически недоступной для исследователей и пользователей.

Примерно в это же время в Валдайском филиале (ВФ) ФГБУ "ГГИ" под руководством В.С. Голубева создается центр сбора и анализа данных наблюдений за испарением с водной поверхности, куда поступают данные со всех региональных УГМС. Сотрудники ВФ ФГБУ "ГГИ" К.М. Кокорева и А.В. Кокорев в течение длительного времени проводили работы по поддержанию и развитию архива данных наблюдений. В результате была создана база данных наблюдений и разработан комплекс "Evaporat" для работы с ней. К большому сожалению, К.С. Кокорева и А.В. Кокорев не дожили до начала работ по разработке справочника.

Однако, именно их работа позволила провести обобщение доступных данных по испарению с водной поверхности на территории Европейской части России за весь период наблюдений.

Такой анализ изменений величины испарения с водной поверхности тем более важен, поскольку в процессе глобального потепления климата произошли значительные изменения климатических характеристик, которые определяют процесс испарения. Это неизбежно привело к изменению режима испарения в разных регионах ЕТР.

Научно-прикладной справочник подготовлен в ФГБУ "ГГИ" в рамках выполнения НИР по теме "Разработка, испытание и внедрение моделей и методов гидрологических расчетов, оценки и прогнозов состояния водных объектов".

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Атмосферная циркуляция - система движений атмосферного воздуха в масштабе всего земного шара (общая циркуляция атмосферы) или над небольшой площадью земной поверхности с особыми свойствами (местная циркуляция).

Глобальное потепление климата - повышение средней по планете температуры воздуха, связанное как с "парниковым эффектом", вызванным ростом концентрации парниковых газов за счет антропогенной деятельности, так и естественными факторами.

Влажность воздуха - содержание водяного пара в воздухе.

Водный баланс – соотношение прихода и расхода воды с учетом изменения её запасов за выбранный интервал времени для рассматриваемого объекта.

Воздушная масса - количество воздуха в тропосфере, обладающее некоторыми общими свойствами и определенным типом стратификации, т. е. вертикального распределения температуры.

Испарение - процесс, при котором вода из жидкого или твердого состояния переходит в парообразное.

Испаритель ГГИ - цилиндрический металлический сосуд для измерения испарения с водной поверхности с коническим дном в центре которого установлена вертикальная трубка.

Испарительный бассейн - искусственный бассейн площадью 20 или 100 м² и глубиной 2 м для изучения зависимости скорости испарения с водной поверхности от различных факторов и определения редуцированных коэффициентов испарителей.

Климат - 1. Многолетний режим погоды; 2. Статистический режим атмосферных условий (условий погоды), характерный для каждого данного места Земли в силу его географического положения.

Климатическая зона - наиболее крупная единица климатического районирования: обширная область земного шара, выделенная по определенным климатическим показателям.

Климатические условия - многолетний статистический режим погоды, характерный для данной местности в силу её географического положения.

Климатические факторы - основные элементы климата, обуславливающие развитие биоценозов или экосистем.

Коэффициент корреляции - мера линейной взаимосвязи двух случайных величин.

Метеорологическая станция - учреждение для производства метеорологических наблюдений с использованием стандартного оборудования в установленные сроки и в определенной последовательности на наблюдательной площадке в месте, выбранном с

удовлетворением определенных требований в отношении рельефа местности, близости зданий и населенных пунктов.

Приземный слой атмосферы - нижняя часть пограничного слоя атмосферы от земной поверхности до высоты 50–100 м (в некоторых случаях до 200 - 250 м).

Скорость ветра - вектор скорости движения воздуха относительно земной поверхности в горизонтальной плоскости или на поверхности уровня.

Температура воздуха - температура, регистрируемая термометром в условиях его полного теплового контакта с атмосферным воздухом.

Тренд—долговременная тенденция изменения исследуемого временного ряда.

Увлажнение - соотношение между количеством выпадающих осадков и испаряемостью или температурой, поскольку испаряемость зависит от последней.

Физико-географические характеристики территории - географическое положение, климат, геологическое строение, почва, растительность и рельеф.

Элементы водного баланса – составляющие уравнения водного баланса, характеризующие приход, расход и изменения запасов воды.

СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяются следующие обозначения и сокращения:

ГОСТ	- межгосударственный стандарт
ВМО	- Всемирная метеорологическая организация
ВНИИГМИ-МЦД	- Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации– Мировой центр данных»
ВНИГЛ	- Валдайская научно-исследовательская гидрологическая лаборатория
ВФ ФГБУ "ГГИ"	- Валдайский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный гидрологический институт»
ЕТР	- Европейская территория России
МС	- метеорологическая станция
ОС	- озерная станция
ФГБУ "ГГИ"	- Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный гидрологический институт»
β	- местный калибровочный коэффициент
E	- величина испарения (в мм) за целый месяц
E_c	- средняя суточная скорость испарения (в мм/сут)
E_w	- величина испарения за весь теплый период
$\Sigma E''$	- величина испарения за полные месяцы теплого периода
ΣE_i	- сумма суточных величин испарения по данным наблюдений за доступные n суток
ΣD	- сумма дефицитов влажности воздуха за все месяцы теплого периода года
ΣD_i	- сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха за все дни месяца
Σd_i	- сумма средних суточных дефицитов воздуха за n суток
Σd	- сумма средних месячных дефицитов воздуха за полные месяцы теплого периода
n	- количество суток с наблюдениями за испарением в рассматриваемом месяце
m	- количество дней отсутствия наблюдений для весны или осени
R	- коэффициент корреляции
$R(L)$	- корреляционная функция
σ_R	- стандартная ошибка расчета коэффициента корреляции
M	- длина ряда наблюдений
L	- расстояние между станциями

1 ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЕТР

Территория Европейской части России включает все природные зоны от арктической тундры на севере до субтропиков (на побережье Черного моря) и пустыни (в районе Каспия) и характеризуется большим разнообразием тепловых ресурсов и режима увлажнения.

Климатические особенности ЕТР во многом определяются западным переносом воздушных масс с Атлантического океана, вторжениями воздуха с акватории Северного Ледовитого океана и из тропических широт. С середины 1970-х годов на ЕТР отмечаются изменения наиболее важных характеристик климатической системы: меняется термический режим, режим осадков, перестраивается циркуляция атмосферы, изменяются радиационные потоки. В результате происходящих климатических изменений меняются и основные гидрометеорологические факторы, определяющие процесс испарения как с суши, так и с водной поверхности. Прежде всего это температура воздуха, атмосферные осадки, режим увлажнения территории и скорость ветра.

Установлено, что на территории Европейской части России температура воздуха растет во все сезоны года. При этом интенсивность роста среднегодовой температуры воздуха на ЕТС с 1976 по 2018 год составила 0,51 °С/10 лет (Рисунок 1.1), что превышает скорость изменения температуры воздуха для полушария в целом [1, 2].



Рисунок 1.1 - Годовые аномалии температуры приземного воздуха (°C) для ЕТР за 1936-2018 гг. [3]

В летний сезон значимое увеличение температуры воздуха прослеживается к югу от 55° с. ш. Максимальная интенсивность роста температуры воздуха в 2018 году

наблюдалась в бассейне Дона на юге ЕТР [3]. В 2019 г. наибольшее потепление отмечалось в Центральном федеральном округе [4].

В целом для территории ЕТР изменился режим осадков. Отмечается слабая тенденция роста годовых сумм осадков - до 5 % за 10 лет (Рисунок 1.2).

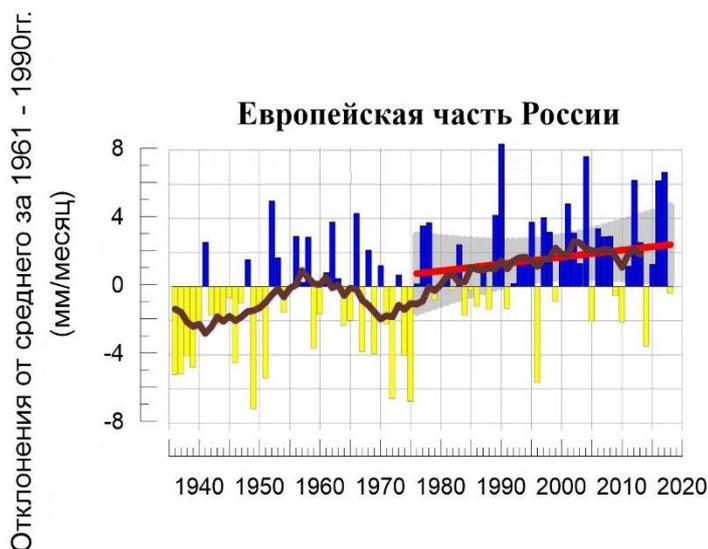


Рисунок 1.2 - Годовые аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц) для Европейской территории России за 1936-2018 гг.[3]

Что касается увлажненности ЕТР, то до начала 2000-х годов она уменьшалась в широколиственной и лесостепной зонах. В степной, полупустынной и пустынной зонах увлажненность увеличивалась. При этом, увлажненность юга степной зоны была максимальной [5]. С начала 2000-х годов на большей части ЕТР увлажненность начала уменьшаться [6].

На большей части ЕТР среднегодовой режим скорости ветра, определяемый циркуляционными процессами в атмосфере и действием местных барических центров, претерпел в последние десятилетия заметные изменения. При сохранении основного характера атмосферной циркуляции отмечается уменьшение скорости ветра в приземном слое атмосферы [7] максимальное в северо-западных и центральных районах ЕТР (11,8–16,5 %/10 лет). При этом увеличивается повторяемость слабых ветров (до 3 м/с) и уменьшается повторяемость более сильных (6–7 м/с и более) [3]. Минимальные скорости ветра наблюдаются в летнее время. В центре ЕТР уменьшение скоростей ветра в летний сезон составляет 0,15 (м/с) /10 лет, на юге - 0,08 (м/с) /10 лет [4].

2 СЕТЬ ВОДНОИСПАРИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

2.1 Задачи водноиспарительной сети

Разнообразие природных условий на Европейской части России и изменения климатических условий формируют особенности режима увлажнения в ее разных регионах. Процесс испарения является важным элементом режима увлажнения, определяя расходную часть водного баланса. Несмотря на его значимость, испарение до сих пор является наименее изученным элементом водного баланса. Во многом это объясняется отсутствием данных натурных наблюдений в различных природных условиях.

Данные об испарении с водной поверхности необходимы для решения многих научных задач и практических вопросов, связанных с водным хозяйством, гидроэнергетикой и атомной энергетикой, сельскохозяйственным производством. Ни одно воднобалансовое исследование не обходится без анализа величины испарения. Оценка достоверности различных климатических и гидрологических моделей также невозможна без данных натурных наблюдений за испарением. Они, также, необходимы при разработке и усовершенствовании методов расчета испарения при отсутствии данных наблюдений.

Для решения вышеуказанных задач прежде всего необходимо изучение региональных характеристик испарения с водной поверхности и их изменений как в течение теплого периода года, так и в многолетней перспективе, взаимосвязей величины испарения с другими климатическими факторами и процессами, а также закономерностей его изменения в различных природных условиях.

Материалы наблюдений за испарением с водной поверхности и сопутствующими метеорологическими элементами публиковались в справочниках «Материалы наблюдений за испарением с водной поверхности» и «Материалы наблюдений воднобалансовых станций». В конце 1980-х годов публикация данных наблюдений прекратилась и в настоящий момент данные по испарению для большинства станций доступны только в электронной базе данных ВФ ФГБУ "ГГИ".

2.2 Сеть водноиспарительных станций, ее плотность и распределение по территории

Первые наблюдения за испарением с открытой водной поверхности на Европейской территории Советского Союза были организованы в 1940-х годах для

изучения процесса испарения, разработки методов его расчета и оценки распределения величин испарения в разных природных зонах. Однако годом организации регулярной сети водноиспарительных станций можно считать 1951 год, когда был опубликован первый выпуск Наставления, регламентирующего наблюдения за испарением с водной поверхности на территории бывшего СССР. С этого момента наблюдения на водноиспарительных станциях стали выполняться по единой методике.

Согласно [9] водноиспарительные станции подразделяются на фоновые, базовые и региональные.

Фоновые станции - это массовая сеть, предназначенная для получения данных о закономерностях распределении испарения с открытой водной поверхности по территории. Станции этой сети представлены площадками III типа, организуемыми, как правило, при существующих метеорологических станциях и оборудованные стандартным наземным испарителем ГГИ-3000.

Базовые станции предназначены для измерения испарения с водной поверхности и изучения его режима в наиболее типичных природно-климатических зонах, а также для оценки однородности показаний стандартных сетевых испарителей. Станции этой сети представлены площадками II типа, оборудованными стандартным наземным испарителем ГГИ-3000 и эталонным наземным испарительным бассейном площадью 20 м². Такие площадки организовывались на существующих метеорологических, гидрологических, озерных и воднобалансовых станциях, где, кроме метеорологических, проводились актинометрические и теплобалансовые наблюдения.

Региональные станции предназначены для наблюдений за испарением вблизи конкретных водоемов и на самих водоемах с целью изучения физических основ и основных факторов процесса испарения и разработки методов расчета испарения с водной поверхности при отсутствии непосредственных наблюдений. Станции этой сети представлены площадками I типа. Они, помимо стандартного наземного испарителя ГГИ-3000 и эталонного наземного испарительного бассейна площадью 20 м², оснащались испарителями и испарительными бассейнами других размеров и конструкций с соответствующими измерительными средствами и необходимым оборудованием. В состав площадок I типа могли входить несколько испарительных площадок II типа, а также плавучая испарительная установка (с плавучими испарителями и испарительными бассейнами и метеоплощадкой).

В 1955 году на территории ЕТР функционировали 65 водноиспарительных станций, в начале 1980-х – 145.

Наиболее массовыми были наблюдения по наземным стандартным испарителям ГГИ-3000. Наблюдения за испарением по наземному испарительному бассейну площадью 20 м² проводились на 18 станциях, расположенных в разных природных зонах. Самые северные водноиспарительные площадки (ВНИГЛ Валдай, Северо-Западное УГМС; МС Чердынъ, Уральское УГМС) располагались на широте 58-60° с. ш. На юге ЕТР наблюдения проводились на широте 46-45° с. ш. (МС Каневская и ОС Краснодар озерная, Северо-Кавказское УГМС).

Плавающие испарительные установки, которых было около 40, располагались на различных озерах, но наблюдения на каждой из них проводились непродолжительное время и не синхронно, в связи с чем выделить сколько-нибудь продолжительный период с одновременными наблюдениями на большинстве станций не представилось возможным. Самые длительные наблюдения на плавучей станции выполнялись в ВФ ФГБУ "ГГИ" на Валдайском озере в период с 1955 по 1985 годы.

После 1990-х сеть водноиспарительных станций начала стремительно сокращаться (Рисунок 2.1). Продолжают работу только фоновые станции (станции III разряда). Практически исчезли водноиспарительные станции II типа. После 2015 года на ЕТР продолжали функционировать всего 5 таких станций с наземными испарителями ГГИ-3000 и наземными испарительными бассейнами площадью 20 м²: Вязовые (УГМС Республики Татарстан), Ершов (Приволжское УГМС), Нижнедевицк (УГМС ЦЧО), Клепинино (Крымское УГМС) и Краснодар (Северо-Кавказское УГМС). Из водноиспарительных станций I разряда осталась только одна в Валдайской филиале ФГБУ "ГГИ". Плавающий испаритель ГГИ-3000 сохранился только на болотной станции Большая Брусовица (Северное УГМС), который характеризует испарение с болота, а не с открытой водной поверхности.

В настоящий момент на территории ЕТР продолжают наблюдения 58 станций. При этом в общее число действующих входят и станции, где наблюдения возобновлены после достаточно длительного перерыва, и станция Клепинино (Крымское УГМС), данные по которой доступны только с 2014 года.

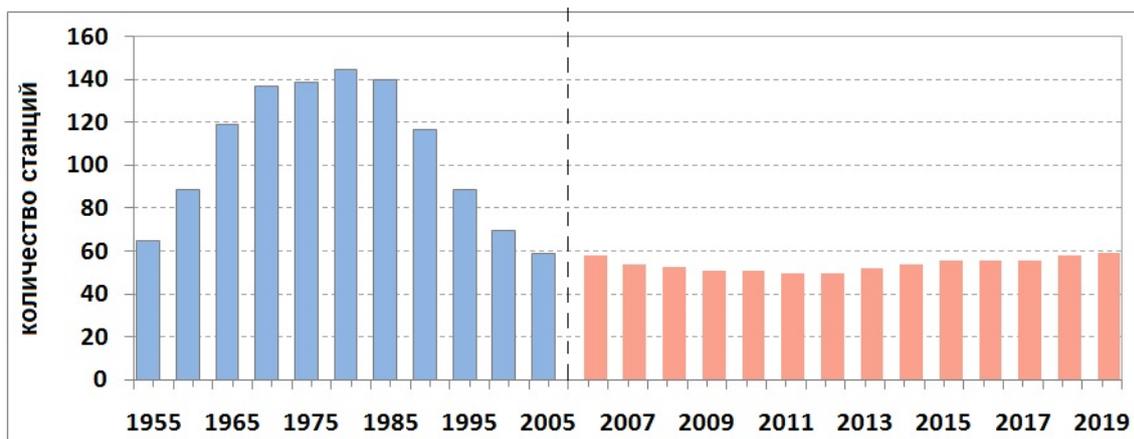


Рисунок 2.1 - Динамика числа водноиспарительных станций всех типов на территории ЕТР с 1960 по 2019 год
до 2005 года данные по пятилеткам (голубые столбцы),
с 2006 года - ежегодные данные (розовые столбцы).

Сокращение водноиспарительной сети достигло к настоящему времени уровня, при котором численность оставшихся станций не позволяет надежно оценивать пространственное распределение испарения с водной поверхности, обеспечивать разработку методов расчета испарения в условиях изменений климата и решать практические задачи, связанные с оценкой водообеспеченности водными ресурсами территории ЕТР в современных условиях. В связи с этим, восстановление сети наблюдений за испарением с водной поверхности является неотложной задачей.

3 ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ, ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

3.1 Приборы, оборудование и методы измерения

На станциях регулярной сети водноиспарительных станций используется стандартное оборудование и методы наблюдений, разработанные в 1950-х годах [9]. Неизменность типов оборудования и методов наблюдений позволили обеспечить генетическую однородность временных рядов на протяжении всего периода наблюдений.

Испаритель ГГИ-3000

Стандартный испаритель ГГИ-3000 комплектуется ямочным дождемером (Рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 - Общий вид испарителя ГГИ-3000 с ямочным дождемером (а) и их схематические изображения (б)

Все части испарителя ГГИ-3000 выполнены из металла, защищенного от коррозии. Диаметры испарителя и дождемера составляют 3000 ± 19 см², и оба имеют конусообразное дно. В центре испарителя закреплена металлическая реперная трубка с коленчатой иглой, острие которой с помощью регулировки устанавливается на 75 мм ниже верхнего края испарителя. Реперная трубка крепится к стенкам испарителя тремя прутками-спицами. В дождемере для установки осадкомерного ведра находится припаянный к дну цилиндрический кожух из листовой стали [9].

На испарительной площадке испаритель и дождемер устанавливаются в грунт таким образом, чтобы их верхние края находились в горизонтальной плоскости и возвышались над поверхностью площадки на 7.5 см.

В комплект оборудования входит также объемная бюретка с комплектом из двух стеклянных измерительных трубок (два набора) и поплавков для водного термометра

(Рисунок 3.2). Все измерительные стеклянные трубки поверяются только с конкретной бюреткой и маркируются как единое целое.

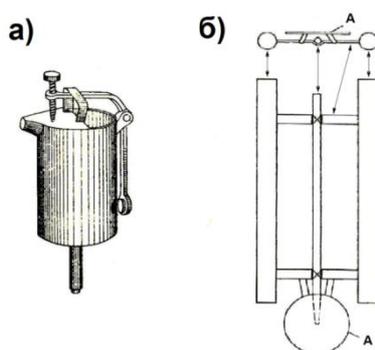


Рисунок 3.2 - Объемная бюретка (а) и поплавков с защитным экраном (б) для водного термометра.

Наземный испарительный бассейн площадью 20 м².

Испарительный бассейн площадью 20 м² представляет собой цилиндрический бак с плоским дном (Рисунок 3.3), сваренный из листовой стали. Для придания стенкам и дну бака необходимой жесткости к ним приварен каркас из уголкового железа. Бассейн оборудован успокоителем с реперной трубкой [9].

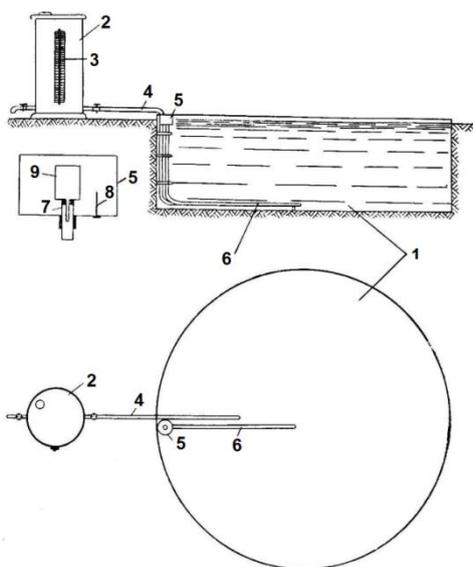


Рисунок 3.3 - Схема наземного испарительного бассейна площадью 20 м²

1 – цилиндрический бак бассейна, 2 – доливной бак с водомерным стеклом (3),
4 – труба для доливки воды в бассейн, 5 – успокоитель, 6 – соединительная труба,
7 – реперная трубка, 8 – указатель уровня, 9 – объемная бюретка

В комплект оборудования также включаются объемная бюретка с измерительными трубками и поплавков. Для доливания воды в бассейн до нормального уровня используется мерный бак. Измерение уровня воды в бассейне производится в

успокоителе, имеющем реперную трубку с отверстием, в которое вставляется объемная бюретка.

Водноиспарительная площадка комплектуется электроконтактным анемометром для определения скорости ветра. В настоящее время на некоторых станциях для измерения скорости ветра используются датчики скорости.

Если испарительная площадка расположена достаточно далеко от метеоплощадки, на ней должен быть установлен аспирационный психрометр для определения влажности воздуха.

Испарительный бассейн площадью 20 м^2 в начале 1980-х годов, после проведения сравнительных наблюдений по испарителям разных конструкций, был признан ВМО в качестве эталонного прибора для наблюдений за испарением с водной поверхности наряду с американским испарителем Class A.

Плавучая испарительная установка

Плавучая испарительная установка размещается на свободно плавающем плоту, имеющем треугольную форму. На сети применялись два типа плотов: плот стандартного размера и большой плот.

Плот стандартного размера (Рисунок 3.4) имеет форму равностороннего треугольника (сторона 12 м) и состоит из жестко скрепленных деревянных брусьев. Плот закрепляется к якорю через промежуточный буй, что обеспечивает его постоянную ориентировку по ветру и ослабление динамического воздействия волновых нагрузок. На плоту располагаются два испарителя ГГИ-3000 и один дождемер (между двух испарителей). В носовой части плота располагается стойка для анемометров, в кормовой части плота - будки для психрометра, термографа и гигрографа.

Большой плот монтировался из нескольких (два и более) плотов стандартного размера. Он мог иметь форму правильного треугольника или ромба. На таком плоту могли размещаться (в дополнение к испарителям ГГИ-3000) испарительный бассейн площадью 20 м^2 и бассейны площадью 5 м^2 и 3 м^2 .

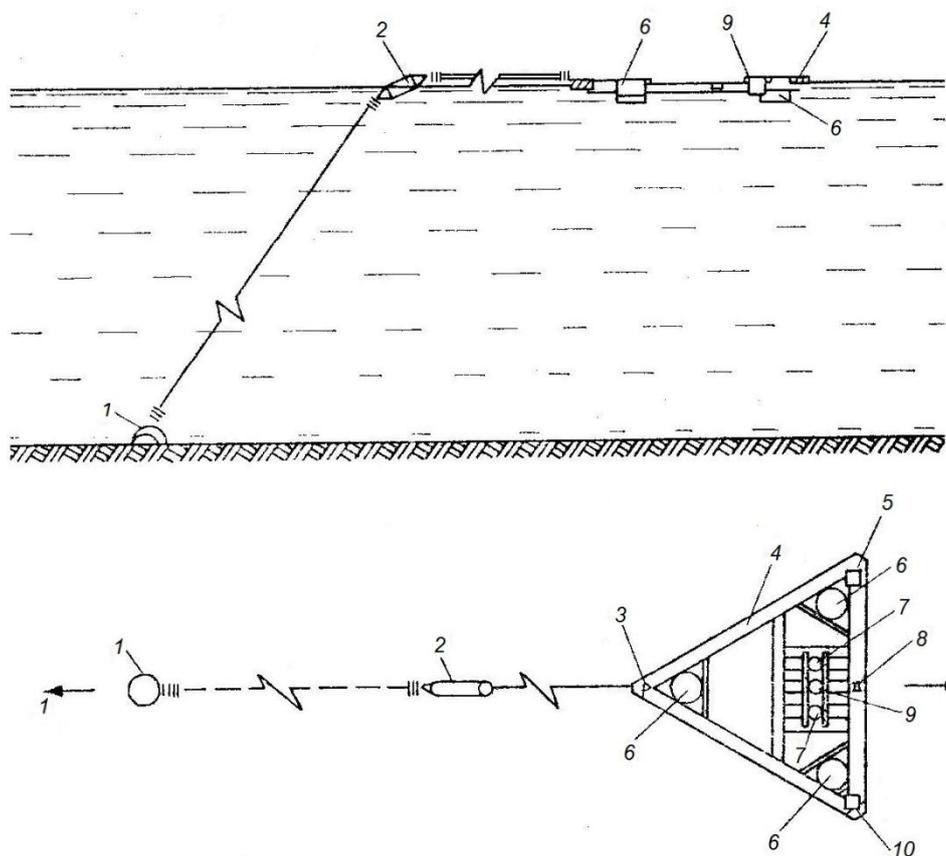


Рисунок 3.4 - Схема плавучей испарительной установки на стандартном плоту

1 - якорь, 2- буй амортизационный, 3- стока для анемометра, 4 - плот деревянный, 5- будка для самописцев, 6 - поплавок, 7 - испаритель, 8 - лебедка, 9 - дождемер, 10 - будка психрометрическая.

Методы измерения.

В основе измерения величины испарения лежит оценка разницы уровней стояния воды в испарителе (бассейне) над реперной трубкой между двумя наблюдениями. Забор воды из испарителя (бассейна) производится с помощью объемной бюретки, установленной на реперную трубку. Количество воды в бюретке определяется с использованием измерительных трубок. При каждом наблюдении учитывается величина выпавших осадков (в мм слоя) для корректного измерения уровня воды в испарителе. Методика производства наблюдений за испарением с помощью испарителей и испарительных бассейнов подробно изложена в [9].

3.2 Сроки наблюдений за испарением с открытой водной поверхностью

Начало периода наблюдений на станциях II и III типов определяется датой полного схода снежного покрова на водноиспарительной площадке. Наблюдения начинаются на второй день после схода.

За окончание наблюдательного сезона принимается дата последнего измерения перед образованием ледяного покрова в испарителе (бассейне), который не разрушается в течение трех последующих дней.

В районах, где в зимние месяцы нет четкого периода устойчивого залегания снежного покрова и сохранения ледяного покрова в испарителе продолжительное время (меньше 1 месяца), наблюдения проводятся в течение всего года. При этом началом сезона считается 1 января, а концом - 31 декабря.

Территория Европейской части России расположена в 4 климатических зонах и 5 подзонах с различными географическими условиями. Это обуславливает различия в продолжительности сезона наблюдений в разных частях ЕТР.

Так станции, расположенные в южной части ЕТР, проводят наблюдения в течение 9-12 месяцев, а станции за Полярным кругом - в течение 3-4 месяцев. Продолжительность сезона наблюдений подчиняется широтной зональности и увеличивается с севера (100-120 дней) к югу (200-300 дней). На продолжительность сезона заметное влияние оказывают также рельеф окружающей площадки местности и крупные водные объекты. Горные образования и возвышенности, как правило, сокращают продолжительность сезона наблюдений. Для станций, расположенных в долинах крупных рек или у больших озер (или водохранилищ), наблюдательный сезон несколько увеличивается.

В апреле наблюдения начинаются в основном южнее 48° с. ш., однако в бассейне Волги и Дона наблюдения проводятся и на станциях, расположенных севернее (примерно на широте $52-54^{\circ}$ с. ш.). В мае наблюдения начинаются на станциях, расположенных на широте $58-60^{\circ}$ с. ш. В июне граница начала наблюдений достигает Северного полярного круга, а на Кольском полуострове она продвигается до 70° с. ш. В июле-августе наблюдения за испарением проводятся на всей территории ЕТР.

С сентября прекращаются наблюдения на станциях за Северным полярным кругом, а в октябре - на северо-западе ЕТР (примерно до линии Петрозаводск-Магнитогорск).

Срок окончания наблюдений определяется достаточно надежно. При этом начало наблюдений запаздывают относительно наступления устойчивой положительной температуры. Наблюдения как правило начинаются с запаздыванием на одну-две декады, а в отдельные годы - до месяца.

3.3 Методика обработки данных наблюдений

3.3.1 Приведение данных за неполный месяц к месячной величине и к величине в целом за теплый период

В Валдайском филиале ФГБУ "ГГИ" были разработаны эмпирические формулы для восстановления месячных величин испарения при наличии данных наблюдений за неполный месяц или при полном их отсутствии [10] для месяцев с положительной среднесуточной температурой воздуха.

При наличии данных наблюдений за 15 и более суток (n) в месяц восстановленная месячная величина испарения определяется по формуле:

$$E = \beta \times \Sigma D_i, \quad (1)$$

где E - величина испарения за целый месяц,

β - местный калибровочный коэффициент,

ΣD_i - сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха за все дни рассматриваемого месяца.

Величина коэффициента β в свою очередь вычисляется как

$$\beta = \Sigma E_i / \Sigma d_i, \quad (2)$$

где ΣE_i - сумма суточных величин испарения по данным наблюдений за доступные n суток,

Σd_i - сумма средних суточных дефицитов воздуха за эти же n суток,

n - количество суток с наблюдениями за испарением в рассматриваемом месяце.

При отсутствии данных наблюдений более 15 суток в месяц восстановленная величина испарения также вычисляется по формуле (1), но калибровочный коэффициент в этом случае определяется как

$$\beta = (\Sigma E_i^{-1} + \Sigma E_i + \Sigma E_i^{+1}) / (\Sigma d_i^{-1} + \Sigma d_i + \Sigma d_i^{+1}), \quad (3)$$

где ΣE_i^{-1} - величина месячного испарения за предыдущий месяц,

ΣE_i - сумма суточных величин испарения по данным наблюдений за доступные n суток рассматриваемого месяца,

ΣE_i^{+1} - величина месячного испарения за последующий месяц,

Σd^{-1}_i - сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха за предыдущий месяц,

Σd_i - сумма средних суточных дефицитов воздуха за те же n суток рассматриваемого месяца,

Σd^{+1}_i - сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха за последующий месяц,

Если теплый период оказывается длиннее, чем период с доступными данными наблюдений за испарением с водной поверхности на месяц или более, можно восстановить величину испарения за весь теплый период года [10].

По известным датам начала наблюдений весной и окончания наблюдений осенью и датам перехода среднесуточной температуры через 0 °С определяется количество дней отсутствия наблюдений (m) отдельно для весны и для осени. По данным наблюдений за испарением определяется средняя суточная скорость испарения (E_c , мм/сут) в первый весенний и последний осенний месяцы. Затем по формуле

$$E = 1/2 \times E_c \times m \quad (4)$$

определяется величина испарения за отсутствующие дни отдельно для весны и осени. Величина испарения за весь теплый период определяется сложением величины испарения для периодов отсутствия наблюдений весной и осенью и величины испарения за период с данными наблюдений.

Если доступны данные о дефиците влажности воздуха, по температуре воздуха определяется сумма средних месячных дефицитов воздуха за все месяцы теплого периода. Определяется величина суммарного испарения за месяцы с наблюдения и сумма средних месячных дефицитов воздуха за эти же месяцы. Тогда величина испарения за весь теплый период вычисляется по формуле

$$E_w = (\Sigma E'' / \Sigma d) \times \Sigma D, \quad (5)$$

где E_w - величина испарения за весь теплый период,

$\Sigma E''$ - величина испарения за полные месяцы теплого периода,

Σd - сумма средних месячных дефицитов воздуха за эти же месяцы,

ΣD - сумма дефицитов воздуха за все месяцы теплого периода года.

3.3.2 Переход от данных наблюдений по наземному испарителю ГГИ-3000 к испарительному бассейну 20 м² и к величине испарения с реального водоема

Данные наблюдений за испарением с помощью сетевого наземного испарителя ГГИ-3000 не характеризуют величину испарения с реального водоема из-за погрешностей, связанных с конструкцией прибора и различиями в гидрометеорологических условиях над испарителем и реальным водоемом. Однако, как было отмечено выше, именно наземный испаритель ГГИ-3000 является наиболее массовым прибором, данные наблюдений по которому составляют основную часть базы данных результатов водноиспарительных наблюдений, находящейся в ВФ «ГГИ». В связи с тем, что результаты наблюдений по наземному испарителю ГГИ-3000 генетически однородны, сеть наблюдений на территории ЕТС достаточно плотная по сравнению с АТР, а многолетние ряды наблюдений довольно продолжительные, накопленные данные наблюдений по указанному прибору могут широко использоваться для анализа закономерностей как временных изменений, так и пространственного распределения испарения с водной поверхности по территории ЕТР, а также для оценки возможных трендов в многолетних рядах, связанных с влиянием антропогенной деятельности и изменениями климата.

В целях использования данных наземного испарителя ГГИ-3000 для перехода к испарению с испарительного бассейна площадью 20 м², а также к испарению с реального водоема в районе установки указанного испарителя, учеными были разработаны различные методики [11, 12, 13, 15], позволяющие учитывать особенности гидрометеорологического режима в месте установки испарителя.

Данные наблюдений за испарением с помощью сетевого наземного испарительного бассейна площадью 20 м² дают более объективные оценки испарения с реального водоема, расположенного в районе установки такого бассейна. Это связано с тем, что влияние конструктивных особенностей бассейна на величину испарения практически отсутствует, а различия в гидрометеорологических условиях района установки бассейна и прилегающего водоема не столь значимы [11]. Была установлена достаточно тесная связь между данными испарительного бассейна площадью 20 м² и испарением с реальных водоемов разных размеров за теплый период года (Рисунок 3.5).

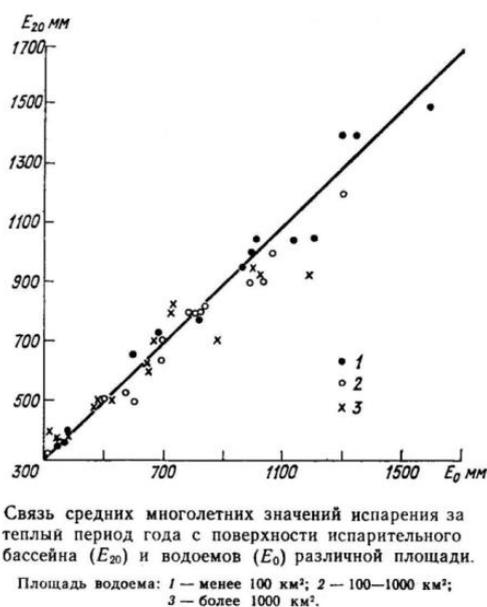


Рисунок 3.5 – Связь между величинами испарения с испарительного бассейна площадью 20 м² и с природных и искусственных водоемов, расположенных в районе установки бассейна [12]

Оказалось, что средние квадратические отклонения в указанных многолетних связях для водоемов площадью до 100 км² составляют 6 %, для водоемов площадью от 100 до 1000 км² - 9 % и только для водоемов с большей площадью превышают 10 %. При этом возрастание отклонений связано не столько с площадью водоема, сколько с его глубиной и проточностью. В этой связи было предложено для реальных водоемов с площадью водного зеркала менее 1000 км² и глубиной не более 10-16 м в качестве среднемноголетней нормы испарения за теплый период года принимать величину испарения, измеренного в испарительном бассейне площадью 20 м², расположенном в районе водоема [12].

4 МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ИСПАРЕНИЯ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНОГО ИСПАРИТЕЛЯ ГГИ-3000

Представленные в настоящем справочнике результаты анализа и обобщения многолетних изменений испарения с водной поверхности, основаны на данных сети водноиспарительных станций, расположенных на ЕТР (Рисунок 4.1). Только северо-восток ЕТР оставался неохваченным такими наблюдениями. Список водноиспарительных станций на ЕТР, по которым имеются данные о средних месячных величинах испарения за теплый период года, приведен в Приложении А1. Он включает станции, когда-либо действовавшие на ЕТР, по которым в базе данных ВФ «ГГИ» имеются соответствующие сведения.



Рисунок 4.1 - Расположение водноиспарительных станций на территории Европейской части России

красные кружки - станции, продолжающие наблюдения,
серые кружки –станции - закрытые с 1995 по 2010 гг.,
зеленые кружки - станции, возобновившие наблюдения с 2016 по 2018 гг.

Распределение станций по территории позволяло охарактеризовать режим испарения для большей части рассматриваемой территории. Закрытие станций сузило эту возможность, но все еще позволяет проводить подобные исследования.

В настоящее время в северной части ЕТР наблюдения за испарением не проводятся за исключением Кольского полуострова. Резко уменьшилось число действующих станций в предгорьях Уральских гор и на их западных склонах. На юге ЕТР (Нижнее Поволжье, бассейн р. Дон) к 2010 году были закрыты большинство наблюдательных площадок. Однако, в связи с возникшей проблемой недостатка водных ресурсов, с 2015 года наблюдения на некоторых, ранее закрытых станциях, были возобновлены.

Почти все научные и тем более практические применения данных наблюдений за испарением с водной поверхности требуют интерполяции наблюденных значений в регионы, где таких наблюдений нет.

Задача упрощается, когда для ее решения можно ограничиться интерполяцией многолетней нормы наблюденного испарения. Действительно, многолетние нормы в значительной мере освобождаются от случайных колебаний и имеют выраженное закономерное распределение по территории, подчиненное климатической зональности.

4.1 Статистические характеристики месячных и сезонных величин испарения

При интерполировании по площади величин испарения, возникает необходимость учета синхронности изменений метеорологических условий, определяющих процесс испарения и масштабов колебаний его значений на отдельных станциях.

Вырождение синхронности изменений метеорологических условий процесса испарения с увеличением расстояний между пунктами наблюдений отображается корреляционной функцией $R(L)$, рассчитываемой по данным многолетних рядов испарения за отдельные календарные месяцы или в целом за определенный сезон.

При исследовании корреляционной функции первостепенный интерес представляет выбор уровня корреляции, который можно считать достаточным для практических применений. В инженерной гидрологии минимальным допустимым в расчетных связях уровнем корреляции принято значение $R = 0.75$. Корреляция между величинами испарения в пунктах наблюдений быстро убывает с увеличением расстояний, и ужесточение критерия допустимости использования корреляционных связей приводит к практической невозможности получения обобщающих оценок. Важно также обоснованно выбрать минимальную продолжительность рядов совместных наблюдений, допустимую в расчетах корреляции - M_{\min} . При вычислениях по коротким

рядам превышения значений коэффициента корреляции R над уровнем корреляции 0.75 часто могут быть случайными. Для этого бывает достаточно одного значительного отклонения измеренной величины синхронно в обоих пунктах. Для выявления реальных географических закономерностей, исключая «шум» случайных результатов, необходимо использовать M_{\min} не менее 20 лет.

Если принять достаточным уровень корреляции 0,75, для оценки точности его расчета достаточно приближенной формулы:

$$\sigma_R = (1 - R^2) / (M - 1)^{1/2}, \quad (6)$$

где σ_R - стандартная ошибка расчета коэффициента корреляции.

Из формулы следует, что с увеличением длины совместного ряда M свыше 20 лет стандартная ошибка расчета коэффициента корреляции увеличивается уже незначительно. Так, корреляция на уровне 0.75 при $M = 20$ оценивается с точностью $\sigma_R=0.1$, при $M = 25$ $\sigma_R= 0.089$, а при $M = 30$ $\sigma_R= 0.082$.

С другой стороны, водноиспарительная сеть начала создаваться с 1950-х годов, а после 1985 года она начала быстро сокращаться. В этих условиях, если использовать ряды продолжительностью $M_{\min} > 20$ лет, резко снижается количество станций, данные которых могут использоваться при расчетах. Именно поэтому коэффициенты парной корреляции для многолетних рядов испарения рассчитывались для периода совместных наблюдений 20 лет.

Анализ корреляционных функций для каждого календарного месяца в отдельности затрудняет получение обобщающих выводов. Поэтому предпочтительнее оценивать корреляционную функцию многолетних рядов испарения в целом за конкретный сезон. Пример подобной корреляционной функции приведен на Рисунке 4.2.

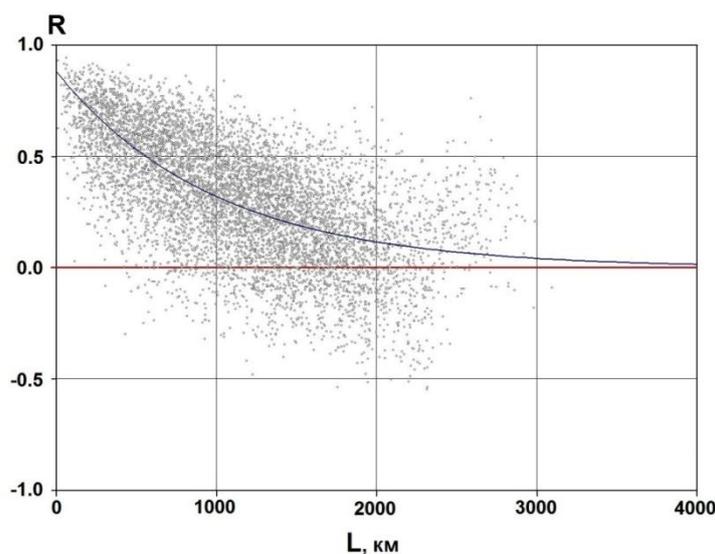


Рисунок 4.2 - Корреляционная функция $R_{cp}(L)$ суммарного за сезон испарения (июнь – август) для ЕТР (длина рядов данных M не менее 20 лет)

На карте ЕТР (Рисунок 4.3) красными линиями показаны значимые корреляционные связи между среднеголетними рядами испарения за летний сезон по данным водноиспарительных станций (при $R \geq 0,75$, $M_{\min.} = 20$ лет).



Рисунок 4.3 – Значимые корреляционные связи между многолетними рядами испарения по наземному испарителю ГГИ-3000 за летний сезон (июнь-август) для водноиспарительных станций ЕТР, соответствующие выбранным критериям

Карта отражает анизотропность связей с преобладанием широтно-ориентированного распределения и «привязки» к главным формам макрорельефа территории. Некоторые станции, для которых установлены значимые корреляционные связи, расположены на значительном удалении друг от друга, тогда как с ближайшими станциями тесные корреляционные связи не всегда обнаруживаются. При этом, теснота корреляционных связей между разными парами станций, расположенными на равных расстояниях, может сильно различаться, что может быть связано с климатическими различиями, особенностями рельефа и окружающего ландшафта др. Очевидно, что станции, отличающиеся многочисленными тесными корреляционными связями с

другими станциями на окружающей территории, можно условно считать «репрезентативными», и их данные наиболее целесообразно использовать при решении как научных, так и практических задач. При этом следует иметь в виду, что надежность интерполяции величин испарения между «репрезентативными» станциями будет также зависеть от временной изменчивости рядов испарения, которая в разных районах ЕТР существенно различается. Список «репрезентативных» станций приведен в Приложении А2.

4.2 Многолетние изменения испарения в разных регионах ЕТР по данным наземного испарителя ГГИ-3000 и оценка факторов, обуславливающих эти изменения

4.2.1 Пространственно-временные изменения сезонного испарения по данным длиннорядных станций

Для анализа пространственно-временных изменений сезонного испарения были привлечены данные 20 станций с периодом наблюдений 1957-2015/2014 годы и 4 станций с периодом наблюдений 1957-2010 годы (Северо-Кавказское УГМС). Список этих станций приведен в Приложении А3, а их расположение - на Рисунке 4.4.

Анализ пространственных изменений среднемноголетних сезонных величин испарения (май-сентябрь) показал, что прослеживается четкая тенденция их уменьшения с северо-запада на юго-восток ЕТР.

В таежной зоне среднемноголетние сезонные величины испарения колеблются от 350 мм до 360-380 мм. В лесной и лесостепной зонах они увеличиваются до 490 - 500 мм (ст. Нижнедевицк и Вязовые, соответственно). В зоне степей сезонное испарение изменяется от 590 мм. на западе (ст. Каменная Степь) до 790 мм в Предуралье (ст. Оренбург). В зоне сухих степей значения сезонного испарения достигают 890 мм (ст. Ершов). На границе полупустынной зоны (станции, отмеченные серыми кружками) их величины достигают 900 - 950 мм. На Черноморском побережье Кавказа среднемноголетние величины сезонного испарения составляют около 400 мм.

При анализе временных изменений сезонного испарения в многолетних рядах отмечена общая закономерность - уменьшение величин сезонного испарения до 1980-1990-х годов на фоне роста температуры воздуха [3].



Рисунок 4.4 - Расположение длиннорядных станций, выбранных для анализа: черные кружки - с периодом наблюдений 1957 - 2014/2015 гг., серые - с периодом наблюдений 1957 - 2010 гг.

Отмеченная закономерность не является особенностью ЕТР. Она была выявлена во многих регионах Земного шара: в Северной Америке [17, 18], Австралии и Новой Зеландии [19, 20], в Восточной и Юго-восточной Азии [21, 22, 23], в Европе [24, 25]. Уменьшение величины испарения на фоне роста глобальной температуры воздуха даже получило свое название - парадокс испарения (evaporation paradox) [26].

На фоне отмеченной основной закономерности временных изменений сезонного испарения в многолетних рядах, прослеживаются региональные особенности таких изменений по данным отдельных станций, зависящие от местных климатических условий. Эти условия и, в особенности, режим скорости ветра и характер увлажнения, играют определяющую роль в формировании режима испарения. Именно они определяют особенности временных колебаний сезонного испарения в разных регионах ЕТР. В Приложении А4 представлены графики многолетних колебаний сезонного испарения по данным длиннорядных станций, расположенных в различных районах ЕТР.

Так, на Кольском полуострове (ст.Умба) многолетние изменения сезонного испарения достаточно однообразны, трендовые составляющие в многолетнем ряду

практически отсутствуют. На северо-западе ЕТР на фоне общей тенденции уменьшения сезонного испарения отчетливо прослеживаются два длительных периода его роста и падения. Наиболее интенсивное уменьшение сезонного испарения происходило в период с 1957 по 1991 гг., особенно заметное для ст. Старая Русса (-170 мм), которое затем сменилось его интенсивным ростом с 1992 по 2002 год (9,8 мм/год для ст. Ларьянская и 12,7 мм/год для ст. Старая Русса). После резкого падения величины испарения к 2005 году здесь снова формируется тенденция к его увеличению. Для этого региона амплитуда колебаний сезонного испарения с периоды его роста намного превышает амплитуду его межгодовых колебаний в периоды снижения.

В северном Прикамье (ст. Ивдель) тенденция снижения величины сезонного испарения прослеживается с 1957 по 2001 гг. (-70 мм). Затем отмечается его рост (6,4 мм/год). Амплитуда межгодовых колебаний сезонного испарения за период до начала 1990-х годов существенно превышает амплитуду колебаний в последующий период.

Наибольшее число длиннорядных станций сосредоточено в лесной зоне ЕТР (зона смешанных и лиственных лесов), что позволило более детально проследить временные изменения сезонного испарения в границах этой зоны.

На северо-западе лесной зоны рост испарения происходил с 1957 по 1972 год (3,6 мм/год для ст. Кострома и 4,5 мм/год для ст. Подмосковная). Резкий рост испарения в 1972 году может объясняться влиянием засухи 1972 года [27, 28], охватившей почти всю территорию ЕТР. Затем наблюдается длительный период снижения величины испарения. Для ст. Подмосковная это снижение составило - 6 мм/год, для ст. Кострома -9 мм/год. С начала 1990-х годов сезонное испарения снова начало расти, но с меньшей интенсивностью: 2 мм/год на ст. Кострома и 4 мм/год на ст. Подмосковная.

В северной части зоны, в месте слияния Волги и Оки, прослеживается уменьшение сезонного испарения до 1976 года: от 5,3 мм/год на ст. Нижний Новгород до 6,5 мм/год на ст. Городец. Затем, в продолжении почти 30 лет (до 2003 года), временные изменения сезонного испарения слабо выражены, трендовая составляющая практически отсутствует. С 2003 года наблюдается период роста сезонного испарения с интенсивностью 14-19 мм/год. Благодаря расположению этих станций на побережье, влияние засухи 1972 здесь проявилось незначительно.

В районе слияния рек Волги и Камы и Куйбышевского водохранилища рост сезонного испарения в начальный период во многом определялся высокими значениями испарения в 1972 и 1975 годах (годы крупнейших засух [27, 28]). В последующий период (до 1994, ст. Лаишево и до 2000 г., ст. Вязовые) происходило снижение испарения (от 7,1 мм/годна ст. Лаишево до 7,6 мм/год на ст. Вязовые). С начала 2000-х годов начался

период роста испарения с интенсивностью 10 мм/год на ст. Лаишево и 24 мм/год на ст. Вязовые.

На востоке зоны отчетливо прослеживается общая тенденция снижения величины сезонного испарения (за период с 1957 по 2003 г. для станции Чишмы -6 мм/год и с 1957 по 1990 г. для станции Нолинск -9 мм/год). На этом фоне отчетливо проявляются высокие значения испарения в засушливые 1972 и 1975 годы. В последующие годы происходил рост величин сезонного испарения: на станции Нолинск + 7 мм/год, на станции Чишмы, расположенной южнее, +13 мм/год. В целом для лесной зоны режим испарения определяют рост континентальности климата с северо-запада на юго-восток, колебания температурного режима и скорости ветра, изменения режима увлажнения вследствие частой сменяемости циклонов и антициклонов.

На границе лесной и лесостепной зон однонаправленные многолетние изменения сезонного испарения не очень выражены. Наблюдается небольшой отрицательный тренд в многолетних рядах, значимый на 95 % уровне. На станциях Нижнедевицк и Росташа с 1957 по 1976 гг. происходило уменьшение сезонного испарения в среднем на 2-3 мм/год, на фоне которого в засушливые 1972 и 1975 годы наблюдался резкий всплеск величины испарения. Амплитуда межгодовых колебаний величин испарения в этот период намного превышала амплитуду колебаний в последующие годы. С 2003 года наблюдался рост сезонного испарения; при этом на станции Росташа, расположенной севернее, интенсивность этого роста была намного выше (24 мм/год) по сравнению со станцией Нижнедевицк (6 мм/год), расположенной южнее. Главными факторами, формирующими климат данной зоны, являются проходящая здесь ось высокого атмосферного давления, определяющая направления ветров и режим увлажнения территории, и континентальность климата, которая обуславливает колебания температуры воздуха.

В степной зоне в многолетних рядах сезонного испарения выделяются два периода. С 1957 г. по вторую половину 1970-х годов (до 1977 г. для ст. Каменная Степь – в среднем -13 мм/год и до 1978 для ст. Ершов - в среднем -17 мм/год) происходило последовательное снижение испарения. В последующие годы происходил устойчивый рост сезонного испарения на фоне довольно заметной его изменчивости от года к году. К 2015 году величина сезонного испарения на ст. Каменная Степь увеличилась на 240 мм, на ст. Ершов - на 218 мм. по сравнению с 1977/1978 годом. Режим испарения в этой зоне определяется господством континентальных воздушных масс, обуславливающих сухость климата и высокие температуры воздуха. Эти условия нарушаются вторжениями влажного воздуха, приносящего ливневые осадки.

Особый режим испарения формируется в предгорьях Уральских гор. Как в северной части региона (ст. Бирск), так и на юге (ст. Оренбург) на фоне достаточно однородных межгодовых колебаний величины сезонного испарения с 1957 г. в диапазоне 400-600 мм для ст. Бирск и 600-900 мм на ст. Оренбург явно проявляется влияние засух 1972 и 1975 годов: 771 мм в 1972 году и 1089 мм в 1975 году на ст. Бирск, 1049 мм и 1463 мм на ст. Оренбург. С середины 1990-х годов в этом регионе отмечается некоторый рост испарения, более выраженный на севере (ст. Бирск). Характер изменения величины испарения на ст. Орск, расположенной при слиянии рек Орь и Урал, имеет свои особенности. Влияние засух 1972 и 1975 годов здесь минимально, а в целом за период наблюдений отмечается незначительное снижение величины испарения (-3 мм/год). Такой режим испарения в предгорьях Урала определяется специфическими климатическими условиями региона: отсутствием преобладающего переноса влажных воздушных масс, слабыми ветрами в летнее время, достаточно ровным режимом увлажнения.

В районе сухих степей и полупустынь (ст. Буденовск и ст. Эльтон) на фоне общего уменьшения величин сезонного испарения выделяются несколько периодов однонаправленного роста или снижения испарения. После резкого снижения испарения в течение первых 10 лет (53 мм/год на ст. Буденовск и 63 мм/год на ст. Эльтон) наблюдался период его роста до 1979 года. В течение последующих 13-14 лет происходило снижение сезонных сумм испарения на 331 мм для ст. Буденовск и на 315 мм для ст. Эльтон. Рост величин испарения в последующие десятилетия составил для ст. Буденовск 14 мм/год, для ст. Эльтон - 12 мм/год. Высокие температуры воздуха, низкая влажность и большая изменчивость скоростей ветра определяют режим испарения в этом регионе.

На Черноморском побережье Кавказа динамика многолетних изменений сезонного испарения близка по характеру к изменениям в лесной зоне. С 1957 по 1968 гг. наблюдался рост испарения (5 мм/год), затем до 1988 года его снижение практически такой же интенсивности (6 мм/год). С конца 1980-х годов величина испарения снова увеличивается - примерно на 4 мм/год. Высокая температура и влажность воздуха определяют режим испарения в этом регионе.

Необходимо отметить, что в формировании режима испарения для некоторых станций, определенное значение имеют микроклиматические условия в месте установки испарителя. Примером могут служить станции Мичуринск и Бугульма. Испарительная площадка ст. Мичуринск расположена среди посадок плодовых деревьев. Испарительная площадка ст. Бугульма организована на Бугульминско-Белебеевской возвышенности.

Указанные особенности расположения этих станций, по-видимому, определили характер изменения сезонного испарения – в отличие от общих зональных особенностей, на этих станциях отмечен устойчивый рост испарения в течение всего рассматриваемого периода. Для ст. Мичуринск рост испарения составил 3,9 мм/год, а для ст. Бугульма – 0,9 мм/год.

4.2.2 Пространственное распределение сезонного испарения на ЕТР в условиях стационарного климата

Для анализа пространственного распределения сезонного испарения (за май-сентябрь) на ЕТР в условиях стационарного климата и оценки его изменений в условиях изменений климата (см. следующий раздел) был выбран единый период 1960-2010 гг. Выбор данного периода объясняется наличием доступных данных достаточной продолжительности по максимальному количеству станций, действовавших на территории ЕТР. В качестве базового (естественные климатические условия) был принят период с 1960 по 1980 год, в качестве периода с измененными климатическими условиями был принят период с 1981 по 2010 гг. (условно названный «современным» периодом). Увеличить продолжительность выбранного периода не представилось возможным из-за сокращения числа водноиспарительных станций на территории ЕТР после 2010 г. и длительных сроков обработки данных наблюдений в УГМС.

Для анализа пространственного распределения сезонного испарения в условиях стационарного климата (1960-1980 гг.) были использованы данные наблюдений по 71 станции (Приложение А5). Пространственное обобщение данных по вышеуказанным станциям позволило построить карту распределения сезонного испарения на ЕТР для условий стационарной климатической ситуации (Рисунок 4.5.). Закономерности изменения средней многолетней величины сезонного испарения по территории ЕТР связаны, в первую очередь, с особенностями климатических условий в различных природных зонах. Очевидна основная закономерность – величины сезонного испарения возрастают в направлении с северо-запада на юго-восток. На этом общем фоне можно отметить некоторые особенности формирования сезонного испарения в отдельных регионах. На Кольском полуострове выделяется зона повышенного испарения (380-410 мм). В лесной зоне ЕТР ход изолиний имеет практически широтный характер. Величины испарения в этой зоне изменяются достаточно плавно от 320-360 мм на севере до 415-435 мм на южной границе зоны.

В лесостепной и степной зонах величины испарения закономерно возрастают с северо-запада на юго-восток с 480-520 мм до 655-700 мм. В районе Черноморского

побережья Кавказа наблюдается область пониженного сезонного испарения (440-460 мм), что объясняется повышенной влажностью воздуха в летний период.

Максимальные величины сезонного испарения с водной поверхности наблюдаются в Заволжье и в районе Прикаспия. На отдельных станциях они могут достигать 830-920 мм. На ст. Тюлений остров отмечается максимальная величина испарения - 1021 мм.

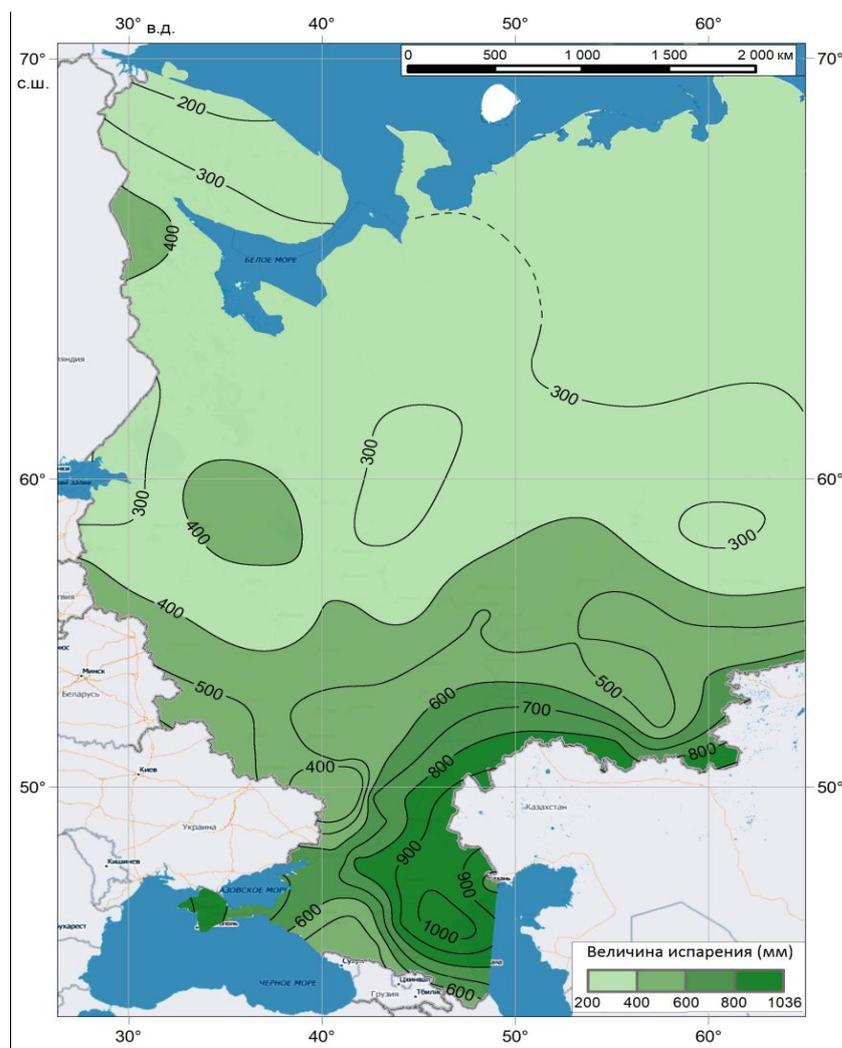


Рисунок 4.5 -Карта распределения величин сезонного испарения с водной поверхности по данным испарителя ГГИ-3000 на Европейской территории России для условий стационарной климатической ситуации (1960-1980 гг.)

4.2.3 Оценка изменений сезонного испарения в условиях нестационарного климата

Оценка изменений сезонного испарения в условиях нестационарного климата производилась путем сопоставления величин испарения за современный период с его значениями за базовый период. Для анализа были привлечены данные по 20 станциям с

периодом наблюдений 1957-2015/2014 годы и 4 станциям с периодом наблюдений 1957-2010 годы (Северо-Кавказское УГМС), указанные в Приложении А3.

Анализ изменений среднемноголетних величин сезонного испарения за два периода показал, что практически на всей территории Европейской части России отмечается уменьшение сезонного испарения с водной поверхности в современный период (Рисунок 4.6, Приложение А6).



Рисунок 4.6 - Изменения сезонных величин испарения в современный период по сравнению с базовым (в мм) по данным наземного испарителя ГГИ-3000. Величина столбца (синие - уменьшение испарения, красные - увеличение) соответствует величине изменения испарения

В тундровой и лесотундровой зонах (Кольский полуостров, ст. Умба) отмечено уменьшение сезонного испарения по сравнению с базовым периодом на (-18) мм.

К югу и юго-востоку различия увеличиваются. На западной и южной границах таежной зоны (ст. Ларьянская, Старая Русса, Кострома, Нолинск) эти различия уже составляют от (-44) мм до (-91) мм. В северной части Предуралья (ст. Ивдель) уменьшение сезонного испарения по сравнению с базовым периодом не столь значительно - (-31) мм.

В зоне смешанных и широколиственных лесов (ст. Подмосковная, Н.Новгород, Вязовые, Лаишево) разница средних сезонных величин испарения двух периодов несколько уменьшается до (-32) - (-45) мм. Исключением является ст. Лаишево, расположенная в районе Куйбышевского водохранилища, где уменьшение величины испарения достигает (-89) мм. В Среднем Прикамье (ст. Бирск) эти изменения минимальны - (-29) мм.

На большей части зоны лесостепи и луговых степей (ст. Нижнедевицк, Росташа, Ершов) уменьшение величины испарения колеблется от (-47) мм на западе до (-95) мм в центре, понижаясь до (-33) мм на юго-востоке. При этом в южной части этой зоны величина испарения либо меняется незначительно (рост от 1.1 мм на ст. Каменная Степь до 10 мм на ст. Бугульма), либо растет достаточно интенсивно (64 мм, ст. Мичуринск).

В зоне сухих степей (ст. Буденовск и Эльтон) отмечается максимальное снижение величин сезонного испарения, превышающее (-140) мм.

4.2.4 Оценка трендов в многолетних рядах сезонного испарения

Значения линейных трендов для базового (1960-1980 гг.) и современного (1981-2010 гг.) периодов приведены в Приложении А6.

Анализ линейных трендов для базового периода показал, что на большей части ЕТР наблюдался отрицательный тренд величин сезонного испарения за теплый период (май-сентябрь). Абсолютные значения линейного тренда возрастают с северо-запада к юго-востоку.

На западе ЕТР, на побережье Черного моря и в северном Прикамье трендовые изменения величин испарения колебались в диапазоне от (-39) мм до (-79) мм. Снижение величин испарения происходило также и в районе Южного Урала. При этом на ст. Чишмы (Среднее Прикамье) изменения испарения были статистически незначимыми (-0,9 мм).

На основной части территории Европейской России величины испарения уменьшались в среднем на 100-230 мм.

Для Кольском полуострове линейный тренд был положительным, но увеличение испарения было незначительным - всего 27 мм. Рост испарения на ст. Ларьянская

составил 8 мм и статистически этот тренд незначим. Еще одна область с положительным трендом отмечена в бассейне р.Кама (у впадения р.Белая). Здесь испарение увеличилось за 20 лет на 100-115 мм. Положительные тренды испарения на станциях Мичуринск (на 63 мм), Эльтон (37 мм), Буденовск (101 мм), как уже отмечалось в предыдущих разделах, обусловлен сильным влиянием локальных факторов: особенностями местной циркуляции и условиями расположения станции. Наибольшее увеличение испарения за базовый период произошло на ст. Ершов - более 360 мм.

Для современного периода (1981-2010 гг.) для большей части ЕТР характерен положительный тренд величин сезонного испарения. Однако величина таких изменений не превышает 100 мм. Только в бассейне Дона (ст. Каменная Степь и Мичуринск) рост испарения достигает 186-297 мм.

Отрицательные тренды отмечены в северном и среднем Прикамье (ст. Ивдель, Чишмы), на правом берегу Волги от впадения Оки до Куйбышевского водохранилища (ст. Н.Новгород, Вязовые), величины которого не превышают (-55) мм. На Южном Урале (ст. Орск) уменьшение величин испарения составило (-111) мм. В бассейне Западного Маныча также отмечается снижение испарения до (-95) мм (ст. Эльтон). Уменьшение испарения на западе ЕТР (ст. Ларьянская) статистически незначимо (-19,5) мм.

На основании данных об изменении среднесезонных значений сезонного испарения за современный период по сравнению с базовым, представленных в предыдущем разделе, и трендовых изменений в многолетних рядах сезонного испарения за современный период были получены оценки суммарных изменений сезонного испарения за современный период по сравнению с базовым (Приложение А6).

Анализ полученных данных показал (Рисунок 4.7), что для большей части ЕТР суммарные величины сезонного испарения в современный период как и прежде ниже, чем для базового периода. Эта тенденция характерна для всех природных зон. Однако, разность величины испарения для двух периодов при учете трендовой составляющей для современного периода для конкретных станций существенно изменилась.



Рисунок 4.7 - Суммарные изменения среднегоголетних сезонных величин испарения в современный период (с учетом трендовой составляющей) по сравнению с базовым (в мм) по данным наземного испарителя ГГИ-300. Величина столбца (синие - уменьшение испарения, красные - увеличение) соответствует величине изменения испарения.

На большей части ЕТР величина уменьшения величины испарения стала меньше. При этом, для станций Ларьянская (-70 мм), Н.Новгород (-80 мм), Ивдель (-84 мм), Чулымск (-119 мм), Вязовые (-66 мм), Орск (-156 мм) и Эльтон (-236 мм) разность величин для двух периодов увеличилась. Для станций Нолинск и Ершов знак разности величин испарения для двух периодов изменился с отрицательного на положительный. Рост испарения в современный период по сравнению с базовым периодом для станций Мичуринск (361 мм), Бугульма (84 мм), Каменная Степь (187 мм) стал больше.

5. СОПОСТАВЛЕНИЕ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ СЕЗОННОГО ИСПАРЕНИЯ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНОГО ИСПАРИТЕЛЯ ГГИ-3000 и КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ИСПАРИТЕЛЬНОГО БАССЕЙНА ПЛОЩАДЬЮ 20 М²

Данные наблюдений за испарением с помощью сетевого наземного испарителя ГГИ-3000 не характеризуют величину испарения с реального водоема из-за погрешностей, связанных с конструкцией прибора и различиями в гидрометеорологических условиях над испарителем и реальным водоемом. Поэтому, представляет определенный интерес сопоставление многолетних изменений сезонного испарения по данным испарителя ГГИ-3000 и континентального испарительного бассейна площадью 20 м², который, наряду с испарителем, часто устанавливается на водноиспарительной площадке. Очевидно, что гидрометеорологические условия для обоих приборов одинаковые. Но, с точки зрения конструкции приборов, данные испарителя ГГИ-3000, имеющего небольшой диаметр цилиндра, зависят также и от характера теплообмена воды в нем с окружающим грунтом. Для испарительного бассейна площадью 20 м² этот фактор не играет существенной роли.

Графики многолетних изменений сезонного испарения, полученные по данным обоих приборов, установленных на испарительных площадках в разных районах территории ЕТР, представлены на Рисунке 5.1. К сожалению, на разных станциях совместные периоды наблюдений различаются. Однако, анализ представленных графиков позволил выявить одну общую закономерность.

Различия между графиками хода испарения по двум приборам возрастают по мере уменьшения широты расположения станции. При этом величина испарения для ГГИ-3000 всегда почти всегда выше, чем для бассейна. Для станций, расположенных на севере (Валдай, Городец) и в регионах с умеренно-континентальным климатом (Нижедевицк, Вязовые), эти различия минимальны. По мере продвижения к югу различия увеличиваются (Цимлянск; Буденновск; Волжский, ГМО; Ершов).

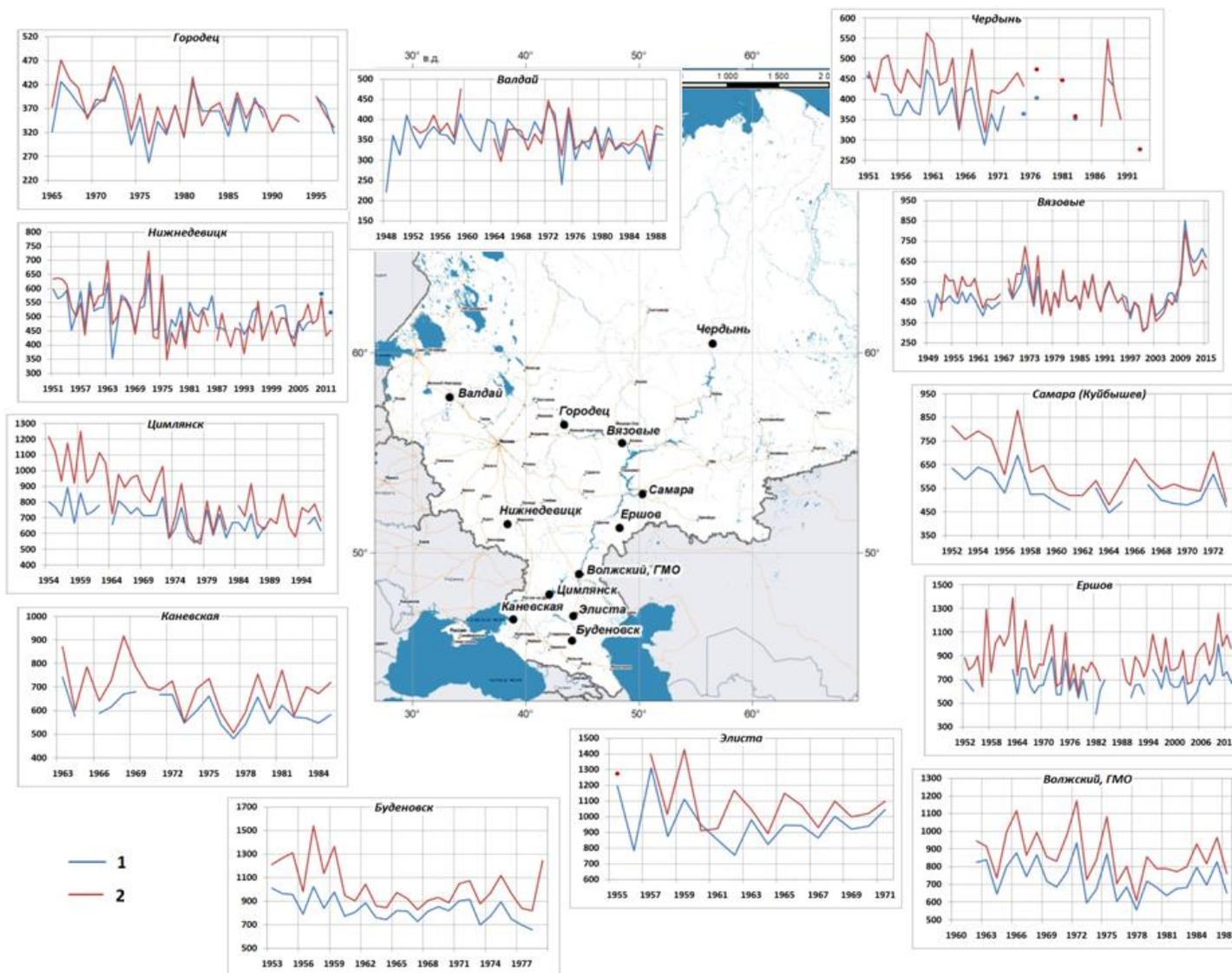


Рисунок 5.1 – Совмещенные графики многолетних изменений сезонных величин испарения (в мм) с поверхности испарительного бассейна площадью 20 м² (1) и испарителя ГГИ-3000 (2)

Причина этого явления заключается в том, что чем южнее расположена станция, тем больше вода в испарителе нагревается в летний сезон за счет более высокой температуры грунта в месте его установки, что приводит к увеличению различий в испарении с испарителя и бассейна. В то же время, общий характер многолетних изменений сезонного испарения по обоим приборам и цикличность колебаний идентичны. Различия отмечаются лишь в амплитуде колебаний сезонного испарения по бассейну и испарителю. Для испарителя их размах больше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем научно-прикладном справочнике впервые представлены результаты обобщения данных многолетних наблюдений за испарением с водной поверхности на территории ЕТР по материалам стандартной водноиспарительной сети. Всего при подготовке справочника были использованы данные 164 водноиспарительных станций с продолжительностью наблюдений не менее 10 лет.

Представлены сведения о динамике водноиспарительной сети на территории ЕТР, применяемых приборах, методах наблюдений и обработки получаемой информации.

Основные разделы справочника содержат результаты научного анализа и оценки многолетних изменений испарения с водной поверхности на ЕТР в различных пространственно-временных масштабах, основанные на данных самого массового прибора – испарителя ГГИ-3000. В справочнике представлены:

1. Результаты анализа многолетних изменений сезонного испарения по данным длиннорядных станций с периодом наблюдений преимущественно 58-59 лет. Установлена четкая тенденция увеличения величин среднемноголетнего сезонного испарения (май-сентябрь) с северо-запада на юго-восток ЕТР с конца 50^х годов прошлого века. Анализ временных рядов выявил общую закономерность - уменьшение годовых величин сезонного испарения до 1980-1990-х годов на фоне роста температуры воздуха на ЕТР. На этом общем фоне прослеживаются региональные особенности многолетних колебаний сезонного испарения, зависящие от местных климатических условий, которые выявлены по данным репрезентативных станций.
2. Результаты анализа пространственного распределения сезонного испарения (за май- сентябрь) на ЕТР в условиях стационарного климата. Для анализа были использованы данные наблюдений по 71 станции за базовый (естественные климатические условия) период 1960-1980 гг. Пространственное обобщение данных по вышеуказанным станциям позволило построить карту распределения сезонного испарения на ЕТР для условий стационарной климатической ситуации. Выявлена основная закономерность – величины сезонного испарения возрастают в направлении с северо-запада на юго-восток. На этом общем фоне рассмотрены особенности формирования сезонного испарения в отдельных регионах.
3. Результаты анализа изменений сезонного испарения в условиях изменения климата. Для анализа использовались данные наблюдений за единый период 1960-2010 гг., который был разделен на две части: базовый период (1960-1980 гг.) и современный (1981-2010 гг.) с измененными климатическими условиями. Установлено, что

практически на всей территории Европейской части России отмечается уменьшение сезонного испарения в современный период относительно базового. При этом, если в зоне тундры интенсивность этого снижения составляет $(-0,16)$ мм/год, то к югу она возрастает и в полупустынной зоне достигает $(-6,0)$ мм/год.

4. Результаты сопоставления многолетних изменений сезонного испарения по данным наземного испарителя ГГИ-3000 и континентального испарительного бассейна площадью 20 м^2 . Установлено, что общий характер многолетних изменений сезонного испарения по обоим приборам и цикличность колебаний идентичны. Различия отмечаются лишь в амплитуде колебаний сезонного испарения по бассейну и испарителю. Для испарителя их размах больше. Отмечено, также, что различия между графиками хода испарения по двум приборам возрастают по мере уменьшения широты расположения станции, что связано с различиями нагревания воды в приборах за счет теплообмена с грунтом. Графики для ГГИ-3000 располагаются всегда выше графиков для бассейна площадью 20 м^2 .

В обширных приложениях к основному тексту содержится список всех водноиспарительных станций, данные по которым представлены в базе данных Валдайского филиала ФГБУ "ГГИ" на уровень 2018 г., списки «репрезентативных» и длиннорядных станций, а также станций, по которым выделялись «базовый» и «современный» периоды с сопутствующей информацией. Основной частью приложений являются результаты научного анализа и обобщения данных многолетних наблюдений за испарением с водной поверхности по наиболее массовому прибору – испарителю ГГИ-3000 получены впервые. Они включают сведения о наличии и тесноте корреляционных связей между многолетними рядами сезонного испарения в различных пунктах ЕТР, оценки величин среднемноголетнего сезонного испарения за «базовый» период (1960-1980) при стационарном климате и масштабы их изменений в условиях изменения климата (1981-2010 гг.). Представлена динамика многолетних изменений сезонного испарения в различных районах ЕТР по данным 24 водноиспарительных станций и другая информация.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации.- Изд-во Росгидромета, 2014 [Электронный ресурс]. - URL: <http://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2016/od2/od2full.pdf>.

2 Коршунова Н.Н., Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Давлетшин С.Г. Оценки экстремальности температурного режима и режима осадков для территории РФ и ее регионов [Электронный ресурс]. - URL: <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/196-extremclim>.

3 Бюллетень мониторинга климата России: год (декабрь 2017-ноябрь 2018) - ИГКЭ, 2018 [Электронный ресурс]. - URL: http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=32&Itemid=75&lang=ru.

4 Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. –Москва, 2020. –97 стр. [Электронный ресурс] - URL: <https://meteoinfo.ru/images/news/2020/03/12/o-klimat-rf-2019.pdf>.

5 Черенкова Е. А., Титкова Т. Б. Изменение увлажнения суббореальных равнинных ландшафтов России в условиях глобального потепления. // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. - 2009. - Том 22. - С. 64-78. [Электронный ресурс] - URL: http://downloads.igce.ru/publications/pemem/PEMEM25/06_Cherenkova.pdf (26,25,2021).

6 Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А. Увлажнение засушливых земель европейской территории России: настоящее и будущее. //Аридные экосистемы. - 2014. - Том 20, No 2 (59). - С. 5-11.

7 Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Разуваев В.Н. Изменения режима ветра на территории России в последние десятилетия // Труды ГГО. - 2013. - Вып. 568. - С. 156-172.

8 Константинов А.Р., Федорова Т.Г., Голубев В.С. Влияние различных факторов на показания водных испарителей, установленных на суше // Труды ГГИ. - 1960. -Вып. 76. - С. 67-111.

9 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 7, Часть II. Наблюдения за испарением с водной поверхности. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 104 с.

10 Голубев В.С., Змейкова И.В. Межгодовые изменения условий испарения в Приаралье. В сб. Мониторинг природной среды в бассейне Аральского моря. - СПб.: Гидрометеиздат, 1991. - С. 80-86.

11 Кузнецов В.И. Методика расчета испарения с бассейнов площадью 20 м² по наблюдениям в испарителе ГГИ-3000 // Труды ГГИ. - 1971. - Вып. 181. - С. 3-33.

12 Голубев В. С., Урываев А. П. Метод водных испарителей и его применение для расчета испарения с поверхности водоемов // Труды ГГИ. - 1983. - Вып. 289. - С. 69–76.

13 Вуглинский В. С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. - 223 с.

14 Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. - Л.: Гидрометеиздат, 1969. - 84 с.

15 Вуглинский В. С., Албул И. П. Методика расчета испарения с водной поверхности по данным наземного испарителя ГГИ // Вестник СПбГУ. - 2016. - Серия 7. Геология. География, Вып. 3. - С. 118-127.

16 Шкляев В.А., Шкляева Л.С. Климатические ресурсы Уральского Прикамья . [Электронный ресурс]. - URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_15569261_18680245.pdf.

17 Burn D.H. and Hesch N. M. Trends in evaporation for the Canadian Prairies // J. Hydrol. - 2007. - Vol. 336, Issues 1-2. - P. 61–73. - DOI:10.1016/j.jhydrol.2006.12.011.

18 Lawrimore J. H., and Peterson T. C. Pan evaporation trends in dry and humid regions of the United States // J. Hydrometeorol. - 2000. Vol. 1, Issue 6. - P. 543–546. - DOI:10.1175/1525-7541(2000)001<0543:PETIDA>2.0.CO;2

19 Roderick M.L., and Farquhar G.D. Changes in Australian pan evaporation from 1970–2002 // Int. J. Climatol. - 2004. - No 24. - P. 1077–1090. - DOI: 10.1002/joc.1061

20 Roderick M.L., and Farquhar G.D. Changes in New Zealand pan evaporation since the 1970s // Int. J. Climatol. - 2005. - No 25. - P. 2031–2039. - DOI: 10.1002/joc.1262.

21 Liu B, Xu M., Henderson M., Gong W. A spatial analysis of pan evaporation trends in China, 1955–2000 // J. Geophys. Res. - 2004. - Vol. 109. - D15102. DOI:10.1029/2004JD004511.

22 Shen Y., Liu C., Liu M., Zeng Y. and Tian C. Change in pan evaporation over the past 50 years in the arid region of China // Hydrol. Proces. - 2009. - Vol. 24. - No 2. - P. 225-231. - DOI: 10.1002/hyp.7435.

23Tebakari T., Yoshitani J. and Suvanpimol C. Time-space trend analysis in pan evaporation over kingdom of Thailand // J. Hydrol. Eng. - 2005. -Vol. 10, Issue 3. - P. 205–215. - DOI: [10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2005\)10:3\(205\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2005)10:3(205)).

24 Moonen A.C., Ercoli L., Mariotti M., Masoni A. Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years // Agric. Forest Meteorol. - 2002. - Vol. 111, Issue 1. - P. 13–27. - DOI: 10.1016/S0168-1923(02)00012-6.

25 Логинов В.Ф., Волчек А.А. Водный баланс речных водосборов Белоруссии. - Минск: Тонпик, 2006. - 160 с.

26 IPCC Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change/Eds Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K B, Tignor M, Miller H L. - Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. - 996 p. [Электронный ресурс] https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf.

27 Кононова Н. К. Характеристика экстремальных засух конца XX века // Геополитика и экогеодинамика регионов. - 2017. - Том 3(13), Вып. 1. - С. 35–65.

28 Садоков В. П., Козельцева В. Ф., Кузнецова Н. Н. Анализ летних засух 1972, 1975, 1984 и 2002 гг. // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. - 2008. - № 342. - С. 23-36 [Электронный ресурс]. - URL: http://method.meteorf.ru/publ/tr/tr342/sad_dr.pdf.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Приложение А.1 - Список водноиспарительных станций, включенных в базу данных Валдайского филиала ФГБУ "ГГИ" по сведениям на 2018 год.

Станция	УГМС	Период наблюдений		Широта	Долгота	Высота
		начало	конец			
1	2	3	4	5	6	7
Бирск	Башкирское	1952	2015	55.4	55.5	174
Павловка	Башкирское	1961	1981	55.4	56.6	144
Чишмы	Башкирское	1955	2015	54.6	55.4	117
Инзер	Башкирское	1966	1987	54.2	57.5	282
Шкапово	Башкирское	1968	1986	53.8	54.2	364
Зилаир	Башкирское	1964	2015	52.2	57.4	522
Киров	Верхне-Волжское	1977	1986	58.5	49.3	113
Просница	Верхне-Волжское	1963	1966	58.4	50.3	174
Нолинск	Верхне-Волжское	1955	2015	57.6	50.0	147
Ижевск	Верхне-Волжское	1969	2008	56.9	53.3	162
Ижевск-2	Верхне-Волжское		2015			160
Сарапул	Верхне-Волжское	1965	1969	56.5	53.7	135
Йошкар-Ола	Верхне-Волжское	1963	1981	56.7	47.9	103
Морки	Верхне-Волжское	1982	2015	56.4	49.0	128
Ветлуга	Верхне-Волжское	1977	2014	57.8	45.8	133
Городец*	Верхне-Волжское	1958	2015	56.7	43.4	101
Н. Новгород. мыза	Верхне-Волжское	1952	2015	56.3	44.0	161
Ройка	Верхне-Волжское	1968	1992	56.2	44.0	142
Юрьево	Верхне-Волжское	1966	1970	57.3	43.1	138
Сокольский остров	Верхне-Волжское	1958	1965	57.2	43.2	95
Цивильск	Верхне-Волжское	1964	1986	55.9	47.5	88
Саранск. Луховка	Верхне-Волжское	1963	1981	54.1	45.3	183
Большие Березники	Верхне-Волжское	1982	2011	54.0	46.0	123
Ура-Губа	Мурманское	1967	1993	69.3	32.8	26
Перевал	Мурманское	1970	1993	69.2	31.4	302
Туманная	Мурманское	1970	2015	68.9	35.6	111
Падун	Мурманское	1954	1993	68.6	31.9	61
Пулозеро	Мурманское	1970	1993	68.4	33.3	155
Ловозеро	Мурманское	1963	1993	68.0	35.0	160
Хибины	Мурманское	1952	1978	67.7	33.2	134
Ена	Мурманское	1972	1993	67.6	31.2	158
Апатиты	Мурманское	1979	2015	67.6	33.4	132
Каневка	Мурманское	1960	2015	67.1	39.7	149
Зареченск	Мурманское	1963	2015	66.7	31.4	45
Умба	Мурманское	1955	2015	66.7	34.4	39

Продолжение приложения А.1

1	2	3	4	5	6	7
Вязовые*	Татарское	1952	2015	55.8	48.5	126
Лаишево	Татарское	1958	2013	55.4	49.6	112
Акташ	Татарское	2015	2015	55.0	52.1	88
Тетюши	Татарское	1959	1971	55.0	48.8	67
Тетюши	Татарское	2015	2015	54.9	48.8	156
Бугульма	Татарское	1953	2014	54.6	52.8	299
Сурское	Приволжское	1968	1999	54.5	46.7	100
Старая Майна	Приволжское	1958	1964	54.5	48.9	
Пенза	Приволжское	1952	1973	53.1	45.0	169
Тольятти	Приволжское	1957	1974	53.5	49.3	110
Куйбышев*	Приволжское	1952	1974	53.2	50.3	137
Аглос	Приволжское	1969	1996	52.9	50.1	77
Большая Глушица	Приволжское	1965	1993	52.4	50.5	65
Ростоши	Приволжское	1956	2015	51.9	43.7	161
Маркс	Приволжское	1966	2014	51.7	46.7	28
Ершов*	Приволжское	1952	2015	51.4	48.3	110
Новоузенск	Приволжское	1966	2015	50.4	48.1	32
Елшанка	Приволжское	1954	1960	52.9	52.0	100
Бузулук	Приволжское	1961	1987	52.7	52.3	76
Чебеньки	Приволжское	1969	1997	51.9	55.7	135
Оренбург	Приволжское	1951	2015	51.7	55.1	115
Энергетик	Приволжское	1986	1993	51.8	58.8	262
Ириклинский	Приволжское	1961	1985	51.7	58.6	268
Орск	Приволжское	1953	2015	51.1	58.6	268
Борковская	Северное	1962	1992	65.2	49.6	154
Архангельск	Северное	1952	1994	64.5	40.7	8
Емца	Северное	1962	1987	63.1	40.4	110
Каргополь	Северное	1967	1994	61.5	38.9	124
Троицко-Печерск	Северное	1954	1994	62.7	56.2	135
Усть-Вымь	Северное	1954	1994	62.2	50.4	106
Белозерск	Северное	1965	1994	60.0	37.8	130
Никольск	Северное	1954	1994	59.5	45.5	141
Вологда	Северное	1968	1994	59.3	39.9	127
Мякса	Северное	1955	1975	58.9	38.2	105
Б. Брусовица**	Северное	1964		64.3	40.6	
Зашеек	Северо-Западное	1990	1991	66.3	31.1	115
Кестеньга	Северо-Западное	1977	1989	65.9	31.8	130
Калевала	Северо-Западное	1972	1998	65.2	31.2	118
Надвойцы	Северо-Западное	1965	1980	63.8	34.3	94
Сегежа	Северо-Западное	1981	1997	63.7	34.3	110
Паданы	Северо-Западное	1952	2000	63.3	33.4	130
Кондопога	Северо-Западное	1954	2000	62.2	34.3	42

Продолжение приложения А.1

1	2	3	4	5	6	7
Клименицы	Северо-Западное	1959	1962	61.9	35.2	41
Маячный	Северо-Западное	1958	1994	61.8	35.3	38
Новая Вилга	Северо-Западное	1968	1989	61.3	34.8	93
Маяк Сухо	Северо-Западное	1953	1985	60.4	32.1	8
Зеленогорск*	Северо-Западное	1952	1963	60.2	29.7	40
Ларьянская	Северо-Западное	1955	2014	59.6	33.6	72
Белогорка	Северо-Западное	1955	2014	59.4	30.1	89
Войцы	Северо-Западное	1953	1986	58.4	31.6	22
Старая Русса	Северо-Западное	1953	2014	58.0	31.3	24
Валдай*	Северо-Западное	1948	2015	58.0	33.3	196
Псков	Северо-Западное	1952	2014	57.8	28.3	47
Кострово	Северо-Западное	1973	2014	56.8	28.5	91
Елань	Северо-Кавказское	1975	1997	50.9	43.8	132
Камышин	Северо-Кавказское	1964	1971	50.1	45.4	32
Серафимович	Северо-Кавказское	1964	1995	49.6	42.7	57
Эльтон	Северо-Кавказское	1952	2010	49.1	46.9	5
Дубовка	Северо-Кавказское	1954	1957	49.0	44.9	9
Волжский. ГМО*	Северо-Кавказское	1961	1987	48.8	44.7	19
Волжский	Северо-Кавказское	1955	1962	48.8	44.7	24
Калач-на-Дону	Северо-Кавказское	1952	1998	48.7	43.5	36
Береславка	Северо-Кавказское	1953	1965	48.6	44.1	71
Казанская	Северо-Кавказское	1952	1994	49.8	41.2	68
Индустрия	Северо-Кавказское	1970	1987	48.7	41.2	72
Цимлянск*	Северо-Кавказское	1952	2000	47.6	42.1	64
Семикаракорск	Северо-Кавказское	1966	2010	47.5	40.8	107
Дубовское*	Северо-Кавказское	1950	1984	47.5	42.7	91
Ростов-на-Дону	Северо-Кавказское	1952	2005	47.3	39.8	88
Мартыновка	Северо-Кавказское	1953	2001	47.2	41.7	26
Веселый	Северо-Кавказское	1959	1994	47.1	40.8	9
Пролетарск	Северо-Кавказское	1974	1998	46.7	41.7	24
Гигант	Северо-Кавказское	1955	2010	46.5	41.4	79
Сарпа	Северо-Кавказское	1961	1987	47.1	45.5	4
Элиста*	Северо-Кавказское	1953	2006	46.3	44.2	178
Городовиковск	Северо-Кавказское	1958	2006	46.1	41.9	87
Красный Конеvod	Северо-Кавказское	1952	1969	46.0	46.3	-16
Адык	Северо-Кавказское	1954	1982	45.8	45.6	-11
Харабали	Северо-Кавказское	1974	2010	47.4	47.3	-17
Зеленга	Северо-Кавказское	1952	2005	46.2	48.6	-23
Каневская*	Северо-Кавказское	1962	1995	46.1	38.9	17
Тамань	Северо-Кавказское	1952	1991	45.2	36.7	14
Краснодар. Круглик	Северо-Кавказское	1952	1995	45.1	39.0	29
Краснодар озерная*	Северо-Кавказское	1976	2009	45.1	39.0	37

Продолжение приложения А.1

1	2	3	4	5	6	7
Южный	Северо-Кавказское	1968	1974	45.1	39.6	
Геленджик	Северо-Кавказское	1969	1987	44.6	38.0	15
Лабинск	Северо-Кавказское	1969	2010	44.6	40.7	263
Красная Поляна	Северо-Кавказское	1953	2010	43.7	40.2	565
Адлер	Северо-Кавказское	1960	1964	43.5	39.9	10
Дивное	Северо-Кавказское	1974	2001	45.9	43.4	86
Изобильный	Северо-Кавказское	1961	2001	45.4	41.7	204
Светлоград	Северо-Кавказское	1958	2005	45.4	42.9	142
Красный Камышанник	Северо-Кавказское	1952	1953	45.4	46.0	-10
Буденновск*	Северо-Кавказское	1952	2010	44.8	44.1	134
Ачикулак	Северо-Кавказское	1967	1975	44.8	44.8	70
Нефтекумск	Северо-Кавказское	1976	1982	44.8	45.2	43
Зеленокумск	Северо-Кавказское	1966	1999	44.4	43.9	147
Тамбуканское озеро	Северо-Кавказское	1967	1984	44.0	43.2	575
Кисловодск	Северо-Кавказское	1963	2010	43.9	42.7	943
Теберда	Северо-Кавказское	1963	1992	43.5	41.7	1328
Моздок	Северо-Кавказское	1977	1995	43.7	44.7	135
Михайловское	Северо-Кавказское	1964	1987	43.1	44.6	593
Тюлений остров*	Северо-Кавказское	1952	1993	44.5	47.5	-25
Кизляр	Северо-Кавказское	1952	1966	43.8	46.7	-3
Чиркей	Северо-Кавказское	1957	1973	43.0	46.7	236
Дербент	Северо-Кавказское	1952	2002	42.1	48.3	-19
Ивдель	Уральское	1954	2014	60.7	60.5	93
Гари	Уральское	1967	1995	59.4	62.3	128
Туринск	Уральское	1964	2001	58.1	63.7	101
Шамары	Уральское	1966	1997	57.4	58.2	247
Верхний Тагил	Уральское	1959	1965	57.4	60.0	
Коптяки	Уральское	1962	1967	57.0	60.5	259
Золото	Уральское	1963	1966	57.0	61.8	
Исетское озеро	Уральское	1959	1963	57.0	60.4	
Свердловск	Уральское	1958	1996	56.8	60.9	280
Чердынь*	Уральское	1950	1993	60.4	56.5	208
Островная	Уральское	1963	1989	58.9	56.2	113
Чермоз	Уральское	1959	1988	58.8	56.2	122
Бисер	Уральское	1964	1994	58.5	58.9	463
Аргаяш	Уральское	1961	1997	55.6	60.9	255
Златоуст	Уральское	1967	2014	55.2	59.7	532
Троицк	Уральское	1959	2014	54.1	61.6	192
Верхнеуральск	Уральское	1953	1995	53.9	59.2	401
Садовое	Уральское	1964	1987	55.3	65.0	83
Петухово	Уральское	1960	2004	55.1	67.9	136
Половинное	Уральское	1961	2007	54.8	66.2	150

Продолжение приложения А.1

1	2	3	4	5	6	7
Тула	ЦЧО	1955	1987	54.2	37.7	164
Плавск	ЦЧО	1971	2001	53.7	37.2	240
Жиздра	ЦЧО	1978	1997	53.8	34.7	193
Еленка	ЦЧО	1962	1984	53.4	35.5	190
Болхов	ЦЧО	1962	2015	53.4	36.0	197
Красная Гора	ЦЧО	1962	1998	53.0	31.6	147
Мичуринск	ЦЧО	1956	2010	52.9	40.5	155
Дмитриев	ЦЧО	1960	1987	52.1	35.1	162
Курск	ЦЧО	1952	2015	51.8	36.2	246
Ушаково	ЦЧО	1955	1960	51.8	36.3	185
Петринка	ЦЧО	1963	1967	51.7	36.2	
Обоянь	ЦЧО	1960	1995	51.2	36.3	190
Воронеж	ЦЧО	1972	2015	51.7	39.2	147
Нижнедевицк*	ЦЧО	1951	2015	51.6	38.4	188
Каменная Степь	ЦЧО	1955	2015	51.1	40.7	193
Валуйки	ЦЧО	1983	2015	50.2	38.1	111
Галич	Центральное	1963	2013	58.4	42.4	134
Кострома	Центральное	1952	2013	57.7	40.9	125
Владимир	Центральное	1955	2000	56.1	40.3	168
Старожилово	Центральное	1988	2008	54.3	40.0	149
Брейтово	Центральное	1954	1995	58.3	37.9	105
Рыбинск. ГМО*	Центральное	1966	1989	58.1	38.7	103
Рожновский мыс*	Центральное	1952	1965	58.1	38.7	103
Елатама	Центральное	1975	1997	55.0	41.8	132
Шацк	Центральное	1984	1986	54.0	41.9	121
Сарай	Центральное	1980	1981	53.7	41.0	128
Дмитров	Центральное	1955	1998	56.4	37.5	183
Подмосковная ВБС	Центральное	1956	2015	55.7	37.2	169

Примечания

жирным выделены станции с рядами наблюдений менее 10 лет,

* означает, что на данной станции наблюдения проводятся не только по испарителю ГГИ-3000, но и по испарительному бассейну 20 м²,

** отмечают станцию с плавучим испарителем.

Приложение А.2 - Список «репрезентативных» станций с наибольшим числом связей с $R \geq 0.75$ для летних месяцев и летнего сезона в целом (июнь-август) при $M_{\min} = 20$ лет (N – общее число использованных пар, n – число пар, с $R \geq 0.75$).

Индекс	Станция	Июнь		Июль		Август		Сезон (6-8)	
		N	n	N	n	N	n	N	n
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
26010	Ура-Губа	116	1	118	9	118	6	104	5
26080	Ена	92	3	93	6	94	3	84	4
26110	Зареченск	131	2	133	7	131	3	126	3
26120	Умба	136	0	138	7	136	0	127	5
32060	Усть-Вымь	128	0	131	0	130	0	119	4
32070	Белозерск	120	0	121	7	120	4	114	7
33030	Калевала	101	1	101	3	101	1	95	3
33130	<i>Ларьянская</i>	136	0	138	5	136	3	128	2
33160	Старая Русса	137	2	140	1	138	1	130	4
39010	Дмитров	128	6	130	6	129	7	122	14
39020	Подмосковная ВБС	132	1	135	6	133	6	127	6
37070	<i>Мичуринск</i>	129	0	131	1	134	6	125	4
37080	Дмитриев	97	0	101	2	107	7	91	7
37090	<i>Курск</i>	117	1	120	1	126	7	109	1
37120	Обоянь	111	6	112	1	113	15	106	6
37130	Воронеж	108	7	108	3	107	15	101	11
37140	Нижедевицк	137	6	140	2	138	1	130	7
37150	Каменная Степь	136	2	138	2	136	9	128	2
17030	Нолинск	121	1	127	4	121	0	109	8
17040	Галич	129	7	132	6	131	12	125	13
17050	Кострома	135	5	138	5	137	3	129	7
17060	<i>Брейтово</i>	128	1	131	2	130	2	123	0
17070	<i>Рыбинск, ГМО</i>	107	1	108	11	107	17	99	13
17140	Городец	131	6	134	5	133	8	126	6
17150	Н. Новгород, мыза	135	4	138	10	137	12	129	13
17160	Ройка	108	8	109	11	110	15	101	16
17190	<i>Владимир</i>	131	4	133	5	132	8	123	8
17200	Цивильск	95	3	96	5	95	9	75	12
36010	Ивдель	136	1	139	3	137	2	127	2
36040	Шамары	121	1	122	2	121	2	111	2
36090	Свердловск	126	1	130	2	129	1	121	1

Продолжение приложения А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
36130	Бисер	87	2	89	5	90	2	64	2
36150	Златоуст	126	3	128	3	127	0	118	1
16010	Бирск	136	2	139	3	138	1	130	2
16030	Чишмы	135	6	135	5	136	2	127	5
16060	Зилаир	130	5	132	4	131	2	126	4
29010	Вязовые	136	3	137	5	135	5	130	7
29020	Лаишево	134	6	137	6	135	7	127	11
29040	Бугульма	136	3	140	3	137	1	130	3
29050	Сурское	99	11	105	9	105	16	92	12
29100	Аглос	106	11	108	7	111	11	100	20
29110	Большая Глушица	118	8	120	5	118	7	109	23
29120	Ростоши	134	6	137	7	135	17	128	11
29130	Маркс	129	7	130	4	128	10	122	10
29140	Ершов	132	4	135	5	135	9	127	4
29150	Новоузенск	129	2	130	1	128	4	122	4
29170	Бузулук	106	2	108	5	107	3	100	6
29180	Чебеньки	108	5	113	6	113	3	102	8
29190	Оренбург	137	3	140	4	137	2	130	3
34030	<i>Серафимович</i>	120	5	123	1	122	8	116	3
34040	Эльтон	134	3	137	1	136	0	129	2
34060	Волжский, ГМО	105	2	108	3	107	12	99	7
34080	Калач-на-Дону	132	8	135	7	134	11	126	11
34100	Казанская	128	12	131	10	130	15	123	19
34120	Цимлянск	129	9	131	7	131	13	125	13
34130	Семикаракорск	129	9	129	3	128	3	122	6
34140	Дубовское	94	9	94	1	96	5	84	4
34150	<i>Ростов-на-Дону</i>	118	5	122	4	121	4	112	4
34160	<i>Мартыновка</i>	133	9	136	4	133	5	126	6
34170	Веселый	110	16	112	10	112	4	106	11
34180	Пролетарск	92	15	97	1	94	1	86	6
34190	<i>Гигант</i>	133	9	136	8	135	16	125	14
34200	Сарпа	98	0	100	2	100	0	86	0
34210	<i>Элиста</i>	136	11	139	5	138	3	130	7
34220	Городовиковск	133	12	136	6	135	10	127	16
34240	Адык	77	3	86	1	86	2	72	4
34270	Каневская	124	9	128	2	126	2	121	3

Продолжение приложения А.2

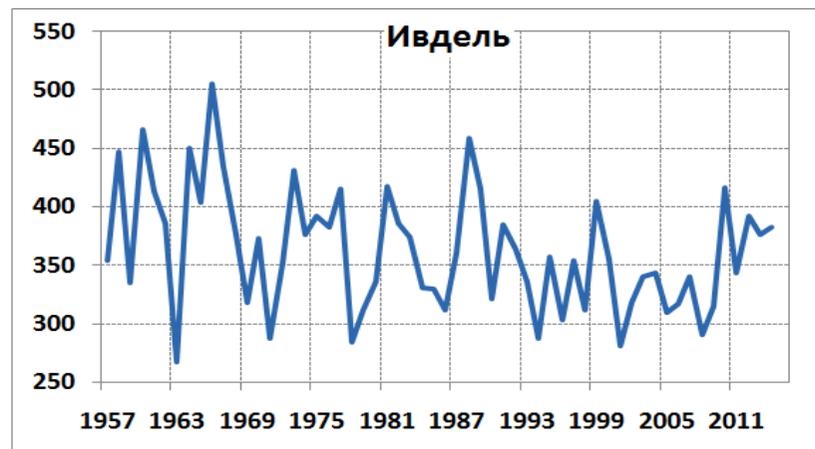
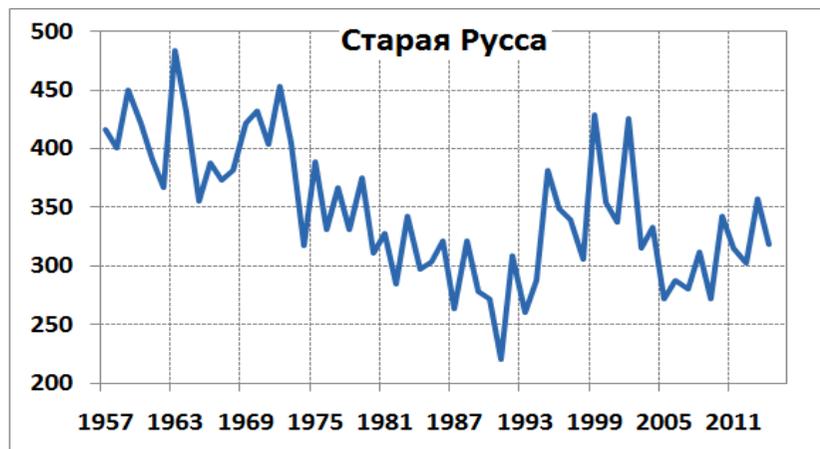
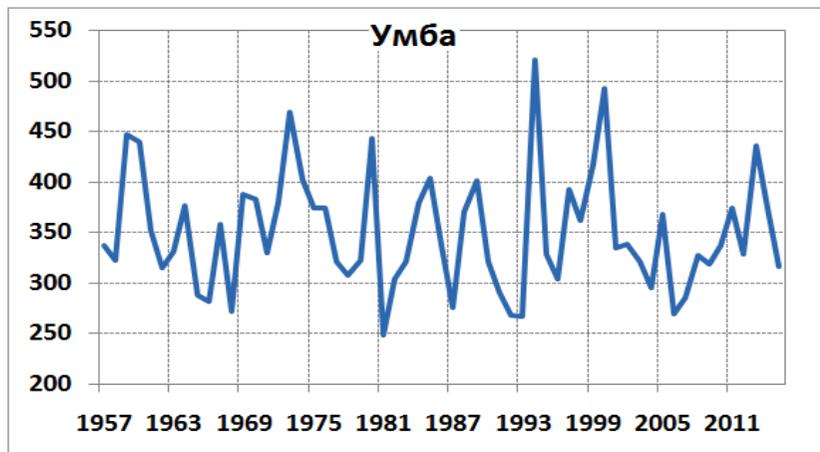
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
34290	Краснодар, Круглик	129	12	132	2	131	1	124	6
34360	Дивное	86	12	97	2	96	2	80	7
34370	Изобильный	128	6	130	3	128	7	123	8
34380	Светлоград	130	10	132	3	132	3	126	9
34400	<i>Буденновск</i>	134	7	136	2	135	3	129	6
34430	Зеленокумск	124	7	125	4	124	2	118	6
34450	Кисловодск	131	1	134	2	132	5	126	5
34480	Михайловское	103	1	105	3	104	8	95	6
34490	<i>Тюлений остров</i>	126	2	130	2	126	2	119	7

Примечание: жирный шрифт – станции, продолжающие работу после 2012 г., курсив – станции с переносами водноиспарительных площадок.

Приложение А.3 - Список длиннорядных станций с наблюдениями за испарением по испарителю ГГИ-3000 с 1957 по 2015/2010гг.

№ п/п	Название станции	Координаты		Период наблюдений
		широта	долгота	
1	Умба	66,7	34,4	1955 - 2015
2	Ивдель	60,7	60,5	1954 - 2014
3	Ларьянская	59,6	33,6	1955 - 2014
4	Старая Русса	58,0	31,3	1953 - 2014
5	Кострома	57,7	40,9	1952 - 2014
6	Нолинск	57,6	50,0	1955 - 2015
7	Городец	56,7	43,4	1958 - 2015
8	Н. Новгород, мыза	56,3	44,0	1952 - 2015
9	Подмосковная ВБС	55,7	37,2	1956 - 2015
10	Вязовые	55,8	48,5	1952 - 2015
11	Бирск	55,4	55,5	1952 - 2015
12	Лаишево	55,4	49,6	1958 - 2014
13	Бугульма	54,6	52,8	1953 - 2014
14	Чишмы	54,6	55,4	1955 - 2015
15	Мичуринск	52,9	40,5	1956 - 2010
16	Ростоши	51,9	43,7	1956 - 2015
17	Оренбург	51,7	55,1	1951 - 2015
18	Нижнедевицк	51,6	38,4	1951 - 2015
19	Ершов	51,4	48,3	1952 - 2015
20	Каменная Степь	51,1	40,7	1955 - 2015
21	Орск	51,1	58,6	1953 - 2015
22	Эльтон	49,1	46,9	1952 - 2010
23	Буденновск	44,8	44,1	1952 - 2010
24	Красная Поляна	43,7	40,2	1953 - 2010

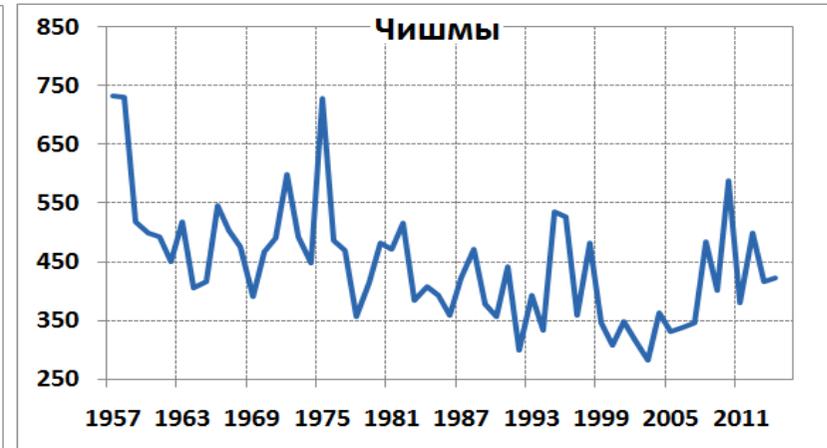
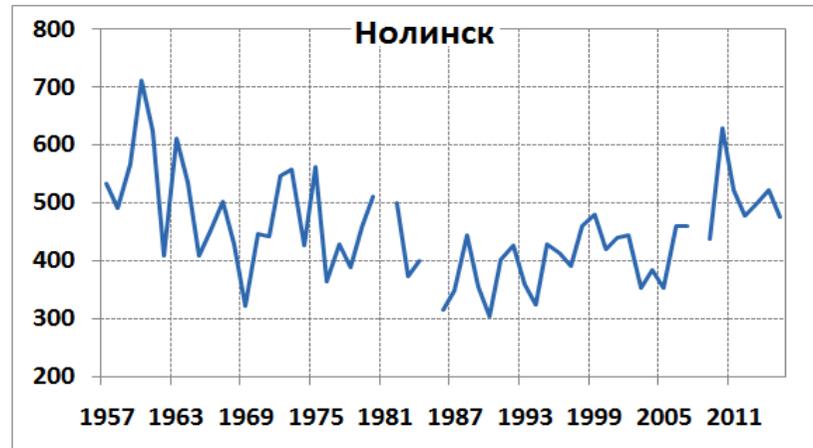
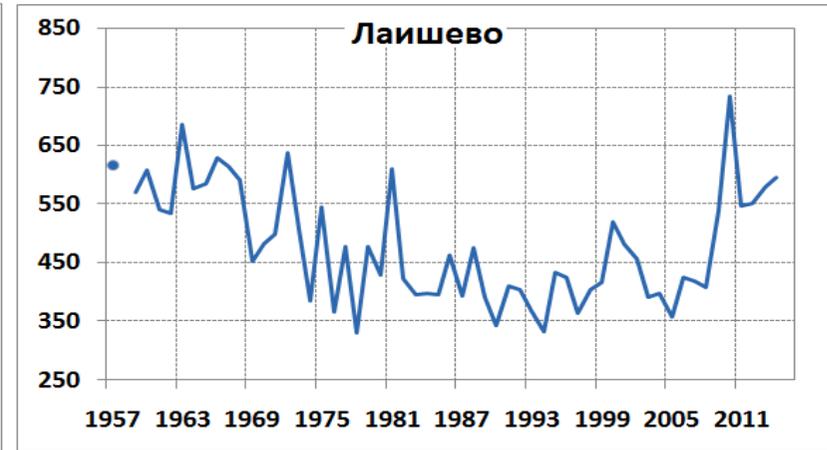
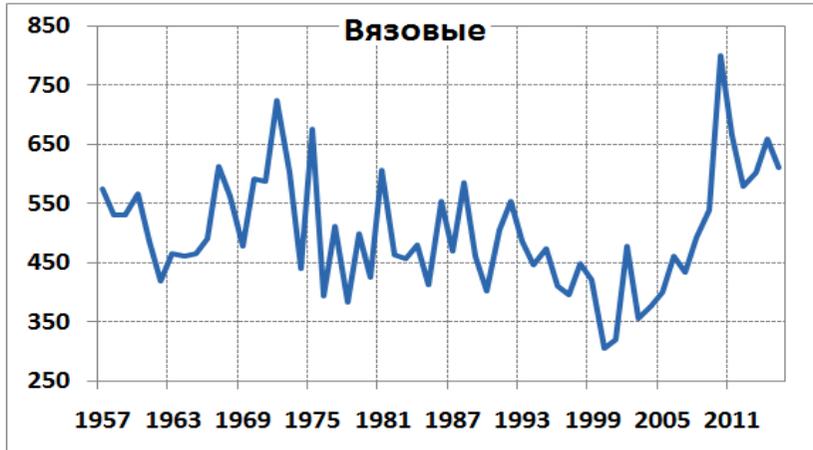
Приложение А4 - Графики многолетних изменений сезонного испарения (в мм) с водной поверхности по испарителю ГГИ-3000 за весь период наблюдений для длиннорядных станций, расположенных в разных регионах ЕТР.



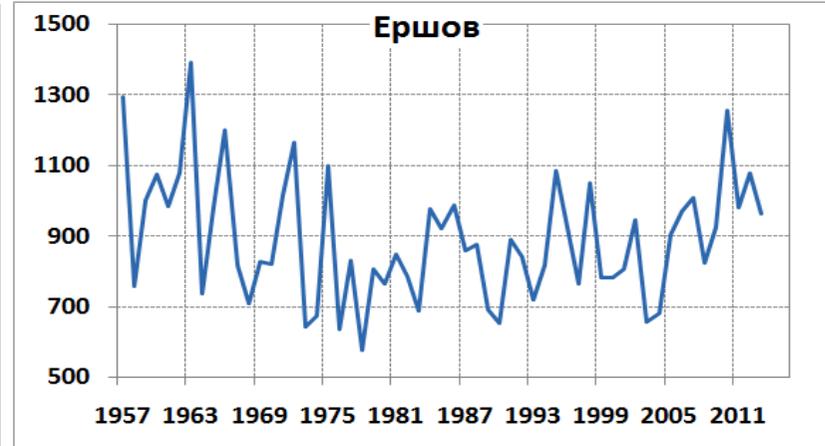
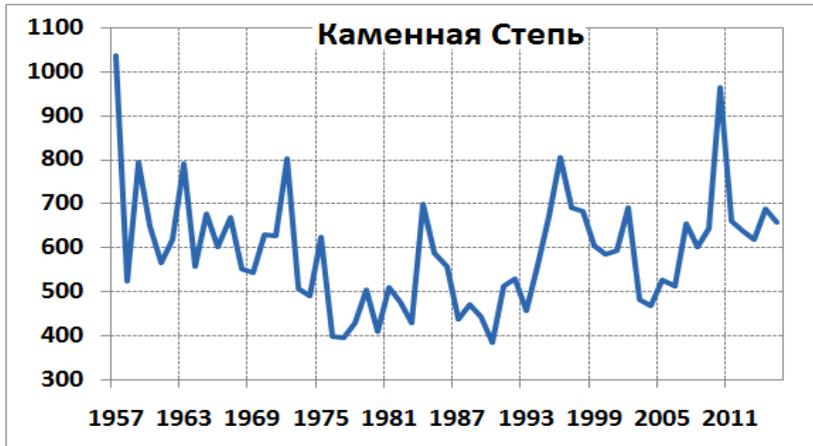
Продолжение приложения А.4



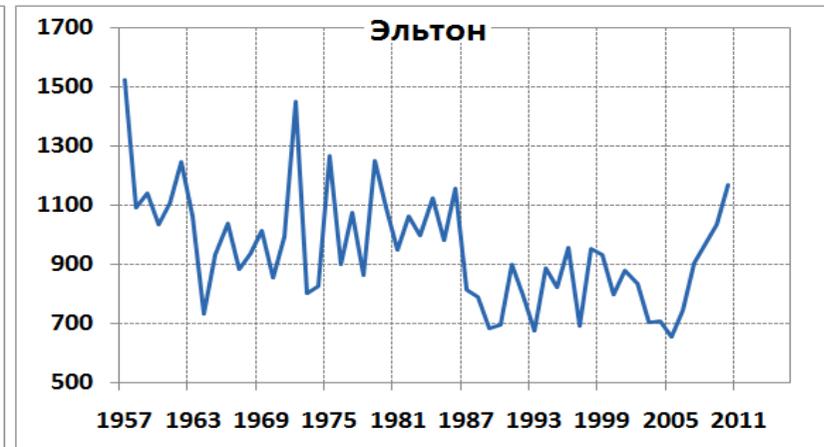
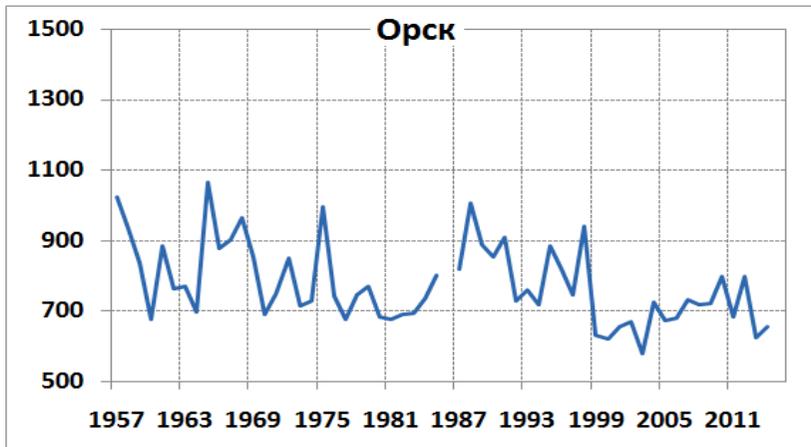
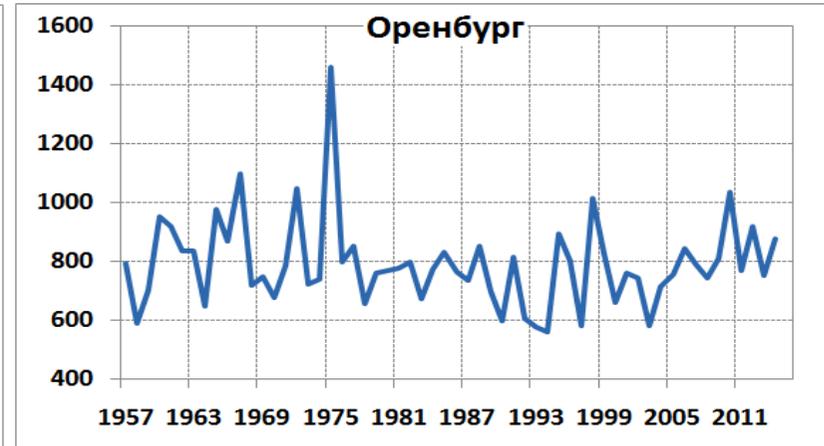
Продолжение приложения А.4



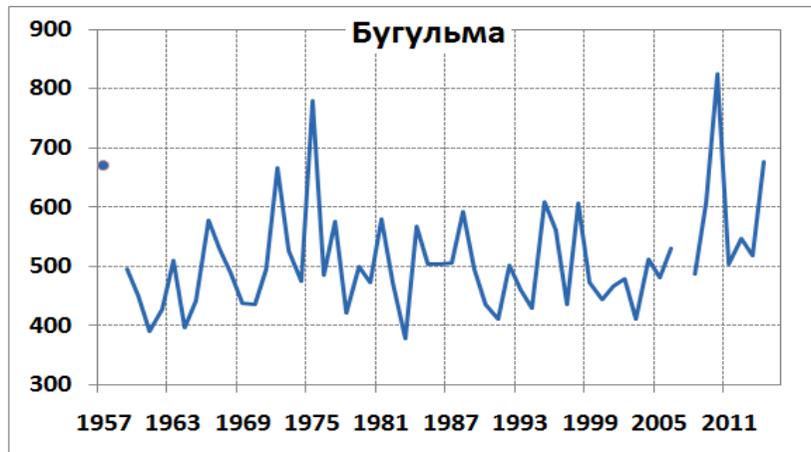
Продолжение приложения А.4



Продолжение приложения А.4



Продолжение приложения А.4



Приложение А.5 -. Среднее многолетнее испарение (в мм) с водной поверхности за базовый период 1960-1980 гг. по испарителю ГГИ-3000.

Станция	Координаты (с десятиыми градуса)		Сезон (05-09 мес)
	широта	долгота	
1	2	3	4
Падун	68,6	31,9	241
Ловозеро	68,0	35,0	252
Каневка	67,1	39,7	260
Умба	66,7	34,4	358
Зареченск	66,7	31,4	435
Борковская	65,2	49,6	295
Архангельск	64,5	40,7	302
Паданы	63,3	33,4	334
Троицко-Печерск	62,7	56,2	312
Усть-Вымь	62,2	50,4	344
Кондопога	62,2	34,3	361
Маячный	61,8	35,3	291
Ивдель	60,7	60,5	380
Чердынь	60,4	56,5	427
Ларьянская	59,6	33,6	455
Никольск	59,5	45,5	355
Белогорка	59,4	30,1	297
Бисер	58,5	58,9	307
Галич	58,4	42,4	310
Брейтово	58,3	37,9	429
Старая Русса	58,0	31,3	388
Псков	57,8	28,3	399
Кострома	57,7	40,9	410
Нолинск	57,6	50,0	481
Свердловск	56,8	60,9	370
Городец	56,7	43,4	400
Дмитров	56,4	37,5	386
Н. Новгород, мыза	56,3	44,0	378
Владимир	56,1	40,3	428
Вязовые	55,8	48,5	512
Подмосковная ВБС	55,7	37,2	374
Аргаяш	55,6	60,9	512
Лаишево	55,4	49,6	522
Бирск	55,4	55,5	560
Чишмы	54,6	55,4	482
Бугульма	54,6	52,8	498

Продолжение приложения А.5

1	2	3	4
Верхнеуральск	53,9	59,2	621
Болхов	53,4	36,0	505
Красная Гора	53,0	31,6	615
Мичуринск	52,9	40,5	509
Зилаир	52,2	57,4	511
Росташи	51,9	43,7	613
Оренбург	51,7	55,1	853
Нижнедевицк	51,6	38,4	517
Ершов	51,4	48,3	898
Обоянь	51,2	36,3	599
Орск	51,1	58,6	799
Каменная Степь	51,1	40,7	573
Казанская	49,8	41,2	593
Серафимович	49,6	42,7	694
Эльтон	49,1	46,9	1019
Калач-на-Дону	48,7	43,5	713
Цимлянск	47,6	42,1	836
Ростов-на-Дону	47,3	39,8	747
Мартыновка	47,2	41,7	860
Веселый	47,1	40,8	749
Гигант	46,5	41,4	799
Элиста	46,3	44,2	1077
Зеленга	46,2	48,6	845
Каневская	46,1	38,9	714
Городовиковск	46,1	41,9	765
Светлоград	45,4	42,9	797
Изобильный	45,4	41,7	634
Тамань	45,2	36,7	764
Краснодар, Круглик	45,1	39,0	725
Буденновск	44,8	44,1	954
Тюлений остров	44,5	47,5	1153
Кисловодск	43,9	42,7	479
Красная Поляна	43,7	40,2	462
Теберда	43,5	41,7	471
Дербент	42,1	48,3	682

Приложение А.6 - Разница среднего многолетнего сезонного испарения и величина тренда для современного (1981-2010 гг.) и базового (1960-1980 гг.) периодов, значимость тренда и суммарное изменение величины испарения в современный период с учетом трендовой составляющей.

Станция	Период	Разница величин испарения двух периодов, мм	Величина изменений по тренду (всего за период), мм	Значимость линейного тренда по Стьюденту (0,05)	Суммарные изменения в современный период, мм
1	2	3	4	5	6
Умба	1960-1980	-17,6	26,7	значим	-14,0
	1981-2010		3,6	незначим	
Ларьянская	1960-1980	-50,9	8,3	незначим	-70,4
	1981-2010		-19,5	незначим	
Старая Русса	1960-1980	-72,8	-73,9	значим	-47,2
	1981-2010		25,6	незначим	
Нолинск	1960-1980	-69,9	-152,5	значим	82,2
	1981-2010		152,1	значим	
Кострома	1960-1980	-91,0	-131,4	значим	-64,4
	1981-2010		26,6	незначим	
Подмосковная ВБС	1960-1980	-43,5	-39,2	значим	-6,7
	1981-2010		36,8	значим	
Н. Новгород	1960-1980	-45,1	-128,8	значим	-79,8
	1981-2010		-34,8	значим	
Городец	1960-1980	-32,4	-149,0	значим	-14,8
	1981-2010		17,7	незначим	
Лаишево	1960-1980	-88,7	-207,7	значим	-31,1
	1981-2010		57,6	значим	
Ивдель	1960-1980	-31,3	-79,4	значим	-84,1
	1981-2010		-52,8	значим	
Бугульма	1960-1980	10,3	100,2	значим	83,6
	1981-2010		73,2	значим	
Чишмы	1960-1980	-83,2	-0,9	незначим	-119,2
	1981-2010		-36,1	значим	

Продолжение приложения А.6

1	2	3	4	5	6
Ершов	1960-1980	-32,7	368,3	значим	
	1981-2010		118,6	значим	86,0
Нижнедевицк	1960-1980	-46,9	-152,2	значим	
	1981-2010		40,8	значим	-6,1
Мичуринск	1960-1980	64,1	63,7	значим	
	1981-2010		296,7	незначим	360,8
Росташи	1960-1980	-95,1	-120,2	значим	
	1981-2010		74,1	значим	-21,0
Вязовые	1960-1980	-44,8	-10,4	незначим	
	1981-2010		-21,4	незначим	-66,2
Оренбург	1960-1980	-97,0	-57,4	значим	
	1981-2010		69,1	значим	-27,9
Орск	1960-1980	-45,4	-86,4	значим	
	1981-2010		-110,6	значим	-156,1
Бирск	1960-1980	-29,2	115,0	значим	
	1981-2010		27,3	незначим	-2,0
Каменная Степь	1960-1980	1,1	-229,6	значим	
	1981-2010		185,5	значим	186,7
Буденовск	1960-1980	-145,2	100,9	значим	
	1981-2010		16,0	незначим	-129,2
Красная Поляна	1960-1980	-82,5	-79,5	значим	
	1981-2010		60,7	значим	-21,8
Эльтон	1960-1980	-140,9	37,4	значим	
	1981-2010		-95,4	значим	-236,4