

Рисунок 3.68 – Повторяемость дней с сильным морозом в различные месяцы холодного периода (I-III месяцы) (в % от общего числа дней с явлением)

В республике за период более чем 50-летних наблюдений лишь в 6 годах отмечался сильный мороз как опасное метеорологическое явление, т. е. 1 случай за 9 лет. В Брестской области сильный мороз отмечается 1 раз в 11 лет, в Гомельской – 1 раз в 13,5. Это связано с тем, что в зимнее время преобладают ветры южного направления, приносящие теплый воздух в западные районы.

### 3.8. Агроклиматические ресурсы

Агроклиматические ресурсы исследуемой территории представляют собой комплекс параметров, состав которых определяется ТКП 17.10-36-2011 [214]. Справочник по агроклиматическим ресурсам состоит из двух частей: агроклиматические ресурсы; агроклиматические характеристики условий произрастания основных сельскохозяйственных культур.

Агроклиматические ресурсы включают в себя:

- даты устойчивого перехода суточной температурой воздуха выше 0, 5, 10, 15 °С за конкретный период лет;
- продолжительность периодов со средней суточной температурой воздуха выше 0, 5, 10, 15 °С за конкретный период лет;
- средние декадные значения температуры воздуха за конкретный период лет;
- максимальные значения температуры воздуха по декадам;
- суммы положительных температур воздуха за период со средней суточной температурой выше 0, 5, 10, 15 °С нарастающим итогом по декадам за конкретный период лет;
- суммы эффективных температур воздуха за период со средней суточной температурой выше 0, 5, 10, 15 °С нарастающим итогом по декадам за конкретный период лет;
- даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0, 5, 10, 15 °С весной и осенью различной обеспеченности за конкретный период лет;
- продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха выше 0, 5, 10, 15 °С различной обеспеченности за конкретный период лет;
- сумма положительных температур воздуха (°С) за период со средней суточной температурой выше 0, 5, 10, 15 °С различной обеспеченности за конкретный период лет.

Агроклиматические характеристики условий произрастания основных сельскохозяйственных культур дают дифференцированную оценку по культурам (фенологические данные) оптимальных сроков сева, условий перезимовки, возобновления вегетации, запасов влаги, соответствующих определенным фазам развития, условий уборки урожая и др.

Как видно из имеющихся показателей, агроклиматические ресурсы и характеристики представляют собой интегральную оценку естественной теплообеспеченности территорий применительно к их сельскохозяйственному использованию. Наиболее адекватным в этом случае будет агроклиматическое районирование территорий в контексте соотношения ресурсов тепла и влаги.

История развития исследований естественного увлажнения и теплообеспеченности подстилающей земной поверхности включает в себя три важных этапа.

*I этап* охватывает наиболее продолжительный период, начиная около 4000 лет до нашей эры и вплоть до начала XX столетия современного летоисчисления. Первоначально это были инструментальные наблюдения за основными характеристиками тепловлагообеспеченности. Отправной точкой интенсивного развития науки послужило применение балансового подхода ко всем природным процессам, что дало возможность количественно оценить прямые и обратные связи между Солнцем, атмосферой, водой, почвой и растительностью. Физические основы теории балансового метода были заложены в XVIII веке М. В. Ломоносовым при открытии закона сохранения материи. В середине XIX века К. С. Веселовский сделал попытку обобщить имеющиеся немногочисленные данные о соотношении между суммой атмосферных осадков и величиной «испаряемости с водной поверхности». В 1884 г. А. И. Воейков впервые предложил математическую запись уравнения водного баланса Каспийского моря для среднееголетнего периода:

$$Z = X + Y, \quad (3.34)$$

где  $Z$  – испарение с водной поверхности;  $X$  – атмосферные осадки, выпавшие на водную поверхность;  $Y$  – пополнение морских вод за счет речного притока.

Для речного бассейна уравнение водного баланса впервые было составлено в 1896 г. австрийским исследователем А. Пенком и для аналогичного уравнению (3.34) периода имеет вид:

$$Z = X - Y, \quad (3.35)$$

где  $Z$  – суммарное испарение с речного бассейна;  $X$  – атмосферные осадки, выпавшие на поверхность речного бассейна;  $Y$  – сток с речного бассейна.

К концу первого исторического этапа тепловоднобалансовых исследований сложились четкие представления о круговороте воды в природе, и уравнение водного баланса обрело логичное математическое выражение.

*II этап* приходится на первую половину XX века и характеризуется продолжением исследований в теории водного и теплового балансов. Е. В. Оппоков предложил форму записи уравнения водного баланса применительно к любому интервалу времени, введя в уравнение (3.35) параметр ( $u$ ), учитывающий накопление или расходование влаги в речном бассейне:

$$Z = X - Y \pm u. \quad (3.36)$$

Е. А. Гейнц и Г. Н. Высоцкий впервые произвели дифференциацию составляющих водного баланса, разделив сток на поверхностный и подземный, а испарение – на общее и продуктивное. Совместное решение теплового и водного балансов нашло свое отражение в работах Э. М. Ольдекопа, который предложил зависимость для средних многолетних условий и годового интервала времени:

$$Z = Z_m \text{th}(X/Z_m), \quad (3.37)$$

где  $Z_m$  – величина максимально возможного испарения;  $\text{th}$  – гиперболический тангенс.

Э. М. Ольдекоп предложил заменить термин «испаряемость с водной поверхности» термином «максимально возможное испарение».

В начале XX века сложилось окончательное мнение о том, что практически все теплоэнергетические характеристики климата являются производными от суммарной коротковолновой радиации. Ее исследованиями занимался ряд авторов: Н. Kimball, М. Milankovitsch и др. Для расчета суммарной коротковолновой радиации Н. Kimball предложил формулу

$$Q = Q' [0,29 + 0,71(1 - O)], \quad (3.38)$$

где  $Q'$  – суммарная радиация при отсутствии облачности;  $O$  – параметр облачности в долях единицы.

На втором этапе исследований естественной тепловлагообеспеченности земной поверхности выделяются две группы методов.

К первой группе относятся методы оценки условий тепловлагообеспеченности, основанные на материалах непосредственных многолетних наблюдений за отдельными элементами водного, радиационного и теплового балансов, включающие специальные таблицы и картографические схемы распределения этих элементов в пространстве и во времени. Сюда относятся выполненные А. И. Воейковым (1884 г.), С. И. Небольсиным (1916 г.), А. А. Красовским (1938 г.), О. А. Дроздовым (1948 г.) и другими учеными обобщения данных об атмосферных осадках как для территории бывшего СССР, так и в целом для Земного шара. К первой группе методов относятся предложенные Д. И. Кочериным (1927–1929 гг.), М. А. Великановым и Д. Л. Соколовским (1928 г.), П. С. Кузиным (1934–1950 гг.), Б. Д. Зайковым (1937–1946 гг.), В. А. Троицким (1948 г.) схемы распределения стока и суммарного испарения. Различными исследователями выполнялись обобщения данных о пространственно-временном распределении температур воздуха и почвы, относительной влажности и дефицитов влажности воздуха.

Вторую группу составляют методы относительных показателей, синтезирующие ресурсы тепла и ресурсы влаги. И. А. Prescott (1931 г.), П. С. Кузин (1934 г.) и другие исследователи сделали предположение, сводящееся к выражению величины климатического коэффициента увлажнения через отношение суммы атмосферных осадков ( $X$ ) к функции дефицита влажности воздуха, количественно представляющей испаряющую способность воздуха

$$K = X/f(d), \quad (3.39)$$

где  $d$  – дефицит влажности воздуха.

Подобным формуле (3.39) является коэффициент увлажнения, предложенный Г.Т. Селяниновым (1930 г.), где функция дефицита влажности воздуха  $f(d)$  заменена десятой частью от суммы среднесуточных температур воздуха выше  $+10^{\circ}\text{C}$  за рассматриваемый интервал времени

$$K_c = \frac{X}{0,1 \sum t_{>10^{\circ}\text{C}}}. \quad (3.40)$$

Коэффициент ( $K_c$ ) назван «условным балансом влаги», или «гидротермическим коэффициентом». Зависимость (3.40) является первым приближением в оценке соотношения количества влаги фактического и потребного, соизмеримого с теплоресурсами конкретной природно-климатической зоны.

Другой формой критерия влагообеспеченности стал «коэффициент увлажнения» А. Н. Костякова (1938 г.):

$$K_K = \alpha X / Z_{\text{опт}}, \quad (3.41)$$

где  $\alpha$  – коэффициент испарения;  $Z_{\text{опт}}$  – оптимально потребное количество влаги, определяемое по заданному урожаю и коэффициенту транспирации.

В качестве показателя естественного увлажнения и теплообеспеченности М. И. Будыко (1946 г.) предложил использовать отношение годового радиационного баланса подстилающей земной поверхности к количеству тепла, способного испарить годовую сумму атмосферных осадков («индекс сухости»):

$$K_B = R/LX, \quad (3.42)$$

где  $R$  – радиационный баланс за годовой отрезок времени;  $L$  – скрытая теплота испарения.

На втором этапе развития исследований стало возможным практически использовать воднобалансовый метод, чему способствовала оценка условий влагообеспеченности по материалам непосредственных многолетних наблюдений за элементами водного баланса (см. выше – первая группа методов). Однако одних количественных данных недостаточно для выявления закономерностей увлажнения и теплообеспеченности подстилающей поверхности. Решить эту задачу позволяют методы относительных показателей (см. выше – вторая группа методов). Но их использование ограничено средним годовым периодом, так как в расчетных формулах не учитывается внутригодовое перераспределение входящих в эти зависимости характеристик.

*III этап* начался с середины XX века, когда науки о Земле достигли такого уровня, при котором появилась возможность сделать не только качественные выводы о том, как протекают различные природные процессы, но и количественно описать их, т.е. синтезировать накопленные знания – фактически замыкающиеся на водный баланс территории как на связующее звено между различными компонентами природы. На третьем этапе продолжились исследования по отмеченным выше направлениям, отличающиеся глубиной проработки и вовлечением в разработки большого количества накопленных экспериментальных данных. Например, М. И. Львович предложил систему уравнений водного баланса и ввел термин «валовое увлажнение территории» ( $W_{\text{вал}}$ ):

$$X = Y_n + Y_{\text{гр}} + Z; \quad (3.43)$$

$$W_{\text{вал}} = X - Y_n; \quad (3.44)$$

$$K_{\text{гр}} = Y_{\text{гр}} / W_{\text{вал}}; \quad (3.45)$$

$$K_z = Z / W_{\text{вал}}; \quad (3.46)$$

где  $Y_n$  – поверхностный сток;  $Y_{\text{гр}}$  – подземный сток;  $K_{\text{гр}}$  – коэффициент питания рек подземными водами;  $K_z$  – коэффициент испарения.

Валовое увлажнение территории характеризует ту часть атмосферных осадков, которая задерживается на поверхности растительного покрова.

Наиболее четкое и полное трактование теплового баланса подстилающей поверхности земли дано М. И. Будыко. Уравнение, выражающее частный случай закона сохранения и превращения энергии, по М. И. Будыко, имеет вид:

$$R = LZ + P + \Phi, \quad (3.47)$$

где  $P$  – сумма конвективных (турбулентных) потоков тепла между земной поверхностью и атмосферой;  $\Phi$  – сумма потоков тепла между земной поверхностью и нижележащими слоями почвы.

С. И. Харченко для расчета суммарного испарения с сельскохозяйственных полей предложил к использованию тепловоднобалансовый метод

$$Z = \frac{2W_{hh} + X}{1 + \frac{2\gamma}{\beta Z_0}}, \quad (3.48)$$

где  $W_{hh}$  – влагозапасы в активном слое влагообмена в начале расчетного периода;  $\gamma$  – свободная пористость;  $\beta$  – угловой коэффициент наклона линии связи, зависящий от фазы развития растений и состояния деятельной поверхности;  $Z_0$  – испаряемость.

Кроме того, автор предложил оригинальные методики по определению коэффициента ( $\beta$ ), а также испаряемости ( $Z_0$ ).

В. С. Мезенцевым показано, что уравнение связи элементов водного и теплового балансов имеет сложный вид. Наиболее емкой и приемлемой формой аналитической зависимости выступает уравнение:

$$Z = Z_m \left[ 1 + \left( \frac{X + W_i - W_{i+1}}{Z_m} \right)^{-n} \right]^{\frac{1}{n}}, \quad (3.49)$$

где  $W_i$ ;  $W_{i+1}$  – влагозапасы в деятельном слое почвы соответственно на начало и конец расчетного периода;  $n$  – параметр стока.

Все элементы, входящие в уравнение (3.49), имеют ясный физический смысл, за исключением параметра ( $n$ ). В. С. Мезенцев и И. В. Карнацевич дали четкое логическое обоснование этого параметра, который всецело определяется соотношением фактического и максимально возможного испарения при оптимальном увлажнении деятельного слоя почвогрунта:

$$n = -0,301/\lg(Z_k/Z_m), \quad (3.50)$$

где  $Z_k$  – оптимальное суммарное испарение.

Метод гидролого-климатических расчетов В. С. Мезенцева позволил решить целый круг вопросов, исходя из реальных условий теплового обеспечения территории, как-то: нахождение средних многолетних величин суммарного испарения, суммарного стока; расчет динамики почвенных влагозапасов и др. В дальнейшем с использованием данного метода была исследована естественная теплового обеспечения большей части Зауралья, в том числе территории Сибири (В. Е. Валуев и др.). Широкое применение метод В. С. Мезенцева нашел и в Беларуси (М. Г. Голченко, А. А. Волчек и др.).

Для третьего исторического этапа тепловоднобалансовых исследований характерна их практическая направленность, например установление средних многолетних значений исследуемых характеристик. Этому способствовал достаточный период наблюдений, по отдельным станциям и характеристикам достигший 70 и более лет. Появились такие понятия, как «репрезентативность ряда наблюдений» и «норма гидрометеозлемента». Наиболее полные обобщения исследований средних многолетних значений (норм) различных тепловоднобалансовых характеристик для территории Беларуси приводятся А. Х. Шкляром. Безусловно, впервые установленные значения норм не раз уточнялись и будут уточняться с учетом различных факторов.

Для территории Беларуси схема расчета водного баланса двух зон – поверхностной и подземной была разработана А. Г. Булавко:

$$W_i + X - Y - Z = W_{i+1}. \quad (3.51)$$

*Современный этап* тепловоднобалансовых исследований характеризуется тенденцией к непосредственному измерению основных балансовых показателей. Однако экономические факторы накладывают ограничения на сгущение опорной сети пунктов наблюдений. В связи с этим исследователями разрабатываются методики аналитических расчетов при отсутствии данных наблюдений за некоторыми балансовыми элементами, основанные, как правило, на поиске корреляционных зависимостей между ними и массово наблюдаемыми характеристиками.

В. Г. Андреев внес существенный вклад в разработку метода расчета водного баланса речных бассейнов при отсутствии данных наблюдений. Были использованы идеи М. И. Будыко относительно испаряемости; С. И. Харченко, С. W. Thorntwaite и I. P. Mather – о необходимости учета в формуле испарения текущих осадков, а также аккумуляции – коэффициентом отставания стока; С. W. Thorntwaite и I. P. Mather – о необходимости оценки просачивания и избытков влаги в бассейне.

Расширение целей использования балансового метода, помимо изучения естественного увлажнения и теплообеспеченности подстилающей поверхности земли, вызвало необходимость расчета теп-

ловоднобалансовых характеристик за короткие интервалы времени. Особенно это актуализировалось с развитием крупномасштабных гидромелиораций в конце 70-х – начале 80-х годов прошлого столетия, когда проектировать мелиоративные мероприятия стали с использованием материалов расчетов водных балансов деятельного почвенного слоя за сезонные, месячные и декадные интервалы времени. Так, В. И. Бабкиным и другими учеными предложены методики расчетов водного баланса за короткие интервалы времени.

Следует отметить вклад белорусских ученых в развитие методов тепловоднобалансовых исследований, особенно В. Ф. Шебеко. По результатам обобщения многолетних экспериментальных данных ими были выполнены теоретические исследования влияния мелиорации земель на естественный водный режим территорий и в целом на окружающую среду.

А. П. Лихацевичем проанализированы широко используемые исследователями и трактуемые с различными акцентами термины «суммарное испарение» и «испаряемость». В частности, автором рассмотрены пять определений испаряемости, дан их критический анализ. Незакрепленность в официальных стандартах и технических кодексах подобных терминов и определений приводит к их расширенному толкованию. В связи с этим И. В. Карнацевич и другие авторы указали на известную неопределенность понятия «испаряемость», а А. П. Лихацевич рекомендовал авторам, использующим термины типа «испарение», «испаряемость» и иные, особо указывать их смысловое содержание.

Ныне востребованы и успешно реализуются математическое моделирование гидрологических явлений и процессов в речных бассейнах, оперативное прогнозирование тепловоднобалансовых характеристик, их картографирование для целей управления природным комплексом. Актуальной становится оптимизация параметров окружающей среды, определяющих продуктивность мелиорируемых земель посредством прямого регулирования водных, тепловых, воздушных и других свойств почвенного покрова.

Накопленные знания позволили перейти к самому важному, завершающему этапу в агроклиматологии – агроклиматическому районированию территорий. Необходимо отметить, что процесс районирования осуществлялся непрерывно на всех предыдущих этапах. Для территории Беларуси наиболее важными достижениями являются работы А. И. Кайгородова (1932 г.), Н. А. Малишевской (1970 г.), А. Х. Шкляра (1973 г.), В. И. Мельника (2004 г.) и др. С научной точки зрения, выделяются работы А. Х. Шкляра, которые основываются прежде всего на физико-географическом районировании. На территории Беларуси им были выделены три агроклиматические области (1973 г.): I – Северная, II – Центральная, III – Южная (Полесская провинция). Данное районирование базируется на суммах температур выше 10 °С.

Происходящие климатические колебания, современный этап которых характеризуется потеплением, определили появление на территории Беларуси Новой агроклиматической области (В. И. Мельник, 2004 г.). Однако уже сейчас можно говорить о расширении ее границ в северном направлении в связи с аномально жаркими вегетационными периодами 2010-х годов. На рисунке 3.69 представлены агроклиматические области Беларуси за различные периоды [18].

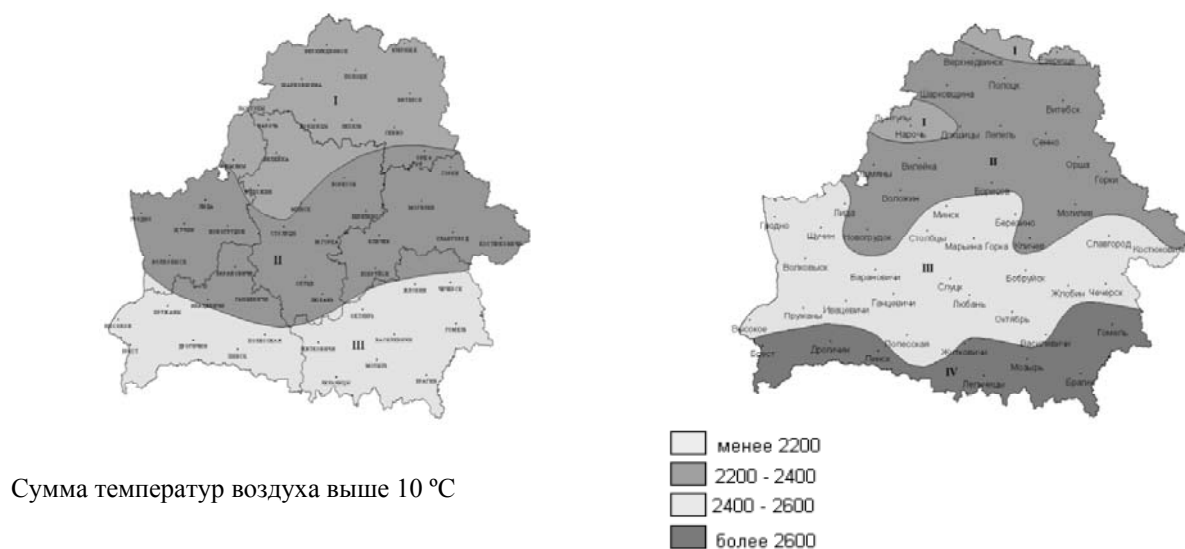


Рисунок 3.69 – Изменение границ агроклиматических областей Беларуси [18]:  
 а) границы агроклиматических областей по А. Х. Шкляру (1973 г.);  
 б) границы агроклиматических областей за период потепления 1989–2015 гг.  
 I – Северная, II – Центральная, III – Южная, IV – Новая

Территория Белорусского Полесья расположена в пределах двух агроклиматических областей – Южной и Новой – и характеризуется агроклиматическими ресурсами [18], представленными в таблице 3.53.

Таблица 3.53 – Характеристика агроклиматических ресурсов агроклиматических областей за современный период потепления (1989-2015 гг.)

Основные характеристики			Агроклиматические области	
			Южная	Новая
Средняя температура воздуха за месяц (°С)	Самый тёплый (июль)	крайние значения	18,6–19,6	19,6–20,4
		средние значения	19,0	19,8
	Самый холодный (январь)	крайние значения	–5,0...–2,5	–3,9...–2,1
		средние значения	–3,6	–3,3
Продолжительность периода (дни) со среднесуточной температурой воздуха выше	0 °С	крайние значения	246–274	257–280
		средние значения	259	263
	5 °С	крайние значения	199–216	209–222
		средние значения	207	213
	10 °С	крайние значения	152–162	161–168
		средние значения	156	163
	15 °С	крайние значения	93–107	106–114
		средние значения	99	109
Продолжительность беззаморозкового периода в воздухе (дни)	крайние значения	134–168	148–178	
	средние значения	157	164	
Сумма температур за период выше и равной	5 °С	крайние значения	2752–2973	2973–3142
		средние значения	2856	3034
	10 °С	крайние значения	2401–2599	2607–2746
		средние значения	2478	2667
Количество осадков (мм)	За год	крайние значения	548–692	563–733
		средние значения	630	638
	За тёплый период (апрель – октябрь)	крайние значения	379–468	388–497
		средние значения	432	439
Продолжительность периода со среднесуточной температурой ниже 0 °С (дни)	крайние значения	91–119	85–108	
	средние значения	107	102	
Число дней со снежным покровом	крайние значения	64–106	72–90	
	средние значения	87	80	

В таблице 3.54 приведены данные государственного климатического кадастра дифференцированно по метеостанциям Белорусского Полесья, характеризующие агроклиматические ресурсы. Период обобщения данных – 1981–2010 гг., что является климатической нормой.

Таблица 3.54 – Даты перехода средней суточной температуры воздуха через 0, 5, 10 и 15 °С и продолжительность периодов между этими датами

Метеостанция	Период с температурой ≥ 0 °С			Период с температурой ≥ 5 °С			Период с температурой ≥ 10 °С			Период с температурой ≥ 15 °С		
	начало	окончание	продолжительность	начало	окончание	продолжительность	начало	окончание	продолжительность	начало	окончание	продолжительность
Ганцевичи	13.03	23.11	256	5.04	28.10	207	27.04	28.09	155	28.05	1.09	97
Ивацевичи	11.03	25.11	260	4.04	29.10	209	25.04	1.10	160	24.05	3.09	103
Пружаны	11.03	26.11	261	4.04	30.10	210	26.04	1.10	159	29.05	2.09	97
Высокое	9.03	29.11	266	3.04	31.10	212	26.04	2.10	160	26.05	3.09	101
Полесская	13.03	23.11	256	5.04	27.10	206	27.04	27.09	154	30.05	31.08	94
Брест	5.03	2.12	273	31.03	3.11	218	22.04	6.10	168	19.05	7.09	112
Пинск	10.03	26.11	262	2.04	30.10	212	23.04	3.10	164	20.05	5.09	109
Чечерск	17.03	16.11	245	6.04	24.10	202	26.04	28.09	156	22.05	3.09	105
Октябрь	15.03	20.11	251	5.04	26.10	205	26.04	28.09	156	23.05	2.09	103
Гомель	15.03	18.11	249	4.04	26.10	206	23.04	1.10	162	17.05	6.09	113
Василевичи	14.03	20.11	252	4.04	26.10	206	25.04	30.09	159	22.05	3.09	105
Житковичи	12.03	23.11	257	4.04	28.10	208	24.04	30.09	160	22.05	3.09	105
Мозырь	15.03	20.11	251	4.04	27.10	207	24.04	1.10	161	21.05	4.09	107
Лельчицы	12.03	24.11	258	3.04	28.10	209	24.04	1.10	161	19.05	5.09	110
Брагин	15.03	20.11	251	4.04	26.10	206	24.04	29.09	159	22.05	3.09	105