

$$\text{для } T_{min,p} = T_{min} \{k_3 + k_4 \ln [-\ln (1-p)]\}, \quad (3.53)$$

где $T_{max}(T_{min})$ – значение максимальной (минимальной) температуры наружного воздуха с годовой вероятностью превышения 0,02;

$$k_1 = (u, c) / \{(u, c) + 3,902\}; \quad (3.54)$$

$$k_2 = 1/\{(u, c) + 3,902\}; \quad (3.55)$$

$$k_3 = (u,c) / \{(u,c) - 3,902\}; \quad (3.56)$$

$$k_4 = 1/\{(u,c) - 3,902\}, \quad (3.57)$$

где u, c – параметры вида и функции распределения годовых максимумов температуры наружного воздуха, зависящие от среднего значения (m) и стандартного отклонения (σ) выборки экстремальных значений:

$$\text{для максимума: } (u = m - 0,57722 / c \text{ и } c = 1,2825 / \sigma), \quad (3.58)$$

$$\text{для минимума: } (u = m + 0,57722 / c \text{ и } c = 1,2825 / \sigma). \quad (3.59)$$

При отсутствии информации о параметрах (u) и (c) ТКП EN 1991-1-5 [217] рекомендует применять следующие значения: $k_1 = 0,781$; $k_2 = 0,056$; $k_3 = 0,393$; $k_4 = -0,156$.

Выполненные нами исследования для территории Беларуси позволили получить для годовых максимумов следующие значения соответствующих параметров:

$$m = 31,1; \quad \sigma = 2,07; \quad u = 30,1683; \quad c = 0,6196; \quad k_1 = 0,827; \quad k_2 = 0,044.$$

Подобно годовым максимумам исследованы параметры годовых минимумов температур воздуха и получены следующие значения соответствующих параметров:

$$m = -25,3; \quad \sigma = 4,90; \quad u = -23,0946; \quad c = 0,2617; \quad k_3 = 0,608; \quad k_4 = -0,101.$$

Пространственная изменчивость коэффициентов (k_3) и (k_4) в пределах исследуемой территории несколько больше коэффициентов (k_1) и (k_2), однако конечные результаты определения ($T_{min,p}$) по коэффициентам (k_3) и (k_4) для конкретных пунктов не дают существенных расхождений между температурами ($T_{min,p}$), полученными по осредненным для исследуемой территории значениям (k_3) и (k_4).

3.10. Методика прогнозирования климата

Для прогнозов изменения климата должны использоваться как глобальные, так и региональные климатические модели, которые основаны на описании процессов в динамике и базируются на численном решении систем уравнений в частных производных математической физики. Кроме того, необходимость использования климатических моделей для прогноза метеорологических показателей вместо статистических методов обработки метеорологических данных обусловлена многообразием и природных, и антропогенных факторов – как в целом на планете, так и в регионе, которые оказывают и потенциально могут оказывать влияние на изменение климата [191].

Именно поэтому путь прогнозирования, основанный на использовании глобальных и региональных климатических моделей, является более корректным, чем просто использование статистических методов для определения регрессионных зависимостей, например, «температура – осадки» за предыдущий период с учетом репрезентативности этого периода и экстраполяции полученных статистических зависимостей для определения искомых величин на будущий период. Вместе с тем для выполнения первичного анализа и обобщения исходной информации, определения тенденций изменения климата за предыдущий период необходимо использовать (и чаще всего используются) статистические методы.

Глобальные климатические модели охватывают весь Земной шар, имеют большой размер сетки. Для общей оценки изменения климата вначале должна быть использована именно глобальная модель с учетом мировых сценариев развития человечества и соответственно выброса парниковых газов, с учетом метеорологических данных, имеющихся во Всемирной метеорологической организации (ВМО), включая исследуемый регион прогнозирования.

Результаты моделирования с помощью глобальной модели служат граничными и начальными условиями для региональной климатической модели, которая уточняет глобальный прогноз с использованием более мелкой сетки (до 20 x 20 км), детальных климатических данных по расположенным метеорологическим станциям в исследуемом регионе.

3.10.1. Глобальные климатические модели

LEAP (Longrange Energy Alternatives Planning System) – широко используемый программный инструмент для анализа энергетической политики и оценки смягчения последствий изменения климата, разработанный в Стокгольмском институте окружающей среды. LEAP был принят сотнями ор-

ганизаций более чем в 150 странах мира. В число пользователей входят представители государственных учреждений, научных кругов, неправительственных организаций, консалтинговых и энергетических компаний. LEAP представляет собой интегрированный инструмент моделирования, который может быть использован для отслеживания потребления энергии, добычи ресурсов и производства во всех секторах экономики, а также для учета источников выбросов парниковых газов [10].

CSIRO Mk3 является глобальной климатической моделью, содержащей параметры четырех основных компонентов климатической системы (атмосферы, поверхности суши, океана и морского льда). Используется для исследования динамических и физических процессов управления климатической системой, прогнозирования основных климатических показателей, а также для исследования процессов изменения климата. Модель разработана в полном сочетании систем океан – атмосфера, без необходимости внесения каких-либо корректировок в интерактивные потоки и компоненты поля (например, температура поверхности). Совместная модель состоит из двух основных независимых модулей – AGCM (модель общей циркуляции атмосферы), содержащего атмосферный компонент, компоненты поверхности суши и морского льда и OGCM (модель океанической циркуляции) [10].

CGCM1 – глобальная климатическая модель, разработанная в Канадском центре по моделированию климата и анализа (CCCma). Это спектральная модель с треугольным усечением на волне № 32 (дающим разрешение сетки примерно $3,7^\circ \times 3,7^\circ$) и 10 уровнями по вертикали. Модель использует данные о потоках тепла и влаги, полученные из несвязанных океанических и атмосферных моделей (продолжительностью до 10 лет и 4000 лет соответственно) [10].

Самыми известными и широко используемыми в настоящее время являются глобальная климатическая модель ECHAM5 и региональная климатическая модель CCLM [9].

ECHAM представляет собой глобальную климатическую модель, разработанную в Институте метеорологии Макса Планка. Она была создана в процессе модификации глобальных моделей прогноза климата в Европейском Центре среднесрочных прогнозов (ECMWF) и поэтому ее название представляет собой комбинацию сокращенных аббревиатур мест ее происхождения (EC) и развития (Гамбург, HAM).

ECHAM5 в настоящее время является самой последней версией модели ECHAM. Основными компонентами модели являются динамическое ядро, система адвективного переноса, физические параметры (коротко- и длинноволновая радиация, слоистая облачность, конвективная облачность, горизонтальная и вертикальная диффузия, поверхностные потоки, орографические эффекты), параметры земной поверхности.

В отличие от прошлых версий произошло удвоение спектральных интервалов коротковолнового излучения, что привело к значительным изменениям в процессе моделирования климата. С технической точки зрения, ECHAM5 является более гибкой по сравнению с предшественниками. Она была протестирована на различных платформах и позволила расширить возможности моделирования средних слоев атмосферы. Для таких параметров, как содержание водяного пара, облачность, применяется адвекционная схема сохранения массы и формы. Был разработан и принят новый код длинноволнового излучения (RRTM) в версии, используемой в ECMWF. Модель имеет высокое спектральное разрешение (16 полос вместо 6). Код солнечного излучения остался в основном без изменений, за исключением того, что количество спектральных полос увеличено с 2 до 4. Параметры орбиты Земли могут быть выбраны дополнительно, с использованием полученных данных от точного определения орбиты для современного климата или из решения уравнения Кеплера. Была разработана новая схема для слоистых облаков. Она содержит прогностические уравнения для жидкой и твердой форм воды, содержащейся в облаках. Микрофизика облака включает в себя процессы образования дождя, агрегации кристаллов льда, их гравитационное оседание, сублимацию, испарение, а также замораживание и таяние.

Было разработано прогностическое уравнение для расчета количества снега, которое изменяется в результате снегопада, сублимации, таяния и разгрузки за счет ветра. Модель смешанного слоя используется для расчета температуры озер, при этом толщина льда берется из термодинамической модели. Поверхностные потоки радиации, тепла, влаги и импульса рассчитываются отдельно для открытой воды и льда. Используется новая схема для представления орографических эффектов. Новый набор данных земной поверхности (растительность, индекс площади листьев, лесистость, альbedo) был получен из глобальной базы данных с разрешением 1 км. В стандартной конфигурации модель имеет 19 из 31 вертикального слоя, верхний уровень на отметке 10 гПа. Версия средней атмосферы в настоящее время доступна с 39 или 90 слоями (верхний уровень в 0,01 гПа).

Разрешение модели составляет примерно 200 x 200 км.

Для выполнения прогнозов изменения климата наиболее приемлемой является глобальная климатическая модель ECHAM5 с учетом опыта ее использования в соседних государствах и в междуна-

родных проектах ЕЭК ООН и ENVSEC по управлению водными ресурсами трансграничных рек с учетом адаптации к изменению климата.

3.10.2. Региональные климатические модели

В начале 1990-х Немецкая служба погоды (DWD) пришла к выводу о том, что прогнозирование погоды в будущем потребует применения различных методов моделирования. Поэтому необходимо было создать модель с размером ячеек значительно меньше, чем десять километров, а имевшаяся в то время операционная модель DM (Deutschland modell) не позволяла это сделать. Такая модель была разработана в 1999 г. и получила название Lokal modell (LM). В то время большинство региональных моделей климата (RCMs) имели в своей основе модели прогноза погоды. Ученые Потсдамского института изучения изменений климата, взяв за основу LM-модель, разработали принципиально новую региональную модель климата, которая в 2002 г. была протестирована и получила название CLM [10].

К 2008 г. было сформировано открытое научное сообщество, которое занималось улучшением, развитием данной модели. Важной вехой в развитии CLM было ее использование как базовой модели в Немецком центре исследования климата (DKRZ) с 2005 г. Данное моделирование состоит из двух климатических сценариев (A1B и B1) с двумя реализациями каждого из них для периода 1960–2100 гг. Результаты моделирования служат основой целого ряда исследований об изменениях климата на региональном уровне. Впоследствии CLM была преобразована в COSMO-CLM (CCLM).

В настоящее время CCLM применяется для разработки сценариев изменения климата и экстремальных погодных явлений. Модель оперирует порядка 100 параметрами, состоит из нескольких относительно независимых модулей и покрывает территорию Европы, Африки и Индии.

Для выполнения прогнозов изменения климата региональная климатическая модель CCLM является наиболее приемлемой, учитывая опыт ее использования в соседних государствах и в международных проектах ЕЭК ООН и ENVSEC по управлению водными ресурсами трансграничных рек с учетом адаптации к изменению климата (с использованием выходных данных глобальной климатической модели ECHAM5 в качестве граничных и начальных условий).

3.10.3. Анализ национального и мирового опыта по расчетам возможных сценариев изменения климата и его воздействия на водные ресурсы

Данный раздел посвящен анализу ранее проводившихся исследований используемых моделей, полученных результатов оценок и прогнозов (сценариев) изменений климатических условий в сопредельных странах и общей оценке их применимости к территории исследуемых бассейнов.

Следует отметить, что в настоящее время в части мирового опыта развития сценариев и выполнения на их основе прогнозов изменения климата и стока достигнут значительный прогресс, который отражен в Пятом докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [84] и в приложении к этому докладу – атласе глобальных и региональных климатических прогнозов [21].

Согласно последним результатам МГЭИК для общего прогноза изменения климата и стока рекомендуется использовать мультимодельный ансамбль из четырех сценариев изменения климата – RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5, RCP2.6. Данные рекомендации были использованы в Беларуси при прогнозировании поверхностного стока по бассейнам рек Днепр и Припять в 2016 г. и при уточнении результатов прогноза стока по другим бассейнам рек Беларуси, которые получены ранее с использованием сценариев изменения климата A1B и B1 [83].

Беларусь

Исследования по оценке и прогнозу изменения климата для территории Беларуси выполняются с учетом обязательств Республики Беларусь по Рамочной конвенции ООН об изменении климата.

В Первом Национальном сообщении в соответствии с этими обязательствами используются глобальные климатические модели (ГКМ), разработанные в Центре климатических исследований в Хэдли (Великобритания) – версии HadCM2 и HadCM3. Первые прогнозные оценки агроклиматических условий Беларуси основаны на реализации модели GFDL (США) и CCC (Канада) [167].

Расчет ожидаемых агроклиматических показателей по сценарию HadCM3 для территории Беларуси с использованием имитационной системы «климат – почва – урожай» был выполнен во Всероссийском НИИ сельскохозяйственной метеорологии (г. Обнинск) О. Д. Сиротенко, Е. В. Абашиной, В. Н. Павловой. С помощью этой системы аналогичные расчеты были выполнены для составления национальных сообщений Российской Федерации по проблемам изменения климата.

Согласно Четвертому Национальному сообщению в соответствии с обязательствами Республики Беларусь по Рамочной конвенции ООН об изменении климата (2006 г.) отмечается снижение

водности в бассейнах рек в период с 1988 г. с уменьшением стока от 4 до 13 % [55]. Характерным для рассматриваемого периода является изменение распределения среднемесячного стока внутри года, в первую очередь это касается зимних и весенних месяцев, когда заметно увеличиваются месячные расходы в реках на всей территории страны – на 30–90 % в январе – марте. Увеличение зимнего стока связано с увеличением частоты оттепелей и прохождением зимних паводков. В апреле и мае сток резко уменьшается. В Сообщении приведено общее заключение о снижении максимального стока рек Беларуси, причем наиболее существенные уменьшения максимального стока отмечаются на реках Неман и Березина.

В Пятом Национальном сообщении Республики Беларусь в соответствии с обязательствами по Рамочной конвенции ООН об изменении климата (2009 г.) используется модель LEAP [180].

Для прогноза выбросов на период до 2020 г. использовалась методика «сверху-вниз». Данная методология охватывает все парниковые газы и все отрасли экономики, которые представлены в кадастре. Для прогноза выбросов в отрасли «Энергетика» использовали модель LEAP, для остальных отраслей – экспертную оценку.

В Сообщении дано заключение: «изменение климата приведет к увеличению изменчивости стока, увеличению повторяемости экстремальных явлений (засух, интенсивных паводков)».

В Беларуси исследования по изучению климата проводят и в рамках проекта трансграничного сотрудничества TACIS SKPI «Оказание поддержки в реализации Киотского протокола в странах СНГ» [46]. В рамках этого проекта используются модели – ECHAM5, модель Института Макса Планка атмосферной циркуляции и модель CSIRO Mk3 биопродуктивности.

Выполненные исследования позволили сделать ряд обобщений (выводов):

- ожидается увеличение количества дней с положительными температурами в конце зимы;
- разница между климатом 1990 г. и нынешним климатом составила +1,2 °С;
- на более ранние периоды сместится дата устойчивого перехода температуры через 0 °С;
- продолжится рост осадков в зимние месяцы и сокращение осадков в ранневесенние месяцы, особенно на юге страны.

На рисунках 3.77, 3.78 показано прогнозируемое изменение температуры и осадков в Республике Беларусь по результатам проекта TACIS SKPI, которые иллюстрируют приведенные выводы [46].

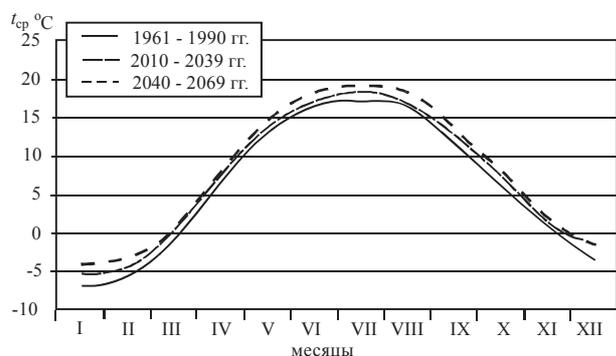


Рисунок 3.77 – Прогноз изменения среднемесячной температуры [158]

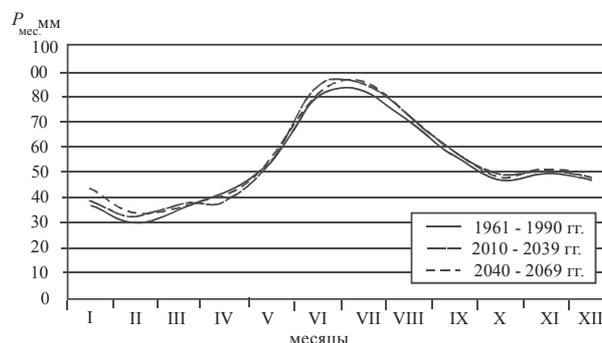


Рисунок 3.78 – Прогноз изменения месячного количества осадков для среднемесячных температур [158]

Согласно этому сценарию в XXI веке средняя температура приземного воздуха в целом по территории Беларуси продолжит повышаться, в первую очередь, за счет повышения минимальных температур. Перечисленные тенденции, как и многие другие особенности изменяющегося климата, окажут серьезное воздействие на условия жизни граждан и экономическую деятельность. Последствия быстрой изменчивости климатических условий будут проявляться в росте повторяемости опасных гидрометеорологических явлений и неблагоприятных резких изменений погоды, которые приводят к социально-экономическому ущербу, непосредственно влияют на эффективность деятельности таких жизненно важных отраслей экономики, как сельскохозяйственное производство, лесное хозяйство, энергетика, транспорт, строительство, жилищно-коммунальное хозяйство, а также на здоровье людей.

На основании анализа данных Республиканского гидрометеорологического центра (РГМЦ) его сотрудниками были получены следующие результаты. В Беларуси на конец XX и начало XXI вв. пришелся самый продолжительный период потепления за все время инструментальных наблюдений за температурой воздуха на протяжении последних почти 130 лет. Особенность этого потепления не только в небывалой его продолжительности, но и в более высокой температуре воздуха, которая в среднем за 20 лет (1989–2009 гг.) превысила климатическую норму на 1,1 °С. Из 20 самых теплых лет начиная с послевоенного периода (1945 г.) 16 лет приходится на 1989–2010 гг.

Повышение температурного режима произошло практически в каждом месяце. Рост температуры воздуха наиболее значителен в зимние и первые весенние месяцы. Намечается тенденция увеличения продолжительности беззаморозкового периода. Майские заморозки разной интенсивности наблюдаются ежегодно, и они наиболее опасны, особенно для теплолюбивых культур. Опасность осенних заморозков не столь значительна, ибо увеличение температуры воздуха в весенние и летние месяцы определяет ускоренное созревание сельскохозяйственных культур.

Повышенные температуры первых весенних месяцев приводят к более раннему сходу снежного покрова и переходу температуры воздуха через 0 °С в сторону повышения. В среднем за изучаемый период переход происходил на 10–15 дней раньше средних многолетних значений. Продолжительность периода со снежным покровом в Республике Беларусь сократилась на 10–15 дней, а глубина промерзания уменьшилась на 6–10 см. На декаду раньше начинается вегетационный период.

В научно-методическом контексте всестороннее изучение изменения климата и его последствий для экономики Беларуси провел доктор географических наук, академик В. Ф. Логинов [116]. В его работах дается сравнительный анализ различных моделей циркуляции атмосферы и океана (МОЦА). По его результатам, наилучшим образом моделирует данные базового периода модель HadCM2 (Великобритания) и учитывает совместное увеличение парниковых газов и сульфатных аэрозолей. Несколько худшие результаты сравнения показывают модели CSIRO Mk2 (Австралия) и CGCM1 (Канада).

Прогнозные данные с использованием модели HadCM2 на период 2010–2039 гг. показывают увеличение среднегодовой температуры воздуха на 1 °С, при этом среднегодовая дневная температура повышается на 0,92 °С, а ночная – на 1,15 °С. Приращения сумм температур выше 0, 5 и 10 °С ожидаются примерно одинаковыми и составляют приблизительно 200–220 °, приращение сумм для 15 °С значительно выше.

Существующие оценки изменений климата для территории Беларуси не противоречат концепции глобального потепления климата. В последние десятилетия намечается четко выраженная тенденция потепления, особенно в зимние и весенние месяцы (I–IV). На конец XX – начало XXI в. приходится самый продолжительный период потепления за весь более чем 120-летний период систематических инструментальных наблюдений в Беларуси.

Следует отметить, что приведенные результаты исследований и оценок, выполненных в Беларуси, носят наиболее общий и приближенный характер. Ранее в разрезе речных бассейнов оценка воздействия глобального изменения климата на водные ресурсы в Беларуси не проводилась.

Исключение составляют работы, проведенные в 2012 г. в Беларуси и Литве в рамках международного проекта «Управление водными ресурсами бассейна реки Неман с учетом адаптации к изменению климата» в рамках группы пилотных проектов Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН) и инициативы «Окружающая среда и безопасность» по управлению водными ресурсами трансграничных водотоков с учетом адаптации к изменению климата.

Россия

Для базового исследования воздействия климата на водные ресурсы анализировалась информация, приведенная в докладе «О стратегических оценках последствий изменений климата в ближайшие 10–20 лет для природной среды и экономики Союзного государства» [158], подготовленном научными коллективами Российской Федерации и Республики Беларусь. Согласно данному докладу зимой на территории Союзного государства повсеместно ожидается рост осадков. Летом осадки будут увеличиваться только в средней полосе и на севере России. В Республике Беларусь летом можно ожидать незначительного увеличения осадков в отдельные месяцы. В южных регионах Союзного государства, прежде всего российских, следует ожидать развития засушливых условий. При этом в ряде регионов, в том числе засушливых, летом ожидается рост интенсивности ливневых осадков. В тех регионах, где уже существует достаточное или избыточное увлажнение, будет происходить увеличение водных ресурсов.

Литва

Для прогнозирования изменений климата в докладе Агентства по защите окружающей среды Литвы [46] представлены самые приемлемые и разработанные в Европе модели (HadCM3 и ECHAM5), наиболее комплексно отражающие происходящие процессы и обратные связи.

При этом рассматривались следующие сценарии социально-экономического развития:

A1 – предусматривается очень быстрое развитие экономики, рост численности населения до середины XXI в., а затем снижение, быстрое внедрение современных технологий. Часто в этой группе

выделяются три подгруппы: A1F1 – среди энергетических ресурсов будет преобладать фосфорное (органическое) топливо; A1T – будет преобладать нефосфорное (неорганическое) топливо; A1B – планируется сбалансированное использование топлива;

A2 – прогнозируется все еще весьма гетерогенный мир с постоянно растущим числом жителей. Рост экономики медленный, новые технологии внедряются только в некоторых наиболее развитых регионах;

B1 – весьма вероятно внезапная глобализация, число жителей изменяется подобно тому, как планируется в сценарии A1, но происходит весьма быстрое превращение экономической системы в информационную, а также общество становится менее потребительским, интенсивно внедряются новые чистые технологии;

B2 – мир будущего ориентирован на местное решение экономических, социальных и природо-защитных проблем. Постоянно растущая численность населения (медленнее, чем в сценарии A2) и в среднем интенсивное экономическое развитие.

В исследовании использованы выходные данные моделирования по трем сценариям выбросов парниковых газов (A1B, A2 и B1).

Наибольшая концентрация парниковых газов в воздухе прогнозируется в том случае, если человечество будет развиваться по сценарию эмиссии A2. Исполнение сценария B1 обусловило бы наименьшие изменения в климатосфере. A1B является промежуточным вариантом (хотя в первой половине века он весьма близок к сценарию A2). Большая часть выданных прогностических величин рассчитана на основании сценария изменений A1B.

В работе даны прогнозы изменений показателей климата до 2020 г., тенденции чередования засух, прогноз стока рек, оценка воздействия изменения климата на озера.

В результате проведенных исследований были сделаны следующие выводы.

По прогнозам изменения элементов климата за первые два десятилетия XXI в. во все времена года температура воздуха будет расти. Наибольшие изменения температуры воздуха прогнозируются зимой (до 2 °С), в другое время года изменения не будут превышать 1 °С. Среднегодовая температура тоже будет расти: от 0,4 до 0,7 – 0,8 °С. Осенью и зимой количество осадков будет увеличиваться, летом почти не изменится, а весной немного уменьшится. Годовое количество осадков увеличится от 2–3 мм до 25–35 мм. Весной и осенью длительность освещенности солнцем увеличится, а зимой уменьшится.

В соответствии с моделью общей циркуляции HadCM3 сценария A1B количество осадков на всей территории Литвы в течение ближайших 30 лет увеличится в среднем на 6 мм. Наибольшие изменения (8–9 мм) прогнозируются на юго-востоке и на Жямайтской возвышенности, здесь количество зимних осадков достигнет 140–180 мм. Весной количество осадков должно вырасти лишь на 3 мм, а в юго-восточной части страны прогнозируется незначительное уменьшение количества осадков. Летом и осенью количество осадков на всей территории Литвы уменьшится по 6–7 мм за сезон.

Засухи продолжительностью несколько недель на исследуемой территории возможны с апреля до октября. Вследствие этого быстро иссякают запасы влаги в почве, уменьшается горизонтальная ширина грунтовых вод, высыхают реки. Засухи в Литве становятся все более частыми: если в седьмом-девятом десятилетии XX века они случались в среднем один раз в десять лет (1964, 1971, 1983 гг.), то за последние 16 лет их число возросло даже до пяти (1992, 1994, 1999, 2002, 2006 г.). Кроме того, уже в предыдущих исследованиях была замечена тенденция, что засушливые периоды в последних десятилетиях были значительно более длительными, чем в конце XIX – начале XX в.

Изменение стока вследствие воздействия изменения климата в Литве обусловлено местными физико-географическими факторами. Это особенно характерно для бассейнов гидрологической области юго-восточной Литвы. Выделяется сдвиг весеннего половодья к более ранним срокам. Весенние половодья в большей части подбассейнов, расположенных в Западной Литве, в 2020 г. будут меньшими, чем в настоящее время, а в юго-восточной части останутся похожими или даже превысят сегодняшние. В гидрологической области Центральной Литвы четких, характерных тенденций развития весенних половодий до 2020 г. установить не удалось. Летне-осенний сток на всей территории бассейна по сравнению с наблюдаемым в настоящее время станет значительно более равномерным (в большинстве рек будет ощущаться меньшее влияние дождей паводков). В низовьях Немана (возле гг. Лампеджяй и Смалнинкай) зимние паводки 2020 г. статистически могут считаться началом весеннего половодья: в большинстве случаев подъем уровня воды, начавшийся зимой, будет продолжаться до конца весеннего половодья.

Доля подземного стока в общем стоке рек Литвы до 2020 г. останется аналогичной значению, имеющемуся в настоящее время. Весьма незначительно изменится и годовое изменение подземного

стока. Испарение несколько увеличится на всей территории Литвы. Наиболее заметное изменение суммарного испарения – сдвиг пика его интенсивности в сторону весны в регионах Центральной и Западной Литвы. В гидрологической области Центральной Литвы и на Жямайтийской возвышенности максимальное суммарное испарение в 2020 г. прогнозируется в мае (в настоящее время максимальные значения наблюдаются в июне-июле).

Возможное воздействие изменения климата на озера бассейна Немана следующее.

Сильных изменений в водном балансе озер до 2020 г. не предвидится. В наибольшей степени должен измениться годовой режим уровня воды, обусловленный сезонным изменением стока: ожидается, что во время таяния снега запасы озерной воды пополнятся раньше, но их уровень будет более низким, а во время летне-осенней межени будет немного выше. Ожидается меньшая годовая амплитуда уровня воды, чем в конце XX в. Общее изменение запасов воды в озерах будет довольно незначительным.

Большие изменения ожидаются в температурном и ледовом режиме озер. Ледовый покров в озерах будет образовываться позднее и будет держаться в течение более короткого времени. Чаще прогнозируются годы с непостоянным ледовым покровом. Более высокая температура теплого сезона должна обуславливать и более высокую температуру озерной воды, особенно в мелководных и нестратифицированных озерах.

Изменения термического и ледового режимов озер могут оказать влияние на интенсивность происходящих в них процессов эвтрофикации и на качество воды. Могут начаться изменения в составе экосистем озер. Вследствие удлинения периода вегетации и повышения температуры воды вероятны рост первичной продукции, более интенсивная денитрификация, изменение соотношения фосфора и азота. Изменения водного баланса, вызванные изменением климата, большого влияния на эвтрофикацию озер и качество воды не окажут.

Польша

Проведено моделирование изменения стока рек Варта, Нарва, Висла, которые расположены в разных климатических регионах Польши. Использовались 4 модели для разработки сценариев изменения климата до 2050 г.: CCCV (Канада), GFTR (США), UKNI и UKTR (Великобритания) [6].

Возможное повышение температуры воздуха и изменение режима осадков, которое прогнозируется этими моделями, приведет к увеличению температуры воды рек и озер летом, а также к изменению режима ледовых явлений. Повышение температуры воды водных объектов, кроме изменения водного баланса и гидрологического режима, может привести к некоторым изменениям качества поверхностных вод: эвтрофикации, изменению кислотности, засолению и проч.

Латвия

В исследованиях, касающихся прогноза изменения стока рек Латвии, использовались два направления моделирования [2]:

1. Комплекс региональных климатических моделей (RCM), которые позволяют моделировать изменение стока на основе прогноза климатических характеристик. Для калибровки модели использовали период с 1961 по 1990 год. Для расчетов изменения стока применяли сценарий изменения климата A2 на период с 2071 по 2100 год.

2. Комплекс гидрологических моделей для расчета климатических временных рядов стока в бассейнах в Латвии. Прогнозы стока основывались на моделях MIKE BASIN и MIKE SHE (DHI group, Дания) и FIBASIN (модель Латвийского университета).

В результате проведенных расчетов для Латвии, на территории которой были выделены 4 гидрологических региона, прогнозируется снижение дифференциации между этими регионами. В результате изменения климата стоковые характеристики рек западного и северного гидрологических районов, а также центрального и восточного регионов будут похожи. Как следствие, в условиях изменения климата в Латвии останется лишь два гидрологически различных региона (морской и континентальный) вместо существующих в настоящее время четырех.

Предварительные выводы исследований по оценке и прогнозу изменения климата, проведенных в Беларуси и сопредельных странах, в принципе сравнимы.

Учитывая опыт составления климатических прогнозов, а также результаты проекта по оценке и адаптации к изменению климата, выполненного в разных странах, наиболее приемлемой моделью циркуляции атмосферы и океана как основы для составления прогнозов климатических изменений можно предварительно считать HadCM3 и ECHAM5.

Целесообразным также является использование региональных моделей, например SCLM. В этих моделях более точно отражаются местные условия. При этом важно использовать соответствующие

сценарии (A2, A1В или B2). Разница в результатах при использовании разных моделей изменения климата меньше, чем разница, обусловленная использованием разных сценариев.

3.11. Оценка изменения климата

Тенденции изменения климата за прошедший репрезентативный период времени с учетом мирового опыта проведения таких оценок определены с использованием статистических методов.

При этом в качестве репрезентативных периодов принимаются периоды с 1986 по 2011 год (настоящее время) по отношению к периоду с 1961 по 1985 год с учетом мирового опыта определения тенденций изменения текущего состояния климатических характеристик (current status)*.

Для анализа тенденций изменения климатических данных использовались детальные данные измерений с 1961 по 2011 год в суточном разрезе: среднесуточные значения температуры воздуха и суммы осадков по метеорологическим станциям Белорусского Полесья.

Оценка изменения климата (температура воздуха и количество осадков) выполнена для метеостанций в месячном, годовом и сезонных разрезах для периода с 1986 по 2015 год по отношению к периоду с 1961 по 1986 год. Итоговые обобщенные результаты по оценке изменения климата в бассейнах рек Днепр и Припять по всем метеорологическим станциям представлены в таблицах 3.59 и 3.60.

Таблица 3.59 – Итоговая обобщенная таблица изменения температуры воздуха (°С) в бассейнах рек Днепр и Припять за период с 1961 по 2015 год

Месяцы												Год	Сезоны				
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		зима	весна	лето	осень	
<i>Минск</i>																	
2,9	2,5	2,2	1,6	0,6	0,7	1,9	1,3	0,5	0,3	0,4	0,8	1,31	2,07	1,47	1,30	0,40	
<i>Березино</i>																	
2,9	2,4	2,0	1,4	0,3	0,9	1,4	1,1	0,3	0,2	0,2	0,9	1,17	2,07	1,23	1,13	0,23	
<i>Марьино Горка</i>																	
3,0	2,6	2,2	1,5	0,5	1,0	1,5	1,3	0,6	0,4	0,3	0,8	1,31	2,13	1,40	1,27	0,43	
<i>Могилев</i>																	
3,0	2,0	1,7	1,3	0,1	0,1	1,2	0,8	0,2	0,0	-0,1	0,4	0,89	1,80	1,03	0,70	0,03	
<i>Бобруйск</i>																	
2,8	2,2	1,7	1,0	0,1	0,4	1,5	1,0	0,1	0,0	0,1	0,4	0,94	1,80	0,93	0,97	0,07	
<i>Жлобин</i>																	
3,2	2,6	2,3	1,5	0,5	1,2	1,7	1,4	0,6	0,5	0,3	0,8	1,38	2,20	1,43	1,43	0,47	
<i>Гомель</i>																	
3,3	2,5	2,2	1,5	0,8	1,1	2,1	1,5	0,7	0,5	0,3	0,6	1,43	2,13	1,50	1,57	0,50	
<i>Василевичи</i>																	
2,9	2,0	1,5	0,9	0,2	0,5	1,4	0,9	0,2	0,1	0,1	0,6	0,94	1,83	0,87	0,93	0,13	
<i>Брагин</i>																	
2,8	2,3	1,7	1,0	0,2	0,8	1,3	0,9	0,2	0,1	0,2	0,4	0,99	1,83	0,97	1,00	0,17	
<i>Славгород</i>																	
3,1	2,4	2,2	1,4	0,4	0,9	1,4	1,2	0,5	0,4	0,2	0,8	1,24	2,10	1,33	1,17	0,37	
<i>Докшицы</i>																	
2,7	2,3	2,1	1,5	0,2	0,5	1,2	0,8	0,4	0,2	0,2	1,0	1,09	2,0	1,27	0,83	0,27	
<i>Мозырь</i>																	
2,9	2,2	1,7	1,4	0,5	0,6	1,8	1,2	0,3	0,1	0,1	0,3	1,09	1,80	1,20	1,20	0,17	
<i>Житковичи</i>																	
3,0	2,3	1,7	1,1	0,5	0,7	1,8	1,3	0,3	0,2	0,2	0,5	1,13	1,93	1,10	1,27	0,23	
<i>Пинск</i>																	
2,9	2,6	2,1	1,4	0,9	0,9	2,1	1,6	0,5	0,6	0,4	0,7	1,39	2,07	1,47	1,53	0,50	
<i>Слуцк</i>																	
2,8	2,3	1,8	1,2	0,3	0,5	1,6	1,1	0,2	0,2	0,2	0,6	1,07	1,90	1,10	1,07	0,20	
<i>Полесская</i>																	
2,6	2,4	1,0	0,6	0,1	0,7	0,9	0,7	-0,2	0,0	-1,1	-0,3	0,62	1,57	0,57	0,77	-0,43	
<i>Ганцевичи</i>																	
3,1	2,9	1,5	0,9	0,2	0,6	0,9	0,5	-0,3	-0,1	-0,8	-0,1	0,78	1,97	0,87	0,67	-0,40	

* репрезентативные периоды взяты с учетом рекомендаций ЕЭК ООН, международного опыта (исследований, проводившихся в Литве в рамках разработки Плана управления водными ресурсами бассейна р. Неман) и международного проекта «Управление водными ресурсами бассейна реки Неман с учетом адаптации к изменению климата».