



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(выпускная квалификационная работа)

На тему **Оценка погрешности**
определения испарения с
поверхности суши по методу
А.Р. Константинова за отдельные
месяцы конкретных лет

Исполнитель **Шойманов Жасурбек**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель **К.Г.Н., доцент**
(ученая степень, ученое звание)

Постников Александр Николаевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

К.Т.Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

«12» июня 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

Содержание

Введение	3
1. Физико-географическое описание территории	5
1.1 Географическое положение	5
1.2 Рельеф	6
1.3 Климат	6
2. Методы расчета	15
3. Исходные данные и промежуточные расчеты	24
4. Результаты расчётов испарения по методу А.Р. Константинова и их анализ	34
Заключение	51
Список используемой литературы	52

Введение

Испарение воды является важнейшим природным процессом. Благодаря ему на нашей планете происходит большой круговорот водобеспечивающий существование жизни на суше земного шара.

Испарения является также элементом расходной части водного баланса различных участков суши, речных бассейнов и водоемов.

Среднемноголетний ход в разрезе испарении с поверхности суши на большей части территорий Российской Федерации заметно превосходит величину речного стока. Только в северной части России, в основном в Арктической зоне, коэффициент стока приближается к величине 0,5 или несколько превосходит ее. На остальной территории России коэффициент стока заметно меньше 0,5 это означает что сток заметно меньше испарения.

Значения такой важной составляющей водного баланса как испарение, необходимо уметь определять с точностью. Для определения годовых среднемноголетних значений испарения с поверхности суши, существует несколько способов. Норму такого испарения можно определить с помощью карты изолиний испарения, с помощью уравнений связи и с помощью методики А.Р. Константинова предусматривающей определение испарения по годовым нормам температуры и влажности воздуха.

Для определения средних многолетних значений месячного испарения рекомендуется применять комплексный метод. На практике часто возникает необходимость определения испарения за отдельные части конкретного года. Например (за период весеннего половодья, за теплый период года или за какой-либо месяц и т.д.) Здесь возможно применение комплексного метода, но возникают определенные затруднения, связанные со значительным увеличением трудоемких расчетов. Метод Константинова привлекает своей простотой в использовании, но в ней нет рекомендации к его применению для расчета испарения за отдельные интервалы конкретных лет, хотя сам

Константинов предлагает свой метод для расчета месячного испарения.

В данной работе предпринимается попытка выяснить, насколько правомерно применения этого метода для определения месячного испарения в различных природных зонах России. Для этих целей по данным наблюдений за температурой и влажностью воздуха на шести воднобалансовых станциях, расположенных в лесной, лесостепной и степной зонах (две станции в каждой зоне) определялось испарение по методу А.Р. Константинова и сравнивалось с испарением по почвенным испарителям на тех же станциях.

1 Физико-географическое описание территории

1.1 Географическое положение

На европейскую часть России приходится 1/3 территории страны, около 80% населения, 85% промышленного и сельскохозяйственного производства, около 90% непроемственной сферы страны. Европейская часть России образует западный макрорегион. Западный макрорегион включает в себя шесть природно-хозяйственных регионов: Европейский Север, Северо-Запад, Центральная Россия, Поволжье, Европейский Юг, Урал



Рисунок 1.1 – Европейская территория России.

1.2 Рельеф

Рельеф России достаточно разнообразный, его значительную часть составляют гигантские равнины, лежащие на различной высоте. Высота территории страны в среднем составляет более 400 метров. Западнее реки Енисей располагаются преимущественно низменности, восточней преобладают возвышенности. Европейская часть России расположена на Восточно-Европейской равнине и имеет преимущественно равномерный равнинный рельеф. Данная территория имеет возвышенности до 300 метров и низменности с крупными реками. Кроме того, Европейская часть России охватывает Уральские и Кавказские горы. Возвышенностями европейской части страны являются Приволжская, Валдайская, Среднерусская. Самой опущенной низменностью является Прикаспийская, уровень которого составляет 28 метров ниже уровня моря.

1.3 Климат Европейской территории России

Климатические условия Европейской территории России (ЕТР) в сильной степени определяются воздействием со стороны Атлантического океана. В зимнее время на ЕТР преобладают юго-западные ветра, с которыми связан приток тёплого атлантического воздуха. Действие этих ветров сильнее всего сказывается в западных и северо-западных районах.

С атлантическим воздухом, приходящим на ЕТР, связаны зимние осадки. Этот воздух приходит с Атлантики при циклонах, которые идут преимущественно с запада на восток. Поэтому в средней и отчасти в северной полосе ЕТР осадков выпадает достаточное количество, особенно в западных районах. В южные и юго-восточные степные районы ЕТР циклоны приходят реже. Эти районы зимой находятся в области более высокого давления. Преобладающими зимой в степной полосе являются ветры восточных и юго-восточных направлений. В связи с этим в степной полосе

зимой меньше облачность и количество осадков.

Летом на ЕТР Средние месячные температуры воздуха несколько повышаются по мере продвижения на восток. Июльские изотермы на ЕТР идут с западо-юго-запада на востоко-северо-восток. Это вызвано тем, что летом в западных районах ЕТР имеет место влияние атлантического относительно холодного воздуха, а в восточных — погретого континентального воздуха.

Наибольшее количество осадков в летнее время наблюдается в западных и юго-западных районах ЕТР (до 80-90 мм за июль). В средней полосе тоже выпадает достаточное количество осадков. В южной степной полосе осадков выпадает меньше (до 60-40мм за июль). Наименьшее количество осадков летом выпадают на юго-востоке (до 20-30 мм за июль). Такое распределение осадков вызвано тем, что летом на ЕТР пути циклонов направлены преимущественно с юго-запада на северо-восток. В южных и юго-восточных районах ЕТР, которые лежат в стороне от этого направления, осадков выпадает меньше.

В северной полосе ЕТР, захватывающей тайгу и лесотундру, климатические условия создаются под воздействием атлантического и континентального воздуха умеренных широт. Существенное влияние на климат оказывает также и арктический воздух, который довольно часто проникает в северную полосу, особенно в восточную половину.

Зимой на мурманском побережье и в районе Ладожского и Онежского озёр преобладающей воздушной массой является атлантический воздух, а в остальных районах северной полосы континентальный. Преобладающее влияние теплого атлантического на Мурманском побережье и в районе Онежского и Ладожского озёр приводит к тому, что в этих местах создаются умеренно холодные зимы. Температура января здесь от -8°C до -10°C . Толщина снежного покрова на юге Карелии достигает 50-60 см в конце зимы. В восточных районах зоны, в Коми, ввиду частых вхождений арктического континентального воздуха зимы намного холоднее. Средняя температура в

январе снижается до -15°C , -19°C , а в отдельные дни на северо-востоке Коми могут быть морозы до -50°C и могут достигать до -55°C . Толщина снежного покрова достигает 80 см.

Летом различия между западными и восточными районами северной полосы выражены менее резко, потому что летом вся эта полоса является областью прогревания приходящих на ее территорию воздушных масс, с последующей трансформацией их в континентальный воздух. Иногда летом в эту полосу проникает и тропический воздух, вызывающий здесь повышение температуры до 30°C .

В северной полосе июль считается самым тёплым месяцем в году, его средняя температура меняется от 10°C - 12°C в лесотундре, занимающей северную часть полосы, и до 15°C - 17°C в южной части, в которой располагается тайга. Заморозки в северной полосе могут наблюдаться в течение всего лета. Годовая сумма осадков колеблется от 400 мм в лесотундре Кольского полуострова до 500-600 мм в Карелии и до 500 мм в Коми.

Несмотря на сравнительно невысокие годовые суммы осадков, в северной полосе ЕТР все же создаётся переувлажнение почвы, так как количество солнечного тепла, которое поступает на поверхность земли, меньше, чем его необходимо для испарения осадков, выпадающих за год.

Климатические условия северной полосы позволяют заниматься земледелием на всей территории. В таёжной зоне с успехом выращивают овощные, кормовые и зерновые культуры, а в южных районах возделывают и лен. Даже на Кольском полуострове в местах, где продолжительность безморозного периода 75 дней и более, возможно выращивание скороспелых и кормовых культур, а также и картофеля. В местности, расположенной в нижнем течении Печоры, возможно выращивание в защищённых от ветра местах не только овощных и кормовых культур, но и скороспелых яровых зерновых.

Средняя полоса ЕТР захватывает зону таёжно-широколиственных лесов и

лесостепь, то есть переходную зону от лесной области к степной. В западных районах средней полосы зимой преобладает перенос атлантического воздуха, а в восточных континентального воздуха из юго-восточных районов ЕТР.

Климат средней полосы ЕТР - тёплый. Осадков выпадает достаточное количество, особенно в западных районах, где часто проходят циклоны. Такие условия являются благоприятными для произрастания широколиственных древесных пород и кустарников - ясеня, дуба, клёна остролистного, граба (на западе) и другие.

Климатические условия в средней полосе ЕТР изменяются с запада на восток. В западных районах средней полосы ЕТР средняя температура января колеблется от $-4,5^{\circ}\text{C}$ до -8°C , июля - от 17°C до 19°C . Годовая сумма осадков около 550-600 мм, а в бассейне Припяти и Березины достигает даже до 650-700 мм.

В центральных районах средней полосы ЕТР, захватывающих Калининскую, Московскую и большую часть Тульской области, климатические условия создаются под влиянием континентального воздуха умеренных широт, который является здесь преобладающей воздушной массой, особенно в тёплое время года. Значительную повторяемость имеет и морской воздух умеренных широт, особенно зимой. Зимой вторжение этого воздуха вызывают снегопады и повышения температуры, которые могут достигать временами до оттепелей. Часто бывают вторжения арктического воздуха, вызывающие зимой сильные морозы, заморозки весной, и прохладную погоду летом. При таких вторжениях зимой в некоторые годы могут наблюдаться понижения температуры до -40°C или -50°C и ниже. Средняя январская температура около -1°C , -11°C , июльская примерно 17°C - 18°C . Осадки распределяются неравномерно, на их распределение сильное влияние оказывает рельеф. Наибольшее количество осадков выпадает в районах, занимаемых отрогами Валдайской возвышенности. Тут годовая сумма осадков достигает отметки 600 мм, а местами и выше. В остальных районах годовая сумма равна 550-600 мм, а в северной части

тульской области 500-550мм.

Лето в восточных районах средней полосы ЕТР остаётся таким же тёплым, как и в западных, а вот зимы значительно холоднее. Средняя температура в январе снижается до -17°C , -19°C , количество осадков уменьшается до 450-500 мм за год. Таким образом, в сравнении с западными районами климат восточных районов ЕТР характеризуется значительной континентальностью.

В средней полосе ЕТР Климатические условия благоприятны для выращивания сельскохозяйственных культур.

В центральных и восточных районах средней полосы ЕТР без затруднений выращивают овощные, технические, зерновые и кормовые культуры, и есть возможность для дальнейшего развития плодовых и ягодных культур.

Самыми тёплыми районами средней полосы являются южные, занимаемые лесостепью. Северная граница лесостепи в России совпадает примерно с изотермой июля 19°C - 20°C . Летние температуры во всех частях лесостепи мало изменяются. Средняя температура июля как в западных районах лесостепи, так и в восточных изменяется в пределах от 19°C - 21°C . Что касается января, то средняя температура колеблется в широких пределах от 5°C до -14 , -16°C . Безморозный период в западных и центральных районах лесостепи составляет 160 дней. В Заволжье он уменьшается до 130 дней. Годовая сумма осадков в западных районах лесостепи равна 500-600 мм, а в Заволжье снижается до 350-500мм.

Характерные климатические условия в лесостепи ЕТР создаются в Центрально-Чернозёмных областях - Курской, Орловской и Воронежской. На климатический режим областей большое влияние оказывает Средне-Русская возвышенность. На западных и юго-западных склонах по сравнению с восточными температура воздуха за тёплый период года ниже на 1°C . Заметно и увеличение осадков на этих склонах.

В тёплое время года относительная влажность воздуха имеет здесь два минимума, которые приходится на май и август, местами на июль, но самый главный минимум наблюдается в мае. Часто бывают суховеи, в некоторые годы они губительно действуют на растения.

Негативное влияние на развитие растительности в Центрально-Чернозёмных областях оказывают весенние заморозки при возвратах холодов после тёплого периода. Они наносят большой вред для растений, особенно кустарниковым и древесным породам. Сильно чувствителен к заморозкам дуб, который является главной лесообразующей породой в лесостепи. Такие возвраты холодов наблюдаются весной очень часто. В мае при возврате холодов температура воздуха может достигать отметки -7°C , -9°C . Заморозки в некоторые годы могут быть и в первой декаде июня.

Климатические условия лесостепной зоны ЕТР позволяют сеять разнообразные овощные, зерновые, технические, бахчевые, кормовые, ягодные и плодовые культуры. Однако в некоторые зимы посевы озимой пшеницы в лесостепной зоне страдают от вредных метеорологических условий, таких как ледяной корки, вымерзания и другие. Они могут привести к заражению и даже к гибели озимых культур. В восточных районах зоны сильный ущерб овощным и бахчевым культурам наносят поздние весенние и ранние осенние заморозки. В восточной части лесостепной зоны, в некоторые годы количество урожая сельскохозяйственных культур сильно падает из-за засух и суховеев.

Северная граница степной полосы ЕТР соответствует положению восточно-европейской ветви фронта умеренных широт. Климатические условия здесь характеризуются умеренной континентальностью. Зимой в этой полосе формируется холодный континентальный воздух, но иногда может приходиться и арктический воздух. Летом происходит сильное прогревание континентального воздуха умеренных широт и трансформация, его в тропический. В степной полосе часто бывают засухи и суховеи.

Самые благоприятные условия создаются в западных районах степной

полосы ЕТР. Зима здесь тёплая, температура в январе около -3°C , -6°C . Средняя температура в июле 21°C - 23°C . Безморозные период составляет 180 дней. Годовая сумма осадков около 400-450 мм. По мере продвижения на восток климат делается более континентальным. В заволжских степях температура в январе понижается до -14°C , -16°C , годовая сумма осадков снижается до 300-350 мм. Средняя июльская температура остаётся почти без изменений. Безморозный период становится меньше 150-160 дней [3].

Наиболее засушливые условия в степной полосе ЕТР создаются в крайних южных районах, которые захватывают сухую степь. Последняя территория занимает северную часть Крыма и узкую полосу на северном побережье Чёрного моря и северо-западном берегу Азовского моря. Южные степи встречаются также по течению Дона, ниже устья Хопра и Медведицы, а также Поволжье (ниже Камышина) и в Заволжье. Южные сухие степи характерны более высокой температурой в июле, низкой относительной влажностью и малым количеством осадков. Средняя температура в сухих степях в июле около 23°C - 24°C , годовая сумма осадков 300-350 мм.

Ещё более засушливые условия создаются в Нижнем Поволжье, располагающемся на крайнем востоке степной зоны ЕТР, в непосредственной близости с пустынями. Лето здесь жаркое и сухое, а зима — малоснежная с сильными буранами. Осадков выпадает малое количество. На севере Нижнего Поволжья годовая сумма осадков равна 350 мм. По мере продвижения на южную часть количество осадков уменьшается и в низовьях Волги их сумма снижается до 200 мм. На западных склонах Приволжской возвышенности и Ергеней осадков выпадает больше, чем к востоку от них. Максимальное количество осадков выпадает летом, но они плохо смачивают почву, потому что почти целиком испаряются. Испарение весьма большое, поэтому почва сильно высыхает летом, реки мелеют, а некоторые пересыхают.

Климатические условия в степной зоне ЕТР позволяют возделывать зерновые, масленичные, овощные, прядильные, бахчевые, плодовые и

ягодные культуры. Однако в центральных районах степной зоны озимые культуры в малоснежные зимы страдают от сильных морозов. В восточных районах условия для возделывания сельскохозяйственных растений ещё менее благоприятны из-за понижения зимних температур, уменьшения толщины снежного покрова и учащения засух и суховеев. Однако и в этих районах возможно возделывание таких культур, которые требовательны к теплу, как просо, кукуруза, бахчевые, яровая и озимая пшеница, выращиваемая в условиях климата сухих степей даёт высококачественное зерно.

Особые климатические условия наблюдаются на южном берегу Крыма. Они создаются под влиянием гор, которые защищают этот берег от воздействия холодного, континентального и арктического воздуха, а также под влиянием тёплого, глубокого, незамерзающего моря, которое повышает зимние температуры и понижает летние, а также сокращает морозный период.

Чёрное море имеет в зимнее время более тёплую поверхность, чем окружающая его суша. Эта поверхность способствует усилению циклонической деятельности, развивающейся зимой на средиземноморском фронте. В летний период относительно холодная поверхность моря способствует большому развитию отрога азорского антициклона, который захватывает в это время Южную Европу и Средиземное море. Чёрное море усиливает атмосферные процессы, развивающиеся в средиземноморской области, благодаря этому Южный берег Крыма попадает под их влияние. По этой причине на Южном берегу Крыма создаётся особый тип климата, который можно отнести к субтропическому (средиземноморскому) типу.

Зима на Южном берегу очень мягкая. Средняя январская температура в Ялте $3,7^{\circ}\text{C}$, в Мисхоре $4,4^{\circ}\text{C}$. В Ялте не наблюдались морозы ниже 15°C . В летнее время преобладает сухая, солнечная погода. Суточные амплитуды невелики и в среднем не превышают 8°C . Средняя температура июля и августа в Ялте около 24°C , в Мисхоре около 25°C . Осенью в Ялте очень

сухо, она заметно теплее весны. Распределение осадков на Южном берегу Крыма носит средиземноморский характер. Наибольшее количество осадков выпадает в холодные период, когда над Черным морем часто проходят циклоны. Минимальное количество осадков приходится на август. Годовая их сумма в Ялте 600мм.

В крымских горах холодная зима и прохладное лето. На Ай-Петри (высота 1180 м) средняя январская температура снижена до $-4,2^{\circ}\text{C}$, июльская до $15,7^{\circ}\text{C}$; зачастую образуются туманы. Сумма годовых осадков на Ай-Петри составляет 1000 мм.

Растительность на Южном берегу Крыма представлена большим количеством средиземноморских растений. Тут растёт кипарис, магнолия, лавр, из плодовых деревьев оливковое дерево, гранат, грецкий орех, миндаль и многие другие. Однако растения могут пострадать от морозов в некоторые зимы. Принимая количество морозов, которые наблюдались в 7 часов утра, за 100 %, то, по данным П. А. Буцкого, в Ялте количество морозов от 0°C до -2°C составляет 53%, от -2°C до -5°C - 34%, от -5°C до -10°C - 10% и от -10°C до 15°C - 3%. Следовательно, в подавляющем количестве случаев в Ялте наблюдаются морозы до -5°C . Морозы до -15°C наблюдались на Южном берегу Крыма крайне редко. Они наносили большой вред субтропическим культурам.

2. Методы расчета

Осадки, выпадающие на поверхность суши, расходуются на поверхностный сток, испарение и инфильтрацию воды в почву. Эти расходные составляющие непрерывно изменяются. Количественное соотношение между ними характеризуется уравнением водного баланса. Для любого отрезка времени и некоторого объема суши можно представить упрощенное уравнение водного баланса в виде

$$X = E + S_{\text{пов}} + S_{\text{гр}} + S_{\text{бок}} - \Delta W \quad (2.1)$$

где X - осадки, E - испарение, $\Delta W = W_{\text{н}} - W_{\text{р}}$ - разность начальных и конечных влагозапасов слоя почвы активного влагообмена,

$S = S_{\text{пов}} + S_{\text{гр}} + S_{\text{бок}}$ - суммарный сток, равный поверхностному $S_{\text{пов}}$, грунтовому $S_{\text{гр}}$ и боковому стоку или $S_{\text{бок}}$ влагообмену рассматриваемого слоя почвы с почвами окружающих полей или водосборов.

Для средних многолетних условий изменением влагозапасов слоя почвы активного влагообмена ΔW обычно пренебрегают. Точно так же в этом случае непосредственно не учитывают и грунтовый сток, который входит в величину суммарного стока, измеряемого в замыкающем створе водосбора, при условии, если врез водотока достаточно глубокий и дренирует грунтовые воды. Для незамкнутых или висячих водосборов, когда замыкающий створ расположен выше уровня грунтовых вод, это условие не выполняется. Величина бокового водообмена обратно пропорциональна площади водосбора. Поэтому для средних и больших водосборов многолетним боковым водообменом обычно также пренебрегают и величину среднего годового испарения с поверхности суши рассчитывают по упрощенному выражению уравнения водного баланса

Уравнение в таком виде пригодно для вычисления среднего годового испарения со сравнительно больших площадей. Входящую в уравнение (2.2)

$$E = X - S \quad (2.2)$$

величину средних годовых атмосферных осадков по отдельным станциям можно взять из климатических справочников. В полученную величину нормы осадков вносят суммарную поправку на обусловленный ветром недоучет осадков дождемерами, на смачивание и испарение осадков из приемного сосуда прибора.

Испарение наряду с осадками определяет влагозапасы почвы, оказывающие первостепенное влияние на продуктивность растений. В условиях орошаемого земледелия суммарное испарение определяет нормы и сроки поливов. Несмотря на столь всеобъемлющую роль испарения в процессе жизнедеятельности растений, его непосредственное измерение на широкой сети метеорологических станций, а тем более на сельскохозяйственных угодьях осуществляется крайне редко.

Испарение рассчитывают для выяснения влагозапасов почвы, непосредственное измерение которых сопряжено с трудностями.

Являясь основной, а в летнее время на равнине обычно единственной расходной частью водного баланса, величина испарения (с учетом осадков) определяет величину изменения влагозапасов почвы. Последние в значительной мере определяют состояние растительности не только в данный момент, но и в ближайшем будущем, поскольку являются наиболее инерционным фактором, характеризующим процесс жизнедеятельности растений. Недаром все сколько-нибудь успешные методы прогноза состояния и урожая растений в той или иной мере учитывают наличные влагозапасы почвы.

Среднее годовое испарение со сравнительно небольших участков суши можно также определить по карте среднего годового испарения, построенной в ГГИ (рис. 1). Годовые нормы испарения для этой карты вычислялись в соответствии с уравнением водного баланса (Бочков, 1966).

Средняя относительная погрешность снимаемых с карты (рис. 1) величин испарения для большей части равнинной территории России составляет 12%, для горных районов и Крайнего Севера до 20%, а в некоторых слабо изученных частях этих районов может достигать 40%.

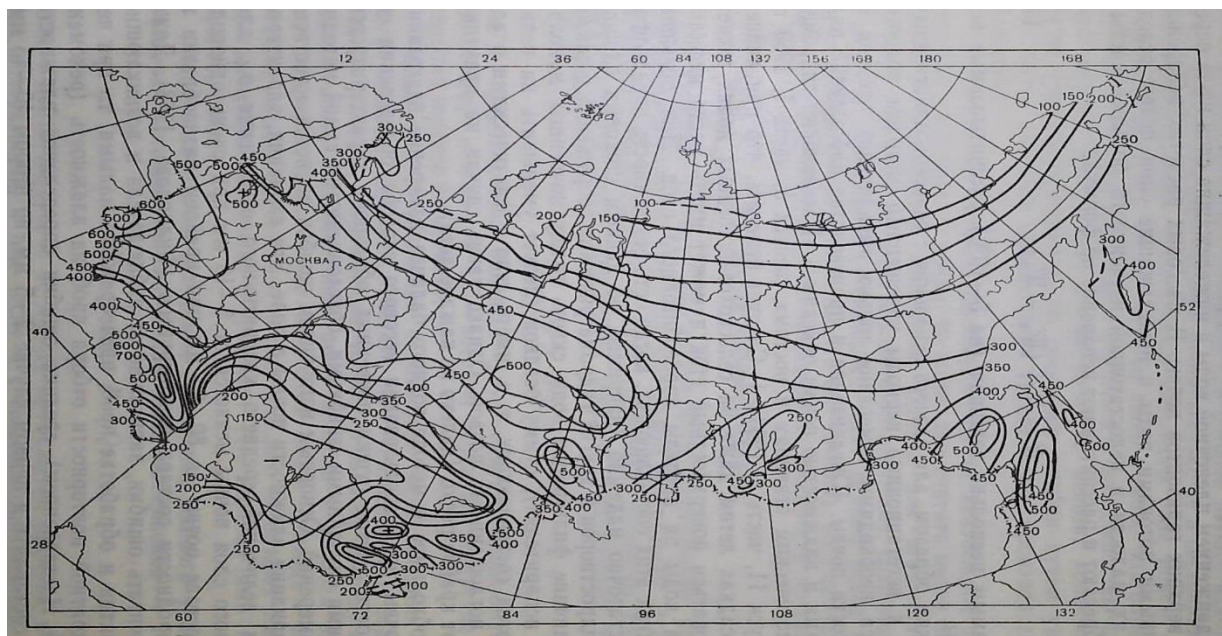


Рисунок 2.1 – Среднее годовое испарения с поверхности суши (в миллиметрах слоя воды)

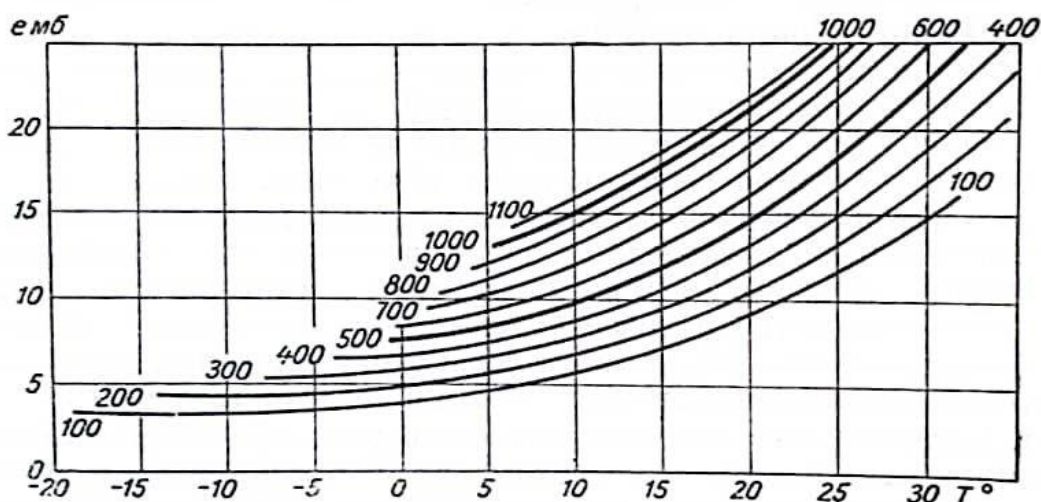


Рисунок 2.2 – График для расчета величин испарения с поверхности суши за год средним значениям температуры и влажности воздуха, измеренным на метеорологическом станциях.

С величинами испарения и транспирации мы неизбежно сталкиваемся при сравнительной оценке потребности в воде различных видов культур и их сортов, в том числе и при выведении засухоустойчивых растений. При этом часто, особенно при научных разработках, используют понятие коэффициента транспирации, характеризующего количество воды, израсходованное растением на построение 1 г сухого вещества. Однако для практических (главным образом гидромелиоративных) целей в последнее время чаще используют понятие коэффициента водопотребления, характеризующего общее количество воды (т. е. суммарное испарение, включающее не только транспирацию растений, но и испарение с почвы между стеблями растений, а также сток), расходуемое растением на создание единицы урожая.

Важное место занимает испарение в формировании водного баланса полей, исследование составляющих которого является основой целенаправленных гидромелиоративных преобразований в различных районах страны. Величину испарения необходимо знать также и при исследованиях составляющих теплового баланса сельскохозяйственных угодий; эти исследования в последнее время находят все более широкое применение.

В комплексном методе расчета испарения используются данные о составляющих водного и теплового баланса. Метод этот применим для сравнительно больших территорий (сельскохозяйственных районов, малых и средних водосборов и т. д.), для отдельных сельскохозяйственных полей его использование нецелесообразно. Расчеты испарения этим методом весьма громоздки и трудоемки, исходные данные, особенно об осадках, влагозапасах почвы и стоке (включая грунтовый), не всегда достаточно надежны. Поэтому точность расчета испарения этим методом обычно несколько уступает точности расчета методами водного и теплового баланса.

Сравнительно большие случайные ошибки, неизбежные при измерении влагозапасов почвы, не позволяют считать метод водного баланса повсеместно эталонным. Однако для агрономических целей и для решения ряда агрометеорологических, гидромелиоративных и научно-исследовательских задач данный метод вполне пригоден, особенно если повысить его точность посредством увеличения числа повторности определения влажности почвы.

В массовых расчетах испарения указанными потоками воды в нижележащие слои почвы вследствие их малости и недостаточной изученности большей частью пренебрегают и рассчитывают испарение по формуле

$$E = X + (W_H + W_K) \quad (2.3)$$

тем самым несколько завышая (на 5—10%) рассчитываемые величины.

В тепловом балансе рассматриваются соотношения прихода и расхода количества тепла на деятельной поверхности. Эти соотношения представляются в виде уравнения теплового баланса, выражающего закон сохранения энергии, поступающей на поверхность:

$$R = L E + P + Q \quad (2.4)$$

где R - радиационный баланс, P - турбулентный теплообмен, Q - теплообмен в почве, а LE - затраты тепла на испарение (L - скрытая теплота испарения).

Члены данного уравнения называются составляющими теплового баланса. Следует отметить, что уравнение (2.4) содержит только основные составляющие теплового баланса. Наряду с ними имеют место второстепенные виды прихода и расхода энергии на поверхности, но сумма всех этих видов прихода — расхода энергии обычно значительно меньше каждого из четырех основных составляющих, входящих в уравнение (2.4),

поэтому ими обычно пренебрегают.

Метод определения испарения с помощью данного уравнения называют методом теплового баланса.

$$E = \frac{1}{L(R-P-Q)} \quad (2.5)$$

Из соотношения можно найти испарение за любые промежутки времени и с любых поверхностей, в том числе и с сельскохозяйственных полей, если предварительно определить величины других составляющих теплового баланса. Для среднегодовых расчетов (если пренебречь величиной теплообмена в почве) можно использовать упрощенную формулу

$$R = L E + P \quad (2.6)$$

В настоящее время из составляющих уравнения теплового баланса непосредственно измеряются только значения радиационного баланса деятельной поверхности R — разность между приходом и расходом лучистой энергии. Приход состоит из прямой и рассеянной солнечной радиации и излучения атмосферы, расход — из отраженной радиации и излучения поверхности. Если приходная часть больше расходной, то радиационный баланс положительный и поверхность поглощает больше лучистой энергии, чем излучает. Избыток полученной энергии полностью расходуется на нагрев почвы и воздуха и на испарение с деятельной поверхности.

Радиационный баланс определяется на актинометрических станциях России в соответствии с «Руководством гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям» (1957). Актинометрические наблюдения включают измерения прямой, рассеянной и отраженной радиации, а также вспомогательные наблюдения над некоторыми

метеорологическими элементами. Вероятная ошибка метода [по уравнению (2,5)] при определении испарения за отдельные месяцы составляет примерно 10%, при определении испарения за отдельные сезоны (6—8 месяцев) и годы она снижается в 2—3 раза (Огнева, 1966).

Чаще всего на практике для определения величины испарения методом теплового баланса используют, следующую формулу:

$$E = \frac{R-Q}{L\left(1+0.64\frac{\Delta T}{\Delta e}\right)} \text{ мм/ч} \quad (2.7)$$

Комплексные методы расчета испарения с поверхности суши основываются на использовании уравнения водного баланса с привлечением отдельных элементов уравнения теплового баланса (главным образом при определении величины максимально возможного испарения).

Используя линейную зависимость интенсивности испарения с почвы от величины активных влагозапасов, М. И. Будыко предложил следующую расчетную схему:

$$E=E_0 \quad \text{при} \quad \frac{W_1+W_2}{2} \geq W_0 \quad (2.8)$$

$$E = E_0 \frac{W_1+W_2}{2W_0} \quad \text{при} \quad \frac{W_1+W_2}{2} < W_0 \quad (2.9)$$

Указанная схема рекомендуется «Проектом технических указаний по расчету испарения с поверхности суши» (1966) для расчета месячных норм испарения. Здесь E и E_0 — месячные суммы испарения и испаряемости, $\frac{W_1+W_2}{2}$ среднее за месяц количество продуктивных влагозапасов в двухметровом слое почвы; W_1 и W_2 — продуктивные влагозапасы соответственно в начале и конце месяца, W_0 — критические продуктивные влагозапасы в двухметровом слое почвы, при которых и выше которых испарение E равно испаряемости E_0 .

Продуктивные влагозапасы в конце месяца вычисляются по формулам:

$$W_2 = \frac{c}{a} \quad \text{при} \quad \frac{W_1 + W_2}{2} < W_0 \quad (2.10)$$

$$W_2 = W_1 + X - S - E_0 \quad \text{при} \quad \frac{W_1 + W_2}{2} \geq W_0 \quad (2.11)$$

где $c = W_1 b + X - S$, $b = 1 - \frac{E_0}{2W_0}$, $a = 1 + \frac{E_0}{2W_0}$, X и S – средние многолетние месячные сумма осадков и стока.

Месячные нормы осадков, а также средняя месячная температура и влажность воздуха (необходимые для расчета E_0) приведены в климатических справочниках России. Следует помнить, что в величины средних месячных осадков необходимо вносить суммарную поправку на недоучет осадков дождемерами.

Средняя многолетняя годовая величина стока может быть снята с карты среднего годового стока рек России, опубликованной в работе К.П. Воскресенского. Для перехода от выражения стока в л/сек. с 1 км² к мм/год снятую с карты величину стока умножают на коэффициент 31,5. Более точные величина стока даны в монография по ресурсам поверхностных вод.

Средние месячные величина испаряемости E_0 , среднее месячное количество продуктивной влаги $\frac{W_1 + W_2}{2}$ и критические продуктивные влагозапасы почвы W_0 рассчитываются с помощью исходных данных и предлагаемых далее графиков и таблиц, заимствованных из «Проекта технических указание по расчету испарения с поверхности суши».

Испаряемость определяется по эмпирическим графикам (рис.2.1)

зависимости E_0 от разности d между упругостью насыщенного водяного пара e_n и средней многолетней месячной абсолютной влажностью воздуха e .
Графики построены по месяцам для различных геоботанических зон (карта зон приводится на рисунок. (2.2)). Величина e_n вычисляется по таблице в зависимости от средней многолетней месячной температуры воздуха.

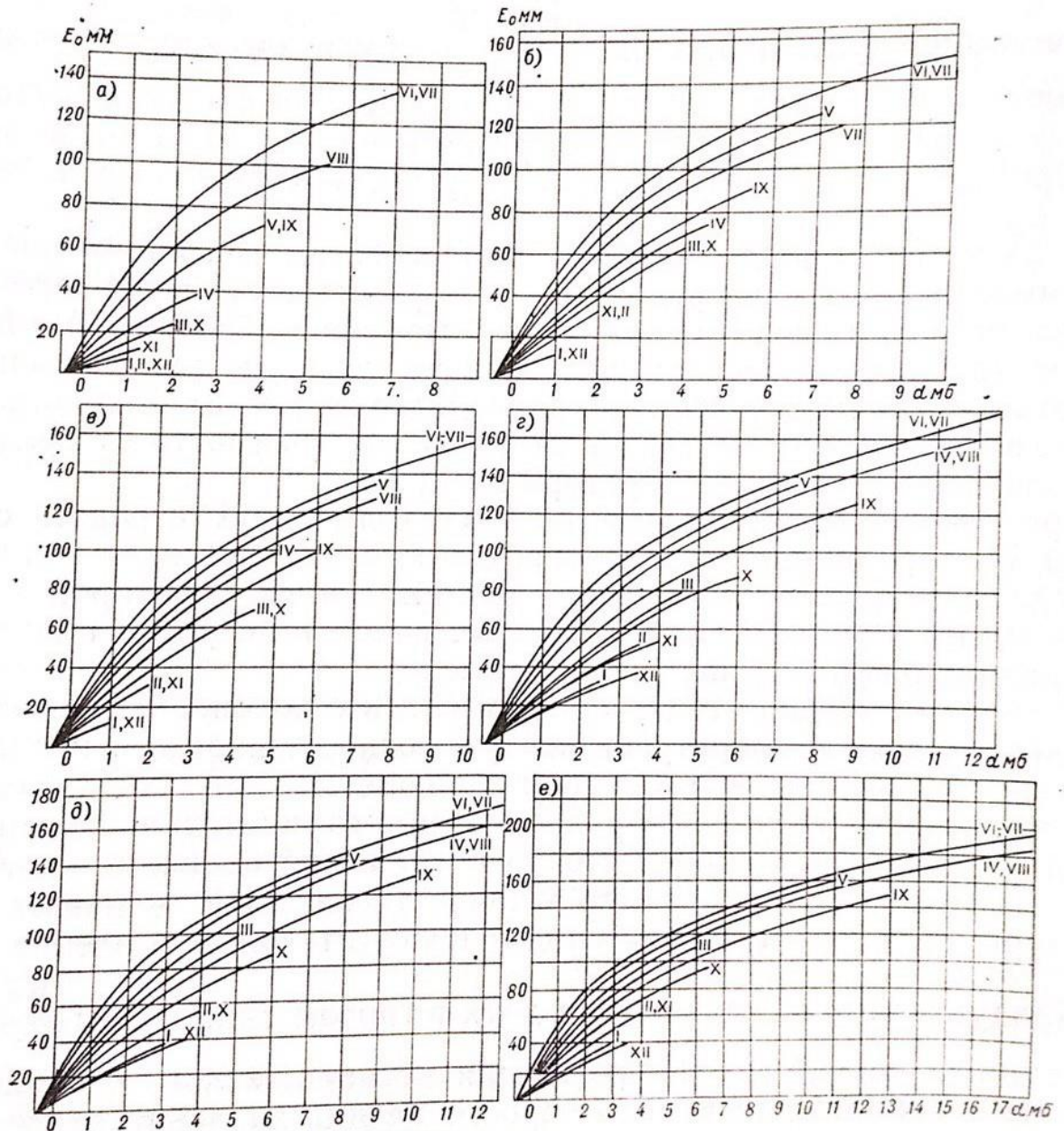


Рисунок (2.2) – Зависимость испаряемости E_0 (мм) от величины d (мб) для различных геоботанических зон. а – тундры и лесотундры, б – хвойный леса, в – смешанные леса, г – лиственные леса, д – лесостепи, е – степи.

Римские цифры у кривых означает месяцы года.

3. Исходные данные и промежуточные расчеты

Расчеты испарения с поверхности почвы за месяцы теплового периода конкретных лет по методу А.Р. Константинова проводились для условий лесной, лесостепной и степной зон России. Испарения рассчитывалось по данными наблюдений за температурной и влажностью воздуха на шести водно балансовых станциях: Подмосковная, Валдайская (лесная зона), Нежнедевицкая, Каменная Степь (лесостепная зона), Дубовская, Велико-Анадольская (степная зона).

Целью нашей работы было сравнения определенного испарения по методу Константинова с испарением, измеренным с помощью почвенных испарителей. Последнее испарения считалось нами за эталонное.

На каждой станции расчет испарения был проведен за семь-восемь теплых периодов различных лет. При этом продолжительность периодов в каждом году определялось детали начала и окончание наблюдений за испарением по испарителями ГГИ-500-50 или ГГИ-500-100.

Исходные данные по месячным величинам температуры и влажности воздуха приведены в табл. 3.1.1.

Таблица - 3.1–Исходные данные по испарению (Е, гПа), температуре воздуха (t, °С) и влажности воздуха (гПа)

Ст. Подмосковная

1964

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	56	102	77	60	24	10
t	10,8	18	19,1	15,2	11,1	6,6
e	9,8	14,2	14,8	18,2	10,4	8,8

1965

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	61	124	85	89	46	21
t	9,2	15	15,6	14,8	12,3	3,4
e	8,4	12,4	14,3	13,2	12,2	6,7

1966

месяцы	VI	VII	VIII	IX
E	71	96	58	33
t	8,1	14,3	15,4	18
e	8,5	10,9	12,2	15,6

1968

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX
E	108	111	40	165	11
t	11,2	17,4	15	16,6	9,9
e	8,9	11,6	13,5	15,1	10

1970

месяцы	VI	VII	VIII	IX
E	73	83	45	45
t	15,1	18,7	15,7	10,6
e	12,1	14,8	13,2	10,8

1971

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX
E	30	66	58	61	71	22
t	2,9	11,7	15,4	16,5	15,8	10
e	5,3	8,3	13,6	15,3	14,3	10,8

1972

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
E	58	79	97	32	24	9
t	11,6	18,1	21,4	19,9	10,2	4,4
e	9,8	15,1	18,6	15,4	9,5	7,3

1978

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX
E	49	82	82	90	83
t	9,6	13,2	15,2	14,8	8,9
e	8,1	11,6	13,7	14	10

1969

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX
E	71	101	68	65	28
t	9,4	13,7	16	14,7	9
e	7,9	10,3	14	12,9	9,6

1971

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
E	97	94	76	76	27	28
t	11,1	14,9	15,5	15,3	9,2	2,9
e	7,5	12,1	13,2	13,8	10	6,6

1972

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX
E	75	100	65	29	18
t	14	17,4	20,7	19,2	10,3
e	8,2	13,1	17,7	13,2	9,2

1973

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX
E	28	82	129	72	68	25
t	4,7	10,9	16,5	18,2	14,8	6,6
e	5,9	8,4	12,1	13,3	12,4	8,4

1974

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
E	42	101	114	51	22	18
t	7,1	15,1	16,8	14,5	12,1	6,7
e	7,1	11,9	15	13,3	10,9	8,4

1975

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX
E	46	32	72	96	36	34
t	6	13,9	14,4	17,8	14,7	12,3
e	6,6	9,3	11,4	13,8	12,6	11,2

Ст. Нижнедевицкая

1974

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	32	92	97	111	72	22	21
t	4,3	12,2	16,7	18,6	17,6	14,9	10,9
e	5,4	9,3	13,3	15,7	12,6	9,5	9,1

1975

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	71	128	86	48	68	35	17
t	12,6	18,8	21,8	20,1	17,9	15,4	4,6
e	8,3	9,8	14	13,7	12,5	11,2	6

1976

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Е	43	89	71	76	81	22
t	8,6	11,7	15,4	16,7	16	12
e	7,6	9	11,7	14,6	13,4	9,1

1977

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	41	122	112	108	53	58	22
t	8,6	15,4	17,6	19,6	17,3	11,1	3,8
e	7,9	10,3	14,5	15,2	14	9,7	6,4

1979

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX
Е	141	53	68	86	52
t	1835	19,4	17,9	18,9	13,4
e	9,7	10,8	14,2	13,6	12,1

1980

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	31	81	116	108	44	44	19
t	6,3	11,2	18	18,8	16	12,6	5,8
e	7,2	8,9	13,7	14,9	13,4	11,6	7,8

1981

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	39	132	79	40	38	39	21
t	3,7	14,7	21,7	22,4	19,9	13,2	8,2
e	5,6	8,2	13,9	14,7	14,8	11	8,4

Ст. Каменная Степь

1975

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
E	73	45	72	84	30	24
t	18,7	22,8	20,2	17,8	15,7	4,3
e	8,3	12,2	14,2	12,5	10,7	5,9

1976

месяцы	VI	VII	VIII	IX	X
E	89	99	55	28	16
t	15,8	16,5	16,3	12,3	0,2
e	12,3	15,1	14,2	9,2	5,3

1977

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
E	138	54	60	49	36	20
t	16,1	17,9	19,7	17,7	11,5	3,3
e	10,6	15,2	15,8	13,5	9,3	6,3

1978

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
E	46	161	100	60	39	34	24
t	7	12	15,2	18,2	18	12,5	4,9
e	5,8	9,6	11,9	14,1	11,9	10,7	7

1979

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
E	177	54	45	31	48	25
t	18,8	18,7	18,8	20	13,8	4,6
e	9,2	10,8	14,8	12,2	12,1	6,6

1980

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
E	147	141	40	51	43	27
t	11,6	18,3	19,8	16,4	13	5,7
e	8,8	13,3	14	13,1	11,8	7,2

1981

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
E	40	162	119	77	28	22
t	14,7	21,3	22,1	20,8	13,9	8,5
e	8,1	14,2	15,7	14,6	10,3	8,2

Ст. Дубовская

1964

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	51	92	94	100	53	28	10
t	8	14,4	21,2	22	19	15,8	8,6
e	7,9	12,4	17	16,6	14,4	10,4	8,1

1965

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Е	32	74	57	30	29	21
t	5,9	15,4	21,2	24,8	22,8	16,8
e	5,6	10,4	14	12,3	10,6	9

1966

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	30	70	58	85	54	41	48
t	3,4	11,9	16,2	18,8	25,8	24,8	15
e	6,7	8,9	10,4	14,6	15,2	13,1	10

1967

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	56	68	27	43	18	19
t	19,3	19	22,5	22,7	15,3	10,9
e	10,1	13,1	12	15,7	8,6	8,8

1968

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	59	64	35	38	49	16	24
t	9,5	18,7	20,7	22,7	22,8	18,7	8,4
e	6,7	11	12,4	12	12,7	11	9,2

1969

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX
Е	82	42	93	27	22
t	14,6	21,6	20,6	22,9	16,6
e	10,1	13,2	14,4	12,6	9,8

1970

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	75	93	117	49	77	33	16
t	12,6	16,3	18,7	25,3	20,2	15,5	7,8
e	9,6	10,2	12,2	13,6	14,7	9,8	8,3

Ст. Велико-Анадольская

1974

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	32	92	97	111	72	22	21
t	4,3	12,2	16,7	18,6	17,6	14,9	10,9
e	5,4	9,3	13,3	15,7	12,6	9,5	9,1

1975

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	71	128	86	48	68	35	17
t	12,6	18,8	21,8	20,1	17,9	15,4	4,6
e	8,3	9,8	14	13,7	12,5	11,2	6

1976

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Е	43	89	71	76	81	22
t	8,6	11,7	15,4	16,7	16	12
e	7,6	9	11,7	14,6	13,4	9,1

1977

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	месяцы
Е	41	122	112	108	53	58	Е
t	8,6	15,4	17,6	19,6	17,3	11,1	t
e	7,9	10,3	14,5	15,2	14	9,7	6,4

1979

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX
Е	141	53	68	86	52
t	1835	19,4	17,9	18,9	13,4
e	9,7	10,8	14,2	13,6	12,1

1980

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	31	81	116	108	44	44	19
t	6,3	11,2	18	18,8	16	12,6	5,8
e	7,2	8,9	13,7	14,9	13,4	11,6	7,8

1981

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	39	132	79	40	38	39	21
Т	3,7	14,7	21,7	22,4	19,9	13,2	8,2
Е	5,6	8,2	13,9	14,7	14,8	11	8,4

Таблица – 3.2 Поправки к температуре и влажности воздуха (верхняя строка – поправка к температуре, нижняя строка– поправка к влажности воздуха)

t	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
32			-0,7	-0,5	-0,9	-1,1	-1,9	-3,9	-6	-5,3	-4	
			-1,1	-0,9	-0,6	-0,4	-0,9	-2	-3,4	-3,8	-3,5	
31			-0,6	-0,3	-0,8	-1	-1,9	-4	-6,1	-5,4	4	
			-0,9	-0,7	-0,5	-0,4	-0,9	-2,1	-3,5	-3,8	-3,5	
30			-0,5	-0,2	-0,6	-0,9	-2	-4,2	-6,3	-5,6	-4,1	
			-0,7	-0,6	-0,3	-0,3	-0,9	-2,3	-3,7	-3,8	-3,4	
29			-0,3	-0,1	-0,4	-0,8	-2	-4,4	-6,4	-5,7	-4,2	
			-0,5	-0,3	-0,2	-0,3	-1	-2,4	-3,9	-3,8	-3,4	
28			-0,2	0	-0,1	-0,7	-2	-4,6	-6,6	-5,8	-4,3	
			-0,3	-0,1	-0,1	-0,3	-1,1	-2,5	-4,1	-3,8	-3,2	
27			0	0,3	0	-0,6	-2,1	-4,8	-6,8	-5,9	-4,3	
			-0,1	0	0	-0,3	-1,2	-2,7	-4,3	-3,8	-3,1	
26			0,2	0,5	0,1	-0,5	-2,1	-5	-7	-6	-4,4	
			0,1	0,2	0,1	-0,3	-1,3	-2,9	-4,4	-3,7	-3	
25			0,4	0,7	0,4	-0,4	-2,1	-5,3	-7,1	-6,1	-4,4	
			0,2	0,4	0,2	-0,3	-1,4	-3,1	-4,5	-3,6	-2,9	
24			0,6	0,9	0,7	-0,3	-2,2	-5,6	-7,3	-6,2	-4,5	
			0,4	0,5	0,3	-0,2	-1,5	-3,3	-4,6	-3,6	-2,8	
23			0,8	0,8	0,9	-0,2	-2,2	-5,9	-7,4	-6,2	-4,5	
			0,4	0,6	0,4	-0,2	-1,5	-3,5	-4,6	-3,6	-2,8	
22			1	0,7	1,1	-0,1	-2,3	-6,2	-7,6	-6,3	-4,6	
			0,5	0,7	0,5	-0,1	-1,6	-3,7	-4,6	-3,6	-2,7	
21			1,2	1,3	1,3	0	-2,4	-6,5	-7,8	-6,4	-4,7	
			0,6	0,9	0,5	-0,1	-1,6	-3,9	-4,6	-3,6	-2,7	
20			1,5	2	1,5	0,1	-2,5	-6,8	-8	-6,5	-4,7	
			0,8	1	0,6	0	-1,7	-4	-4,6	-3,6	-2,6	
19			1,7	2,3	1,7	0,2	-2,5	-7,2	-8,2	-6,5	-4,7	
			0,9	1,1	0,7	0	-1,7	-4	-4,6	-3,6	-2,6	
18			1,9	2,5	1,9	0,3	-2,6	-7,5	-8,4	-6,6	-4,8	
			1	1,2	0,9	0,1	-1,7	-4,1	-4,6	-3,6	-2,5	
17			2,1	2,7	2,1	0,4	-2,7	-7,8	-8,7	-6,6	-4,8	
			1,1	1,3	1	0,1	-1,7	-4,1	-4,6	-3,6	-2,5	
16			2,3	3	2,3	0,6	-2,8	-8,1	-9	-6,7	-4,9	
			1,1	1,4	1,1	0,2	-1,7	-4,1	-4,6	-3,6	-2,4	

t	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
15			2,5	3,2	2,5	0,7	-2,9	-8,3	-9,3	-6,7	-4,9	
			1,1	1,5	1,1	0,2	-1,7	-4,1	-4,6	-3,5	-2,3	
14			2,8	3,4	2,6	0,7	-3	-8,6	-9,5	-6,8	-4,9	
			1,2	1,6	1,2	0,3	-1,7	-4,1	-4,6	-3,5	-2,2	
13			2,5	3,7	2,8	0,8	-3	-8,9	-9,8	-6,8	-4,9	
			1,2	1,6	1,2	0,4	-1,7	-4,1	-4,6	-3,4	-2,1	
12			3,2	3,9	3	0,9	-3,1	-9,1	-10,2	-6,9	-4,9	
			1,3	1,7	1,3	0,5	-1,6	-4	-4,5	-3,3	-2	
11			3,5	4,1	3,1	1	-3,1	-9,3	-10,5	-7	4,9	
			1,3	1,7	1,3	0,5	-1,6	-3,9	-4,4	-3,3	-2	
10			3,7	4,3	3,2	1	-3,2	-9,5	-10,7	-7	-4,8	
			1,4	1,8	1,4	0,6	-1,5	-3,8	-4,3	-3,2	-1,9	
9			3,9	4,5	3,3	1	-3,4	-9,7	-10,5	-7,1	-4,8	
			1,4	1,9	1,4	0,6	-1,5	-3,7	-4,3	-3	-1,9	
8			4,2	4,7	3,4	1	-3,5	-10	-11,2	-7,2	-4,7	
			1,4	2	1,4	0,6	-1,4	-3,6	-4,2	-2,8	-1,8	
7			4,5	4,9	3,5	1	-3,5	-10,2	-11,4	-7,2	-4,7	
			1,5	2	1,4	0,6	-1,4	-3,4	-4	-2,7	-1,8	
6			4,7	5,1	3,6	1,1	-3,6	-10,3	-11,6	-7,3	-4,6	
			1,6	2	1,3	0,5	-1,3	-3,3	-3,9	-2,6	-1,7	
5			4,9	5,3	3,7	1,1	-3,7	-10,4	-11,9	-7,4	-4,6	
			1,7	2	1,3	0,5	-1,2	-3,1	-3,7	-2,5	-1,7	
4			5,2	5,6	3,8	1	-3,8	-10,5	-12,1	-7,6	-4,6	
			1,8	1,9	1,2	0,4	-1,1	-2,9	-3,5	-2,3	-1,6	
3			5,5	5,6	3,9	1	-3,8	-10,7	-12,2	-7,6	-4,6	
			1,8	1,8	1,2	0,4	-1,1	-2,7	-3,3	-2,2	-1,5	
2			5,9	5,7	4	1,1	-3,9	-10,9	-12,4	-7,7	-4,5	
			1,9	1,7	1,1	0,3	-1	-2,6	-3,2	-2,1	-1,4	
1			6,2	5,8	4	1,1	-3,9	-11	-12,5	-7,7	-4,5	
			1,9	1,6	1	0,3	-1	-2,5	-3	-2,1	-1,4	
0			6,6	5,9	4,1	1,1	-4	-11	-12,7	-7,8	-4,4	
			2	1,4	0,9	0,3	-0,9	-2,4	-2,8	-2	-1,3	
-1			7	6	4,1	1,1	-4	-11	-12,7	-7,8	-4,4	
			2	1,4	0,9	0,3	-0,9	-2,3	-2,7	-1,9	-1,3	
-2			7,3	6,1	4,1	1,1	-4	-11,1	-12,8	-7,9	-4,4	
			2	1,3	0,8	0,2	-0,8	-2,2	-2,6	-1,8	-1,2	

Таблица 3.3 -Испарения за месяцы конкретного года по методике А.Р.Константинова

t	e	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1			11	17	26	30	18	7																				
2			11	17	26	31	22	14																				
3			11	17	26	33	26	21																				
4			11	17	26	35	31	27	19	11																		
5			11	17	26	35	35	35	26	17																		
6			11	17	25	35	38	42	33	23																		
7			11	16	25	35	42	50	40	29	20	11																
8			11	16	25	34	41	50	45	39	29	20																
9			11	15	25	33	41	49	50	49	37	29																
10			11	15	24	32	40	49	54	59	48	37	24	11														
11			11	15	23	31	39	47	54	59	53	46	35	23														
12			11	15	22	30	37	45	53	60	57	55	45	35														
13			11	15	22	29	36	43	52	60	62	65	56	48	35	21												
14			11	14	21	28	35	41	50	58	62	66	61	56	45	36												
15			11	14	21	27	34	39	48	56	61	67	66	64	55	51												
16			11	14	20	26	32	38	45	53	60	68	70	73	64	65	42	30	21	11								
17			11	14	20	26	30	36	43	50	57	65	69	73	69	71	53	42	31	20								
18			11	14	20	25	29	34	41	48	54	62	68	73	73	76	63	54	41	29								
19			11	13	19	24	28	32	38	45	52	58	66	74	78	82	74	65	51	37	30	22	16	11				
20			11	13	18	22	26	30	36	42	49	55	63	70	75	81	77	72	62	51	42	33	26	19				
21			11	13	17	21	24	28	34	39	46	52	60	66	72	80	80	79	73	65	54	44	36	27				
22			11	13	15	19	23	27	32	37	42	48	56	63	70	78	82	87	83	79	67	54	45	35	27	22	17	11
23			11	13	15	18	22	26	30	35	40	46	52	60	66	74	78	84	83	82	74	65	57	48	39	32	26	20
24			11	13	15	17	21	25	29	33	38	43	48	55	62	70	75	81	83	84	81	76	69	61	51	42	35	29
25			12	13	14	17	20	24	28	31	35	40	45	50	58	65	72	78	83	87	87	87	80	74	64	53	45	38
26			12	13	14	17	20	23	27	30	34	38	49	48	55	61	67	73	77	81	84	85	81	78	71	64	58	52
27			12	13	14	17	20	22	25	29	33	36	54	45	51	57	32	68	72	76	80	83	82	82	78	76	71	66
28			12	12	14	16	19	21	24	27	31	34	58	43	48	52	57	62	67	71	76	81	83	86	86	87	83	79
29			12	12	14	15	19	20	23	25	29	32	49	41	45	49	54	58	62	66	71	76	78	81	83	85	83	82
30			11	12	14	15	18	19	22	24	27	30	40	38	42	46	50	54	58	62	66	70	73	76	79	82	84	85
31			11	12	13	14	17	19	21	23	26	29	32	36	40	43	47	50	54	58	61	64	68	71	76	80	84	88

Эти данные, согласно методике Константинова, должны быть исправлены на так называемый сезонный хозяйственные метеозаписей. Это испарения производилось в соответствии с таблицами, которые мы позаимствовали в работе таблицы (3.1). Исправленные значения надо отметить, что в отдельные поправки сильно изменяют наблюдаемые значения температуры и влажности воздуха.

Температура и влажности воздуха приводятся в таблице 3.1

Испарения определялись по этим исправленным значениям по таблице 3.2 и 3.3, также заимствованной из работы.

Рассчитанные значения испарения по методике Константинова ($E_{расч}$) приводятся в таблице 3.5 анализа этих значения и их сравнение с данными наблюдений за испарением по почвенным испарителям ($E_{и}$) нагадили, что в лесной и лесостепной зонах.

4. Результаты расчета испарения по методу А.Р. Константинова и их анализ.

В таблице 4.1 приведены исправленные (расчетные) значения температуры и влажности воздуха, а также измеренные и рассчитанные значения испарения

Таблица 4.1

Ст. Подмосковная

1964

Месяц	V	VI	VII	VIII	IX	X
E	56	102	77	60	24	10
t расч	13,9	18,3	16,6	6,9	0,6	-0,6
e расч	11,1	14,3	13,1	14,1	6	6,1
E расч	66	73	73	5	18	25

1965

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
E	61	124	85	89	46	21
t расч	12,5	15,7	12,8	6,5	2,1	-4,2
e расч	9,8	12,6	12,6	9,1	7,7	4,5
E расч	62	73	48	29	15	5

1966

месяцы	VI	VII	VIII	IX
Е	71	96	58	33
t расч	9,1	11,3	7,1	9,6
е расч	9,1	9,2	8,1	11
Е расч	49	59	40	37

1968

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX
Е	108	111	40	165	11
t расч	14,3	17,8	12,2	8,8	-0,8
е расч	10,2	11,7	11,8	11	5,7
Е расч	62	68	45	29	22

1970

месяцы	VI	VII	VIII	IX
Е	73	83	45	45
t расч	15,8	16,2	7,6	-0,1
е расч	12,3	13,1	9,1	6,5
Е расч	70	73	39	7

1971

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Е	30	66	58	61	71	22
t расч	8,5	14,7	16,1	13,8	7,7	-0,7
е расч	7,1	9,6	13,8	13,6	10,2	6,5
Е расч	49	61	64	45	29	5

1972

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	58	79	97	32	24	9
t расч	14,6	18,4	19	13,1	-0,5	-3,2
е расч	11,1	15,2	17	11,4	5,2	5
Е расч	67	76	65	65	19	10

1978

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX
Е	49	82	82	90	83
t расч	12,8	14	12,3	6,5	-1,6
е расч	9,5	12	12	9,9	5,7
Е расч	62	61	45	20	13

Ст. Валдайская

1969

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX
Е	71	101	68	65	28
t расч	12,7	14,4	13,2	6,4	-1,5
е расч	9,3	10,6	12,3	8,8	5,3
Е расч	60	67	56	23	14

1971

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	97	94	76	76	27	28
t расч	14,4	15,6	12,7	7	-1,3	-4,8
е расч	8,8	12,3	11,5	9,7	5,7	4,4
Е расч	58	70	56	20	20	14

1972

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX
Е	75	100	65	29	18
t расч	13,6	14,7	14,1	12	-0,4
е расч	9,6	11,4	13,8	9,2	4,9
Е расч	62	67	45	60	24

1973

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Е	28	82	129	72	68	25
t расч	10	14	16,9	16	6,5	-4,8
е расч	7,9	9,7	12,2	11,6	8,3	4,4
Е расч	54	62	69	70	40	14

1974

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	42	101	114	51	22	18
t расч	10,6	15,8	14,1	6,8	1,9	-0,5
е расч	8,5	12,1	13,3	9,2	6,4	5,7
Е расч	59	70	56	29	22	20

1975

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Е	46	32	72	96	36	34
t расч	11,1	16,5	15,1	15,2	6,4	2,1
е расч	8,6	10,5	11,7	12,1	8,5	6,7
Е расч	59	65	66	66	23	14

Ст. Нижнедевинцкая

1974

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	32	92	97	111	72	22	21
t расч	9,9	15,2	17,1	16,1	10,1	5,6	3,9
е расч	7,2	11	13,4	14	8,5	4,9	5,8
Е расч	49	67	73	64	59	35	31

1975

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	71	128	86	48	68	35	17
t расч	16,3	20,5	21,7	17,6	10,4	6,1	-2,8
е расч	9,9	10,5	13,9	12	8,4	6,6	3,5
Е расч	60	52	70	68	59	35	20

1976

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Е	43	89	71	76	81	22
t расч	13,1	12,6	12,5	14	7,9	1,8
е расч	9,5	9,5	10	12,9	9,3	4,6
Е расч	62	62	62	56	39	31

1977

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	41	122	112	108	53	58	22
t расч	13,1	17,9	17,9	17,1	9,5	0,6	-3,8
е расч	9,8	11,4	14,6	13,5	9,9	5,3	4,1
Е расч	62	62	76	69	48	30	20

1979

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX
Е	141	53	68	86	52
t расч	20,2	19,6	15,3	11,7	3,6
е расч	10,4	10,8	12,5	9,6	7,5
Е расч	49	55	64	57	19

1980

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	31	81	116	108	44	44	19
t расч	11,4	14,3	18,3	16,3	7,9	2,8	-1,5
е расч	9,2	10,2	13,8	13,2	9,3	7	5,2
Е расч	59	62	73	73	39	21	14

1981

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	39	132	79	40	38	39	21
t расч	9,3	17,2	21,6	20,1	13,1	3,4	1
е расч	7,4	9,3	13,8	13,1	10,8	6,4	5,6
Е расч	49	50	70	70	65	26	18

Ст. Каменная Степь

1975

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	73	45	72	84	30	24
t расч	20,4	22,6	17,7	10,3	6,7	-3,3
е расч	9	12	12,5	8,4	6,1	3,6
Е расч	42	52	73	54	42	26

1976

месяцы	VI	VII	VIII	IX	X
Е	89	99	55	28	16
t расч	16,4	13,8	8,2	2,1	-7,6
е расч	12,5	13,4	10,1	4,7	3,3
Е расч	73	56	37	31	12

1977

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	138	54	60	49	36	20
t расч	13,8	18,2	17,2	10,2	1,3	-4,3
е расч	9,5	15,3	14,1	9,4	4,8	4,1
Е расч	62	76	69	59	30	17

1978

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	46	161	100	60	39	34	24
t расч	11,9	15	15,9	15,6	10,5	2,7	-2,5
е расч	8,8	10,9	12,1	12,4	7,8	6,1	4,5
Е расч	48	67	70	54	70	26	10

1979

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	177	54	45	31	48	25
t расч	20,5	18,9	16,3	13,2	4,3	-2,8
е расч	9,9	10,8	13,1	8,2	7,5	4,1
Е расч	46	58	73	52	19	20

1980

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	147	141	40	51	43	27
t расч	14,6	18,6	17,3	8,3	3,2	-1,6
е расч	10,1	13,4	12,3	9	7,2	4,6
Е расч	61	74	69	39	21	14

1981

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	40	162	119	77	28	22
t расч	17,2	21,3	19,8	14,3	4,4	1,4
е расч	9,8	14,1	14,1	10,7	5,7	5,2
Е расч	57	72	75	61	31	30

Ст. Дубовская

1964

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	51	92	94	100	53	28	10
t расч	12,7	10,7	21,2	19,7	12,1	6,8	1,5
е расч	9,9	13,6	16,9	15	14	5,8	5,1
Е расч	62	69	79	81	57	42	31

1965

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Е	32	74	57	30	29	21
t расч	11	17,9	21,2	22,7	16,9	8,1
е расч	7,6	11,5	13,9	10,9	2,6	4,4
Е расч	54	62	72	46	14	25

1966

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	30	70	58	85	54	41	48
t расч	8,9	15,8	18,5	19	23,7	19,5	5,7
е расч	8,5	10,6	11,5	14,6	12,3	10	5,4
Е расч	49	68	66	82	48	49	35

1967

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	56	68	27	43	18	19
t расч	21	19,2	20,3	16,8	6	3,9
е расч	10,8	13,1	10,5	12,2	4	5,5
Е расч	52	74	55	69	25	31

1968

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	59	64	35	38	49	16	24
t расч	13,8	20,4	20,7	20,5	16,9	10,5	1,2
е расч	8,5	11,7	12,3	10,5	9,2	6,4	6,4
Е расч	58	63	60	52	50	39	18

1969

месяцы	V	VI	VII	VIII	
Е	82	42	93	27	22
t расч	17,1	21,5	18,2	17	7,9
е расч	11,2	13,1	12,8	9,1	5,2
Е расч	65	48	73	50	34

1970

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	75	93	117	49	77	33	16
t расч	16,3	18,6	18,9	23,2	13,4	6,5	0,6
е расч	11,2	11,3	12,2	12,2	10,7	5,2	5,5
Е расч	68	58	66	52	65	35	30

Ст. Велико-Анадольская

1974

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	32	92	97	111	72	22	21
t расч	9,9	15,2	17,1	16,1	10,1	5,6	3,9
e расч	7,2	11	13,4	14	8,5	4,9	5,8
Е расч	49	67	73	64	59	35	31

1975

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	71	128	86	48	68	35	17
t расч	16,3	20,5	21,7	17,6	10,4	6,1	-2,8
e расч	9,9	10,5	13,9	12	8,4	6,6	3,5
Е расч	60	52	70	68	59	35	20

1976

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Е	43	89	71	76	81	22
t расч	13,1	12,6	12,5	14	7,9	1,8
e расч	9,5	9,5	10	12,9	9,3	4,6
Е расч	62	62	62	56	39	31

1977

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е							
t расч	13,1	17,9	17,9	17,1	9,5	0,6	-3,8
e расч	9,8	11,4	14,6	13,5	9,9	5,3	4,1
Е расч	62	62	76	69	48	30	20

1979

месяцы	V	VI	VII	VIII	IX
Е	141	53	68	86	52
t расч	20,2	19,6	15,3	11,7	3,6
e расч	10,4	10,8	12,5	9,6	7,5
Е расч	49	55	64	57	19

1980

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	31	81	116	108	44	44	19
t расч	11,4	14,3	18,3	16,3	7,9	2,8	-1,5
e расч	9,2	10,2	13,8	13,2	9,3	7	5,2
Е расч	59	62	73	73	39	21	14

1981

месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Е	39	132	79	40	38	39	21
t расч	9,3	17,2	21,6	20,1	13,1	3,4	1
e расч	7,4	9,3	13,8	13,1	10,8	6,4	5,6
Е расч	49	50	70	70	65	26	18

В таблице 4.2 приведены месячные значения измеренного и рассчитанного по методике А.Р. Константинова испарения,

Таблица 4.2– Сравнение измеренного и рассчитанного испарения
Лесная зона

Подмосковная		Валдайская	
<i>Е изм</i>	<i>Е расч</i>	<i>Е изм</i>	<i>Е расч</i>
56	66	71	60
102	73	101	67
77	73	68	56
60	5	65	23
24	18	28	14
10	25	97	58
61	62	94	70
124	73	76	56
85	48	76	20
89	29	27	20
46	15	28	14
21	5	75	62
71	49	100	67
96	59	65	45
58	40	29	60
33	37	18	24
108	62	28	54
111	68	82	62
40	45	129	69
165	29	72	70
11	22	68	40
73	70	25	14
83	73	42	59
45	39	101	70
45	7	114	56
30	49	51	29
66	61	22	22
58	64	18	20
61	45	46	59

		71	29	32	65
		22	5	72	66
		58	67	96	66
		79	76	36	23
		97	65	34	14
		32	65	48	67
		24	19	53	70
		9	10	96	56
		49	62	60	17
		82	61	25	10
		82	45	75	53
		90	20	85	66
		83	13	72	65
		75	68	46	23
		46	69	26	10
		103	48		
		85	29		
		33	7		
среднее,	мм	64,447	44,021	60,727	45,705
δ	мм				32
R					0,5275
δ	%				51
n					91

Таблица – 4.2.2 Лесостепная зона

Каменная степь		Нижнедевицк	
<i>Е изм</i>	<i>Е расч</i>	<i>Е изм</i>	<i>Е расч</i>
73	42	32	49
45	52	92	67
72	73	97	73
84	54	111	64
30	42	72	59
24	26	22	35
89	73	21	31
99	56	71	60
55	37	128	52
28	31	86	70
16	12	48	68
138	62	68	59
54	76	35	35
60	69	17	20
49	59	43	62
36	30	89	62
20	17	71	62
46	48	76	56
161	67	81	39
100	70	22	31
60	54	41	62
39	70	122	62
34	26	112	76
24	10	108	69
177	46	53	48
54	58	58	30
45	73	22	20
31	52	141	49
48	19	53	55
25	20	68	64
147	61	86	57
141	74	52	19
40	69	31	59

		51	39	81	62
		43	21	116	73
		27	14	108	73
		40	57	44	39
		162	72	44	21
		119	75	19	14
		77	61	39	49
		28	31	132	50
		22	30	79	70
				40	70
				38	65
				39	26
				21	18
среднее,	мм	64,595	48,286	65,848	51,174
δ	мм				36
R					0,58
δ	%				55
n					88

Таблица – 4.2.3 Степная зона

Дубовская		Анадольская	
<i>Е изм</i>	<i>Е расч</i>	<i>Е изм</i>	<i>Е расч</i>
51	62	59	68
92	69	107	62
94	79	85	73
100	81	23	56
53	57	14	60
28	42	24	35
10	31	86	62
32	54	50	66
74	62	51	75
57	72	27	53
30	46	34	45
29	14	23	24
21	25	86	74
30	49	71	46
70	68	16	72
58	66	12	45
85	82	33	42
54	48	37	18
41	49	49	61
48	35	102	73
56	52	73	73
68	74	34	74
27	55	65	48
43	69	13	24
18	25	107	78
19	31	67	73
59	58	51	52
64	63	30	50
35	60	18	54
38	52	88	70
49	50	39	70
16	39	52	36
24	18	35	41

	82	65	21	24
	42	48	8	14
	93	73	54	60
	27	50	90	73
	22	34	69	73
	75	68	68	48
	93	58	45	27
	117	66	18	14
	49	52		
	77	65		
	33	35		
	16	30		
среднее, мм	51,089	52,911	49,61	53,317
δ мм				20
R				0,69
δ %				40
n				86

В таблице 4.2 использовали обозначения: δ - среднее квадратическая погрешность расчеты испарения; R – коэффициент корреляции между месячным значениям $E_{изм}$ и $E_{расч}$; δ , % - отношения δ к среднему значения $E_{изм}$ т.е. δ , % - относительная погрешность расчета $E_{расч}$; n – число месяцев, за которые сравнивались $E_{изм}$ и $E_{расч}$.

Данные таблицы 4.2 показывают, что $E_{изм}$ и $E_{расч}$ довольно слабо связаны между собой, так в лесной и лесостепной зонах коэффициент корреляции составляют соответственно только 0,53 и 0,58. В степной зоне связь между $E_{изм}$ и $E_{расч}$ несколько теснее ($R = 0.70$). Связи между $E_{изм}$ и $E_{расч}$ представлены на рисунке 4.1, 4.2, 4.3. Относительные погрешности расчета во всех зонах довольно (недопустимо) велика колеблются от 40 (степная зона) до 50% (лесостепная зона).

На рис.4.1- 4.3 приведены связи между месячными значениями измеренного и рассчитанного испарения в различных природных зонах.

Изложенное позволяет сделать вывод о том, что методика А.Р.

Константинова мало пригодна для расчета испарения с почвы за месяца конкретных лет.

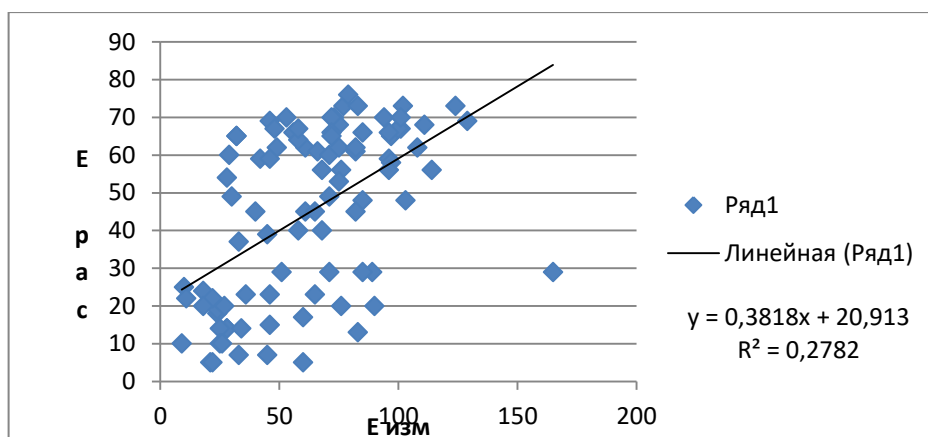


Рисунок 4.1- Связь между измеренным и рассчитанным испарением (мм) в лесной зоне

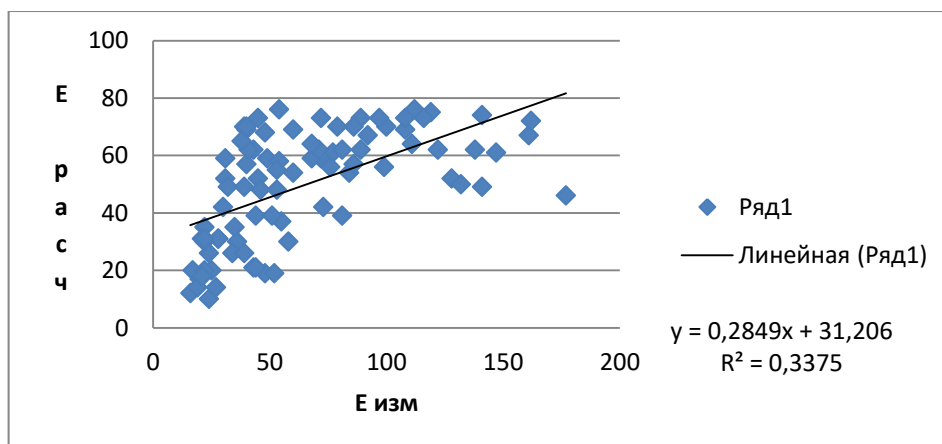


Рисунок 4.2– Связь между измеренным и рассчитанным испарением (мм) в лесо-степная зона

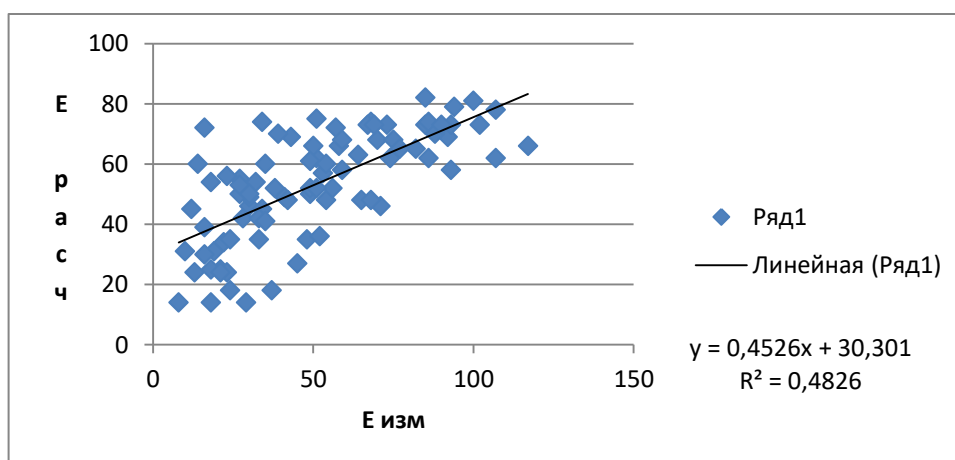


Рисунок 4.3- Связь между измеренным и рассчитанным испарением (мм) степная зона

Заключение

Испарение является важнейшим природным явлением, благодаря ему на нашей планете происходит большой круговорот воды, обеспечивающий существование жизни на земле. Испарение является также элементом расходной части водного баланса различных участков суши, речных бассейнов, озер и водохранилищ. Значения испарения необходимо уметь определять с достаточной точностью.

Одним из методов расчета испарения с поверхности суши является метод А.Р. Константинова, позволяющий определять испарение по данным о температуре и влажности воздуха, за расчетный период. Метод дает удовлетворительные результаты при определении годовых значений среднего многолетнего испарения

В нашей выпускной квалификационной работе предпринята попытка расчета месячного испарения за конкретные годы в лесной, лесостепной и степной зонах России по методу Константинова и сравнения результатов расчета с испарением, полученным с помощью почвенных испарителей, который принималось за эталон в нашей работе. Исследование проводилось на основе данных наблюдений за 7 лет на шести воднобалансовых станциях (две станции в каждой природной зоне). Расчеты и сравнение испарения проведены в общей сложности за 265 месяцев теплого периода года, примерно за 90 месяцев в каждой природной зоне.

Результаты исследования показали, что в лесной и лесостепной зонах методика Константинова занижает месячные значения испарения в среднем на 25-30%. Рассчитанное и наблюдаемое испарение слабо связаны между собой, коэффициенты корреляции между ними составляют в первой зоне 0,53, а во второй 0,50.

Средние квадратические погрешности расчетов соответственно составляют

32 и 36 мм, что относительно средних величин испарения составляет

51% и 55%.

В степной зоне средние месячные величины испарения практически совпадают (50 мм измеренным и 53мм рассчитанные). Здесь отмечается большая теснота связи между измеренным и рассчитанным испарением (коэффициент корреляции равен 0,70). Относительная погрешность заметно меньше, чем в двух первых зонах, но все равно, остается недопустимо высокой, составляет 40%.

Подводя итоги, проведенных исследований, можно прийти к выводу о том, что методика расчета испарения с поверхности почвы за месяца конкретного года, предложением А.Р. Константиновым, приводит к недопустимо большим погрешностям, если за эталон принято испарение, измеренное с помощью испарителей.

Список использованных источников

1. Винников С.Д., Викторова Н.В. Физика вод суши. С.-Петербург.– 2009. 429 с.
2. Константинов А.Р. Испарение в природе. Л.: Гидрометеиздат.– 1968.– 531 с.
3. Константинов А.Р., Астахова Н.И., Левенко А.А.. Методы расчета испарения с сельскохозяйственных полей.
4. Костин С.И., Покровская Т.В. Климатология. Л.: Гидрометеиздат.– 1961–485 с.
5. Материалы наблюдений водно-балансовых станций.
6. Методы изучения и расчета водного баланса. Л.: Гидрометеиздат.– 1981. 393 с.
7. Мишон В.М. Практическая гидрофизика. Л.: Гидрометеиздат.– 1983.– 175 с.
8. Постников А.Н. Формулы для расчета среднего годового испарения с поверхности суши и радиационного баланса увлажненной поверхности. // Проблемы современной гидрологии. Сборник научных трудов гидрологического факультета РГГМУ, – 2004.– С.143 – 153.
9. Постников А.Н. Методы расчета испарения с почвы в различных природных зонах. Ученые записки РГГМУ. –2009.– С. 21-32.
10. Указания по расчету испарения с поверхности суши (проект). Издание ГГИ.–1970. –133 с.
11. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. Л.: Гидрометеиздат.–1976.–96 с.