МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный гидрологический институт» (ФГБУ «ГГИ»)

С Т А Н Д А Р Т О Р Г А Н И З А Ц И И

СТО ГГИ 52.08.37–2015

ВЛАГОЗАПАСЫ И ПРОМЕРЗАНИЕ ПОЧВ, ИСПАРЕНИЕ С ПОЧВЫ И ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РЕГИОНАЛЬНОМ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА

Рекомендации по расчету и прогнозу

Санкт-Петербург

2015

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным бюджетным учреждением «Государственный гидрологический институт» (ФГБУ «ГГИ») Росгидромета

2 РАЗРАБОТЧИКИ В. Ю. Георгиевский, д-р геогр. наук (руководитель темы); С. А. Лавров, д-р техн. наук; Н. А. Сперанская, канд. геогр. наук; И. Л. Калюжный, канд. техн. наук; В. Н. Павлова, канд. техн. наук (ВНИИСХМ)

3 ОДОБРЕН решением методической комиссии ФГБУ «ГГИ», протокол № … , от …

4 УТВЕРЖДЕН и ВВЕДЕН в действие приказом ФГБУ «ГГИ» от ..... № …

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Содержание

1 Область применения 5
2 Нормативные ссылки 5
3 Термины и их определения 6
3 Рекомендации по расчету и прогнозу влагозапасов почвы
и глубины ее промерзания 8
3.1 Расчет и прогноз влагозапасов почвы 8
3.2 Расчет и прогноз глубины промерзания почвы 10
4 Рекомендации по расчету и прогнозу испарения с поверхности почвы и
с водной поверхности 12
5.1 Расчет и прогноз испарения с поверхности почвы 12
5.1.1 Метод взаимодополняющего соотношения 12
5.1.2 Метод Будыко М.И. 13
5.2 Расчет и прогноз испарения с водной поверхности 14
Приложение А (обязательное) Коэффициенты уравнения регрессии для
расчета влагозапасов почвы по различным территориям,
расположенным в бассейне р. Волга 18
Приложение Б (рекомендуемое) Примеры расчета и прогноза изменений
влагозапасов и глубины промерзания почвы, испарения с
поверхности почвы и водной поверхности 26
Библиография 40

Введение

В результате происходящих климатических изменений со второй половины 1970-х годов в бассейнах рек Европейской территории России и, в частности, в бассейне Волги изменились условия формирования стока, что привело к существенной трансформации его распределения внутри года на значительной части рек, характеризующейся, прежде всего, снижением стока весеннего половодья и увеличением зимнего стока.

К числу важнейших факторов, от которых зависят основные составляющие водного баланса водосборов (сток, испарение, питание подземных вод) относятся водопоглотительная и водоудерживающая способность почвенного покрова речных водосборов.

Зимний и весенний сток в значительной степени зависит от температурного режима деятельного слоя почвы и содержания в нем почвенной влаги, которые определяют глубину промерзания почвы, запасы аккумулированной влаги в мерзлом слое, запасы влаги в талом слое, формирующие сток в зимний период. Эти факторы создают условия для зимней миграции влаги к фронту промерзания, что в значительной мере предопределят гидрологическую роль почвенного покрова и, как следствие, сток весеннего половодья.

Испарение с поверхности почвы и водной поверхности является важной составной частью водного режима суши. Взаимодействие двух процессов, инфильтрации влаги в почву и ее потерь на испарение, определяют соотношение поверхностной и подземной составляющих речного стока. В то же время величина испарения является косвенным показателем степени увлажненности территории. Пространственную и временную изменчивость испарения с почвы и с водной поверхности обусловливает температура приземного слоя и влажность воздуха, скорость ветра и радиационный баланс водоема, которые действуя совместно, изменяются во времени и пространстве.

Настоящий стандарт содержит рекомендации по расчету влажности почвы и глубины ее промерзания, испарения с почвы и с водной поверхности и изменений этих характеристик в соответствии с прогнозными значениями температуры воздуха и осадков при региональном изменении климата.

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

ВЛАГОЗАПАСЫ И ПРОМЕРЗАНИЕ ПОЧВ, ИСПАРЕНИЕ С ПОЧВЫ И ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РЕГИОНАЛЬНОМ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА

Рекомендации по расчету и прогнозу

Дата введения

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливают порядок выполнения расчетов величин изменения запасов влаги в почве, глубины ее промерзания, испарения с суши и с водной поверхности в результате воздействия климатических изменений. Результаты расчетов дают возможность выполнить прогноз элементов гидрологического режима речных бассейнов при региональном изменении климата.

1.2 Под прогнозом в Стандарте понимается вероятное среднее значение (математическое ожидание) соответствующих характеристик за многолетний период (не менее 15 лет) при заданном сценарии изменения метеорологических факторов.

1.3 Настоящий стандарт предназначен для практической деятельности в ФГБУ «ГГИ» с целью проведении водохозяйственных и других расчетов по речным бассейнам Европейской территории России (ЕТР), в том числе и в бассейне р. Волга.

Использование стандарта другими организациями и учреждениями при проведении водохозяйственных и других расчетов возможно на основе внутренних распоряжений и приказов по согласованию с ФГБУ «ГГИ» и может носить как рекомендательный, так и обязательный характер.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие нормативные документы:

СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83

СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99

Примечания

1 При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверять действие ссылочных нормативных документов:

- национальных стандартов - в информационной системе общего пользования - на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года;

- нормативных документов и типовых нормативных документов Росгидромета - по РД 52.18.5–2012.

2 Если ссылочный нормативный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) нормативным документом. Если ссылочный нормативный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и их определения

3.1 В настоящем стандарте использоаваны следующие термины и их определения:

3.1.1 **Ансамбль климатических моделей –** группа климатических моделей, построенная на различных принципах расчета климатических характеристик, но определяющая заданную осредненную климатическую характеристику за определенный промежуток времени по определенному пункту, географической или иной зоне .

3.1.2 **Взаимодополняющее отношение** – соотношение между испарением с водной поверхности и поверхности суши, позволяющее проводить взаимный расчёт этих характеристик

3.1.3 **Видимое испарение** – условная климатическая характеристика, представляющая разность между испарением с водной поверхности, за определенный период, и атмосферными осадками за этот же период.

3.1.4 **Влага почвенная** – вода, содержащаяся в почве, которая может быть отделена от твердых частиц с помощью высушивания при температуре 105 ^{0}C.

3.1.5 **Влажность почвы** – безразмерная величина, характеризующая собою содержание в почве влаги. Выражается: а) в виде процента от массы сухой почвы (весовая влажность); б) в процентах от объема почвы (объемная влажность); в) в процентах от содержания влаги, соответствующего тому или иному виду влагоемкости (полной или наименьшей).

3.1.6 **Геоботаническая карта –** схематическая карта расположения геоботанических зон на территории страны.

3.1.7 **Глубина промерзания почвы –** расстояние от поверхности почвы до нижней границы
положения нулевой температуры в почве.

3.1.8 **Дефицит влажности воздуха** – разность между насыщающей и фактической упругостью водяного пара при данных температуре и давлении.

Запас влаги в почве (влагозапас) – абсолютное количество влаги, содержащееся в определенном слое почвы. Выражается в мм водного слоя или в $м^3$/га.

3.1.9 **Запас воды в снежном покрове (снегозапас) –** масса воды в твердом и жидком виде,
содержащийся в данный момент в снежном покрове.

3.1.10 **Интенсивность испарения** – скорость испарения, измеряемая толщиной слоя влаги, испаряющейся в единицу времени (обычно мм/сутки).

3.1.11 **Испарение с водной поверхности –** процесс поступления водяного пара в атмосферу из
водной поверхности .

3.1.12 **Испарение с поверхности почвы –** процесс поступления водяного пара в атмосферу из деятельного слоя почвы и транспирации растительного покрова произрастающего на ее поверхности.

3.1.13 **Испаряемость** – наибольшее количество жидкой влаги, которое может испариться с водной поверхности за определенный промежуток времени в данных климатических или погодных условиях.

3.1.14 **Максимальная упругость водяного пара** – упругость водяного пара в состоянии насыщения, максимально возможная при данной температуре.

3.1.15 **Максимальный (наибольший) запас воды в снежном покрове** – запас воды в снежном
покрове наибольший из измеренных в течении конкретной зимы или рассчитанный по данным измерений за многолетний период.

3.1.16 **Метеорологическая станция** – пункт для производства метеорологических наблюдений, выбранный с удовлетворением в отношении характеристик местности и учетом иных требований.

3.1.17 **Многолетний ряд наблюдений** – сводка результатов регулярных наблюдений над определенным метеорологическим элементом в определенном пункте в течение длительного периода.

3.1.18 **Наименьшая полевая влагоемкость почвы (НВ) –** количество воды, которое почва может задерживать, когда зеркало свободной водной поверхности лежит глубоко и залегающий над ним слой капиллярного насыщения не достигает корнеобитаемого слоя почвы.

3.1.19 **Полная полевая влагоемкость почвы** – наибольшее количество воды, которое может содержаться в почве при положении водного зеркала на одном уровне с поверхностью почвы и весь почвенный воздух замещен водой.

3.1.20 **Почва** – самостоятельное природное тело, обладающее плодородием и образовавшееся из поверхностных слоев горных пород, естественно изменяемых совокупным действием воды, воздуха, живых организмов и их мертвых остатков.

3.1.21 **Промерзание почвы** – распространение зимой в почве нулевой и отрицательных температур.

3.1.22 **Прогноз климатических характеристик** – составление научно-обоснованных предположений об изменениях или будущем состоянии тех или иных климатических характеристик.

3.1.23 **Региональное изменение климата** - изменение климатических характеристик в отдельной административной области или географической зоне.

3.1.24 **Снег** – твердые атмосферные осадки в виде ледяных кристаллов, выпадающие из многих видов облаков.

3.1.25 **Снежный покров** – слой снега на поверхности земли, образовавшийся в результате снегопадов.

4 Рекомендации по расчету и прогнозу влагозапасов почвы и глубины ее промерзания

4.1 Расчет и прогноз влагозапасов почвы

4.1.1 Расчеты запасов влаги в почве производятся для пахотного (0 - 20 см) и метрового слоев (0 - 100 см). Для расчётов используются региональные корреляционные зависимости влажности почвы от среднемесячных значений температуры и осадков. Зависимости получены на основе многолетних наблюдений за данными характеристиками.

Начальные запасы влаги для заданного многолетнего периода задаются на конец октября первого расчетного года.

4.1.2 Для расчетов влагозапасов почвы в холодный период года используется уравнение [1,2]

$$W_{III} = W_X + bTz\frac{W_X}{Wz} + cRz\left(1 - \frac{W_X}{Wz}\right) + d \qquad (4.1)$$

где

$$Tz = \frac{1}{6}\left(T_X^{i-1} + T_{XI}^{i-1} + T_{XII}^{i-1} + T_I^i + T_{II}^i + T_{III}^i\right) \qquad (4.2)$$

$$Rz = 0.5R_X^{i-1} + R_{XI}^{i-1} + R_{XII}^{i-1} + R_I^i + R_{II}^i + R_{III}^i \qquad (4.3)$$

где *I, II,III,…X* – календарные месяцы (общее обозначение *k*);

W_k – средние за *k*-й месяц запасы продуктивной влаги, мм;

T_k^i – среднемесячная температура воздуха за *k*-й месяц в i-м году, ^{0}C;

R_k^i – сумма осадков за *k*-й месяц в *i*-м году; мм;

Wz – константа, равная 45 мм для пахотного слоя почвы, и 180 мм – для метрового слоя почвы;

b, c, – безразмерные коэффициенты, свободный член уравнения *d* имеет размерность мм;

i, i-1 – текущий и последующий год.

4.1.3 Для расчета средних значений запасов влаги в слое почвы Wp_k, мм, за *k-й* месяц для теплого периода года (апрель – октябрь) используется уравнение

$$Wp_k = a_k Wp_{k-1} + b_k T_k + c_k\left(R_{k-1} + R_k\right) + d_k, \qquad (4.4)$$

где a_k, b_k, c_k, d_k – индивидуальные значения коэффициентов и свободного члена для каждого района представленные в приложения А.

В расчетах в качестве среднемесячных величин запасов влаги принято их среднеарифметическое значение из декадных величин.

4.1.4 Для расчета среднемесячных значений запасов влаги в метровом слое почвы W_k, мм, для теплого периода года (апрель – октябрь) используется уравнение

$$W_k = b_k W_{k-1} + c_k \mathrm{Wp}_k + d_k, \qquad (4.5)$$

Wp_k – средние за *k-й* месяц запасы влаги в слое почвы.

Оценки влагозапасов почвы (по данным наблюдений за температурой воздуха и осадков или заданным сценариям), рассчитываются по формулам (4.1) - (4.5).

4.1.5 Примеры расчета и прогноза влагозапасов почвы приведены в приложении Б.1.

4.2 Расчет и прогноз глубины промерзания почвы

4.2.1 Расчет и прогноз промерзания почвы производится согласно СП 22.13330.2011 и СП 131.13330.2012

$$H_{пр} = d_{оп}\sqrt{\sum|T|} \quad (4.6)$$

$$H_{пр.с} = H_{пр} + \Delta H_{пр} \quad (4.7)$$

где $H_{пр.}$ – средняя многолетняя глубина промерзания почвы, при условии постоянства снегозапасов, м;

$\Sigma|T|$ – средняя многолетняя сумма абсолютных значений отрицательных температур за зимний период, ^{0}С;

$d_{оп}$ – эмпирическтй коэффициент, м;

$H_{пр.с}$ – средняя многолетняя глубина промерзания почвы, при условии изменения величины снегозапасов, м;

$\Delta H_{пр.с}$ - величина изменения глубины промерзания за счет отклонения величины снегозапасов в расчетный период от базового.

4.2.2 При региональном изменении климата исходными данными для прогноза глубины промерзания в конкретном пункте являются результаты наблюдений

- над глубиной промерзания почвы за последние 15 - 20 лет по конкретным пунктам наблюдений;

- за максимальными запасами воды в снеге (снегозапасами) по конкретным пунктам наблюдений за последние 15 – 20 лет;

- за температурой воздуха холодного периода года по конкретным пунктам наблюдений за последние 15 – 20 лет;

- региональный заданный сценарий температуры воздуха холодного периода года;

- региональный заданный сценарий максимальных запасов воды в снеге на водосборе.

4.2.3 Результаты наблюдений над глубиной промерзания почвы и температурой воздуха холодного периода года принимаются по данным метеорологических станций, расположенных в пределах речного бассейна.

Последовательность выполнения расчета и прогноза глубины промерзания почвы следующая:

- по ряду наблюденных значений наибольших глубин промерзания почвы за год (не менее 15 лет) определяется средняя многолетняя величина глубины промерзания $H_{наб.}$, м;

- по ряду наблюденных значений рассчитывается средняя многолетняя сумма суточных температур воздуха $\Sigma(-T)$ при $T < 0$, ^{0}С;

- учитывая значения $\Sigma|T|$ и наблюденную глубину промерзания почвы $H_{пр.}$ по формуле (4.6) определяется средняя многолетняя величина $d_{оп}$ без учета динамики максимальных снегозапасов, то есть для средних по водосбору запасов воды в снеге. При наличии данных о динамики максимальных снегозапасов за рассматриваемый период рассчитываем их среднюю величину, мм.

Используя полученную величину $d_{оп}$ определяем искомую глубину промерзания для конкретного пункта наблюдений в заданном речном бассейне по формуле (4.6).

Пример расчета величины $d_{оп}$ приведен в приложении Б.2.

4.2.4 Влияние снежного покрова на глубину промерзания. не отражено в формуле (4.6). Данный фактор учитывается при расчете величины изменения глубины промерзания за счет отклонения величины снегозапасов в расчетный период от их средней величины за последний наблюдаемый период 1978-2011 гг. $\Delta H_{пр}$, м, которая определяется по формуле

$$\Delta H_{пр} = 0{,}39 \cdot H_{пр.ср} (1 - H_{сн}/H_{.сн.ср}), \qquad (4.8)$$

где $H_{пр.ср}$ – средняя многолетняя глубина промерзания за последний наблюдаемый период времени 1978 -2011 гг., м;

$H_{сн}$ и $H_{.сн.ср}$ – средние максимальные снегозапасы на водосборе расчетного периода и средние многолетние максимальные снегозапасы за последний наблюдаемый период времени 1978 -2011 гг., мм, соответственно.

4.2.5 Пример расчета и прогноза глубины промерзания почвы представлен в приложении Б 3.

4.2.6 Средние глубины промерзания почв в бассейне р.Волга, полученные по данным инструментальных наблюдений, за периоды с 1950 по 1977 гг. и с учетом климатических изменений с 1978 г. по 2012 г. приведены в Приложении Б 3.

5 Рекомендации по расчету и прогнозу испарения с поверхности почвы и с водной поверхности

5.1 Расчет и прогноз испарения с поверхности почвы

5.1.1 Метод взаимодополняющего соотношения

5.1.1.1 При наличии в исследуемом регионе наблюдений за испарением с водной поверхности и испарением с поверхности почвы величина будущего сезонного испарения определяется по методу взаимодополняющего соотношения. На предварительном этапе необходимо получить среднюю по региону величину испарения с поверхности почвы и испарения с водной поверхности.

Основная расчетная формула имеет следующий вид [3]

$$E_{поч} = E_{вода}\, K, , \qquad (5.1)$$

где $E_{поч}$ – среднее сезонное испарение с поверхности почвы, мм;

$E_{вода}$ – среднее испарение с водной поверхности, мм;

K_1 – переходный коэффициент, величина которого определяется по формуле

$$K_1 = a\, e^{-nx}, \qquad (5.2)$$

где x – величина видимого испарения (испарение с водной поверхности за вычетом величины осадков), мм;

e – основание натуральных логарифмов;

a и n – безразмерные коэффициенты.

Для получения коэффициентов a и n выбирается период параллельных наблюдений за двумя видами испарения. Для каждого года рассчитывается сезонная (за теплый период года) величина испарения с водной поверхности, почвы и сумма осадков. Затем оценивается величина видимого испарения, т.е. испарение с поверхности воды за вычетом суммы осадков за тот же период для каждого года. Для каждого года определяется величина коэффициентов a и n, затем весь диапазон изменения видимого испарения делится на части по величине определенных коэффициентов.

Повышению точности расчетных оценок величины испарения способствует дробность деления всего диапазона изменений величины видимого испарения на отдельные части: чем уже интервал изменения величины испарения, тем более точно можно определить эмпирические параметры a и n в уравнении $K_1=a\,e^{-nx}$. Это особенно важно для регионов засушливой зоны.

5.1.1.2 При прогнозе величина испарения с поверхности почвы рассчитывается по 5.1 - 5.2 с помощью заданной величины осадков и прогнозных значений испарения с водной поверхности (приложения Б.6).

5.1.1.3 Пример расчета и прогноза испарения с поверхности почвы методом взаимодополняющего соотношения приведен в приложении Б.5.

5.1.2 Метод Будыко М. И.

5.1.2.1 При отсутствии данных наблюдений за испарением с водной поверхности или поверхности почвы для прогноза средней величины испарения с поверхности почвы используется комплексный метод Будыко М. И. [4].

Расчет испарения производится по формулам

$$E=E_0\,, \qquad \text{при } W\geq W_0, \tag{5.3}$$

$$E=E_0\,(W/W_0) \qquad \text{при } W<W_0, \tag{5.4}$$

где E и E_0 – испарение и испаряемость, соответственно, мм;

W – среднее значение влажности почвы за исследуемый период, мм;

W_0 – критическое значение влажности почвы, при котором $E = E_0$, мм;

Испаряемость E_0 определяется по связи со значениями дефицита влажности воздуха d, мбар

$$d = (e_t - e), \tag{5.5}$$

где e_t – максимальная упругость водяного пара, вычисленная по прогнозируемой температуре воздуха, мбар; (см. [4], приложение 7);

e – средняя многолетняя упругость водяного пара для рассматриваемой территории (за последние 5 лет) по данным метеостанций исследуемого региона. мбар.

Графики зависимости E_0 от d (приложение 8 Рекомендаций [4]) построены для разных геоботанических зон, которые можно определить по карте (см. приложение 6 Рекомендаций [4]).

Величина критической влажности W_0 определяется в соответствии с [4] (приложение 9) и усредняется для всего теплого периода.

5.1.2.2 При отсутствии данных наблюдений за влажностью почвы в качестве начального значения влажности почвы W используется значение наименьшей полевой влагоемкости почвы, НВ, мм. Дальнейший расчет влажности почвы производится в соответствии с [4], а полученные величины усредняются для всего теплого периода. Величина критической влажности W_0 в этом случае принимается равной полной влагоемкости почвы, ПВ, мм. Величины НВ и ПВ определяется по опубликованным данным об агрогидрологических свойствах почвы в разных регионах.

5.1.2.3 Пример расчета и прогноза испарения с поверхности почвы с помощью метода Будыко М. И. представлен в приложении Б.5.

5.2 Расчет и прогноз испарения с водной поверхности

5.2.1 Расчет проводится по формуле в соответствии с Указаниями [5]

$$E = 0{,}14\, n\, (e_0 - e_{200})\, (1 + 0{,}72\, u_{200}), \qquad (5.6)$$

где e_0 и e_{200} - упругость насыщенного водяного пара, рассчитанная по температуре испаряющей поверхности, и упругость водяного пара в воздухе надиспаряющей поверхностью на высоте 2 м, соответственно, мбар;

u_{200} - скорость ветра над водоемом на высоте 2 м, м/с;

n - число суток в расчетном интервале.

Упругость водяного пара e_0 определяется с учетом температуры поверхности воды по таблице приложения 3 Указаний [5], а также по Таблицам [6] или по формуле Магнуса

$$e_0 = 6{,}1 \cdot 10^{\frac{7{,}45 t_{сез}}{235 + t_{сез}}}. \qquad (5.7)$$

5.2.2 Средняя сезонная температура поверхности воды рассчитывается по методике, изложенной в Указаниях [5] в следующей последовательности:

а) вычисляется поглощенное водой суммарное количество тепла, $Ф$, по уравнению согласно [5]

$$Ф = S_p + S_a + S_г + a_3 t_{200} + a_6 e_{200}, \quad (5.8)$$

где S_p - поглощенная водой суммарная солнечная радиация, ккал/см^2 сутки;

S_a - поглощенное водой встречное излучение атмосферы, ккал/см^2 сутки;

$S_г$ - теплообмен водной массы с ложем водоема, ккал/см^2 сутки;

t_{200} и e_{200} – средняя месячная температура, °С, и влажность воздуха на высоте 2 м, мбар, по данным континентальной метеорологической станции, расположенной в районе водоема;

a_3 и a_6 - параметры, зависящие от скорости ветра и длины разгона воздушного потока над водоемом.

При $L_{ср}$=5 км и u_{200} =4 м/сек параметры a_3 и a_6 равны 17.6 и 26.7, соответственно.

Величина S_p определяется по данным об общей и нижней облачности и широте водоема в соответствии с Указаниями [5] по приложениям 4 и 6.

Величина S_a вычисляется по формуле

$$S_a = (b_1+b_2)\sigma T^4_{200}, \quad (5.9)$$

где T_{200} - абсолютная средняя месячная температура воздуха по данным наблюдений на континентальной метеостанции, °К;

b_1 и b_2 - параметры, зависящие от абсолютной влажности воздуха, общей и нижней облачности.

Величина $\sigma T^4_{200} = \sigma (273{,}16 + t_{200})^4$ определяется согласно Указаний [5], а значения параметров b_1 и b_2 принимаются по таблицам 1 и 2 Указаний [5].

Приближенные значения теплообмена воды с ложем водоема $S_г$ принимаются по таблице 3 Указаний [5].

б) по величине $Ф$ находится значение установившейся температуры воды для условного водоема $t_{о,у}$,°С, при допущении, что разность температур воды и воздуха равна нулю [5].

в) далее вычисляется поправка к температуре воды условного водоема Δ_t, учитывающая фактическое различие температур поверхности воды и воздуха, по формуле

$$\Delta_t = 0{,}14\ (t_{o,y} - t_{200}); \qquad (5.10)$$

г) расчетное значение установившейся температуры поверхности воды условного водоема при действительных соотношениях температур воды и воздуха вычисляется по формуле

$$t_y = t_{o,y} - \Delta_t\ . \qquad (5.11)$$

5.2.3 При прогнозе сезонных величин испарения с определенной территории и при отсутствии необходимых данных наблюдений для использования уравнения (5.6) применяется приближенная формула [5]

$$E = E_{усл}\ K_u\ K_{Lcp}\ , \qquad (5.12)$$

где $E_{усл}$ – условное испарение с водоема, мм;

K_u, K_{Lcp} – коэффициенты, учитывающие фактическую среднюю сезонную скорость ветра над реальным водоемом и действительную длину разгона над водоемом, соответственно.

Величины коэффициентов K_u и K_{Lcp} определяется по таблицам 6 и 7 Указаний [5], а $E_{усл}$ вычисляется по формуле

$$E_{усл} = a_1\ e_0 - a_2\ e_{200}\ , \qquad (5.13)$$

где e_0 – максимальная упругость водяного пара, вычисленная по реальной средней сезонной температуре воды, мбар; e_{200} - абсолютная влажность воздуха на прилегающей метеорологической станции, мбар;

a_1 и a_2 – коэффициенты, зависящие от разности между средней сезонной температурой воды и прогнозируемой температурой воздуха, и определяются по таблице 8 Указаний [5].

5.2.4 Разность температур Δt определяется по формуле

$$\Delta t = 0{,}77\ (t_{сез} - t_{пр})\ , \qquad (5.14)$$

где $t_{сез}$, $t_{пр}$ - средняя сезонная температура поверхности воды в водоеме и прогнозируемая температура воздуха, соответственно, °С.

В этом случае прогнозируемое испарения определяется по формуле

$$E = (a_1\ e_0 - a_2\ e_{200})\ K_u\ K_{Lcp}. \qquad (5.15)$$

Средние сезонные величины скорости ветра u_{200} и температуры поверхности воды $t_{сез}$, $t_{пр}$ рассчитываются не менее чем за последние 15 лет.

5.2.5 Абсолютная влажность воздуха e_{200} на метеостанции рассчитывается по прогнозируемой температуре воздуха $t_{пр}$ и средней сезонной относительной влажности воздуха A, мбар, согласно Б.6 приложения Б.

Значения коэффициента K_u, K_{Lcp}, a_1, a_2 определяются по расчетным таблицам Указаний [5].

Максимальная упругость водяного пара e_0 по средней сезонной температуре поверхности воды определяется по расчетной таблице приложения 3 Указаний [5], а также по Таблицам [6] или по формуле Магнуса (5.7).

Приложение А
(обязательное)

Коэффициенты уравнения регрессии для расчета влагозапасов почвы по различным территориям, расположенным в бассейне р. Волга

Таблица А.1- Коэффициенты уравнения регрессии (*a, b,c, d*) для расчета влагозапасов почвы по различным административным областям, краям и республикам, расположенным на территории бассейна р. Волга за период март-октябрь

Месяц	Март		Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
1	2		3	4	5	6	7	8
Область Рязанская								
Слой почвы 0-20 см								
a			-0,2	-0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
b	0,2		-1,0	-1,0	-0,6	-0,6	-1,0	-1,0
c	0,2		0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
d	9,8		54,4	40,2	7,8	6,3	23,0	21,3
Слой почвы 0-100 см								
a								
b	0,5		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
c	0,4		1,9	1,9	2,7	2,7	2,3	2,3
d	40,3		50,4	52,3	27,6	22,7	38,5	35,4
Область Саратовская								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
b		1,4	-1,4	-1,4	-0,8	-0,8	-1,0	-1,0
c		0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
d		8,0	33,9	31,0	17,7	17,2	19,4	16,8
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1
c		0,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8
d		3,3	23,6	27,8	3,7	1,7	28,6	27,3
Область Курская								
Слой почвы 0-20 см								
a			-0,1	-0,1	0,4	0,4	0,0	0,0
b		0,0	-1,1	-1,1	-0,5	-0,5	-1,3	-1,3
c		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
d		3,6	42,6	30,9	1,5	0,9	31,8	29,2
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		4,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2
c		0,5	2,7	2,7	2,6	2,6	3,4	3,4
d		33,2	15,5	26,1	1,8	4,5	6,3	-1,9
Область Оренбургская								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
b		1,6	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,5	-1,5
c		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Месяц	Март		Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
1	2		3	4	5	6	7	8
d		17,4	37,6	36,6	24,7	25,1	34,5	29,2
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		2,8	0,3	0,3	0,4	0,4	0,1	0,1
c		0,5	2,3	2,3	2,1	2,1	2,1	2,1
d		46,2	18,9	20,7	-0,7	2,8	44,9	37,4
Область Волгоградская								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,2	0,2	0,3	0,3	0,0	0,0
b		4,5	-2,0	-2,0	-0,8	-0,8	-1,3	-1,3
c		0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
d		8,4	33,2	36,0	16,2	22,8	31,7	24,0
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		8,3	0,0	0,0	0,2	0,2	-0,1	-0,1
c		0,5	3,2	3,2	3,0	3,0	3,6	3,6
d		21,0	21,7	27,0	3,0	-22,6	17,3	15,4
Область Самарская								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
b		1,6	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,5	-1,5
c		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
d		16,6	50,3	35,3	28,0	27,8	37,2	29,9
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		2,8	0,3	0,3	0,4	0,4	0,1	0,1
c		0,5	2,3	2,3	2,1	2,1	2,1	2,1
d		26,0	-10,2	18,2	0,7	-0,6	45,5	40,5
Область Ивановская								
Слой почвы 0-20 см								
a			-0,1	-0,1	0,5	0,5	0,1	0,1
b		1,9	-3,0	-3,0	-2,2	-2,2	0,5	0,5
c		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
d		26,4	68,6	74,5	28,0	36,9	2,7	10,0
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		3,2	-0,1	-0,1	0,3	0,3	0,1	0,1
c		0,5	2,2	2,2	1,8	1,8	2,4	2,4
d		34,7	61,0	63,1	22,5	26,8	37,0	33,2
Область Владимирская								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
b		1,1	-3,1	-3,1	-2,1	-2,1	0,2	0,2
c		0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2
d		13,5	51,7	59,2	33,1	34,6	-1,6	5,4
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		-2,5	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,1

Месяц	Март		Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
1	2		3	4	5	6	7	8
c		0,6	3,7	3,7	3,7	3,7	2,2	2,2
d		4,6	18,3	46,7	-19,9	-12,0	47,1	49,8
Область Брянская								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,1	0,1	0,3	0,3	0,0	0,0
b		-1,5	-1,2	-1,2	-1,0	-1,0	-1,6	-1,6
c		0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
d		-1,9	41,9	36,7	16,7	17,3	32,0	30,5
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		-3,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,2	0,2
c		0,7	2,9	2,9	3,2	3,2	3,2	3,2
d		8,9	12,5	29,5	-2,0	7,1	17,4	8,8
Область Белгородская								
Слой почвы 0-20 см								
a			-0,1	-0,1	0,3	0,3	0,0	0,0
b		1,6	-1,7	-1,7	-0,5	-0,5	-0,8	-0,8
c		0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
d		1,3	39,4	37,5	7,0	7,1	18,7	19,9
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		8,4	0,1	0,1	0,5	0,5	0,2	0,2
c		0,4	3,7	3,7	2,3	2,3	3,4	3,4
d		36,8	11,2	19,3	-10,1	-5,5	17,0	1,9
Область Воронежская								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
b		1,6	-1,8	-1,8	-0,5	-0,5	-1,2	-1,2
c		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
d		10,7	37,8	34,6	7,8	6,0	32,5	27,3
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		5,9	0,1	0,1	0,4	0,4	0,1	0,1
c		0,4	2,9	2,9	2,3	2,3	4,1	4,1
d		5,4	11,6	33,1	-5,3	-9,6	8,7	3,8
Область Калужская								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1
b		0,9	-1,1	-1,1	-1,8	-1,8	-1,2	-1,2
c		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
d		16,1	43,5	37,2	28,4	27,4	29,0	28,6
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		4,1	0,1	0,1	0,4	0,4	0,1	0,1
c		0,5	3,2	3,2	1,7	1,7	2,6	2,6
d		57,1	14,5	25,3	25,7	20,7	60,9	60,0
Область Костромская								
Слой почвы 0-20 см								

Месяц	Март		Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
1	2		3	4	5	6	7	8
a			0,2	0,2	0,5	0,5	0,1	0,1
b		1,1	-2,6	-2,6	-1,7	-1,7	-0,4	-0,4
c		0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
d		27,6	56,7	59,4	23,5	26,9	20,9	23,1
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		-1,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,1	0,1
c		0,5	3,5	3,5	3,0	3,0	3,9	3,9
d		62,4	-58,2	-31,8	-31,9	-14,6	13,1	8,3
Область Липецкая								
Слой почвы 0-20 см								
a			-0,3	-0,3	0,3	0,3	0,0	0,0
b		0,2	-1,6	-1,6	-0,7	-0,7	-0,5	-0,5
c		0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0
d		0,7	52,3	46,7	13,1	15,9	22,0	23,4
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		2,7	0,7	0,7	0,4	0,4	0,0	0,0
c		0,6	2,1	2,1	2,3	2,3	3,4	3,4
d		33,3	-40,7	-41,4	-9,7	-1,8	31,4	27,2
Область Орловская								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,1	0,1	0,4	0,4	0,1	0,1
b		-0,2	-2,3	-2,3	-1,8	-1,8	-2,3	-2,3
c		0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
d		7,3	55,0	56,0	28,9	33,1	57,9	49,7
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		2,2	0,1	0,1	0,4	0,4	0,1	0,1
c		0,5	2,2	2,2	2,1	2,1	2,8	2,8
d		43,6	63,0	67,2	13,0	10,9	29,5	33,4
Краснодарский край								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0
b		3,5	-2,2	-2,2	-1,7	-1,7	-1,2	-1,2
c		0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
d		-16,6	50,9	51,2	30,6	34,1	26,9	25,7
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1
c		0,4	3,3	3,3	3,1	3,1	3,0	3,0
d		4,7	-7,0	-5,0	-6,4	-8,7	16,5	18,1
Ставропольский край								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,2	0,2	-0,3	-0,3	0,1	0,1
b		1,3	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-0,6	-0,6
c		0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
d		-5,7	37,6	36,5	38,0	41,4	20,4	19,5

Месяц	Март		Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
1	2		3	4	5	6	7	8
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		1,8	0,2	0,2	0,4	0,4	-0,2	-0,2
c		0,6	4,1	4,1	2,6	2,6	4,7	4,7
d		-7,2	-30,9	-8,6	-14,1	-12,7	9,7	8,2
Область Ростовская								
Слой почвы 0-20 см								
a			-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
b		3,2	-2,0	-2,0	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8
c		0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
d		-3,4	42,2	42,0	17,0	15,6	19,4	19,3
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		5,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0
c		0,4	2,8	2,8	2,5	2,5	3,8	3,8
d		-0,1	-3,9	5,3	-5,2	-4,0	26,2	18,0
Республика Марий Эл								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1
b		0,3	-1,4	-1,4	-1,0	-1,0	-1,6	-1,6
c		0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
d		12,8	50,4	45,1	19,9	17,4	36,6	33,3
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		-0,9	0,2	0,2	0,4	0,4	0,0	0,0
c		0,8	2,1	2,1	2,4	2,4	2,9	2,9
d		29,9	60,1	56,7	-6,8	5,5	39,4	38,5
Республика Мордовия								
Слой почвы 0-20см								
a			0,0	0,0	0,3	0,3	0,1	0,1
b		0,5	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
c		0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
d		8,3	42,4	33,7	26,3	28,0	40,0	33,8
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		-0,7	0,4	0,4	0,6	0,6	0,1	0,1
c		0,6	2,7	2,7	1,9	1,9	2,9	2,9
d		16,3	-9,5	10,9	-17,7	-3,5	32,6	28,2
Республика Татарстан								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1
b		0,3	-1,4	-1,4	-1,0	-1,0	-1,6	-1,6
c		0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
d		5,4	42,1	37,5	13,4	12,3	34,0	28,8
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		-0,9	0,2	0,2	0,4	0,4	0,0	0,0
c		0,8	2,1	2,1	2,4	2,4	2,9	2,9

Месяц	Март		Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
1	2		3	4	5	6	7	8
d		13,3	58,1	55,4	4,7	10,8	44,9	36,4
Республика Удмуртия								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1
b		0,3	-1,4	-1,4	-1,0	-1,0	-1,6	-1,6
c		0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
d		11,8	48,9	44,3	19,4	18,6	35,6	33,8
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		-0,9	0,2	0,2	0,4	0,4	0,0	0,0
c		0,8	2,1	2,1	2,4	2,4	2,9	2,9
d		23,0	60,9	53,6	10,0	10,6	57,9	45,0
Республика Чувашия								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,1	0,1	0,4	0,4	0,1	0,1
b		1,3	-1,6	-1,6	-0,9	-0,9	-1,5	-1,5
c		0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
d		15,2	41,7	39,0	20,4	22,8	36,7	30,7
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		1,2	0,2	0,2	0,6	0,6	0,0	0,0
c		0,7	2,6	2,6	1,3	1,3	2,7	2,7
d		32,4	24,2	28,8	9,2	6,3	53,2	53,3
Область Нижегородская								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,0	0,0	0,3	0,3	0,1	0,1
b		0,5	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
c		0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
d		10,8	46,6	39,4	26,0	29,5	39,7	35,7
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		-0,7	0,4	0,4	0,6	0,6	0,1	0,1
c		0,6	2,7	2,7	1,9	1,9	2,9	2,9
d		19,9	-13,8	-3,6	-19,9	-8,3	35,6	27,3
Область Пензенская								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
b		1,2	-1,2	-1,2	-0,8	-0,8	-2,1	-2,1
c		0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0
d		16,8	35,5	28,0	17,8	16,0	58,9	45,6
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		3,0	0,2	0,2	0,4	0,4	0,3	0,3
c		0,6	2,5	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7
d		34,6	33,0	35,3	-7,6	-3,1	18,8	18,1
Область Ульяновская								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,0	0,0	0,3	0,3	0,1	0,1

Месяц	Март		Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
1	2		3	4	5	6	7	8
b		1,3	-2,0	-2,0	-1,1	-1,1	-2,0	-2,0
c		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
d		12,6	39,7	40,4	18,1	19,0	47,9	37,2
Слой 0-100 см								
a								
b		0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1	0,1
c		0,7	2,0	2,0	3,1	3,1	3,3	3,3
d		3,3	-10,2	-11,3	-16,8	-9,1	21,4	18,0
Область Московская								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2
b		0,6	-2,1	-2,1	-1,9	-1,9	-1,4	-1,4
c		0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
d		15,0	51,6	54,6	36,2	36,5	38,9	35,2
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		-3,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1
c		0,6	2,3	2,3	2,3	2,3	2,6	2,6
d		9,1	33,5	36,1	12,9	43,1	36,0	35,7
Область Ярославская								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,2	0,2	0,5	0,5	0,2	0,2
b		1,6	-0,1	-0,1	-1,6	-1,6	-1,1	-1,1
c		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
d		26,3	42,3	30,6	20,4	20,4	35,0	33,2
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
c		0,4	2,2	2,2	2,5	2,5	2,3	2,3
d		39,1	31,2	36,1	41,9	39,8	39,4	33,2
Область Тульская								
Слой почвы 0-20 см								
a			-0,3	-0,3	0,3	0,3	0,0	0,0
b		0,2	-1,6	-1,6	-0,7	-0,7	-0,5	-0,5
c		0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
d		10,8	60,6	48,3	15,2	20,1	30,1	30,2
Слой почвы 0-100 см								
a								
b		2,7	0,7	0,7	0,4	0,4	0,0	0,0
c		0,6	2,1	2,1	2,3	2,3	3,4	3,4
d		45,5	-49,9	-36,9	11,7	3,7	37,1	32,7
Область Тамбовская								
Слой почвы 0-20 см								
a			0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
b		0,4	-1,7	-1,7	-1,3	-1,3	-0,9	-0,9
c		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
d		11,3	38,2	32,5	25,4	23,8	21,6	19,6
Слой почвы 0-100 см								

Месяц	Март		Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
1	2		3	4	5	6	7	8
a								
b		3,0	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
c		0,6	2,7	2,7	2,4	2,4	2,4	2,4
d		24,9	23,9	35,9	12,2	6,1	17,5	15,4

Приложение Б
(рекомендуемое)

Примеры расчета и прогноза изменений продуктивных запасов влаги и глубины промерзания почвы, испарения с поверхности почвы и водной поверхности

Б.1 Оценка и прогноз изменений продуктивных запасов влаги в почве

В качестве примера выполним расчет прогнозируемых значений влагозапасов для ст. Пенза.

В качестве базового периода относительно которого производится прогноз изменения влажности почвы выбираем период 1978-2012 гг. Используя наблюдённые значения температуры и осадков, по методике, изложенной в 3.1 (формулы (3.1) - (3.5), рассчитываем величины влагозапасов в почве за данный период.

Далее, задаются сценарии изменения температуры и осадков в период с 2015 по 2030 гг. относительно базового. В данном примере используются расчёты по ансамлю климатических моделей. Используя сформированные таким образом ряды среднемесячных значений температуры и осадков, выполняем расчёт погнозируемых значений влажности по формулам (3.1) - (3.5),

Начальные запасы влаги задавались нами равными наблюденным в октябре 2014 г. для слоя 0-20 см 75,7 мм и 325,1 мм для слоя 0-100 см.

Расчеты показали, что в среднем прогнозируемые влагозапасы за период с 2015 – 2030 гг. на 2% выше, чем за период 1978 - 2012 гг., что практически находится в пределах погрешности расчетов. Небольшой прирост влагозапасов в период с 2015 – 2030 гг. можно объяснить ростом осадков за этот период по отношению к периоду с 1978 по 2014 гг.

Б.2 Определение параметра $d_{оп}$

Для определения параметра $d_{оп}$ используем результаты наблюдений над глубиной промерзания, температурой воздуха в бассейне р. Волги за период с 1978 по 1994 гг. (ряд длиной 17 лет). По данным этого ряда рассчитали значение параметра $d_{оп}$.

Проверочные расчеты выполняются по рядам наблюдения с 1995 по 2011 гг., при этом принимается, что средняя продолжительность холодного периода года за эти многолетние периоды не изменяется, а величина максимальных запасов воды в снеге также не меняется и равна их средней величине.

В таблице Б.2.1 приведены результаты проверочных расчетов средних глубин промерзания почвы по 15 пунктам в бассейне р. Волга при средних снегозапасах.

Погрешность расчета прогнозируемой глубины промерзания, в процентах от результатов фактических наблюдений, изменяется от 0 до 34 %, в среднем – 17 %.

Таблица Б.2.1 – Проверочные расчеты средних глубин промерзания почвы по данным пунктов наблюдений в бассейне р. Волга с 1978 - 2011 гг.

Пункт	Период	$T_{сут.хол.}$, °С	$d_{оп}$	Глубина промерзания, м		
				измеренная	рассчи-танная	% от измеренной
Киров	1978-94	- 8,3	0,007	0,25		
	1995-11	- 7,7		0,23	0,24	5
Яранск	1978-94	- 8,5	0,012	0,43		
	1995-10	- 8,4		0,36	0,44	22
Александр Гай	1978-94	- 8,7	0,029	0,90		
	1995-11	- 8,5		0,98	0,89	9
Кострома	1978-94	- 8,3	0,011	0,36		
	1995-11	- 8,5		0,42	0,36	13
Елатьма	1978-94	- 8,0	0,008	0,24		
	1995-11	- 8,3		0,21	0,24	16
Безенчук	1978-94	- 9,2	0,014	0,47		
	1995-11	- 9,3		0,61	0,47	23
Октябрский Годок	1978-94	- 8,5	0,034	1,14		
	1995-11	- 8,6		0,97	1,15	18
Самара	1978-94	- 8,4	0,010	0,33		
	1995-11	- 8,5		0,31	0,33	7
Пермь	1978-94	- 9,0	0,008	0,31		
	1995-11	- 8,9		0,36	0,31	14
Оренбург	1978-94	- 9,8	0,033	1,24		
	1995-11	- 9,6		1,03	1,23	19
Рязань	1978-94	- 7,5	0,023	0,71		
	1995-11	- 7,9		0,56	0,73	30

Пункт	Период	$T_{сут.хол.}$, °С	$d_{оп}$	Глубина промерзания, м		
				измеренная	рассчи-танная	% от измеренной
Пенза	1978-94	- 8,2	0,023	0,74		
	1995-11	- 8,3		0,61	0,74	22
Ершов	1978-94	- 8,7	0,026	0,89		
	1995-11	- 8,8		0,98	0,90	9
Астрахань	1978-94	- 5,4	0,029	0,58		
	1995-11	- 5,6		0,44	0,59	34
Ростоши	1978-94	- 7,7	0,021	0,64		
	1995-11	- 7,5		0,54	0,63	17

Б.3 Прогноз глубины промерзания почвы

В качестве примера приведены результаты расчета ожидаемых глубин промерзания почвы от прогнозируемых температур воздуха по станции Кострома. Средняя многолетняя сумма отрицательных температур по данным наблюдений с 1995 по 2011 г. составляет 1105 ^{0}С. Средняя глубина промерзания за данный период равна 0,42 м.

Средние многолетние максимальные снегозапасы с учетом осадков за холодный период составляют 93 мм. Рассчитанный за период 1995-2011 гг. коэффициент $d_{оп}$ = 0,012.

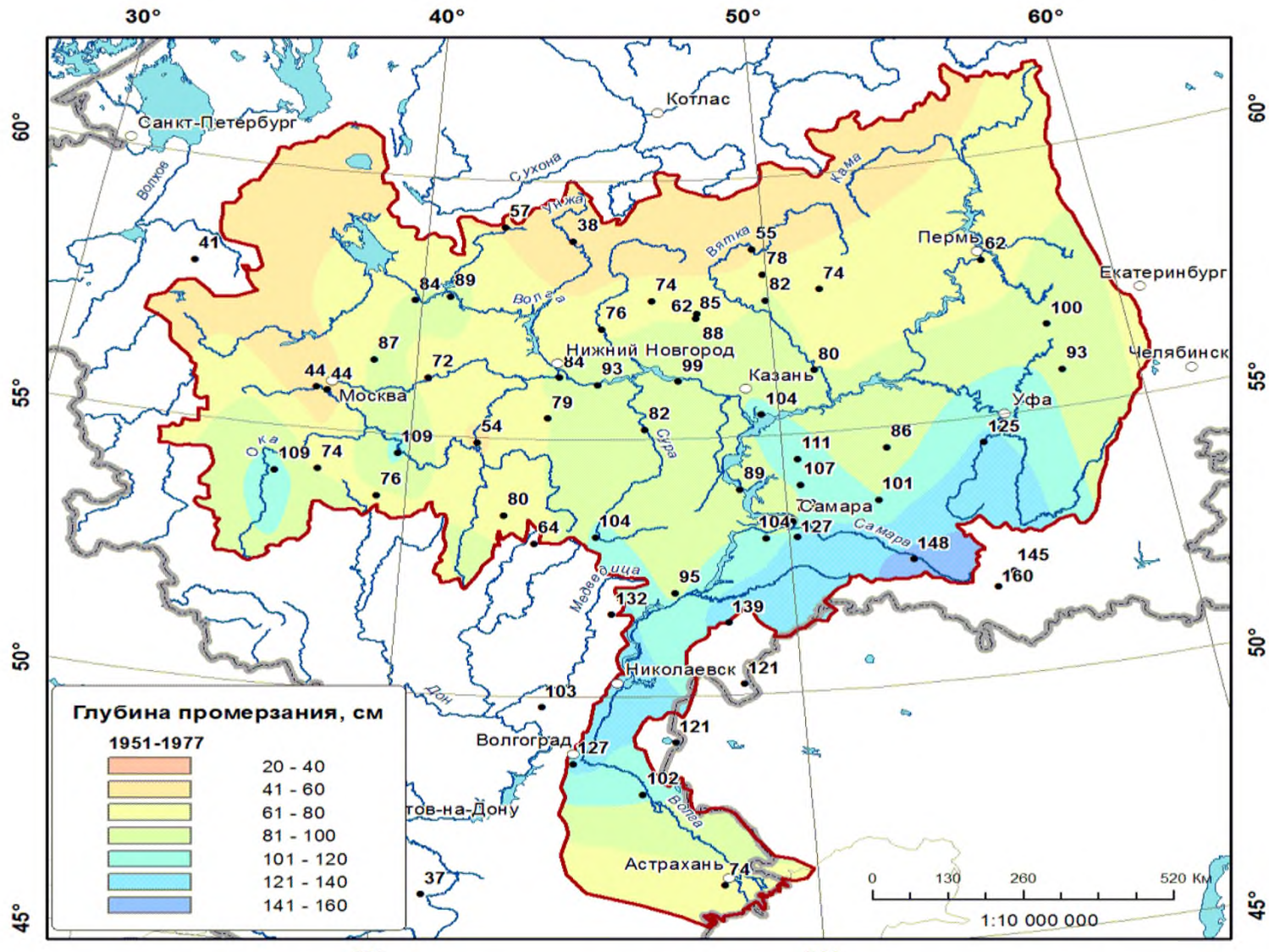
Заданные, в данном примере на основе ансамблевых расчетов по климатическим моделям, средние суммы отрицательных температур и максимальных запасов воды в снеге за период 2015-2030 гг составляют 1063 ^{0}С и 106 мм, соответственно. Расчет по формуле (3.6) за период 2015-2030 гг. дает величину прогнозируемой средней глубины промерзания без учета влияния снежного покрова, равной 0,39 м, что на 0,03 м меньше, чем за период 1995-2011 гг.

С учетом динамики снежного покрова, расчеты по формуле (3.7) дают величину изменения глубины промерзания $\Delta H_{пр}$, равную 0,02 м. Таким образом в среднем уменьшение средней глубины промерзания $\Delta H_{пр}$ составляет 0,05 м.

На рисунках Б.1 и Б.2 приведены результаты наблюдений за глубиной промерзания почвы за период 1950-1977 гг. и с учетом климатических изменений за период 1977- 2012 гг.

Карты-схемы могут быть применены для практического использования при решении ряда инженерных и водохозяйственных задач в различных отраслях экономики.

а)



б)

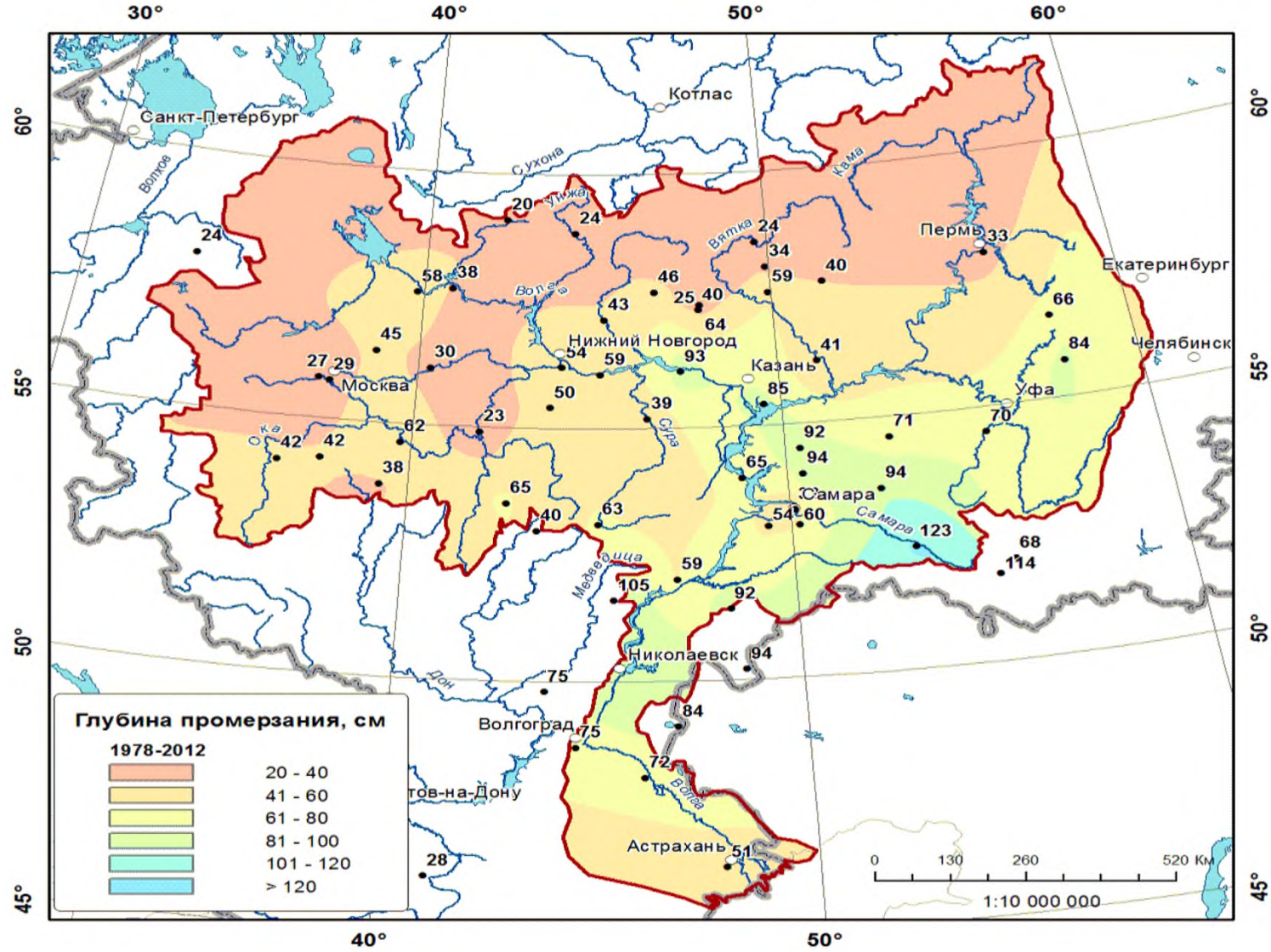
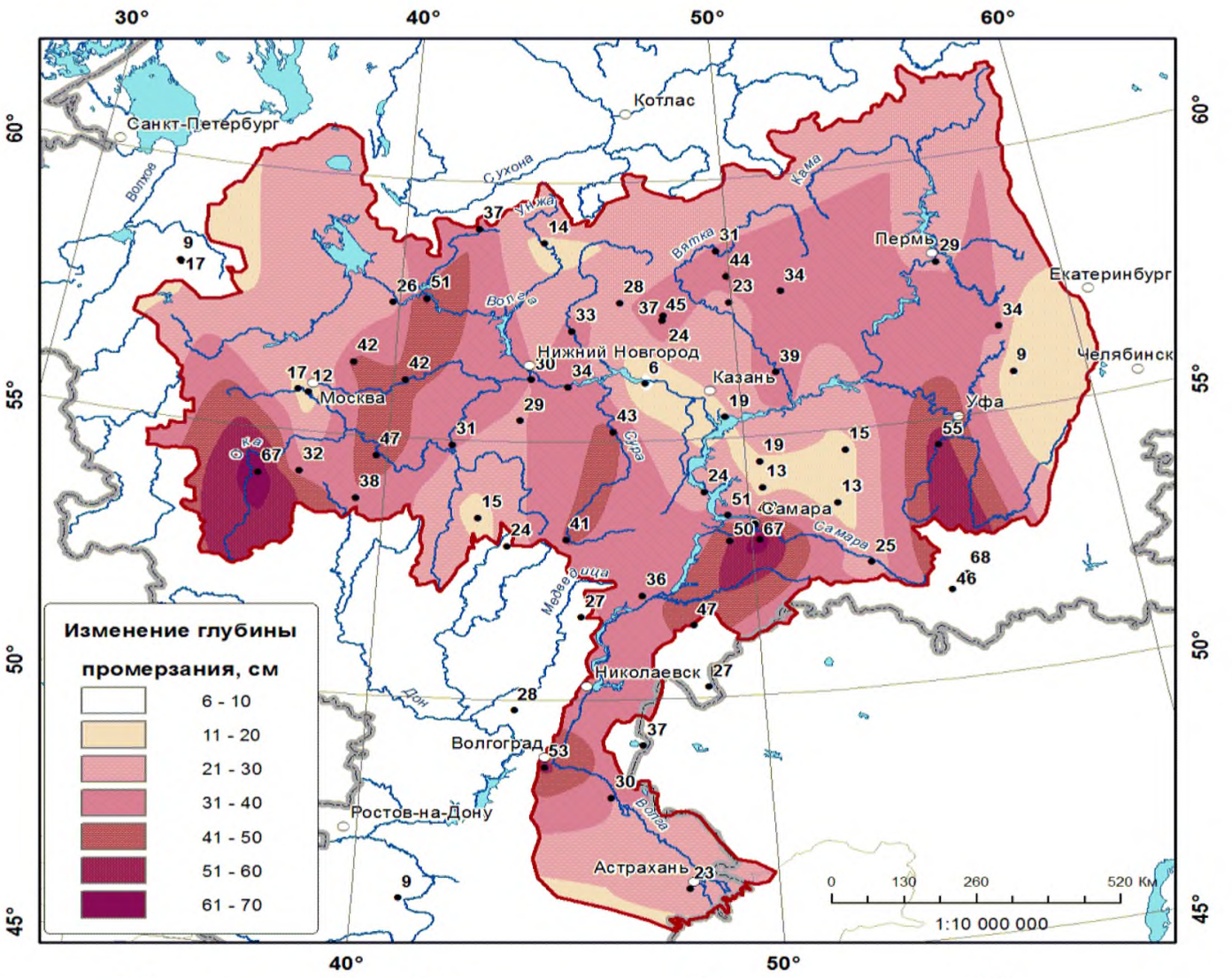
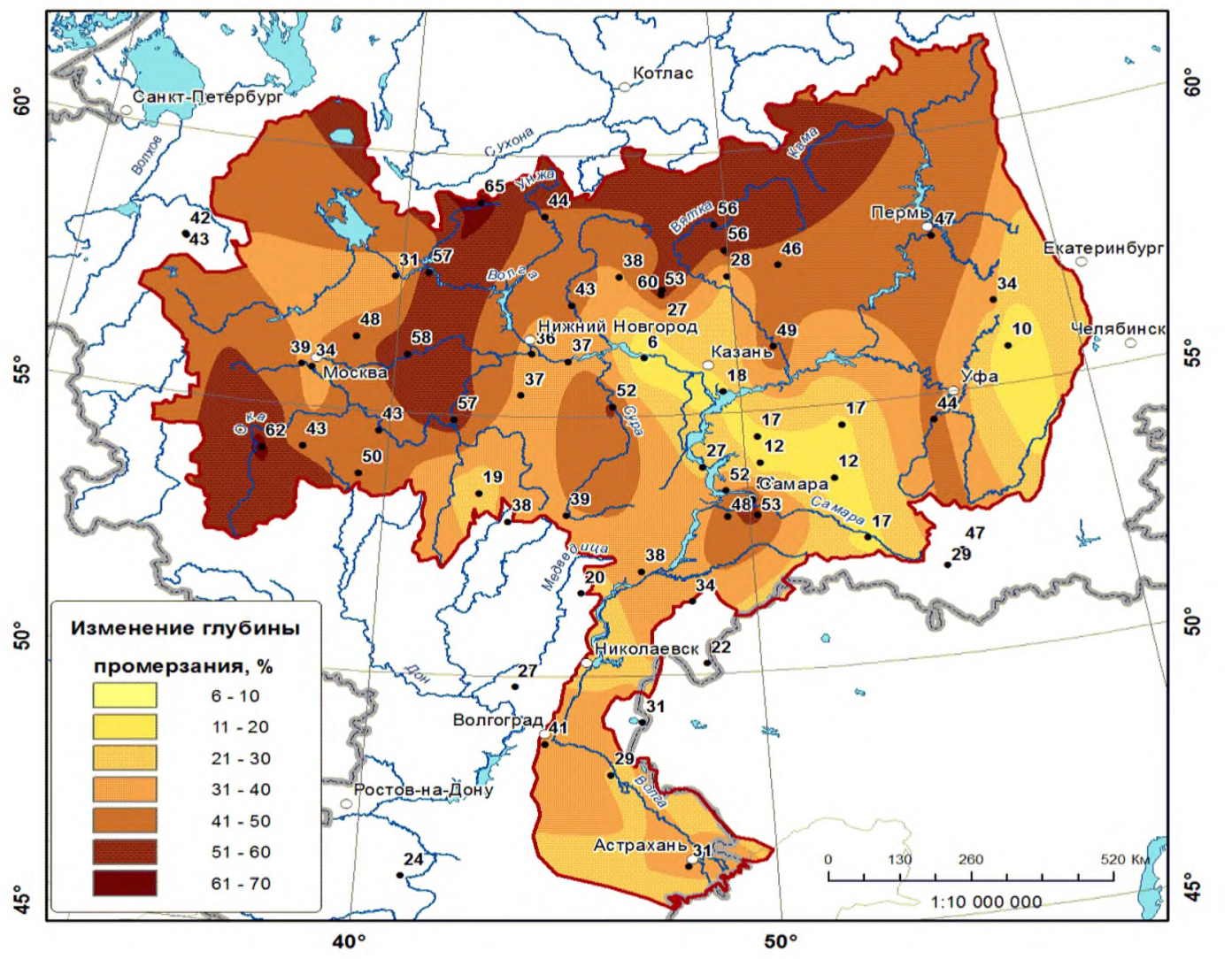


Рисунок Б.1 - Средние глубины промерзания почв, см, бассейна Волги за период а) с 1950-1960 гг. и по 1977 г. и б) за период с 1978 по 2012 гг.

а)



б)



а) в см; б) в %

Рисунок Б.2 - Изменение средних глубин промерзания почв бассейна Волги за период с 1950-1960 гг. и по 1977 г.
по отношению к периоду с 1978 по 2012 гг.

Б.4 Прогноз испарения с поверхности почвы методом взаимодополняющего соотношения

Рассмотрим пример прогноза величины испарения с поверхности почвы с естественным растительным покровом для участка бассейна р. Волги, от г. Кострома до г. Нижний Новгород за теплый период года (май - сентябрь). В качестве основного (базового) периода относительно которого будем делать прогноз рассматрим временной интервал с 1977 по 2012 гг.

Зададим, в данном примере на основе ансамблевых расчётов по климатическим моделям, температуру воздуха и величичину осадков в период с 2015 по 2030 гг..

На территории выбранного района бассейна р. Волга и в его ближайшей окрестности наблюдения за испарением с водной поверхности (и сопутствующими переменными) доступны для 14 станций. Данные наблюдений за испарением с поверхности почвы (максимально полные) используем для 7 станций и для ограниченного периода (1963-1987 гг.). Ряды наблюдений за осадками в выбранном регионе доступны для 14 станций.

Поскольку станции расположены неравномерно, их осреднение по территории лучше проводить с учетом веса каждой станции. Для этого можно использовать различные методы. В данном случае использован метод оптимального осреднения с нормировкой весов.

Получив ряды средних по территории величин испарения и осадков, для получения коэффициентов a и n выбираем период параллельных наблюдений с максимальным количеством доступных данных. В рассматриваемом районе это период с 1965 по 1985 гг. Оцениваем величину видимого испарения x (испарение с водной поверхности за вычетом осадков) для каждого года периода параллельных наблюдений (таблица Б.5.2).

Для каждого года определяем величину параметров a и n , а затем весь диапазон изменения видимого испарения делим на части в соответствии с их значениями (таблица Б.5.2).

На основании полученных величин видимого испарения x и эмпирических параметров a и n рассчитываем величину испарения с поверхности почвы (уравнения 5.1 и 5.2) с естественным травяным покровом как для рассматриваемого периода, так и до 2011 года.

На основе полученных данных (таблица Б.5.1), прогностических величин испарения с водной поверхности (приложение Б.6) и прогнозируемых модельных оценок осадков рассчитываем изменения величины испарения с поверхности почвы для прогнозируемого периода по уравнениям 5.1 и 5.2.

Таблица Б.5.1 Основные переменные, используемые при расчете величины испарения с поверхности почвы с естественным травяным растительным покровом

Год	Наблюденные переменные, мм			Видимое испарение *x*, мм	Эмпирические параметры	
	испарение, $E_{поч}$	испарение, $E_{вода}$	осадки, *P*		*n*	*a*
1965	407,7	387,2	354,8	32,4	-0,003	1,158
1966	407,1	486,4	250,5	235,9	-0,002	1,228
1967	370,7	494,5	216,0	278,5	-0,002	1,228
1968	348,7	461,4	283,0	178,4	-0,003	1,228
1969	386,4	406,0	282,8	123,2	-0,002	1,228
1970	357,2	453,9	231,1	222,8	-0,002	1,228
1971	362,4	456,2	255,3	200,9	-0,002	1,228
1972	281,9	561,2	169,5	391,6	-0,002	1,128
1973	302,2	482,1	259,8	222,3	-0,002	1,228
1974	348,6	377,6	289,3	88,2	-0,003	1,088
1975	330,3	494,7	171,5	323,2	-0,002	1,228
1976	367,0	335,3	305,3	30,1	-0,003	1,158
1977	404,6	409,6	301,7	107,9	-0,003	1,288
1978	463,8	340,8	463,2	-122,4	-0,003	0,888
1979	404,4	415,5	288,6	127,0	-0,003	1,288
1980	405,1	346,5	436,0	-89,5	-0,003	0,888
1981	326,5	477,8	224,1	253,6	-0,002	1,228
1982	390,6	387,4	325,3	62,1	-0,003	1,158
1983	401,7	372,9	321,2	51,7	-0,003	1,288
1984	397,6	384,1	384,9	-0,8	-0,003	0,988
1985	385,2	356,0	346,1	9,8	-0,003	1,158

Полученные результаты (таблица Б 5.2) показывают, что прогноз величины испарения с поверхности почвы по методу взаимодополняющего соотношения соответствует минимальному росту испарения в будущем. При этом после резкого роста величины испарения к 2015 г. отмечается его незначительное уменьшение. В среднем за прогностический период (2015-2030 гг.) величина испарения с поверхности почвы за теплый период года составит 389 мм.

Б.5 Прогноз ожидаемого испарения с поверхности почвы по методу Будыко М. И.

В соответствии с геоботанической картой Рекомендаций [4] (приложения 6) район для участка бассейна р. Волги, от г. Кострома до г. Нижний Новгород располагается в двух зонах: зоне хвойных лесов и зоне смешанных лесов. Для оценки величины испарения в заданном регионе необходимо вначале оценить эти изменения в каждой из выделенных зон.

По данным 6-ти станций зоны хвойных лесов и 7-ми станций зоны смешанных лесов получим среднюю многолетнюю величину упругости водяного пара (таблица Б.5.1) для каждого месяца рассматриваемого периода. Используя приложение 7 Рекомендаций [4] оцениваем среднюю максимальную упругость водяного пара для всех месяцев теплого периода года на основе заданных значений температуры воздуха (таблица Б.5.1).

Рассчитаем величину дефицита влажности воздуха в каждой зоне по формуле (5.5).

Далее по эмпирическим графикам связи испаряемости и дефицита влажности (приложение 8 Рекомендаций [4]) определяем величину испаряемости E_0 для обеих зон за теплый период года.

При оценке E_0 (таблица Б.5.2) .для рассматриваемого района бассейна р. Волга величины испаряемости обеих геоботанических зон усредняются с учетом занимаемых ими площадей.

Таблица Б.5.1 – Исходная информация для прогноза величины испарения

Год	Месяцы исследуемого периода года				
	май	июнь	июль	август	сентябрь
Средняя многолетняя упругость водяного пара в период с 1977 по 2012 гг., мбар					
тайга	9,0	13,1	15,6	14,0	10,3
смешанный лес	9,1	13,6	16,0	14,1	10,5
Средняя максимальная упругость водяного пара, мбар					
2015 -2030	15,7	20,6	23,7	20,3	13,9

Определяем величину критической влагоемкости почвы, W_0 в соответствии с Рекомендациями [4] (приложение 9).

Поскольку для характеристики увлажнения почвы чаще используется величина продуктивных запасов влаги, целесообразно использовать величину W_0 также в мм продуктивных запасов влаги.

При расчете величины влагозапасов почвы по [4] используются два способа определения их начального значения в верхнем (0 – 100 см) слое почвы:

- как среднюю многолетнюю величину за первый теплый месяц (май), полученную по данным наблюдений, равную 185 мм;

- как величину наименьшей полевой влагоемкости (НВ), равную 197 мм.

В первом случае W_0 составляет 162 мм общих влагозапасов или 154 мм продуктивных запасов влаги.

По второму способу при расчете влагозапасов почвы в качестве W_0 используем величину полной влагоемкости (ПВ), равную 254 мм. Это позволяет учесть рост почвенных влагозапасов в последние десятилетия и на прогнозный период (до 2030 г.).

Рассчитываем величину запаса влаги для каждого месяца и усредняем ее для всего теплого периода [4].

Далее, зная величину испаряемости E_0, критической влагоемкости почвы W_0 и величину запасов влаги в почве W, можно оценить величину испарения по уравнениям (5.3) или (5.4).

В первом случае (при начальном значении W=185 мм) испарение E равно величине испаряемости E_0 (уравнение 5.3), поскольку $W \geq W_0$.

По второму способу (при начальном значении W=197 мм) соотношение величины влагозапасов почвы и критической влагоемкости ($W<W_0$) соответствует уравнению (5.4). В этом случае испарение рассчитывается, как $E = E_0 (W/W_0)$.

Данные прогноза величины испарения с поверхности почвы с естественным травяным покровом по методу Будыко М. И. (таблица Б.5.2) показывают, что для участка бассейна р. Волга, от г. Кострома до г. Нижний Новгород , прогноз величины испарения по испаряемости дает более высокие значения, чем прогноз с учетом изменений влагосодержания почвы. Метод Будыко М. И. (в отличие от метода взаимодополняющего соотношения) указывает на рост величины испарения с поверхности почвы, При этом за прогностический период средняя величина испарения составляет в первом случае - 532 мм, во втором - 414 мм.

При оценке возможных изменений величины испарения с поверхности почвы с естественным травяным покровом можно использовать оба метода. Однако при выборе конкретного метода следует принимать во внимание:

- Метод Будыко М. И. основан только на прогнозе температуры воздуха. Изменения осадков при этом не учитываются, поэтому прогностическая ожидаемая величина испарения полностью определяется увеличением температуры;

- Метод взаимодополняющего соотношения учитывает изменения, как температуры воздуха, так и осадков. При этом величина испарения более чувствительна к межгодовым колебаниям обоих переменных, чем рассчитанная по методу М. И. Будыко

Следует также учитывать, что при расчете испарения с поверхности почвы, методом взаимодополняющего соотношения или методом Будыко М. И. необходим учёт изменения влажности почвы (формула 5.4).

Таблица Б.5.2 – Прогнозируемые средние еeличинв испаряемости E_0 и ожидаемой величины испарения E, мм, за теплый период (май – сентябрь) для рассматриваемого региона

Период, годы	Испаряемость E_0,мм	Прогнозируемая величина испарения E, мм		
		по методу Будыко М.И.		по методу взаимо-дополняющего соотношения
		при $W \geq W_0$	при $W < W_0$	
2015-2030	532	532	414	389

Б.6 Расчет и прогноз испарения с поверхности воды

В качестве первого примера выполним расчет ожидаемых значений испарения с воды в июле месяце в период с 2015 по 2030 гг. для ст. Кострома.

В качестве основного (базового) периода относительно которого будем делать прогноз рассматрим временной интервал с 1977 по 2012 гг.

Для реализации данного прогноза необходима информация о среднемесячных значениях температуры воздуха, скорости ветра, упругости водяного пара и облачности.

Зададим, в данном примере на основе ансамблевых расчётов по климатическим моделям, температуру воздуха, скорость ветра, упругость водяного пара и облачность в период с 2015 по 2030 гг.

Далее, используя основную расчетную формулу (5.6) и рекомендации, изложенные в 3.4, получаем ожидаемые величины испарения с водной поверхности в июле (таблица Б.6.1).

Расчеты показали, что среднее прогнозируемое испарение с водной поверхности в период с 2015 – 2030 гг. будет выше на 4%, чем за период 1978 - 2012 гг. Таким образом, испарение с водной поверхности с учетом погрешности расчета, практически не изменится. Незначительный рост рассчитанного испарения в период 2015 – 2030 гг. можно объяснить уменьшением давления водяного пара в

атмосфере и ростом температуры в этот период по сравнению с периодом 1978 - 2010 гг.

Таблица Б.6.1 – Модельные оценки средней месячной температуры воздуха *T*, месячных значений скорости ветра *V*, давления водяного пара в воздухе на высоте 2 м *e*, а также облачности *N* и величины испарения *E* по данным на июль по ст. Кострома

Годы	Средняя месячная температура воздуха, *T*, °С	Средняя месячная скорость ветра *V*, м/с	Давление водяного пара, *e*, мбар	Облачность, *N*, балл	Испарение, *E*, мм
2015 -2030	18,6	2,8	14,6	5,3	79,6

В качестве второго примера рассмотрим расчет ожидаемой величины испарения за теплый сезон в период с 2015-2030 гг. на участке бассейна р. Волга, от г. Кострома до г. Нижний Новгород.

В качестве основного (базового) периода используем временной интервал с 1977 по 2012 гг., для которого характерен рост величины речного стока.

Зададим, в данном примере на основе ансамблевых расчётов по климатическим моделям, температуру воздуха для участка бассейна р. Волга от г. Кострома до г. Нижний Новгород в период с 2015 по 2030 гг.

На выделенном участке бассейна и прилегающей территории данные по испарению доступны для 14 станций. Поскольку на большинстве из них данные наблюдений охватывают период май - сентябрь, рассмотрим суммарное испарение за это время.

Для прогноза величины испарения необходима предварительная информация о температуре поверхности воды, абсолютной влажности воздуха, скорости ветра над водоемом, полученная по данным наблюдений на станциях, расположенных на рассматриваемой территории.

Однако данные наблюдений не позволяют получить все необходимые характеристики для расчета и прогноза. Поэтому на предварительном этапе необходимо оценить все входные параметры.

Максимальную упругость водяного пара e_0 (5.13) (см. таблицу Б.6.2) определяем по температуре поверхности воды в соответствии с Указаниями [5] (приложение 3).

Данные по абсолютной влажности воздуха на станциях водноиспарительной сети недоступны, однако можно использовать данные по упругости водяного пара на высоте 2 м. Зависимость между ними выражается как

$$A = (0.8\ e) / [1 + (\alpha\ t)], \qquad (Б.1)$$

где A – абсолютная влажность воздуха, г/м^3; e – упругость водяного пара, мбар; α – множитель, связанный с плотностью водяного пара, равный 0,004; t – температура воздуха, °С.

Для перевода абсолютной влажности А из г/м^3 в мбар используем соотношение (Б.2), при этом учитывается, что абсолютная влажность А, г/м^3, приблизительно равна упругости водяного пара на высоте 2 м e, мм.рт.ст.

$$A\ (г/м^3) \cong e\ (мм.рт.ст.) = A\ 1.33\ (мбар). \qquad (Б.2)$$

По данным таблицы Б.6.2 видно, что величина упругости водяного пара и абсолютная влажность, выраженная в мбар, отличаются незначимо, поэтому для расчета испарения можно использовать данные наблюдений за упругостью водяного пара.

Таблица Б.6.2 – Параметры, необходимые для расчета и прогноза величины испарения с водной поверхности

Параметры	Рассматриваемые месяцы				
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Температура поверхности воды, °С	13,5	18,7	21,0	18,2	12,4
Максимальная упругость водяного пара, мбар	15,6	21,6	25,0	21,0	14,4
Упругость водяного пара на высоте 2 м, мбар	9,2	13,6	16,5	14,2	10,5
Температура воздуха, °С	12,6	17,1	19,3	16,6	10,9
Абсолютная влажность воздуха, г/м^3	7,0	10,2	12,3	10,7	8,1
Абсолютная влажность воздуха, мбар	9,4	13,6	16,3	14,2	10,7
Скорость ветра на высоте 2 м, м/сек.	1,8	1,4	1,3	1,3	1,4
Скорость ветра на высоте флюгера, м/сек	2,3	1,8	1,6	1,6	1,7
Коэффициент K_u по ветру на 10 м	0,96	0,91	0,89	0,89	0,90
Коэффициент K_u по ветру на 2 м	0,91	0,87	0,86	0,86	0,87

Для расчета разности температур (5.14) используем нормы температуры поверхности воды (таблица Б.6.2) и заданные прогностические значения температуры воздуха. Далее, в соответствии с Указаниями [5] (таблица 8) определяем величину месячных коэффициентов a_1 и a_2 для всех лет прогностического периода 2015-2030 гг.

Рассчитываем величину условного испарения по (5.13). Результаты расчета приведены в таблице Б.6.3.

Таблица Б.6.3. Средняя величина испарения $E_{усл}$, мм, с условного водоема той же глубины, что и рассматриваемый участок р. Волга

Годы	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Сезон
2015-2030	100,1	130,3	140,2	111,8	66,3	548,8

Для расчета и прогноза ожидаемых величин испарения необходимо вычислить коэффициенты K_u и K_{Lcp}.

Для того чтобы рассчитать величину коэффициента K_u по (5.12) необходима информация о фактической скорости ветра над водоемом U, которая определяется согласно Указаниям [5] по уравнению

$$U = K_1 K_2 K_3 u_{200}, \qquad (Б.3)$$

где K_1 , K_2 , K_3 – коэффициенты, учитывающие степень защищенности метеостанций на суше, характер рельефа в пункте наблюдений и среднюю длину разгона воздушного потока над водоемом (см. таблицы 1, 2 и 3 приложения 2);

u_{200} – скорость ветра на высоте флюгера (10 м), м/сек.

Поскольку организация водноиспарительных площадок соответствует строгим требованиям, выбор величины коэффициентов K_1 и K_2 определяется достаточно легко. В данном случае K_1 равен 1,5; K_2 равен 1,0. В соответствии с Указаниями [5] (таблица 3 приложения 2) коэффициент K_3 также равен 1.0.

Скорость ветра на высоте флюгера u_{200} рассчитываем по наблюдаемой скорости ветра на высоте 2 м U_{200} (таблица Б.6.2). Для такого приведения существует множество расчетных формул, однако в данном случае следует использовать выражение

$$u_{200} = U_{200} \ (h_ф / h_{200})^{0.14} \qquad (Б.4)$$

где $h_ф$ – высота флюгера,м; h_{200} – высота измерения скорости ветра на станции, м.

Далее, зная скорость ветра над водной поверхностью U, определяем величину коэффициента K_u согласно Указаниям [5] (таблица 6) для каждого месяца анализируемого периода года (таблица Б.6.2).

Коэффициент K_{Lcp}, определяемый согласно Указаниям [5] (таблица 7), остается неизменным для всего рассматриваемого периода и принимается равным 0.99.

Далее следует оценить изменения испарения E с водной поверхности (формулы 5.6 или 5.15) для каждого месяца и сезона в целом (таблица Б.6.4).

Рассчитанная величина испарения для двух вариантов коэффициента K_u приведена в таблице Б.6.2.

Величина прогнозируемого испарения за теплый период года превышает среднюю величину наблюдаемого испарения примерно на 100 мм, что вполне согласуется с природными закономерностями, поскольку прогноз величины испарения соответствует испарению со всего участка русла р. Волга от г. Кострома до г. Нижний Новгород, а наблюдения за испарением характеризуют водоемы меньшей площади. Таким образом, средняя величина прогноза в пределах 469-489 мм является достаточно реальной.

Таблица Б.6.4 – Средняя величина испарения с водной поверхности E, мм, при учете скорости ветра на разных высотах

Годы	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Сезон	
	E_1	E_2	E_1	E_2	E_1	E_2	E_1	E_2	E_1	E_2	E_1	E_2
2015-2030	94,2	89,3	116,2	111,1	122,3	118,2	97,5	94,2	58,4	56,5	488,7	469,4
Примечание - Величина испарения E_1 оценена для скорости ветра на высоте флюгера 10 м, величина E_2 – для скорости ветра на высоте 2 м.												

При прогнозе изменения величины испарения с водной поверхности необходимо принимать во внимание, что

- величина испарения во многом определяется прогностической величиной температуры воздуха;

- режим увлажненности учитывается опосредованно (через упругость водяного пара), что сказывается на величине годовой изменчивости испарения и общей направленности его изменений;

- разница в величине испарения при учете скорости ветра над водоемом на высоте флюгера 10 м и на высоте 2 м составляет не более 22 – 25 мм. Следовательно, при прогнозе испарения с водной поверхности можно использовать скорость ветра на любой высоте.

Библиография

[1] Сиротенко О.Д., Клещенко А.Д., Павлова В.Н., Абаншина Е.В., Семендяев А.К. Мониторинг изменения климата и оценка последствий глобального потепления для сельского хозяйства. - СПб: ГНУ «АФИ Россельхозакадемии», «Агрофизика», 2011, № 3. - с.31-39

[2] Семендяев А. К. Численная схема мониторинга динамики запасов продуктивной влаги и составляющих углеродного баланса органического вещества пахотных почв. - СПб: Труды ГГО им. А.И.Воейкова, 2011, вып.565. - с.89-103

[3] Голубев В.С., Сперанская Н.А., Цыценко К.В. Суммарное испарение в бассейне Волги и его изменчивость. - М.: «Метеорология и гидрология», 2003, № 7. -с.89-99

[4] Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. - Л.: Гидрометеоиздат, 1976. - 96 с.

[5] Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. - Л.: Гидрометеоиздат, 1969. - 82 с.

[6] Психрометрические таблицы. Изд.3-е, исправленное и дополненное. - СПб: ИТД «Летний сад», 2009. - 285 с.

Ключевые слова: запас влаги в почве, глубина промерзания почвы, испарение с поверхности почвы, испарение с водной поверхности, рекомендации, расчет и прогноз

Лист регистрации изменений

Номер изме-нения	Номер страницы				Номер документа (ОРН)	Подпись	Дата	
	изме-ненной	заме-ненной	новой	аннулиро-ванной			внесения изменений	введения изменений

gost.e-ecolog.ru