

**А. И. Ковалевич, А. П. Кончиц, А. П. Сачек***Институт леса Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Беларусь,  
e-mail: forinstnanb@gmail.com***ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СНИЖЕНИЯ  
УСТОЙЧИВОСТИ ХВОЙНЫХ ПОРОД БЕЛАРУСИ**

**Аннотация.** Выявлены эколого-климатические факторы снижения устойчивости хвойных пород, влияющие на сокращение водообеспеченности хвойных насаждений ввиду изменения температурного и гидрологического режимов в холодное время года. Показана высокая значимая отрицательная корреляционная зависимость весеннего стока и средней температуры вневегетационного периода. Повышение средней температуры холодного времени года обуславливает повышенный сток во вневегетационный период и, как следствие, падение уровня грунтовых вод и низкую влагообеспеченность древесных растений в вегетационный. Низкая влагообеспеченность вызывает снижение устойчивости хвойных насаждений, приводит к их массовому усыханию и сукцессионному замещению лиственными видами.

**Ключевые слова:** глобальное потепление климата, изменение гидрологического режима, снижения устойчивости, массовое усыхание хвойных насаждений

**A. I. Kovalevich, A. P. Konchits, A. P. Sachek***Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus,  
e-mail: forinstnanb@gmail.com***ECOLOGICAL AND CLIMATIC FACTORS OF DECREASING STABILITY OF CONIFEROUS SPECIES OF BELARUS**

**Abstract.** An ecological and climatic mechanism for reducing the resistance of coniferous species has been identified. This consists of reducing the water supply of coniferous plantations due to changes in temperature and hydrological regimes during the cold season. A high significant negative correlation was observed between spring runoff and the average temperature of the non-growing season. An increase in the average temperature of the cold period of the year causes increase in runoff during the non-growing season, which in turn causes a decline in groundwater levels and a reduction in moisture availability for woody plants during the growing season. A reduction in moisture availability causes a decrease in the stability of coniferous plantations, which subsequently experience extensive drying and the subsequent replacement by deciduous species.

**Key words:** global warming, changes in hydrological regime, decreased stability, massive drying out of coniferous plantations

**А. І. Кавалевіч, А. П. Кончыц, А. П. Сачок***Інстытут лесу Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Гомель, Беларусь,  
e-mail: forinstnanb@gmail.com***ЭКОЛАГА-КЛІМАТЫЧНЫЯ ФАКТАРЫ ЗНІЖЭННЯ СТАБІЛЬНАСЦІ ХВОЙНЫХ ПОРОД БЕЛАРУСІ**

**Анотацыя.** Выяўлены экалага-кліматычныя фактары зніжэння ўстойлівасці хвойных парод, якія ўплываюць на скарачэнне водазабяспечанасці хвойных насаджэнняў з прычыны змены тэмпературнага і гідралагічнага рэжымаў у халодны сезон года. Паказана высокая значная адмоўная карэляцыйная залежнасць вясновага сцёку і сярэдняй тэмпературы паза-вегетацыйнага перыяду. Павышэнне сярэдняй тэмпературы халоднага сезону года абумоўлівае павышаны сцёк у паза-вегетацыйны перыяд і, як следства, падзенне ўзроўню грунтовых вод і нізкую вільгацеазабяспечанасць дрэвавых раслін у перыяд вегетацыі. Нізкая вільгацеазабяспечанасць выклікае зніжэнне ўстойлівасці хвойных насаджэнняў, прыводзіць да іх масавага ўсыхання і сукцэсійнага замяшчэння ліставымі відамі.

**Ключавыя словы:** глабальнае пацяпленне клімату, змена гідралагічнага рэжыму, зніжэнне ўстойлівасці, масавае ўсыханне хвойных насаджэнняў

**Введение.** Леса являются одним из основных возобновляемых природных ресурсов, имеют большое значение для устойчивого социально-экономического развития страны, служат важным климатообразующим фактором. В Республике Беларусь лесистость территории составляет 40,2 %. В видовом составе лесов Беларуси преобладают хвойные виды: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) – 48,3 % и ель европейская (*Picea abies* L. Karst.) – 9,0 % лесопокрытой площади [1].

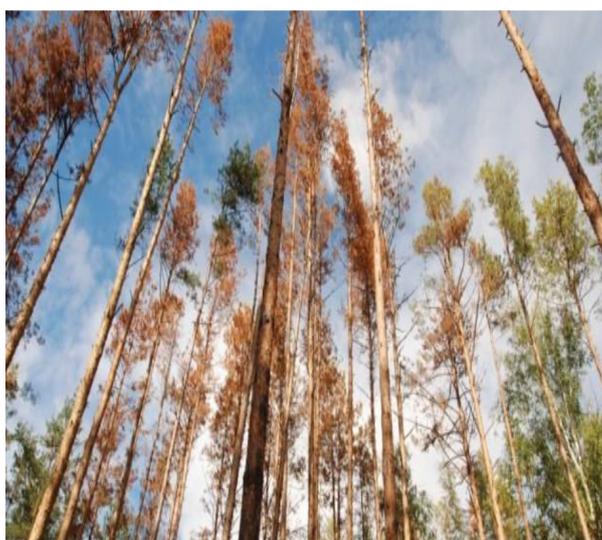
Основной экологической проблемой состояния лесов и растительного мира последних десятилетий стало массовое усыхание древостоев сосны обыкновенной и ели европейской, что связано с изменением климатических условий, сопровождавшихся интенсивным размножением стволовых вредителей и распространением болезней леса. В 2018 г. площадь погибших насаждений достигла максимальной величины за весь период ведения статистики – 50,0 тыс. га [2].

Периодическое массовое усыхание хвойных насаждений (рис. 1, 2) обусловлено абиотическими (повышение среднесуточной температуры воздуха, снижение количества атмосферных осадков и уров-

ня грунтовых вод в вегетационный период, увеличение площади ветровальных и буреломных лесных участков), биотическими (наличие хронических очагов грибных болезней, циклические вспышки размножения насекомых-вредителей, появление агрессивных видов и гибридов патогенов и вредителей, изменение ареала местопроизрастания хвойных видов) и антропогенными (несвоевременное проведение санитарно-оздоровительных и лесозащитных мероприятий, создание лесных монокультур, нарушение функционирования гидролесомелиоративной сети) факторами [3–5].

На территории Беларуси в 2016–2022 гг. площадь сплошных санитарных рубок усохших сосновых насаждений составила 115 тыс. га. Более половины всего объема было выявлено в юго-восточной части Беларуси.

Наблюдающиеся в последние годы и прогнозируемые в дальнейшем изменения климатических условий, возникающие очаги размножения стволовых вредителей и заболеваний, другие неблагоприятные факторы наносят значительный ущерб хвойным лесам, приводя к снижению биологической устойчивости древостоев и их усыханию. Последнее массовое усыхание ельников Беларуси началось в 1993 г. и наблюдалось почти непрерывно на протяжении 20 лет. Только в период 1996–2013 гг. санитарными рубками было вырублено более 29 млн м<sup>3</sup> древесины *P. abies* на площади 302 тыс. га [3].



а



б

Рис. 1. Массовое усыхание хвойных насаждений:  
а – короедное усыхание соснового насаждения; б – шестизубчатый короед

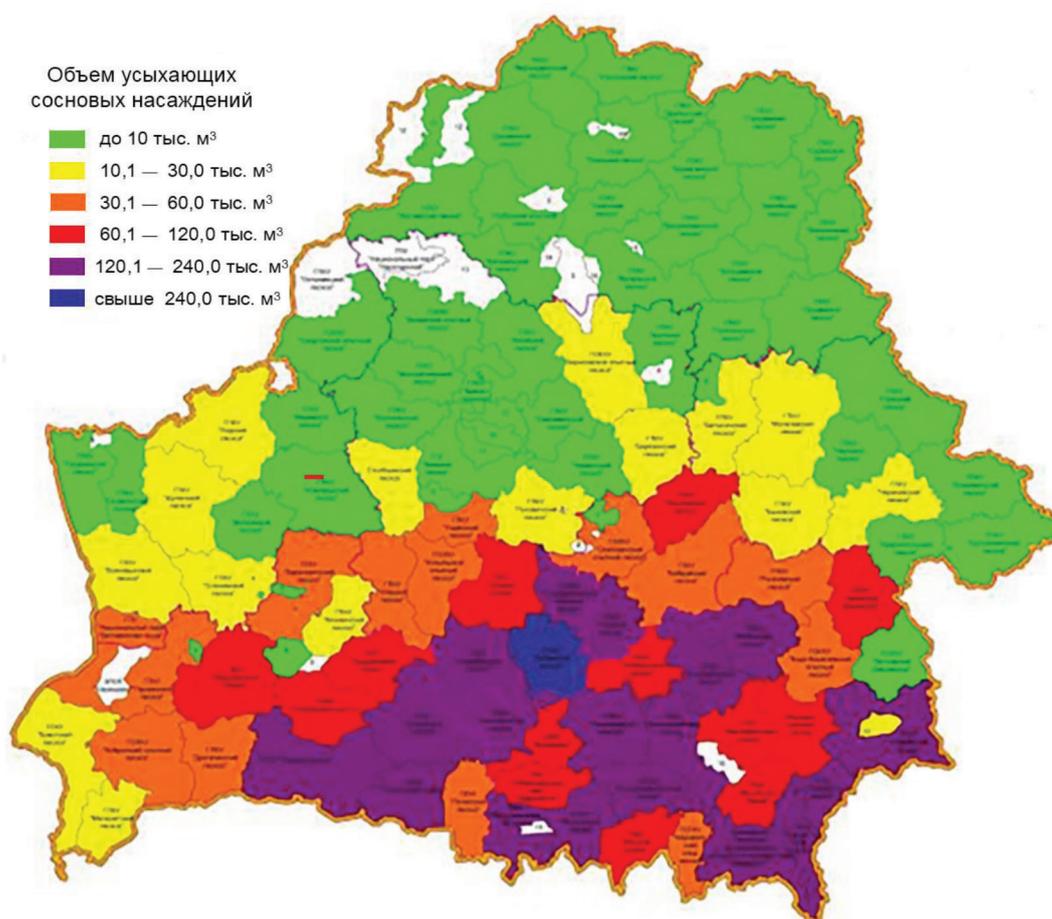


Рис. 2. Распространение массового усыхания сосновых насаждений (2017 г.)

Климат является важнейшим экологическим фактором, оказывающим существенное влияние на все компоненты окружающей среды [6–10]. Глобальное потепление, наблюдаемое в последние десятилетия, затрагивает различные процессы, протекающие в экосистемах. Согласно мнению ряда международных экспертов изменение климата представляет собой одну из самых серьезных угроз для биологического разнообразия планеты, и его роль в последующие десятилетия будет постоянно возрастать [2]. Климатические изменения вызывают целый ряд нарушений в функционировании лесных экосистем, оказывают влияние на вспышки численности вредителей и болезней.

В связи со значительным снижением устойчивости лесонасаждений к вредителям, болезням и неблагоприятным факторам окружающей среды важным являются выявление и анализ причин снижения устойчивости хвойных насаждений под воздействием эколого-климатических факторов.

Цель работы состоит в выявлении эколого-климатических факторов снижения устойчивости хвойных насаждений и их периодического массового усыхания. Район изучения включал бассейны рек Днепр и Припять за 2008–2022 гг. Исследования проведены с использованием данных Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (НСМОС).

**Основная часть.** По данным гидрометеорологических наблюдений в Беларуси за последние 20 лет среднегодовая температура воздуха увеличилась на  $1,1^{\circ}\text{C}$ . Зафиксировано незначительное повышение количества осадков. Таким образом, мы наблюдаем климатический парадокс – малое изменение климатических характеристик в благоприятную для роста и развития растений сторону приводит к резкому сокращению их влагообеспеченности в течение вегетационного периода, снижению устойчивости и массовому усыханию хвойных насаждений.

Выявление закономерностей, объясняющих климатический парадокс, позволяет глубже понять причины резкого снижения устойчивости хвойных видов и их периодического массового усыхания. Причина этого явления обуславливается особенностями изменений температурного и гидрологического режимов в холодный период года. Следует отметить, что повышение температуры в последние десятилетия в основном приходится на холодное, вневегетационное время года. Ввиду этого и достаточно высокой

средней температуры зимнего периода существенно возросло количество и продолжительность оттепелей, что, в свою очередь, привело к радикальному изменению гидрологического режима рек южных регионов Беларуси. На основе данных мониторинга поверхностных вод НСМОС [8] в 2008–2022 гг. выявлено снижение весеннего расхода воды при повышении средней температуры вневегетационного периода года (ноябрь – март) (рис. 3, 4).

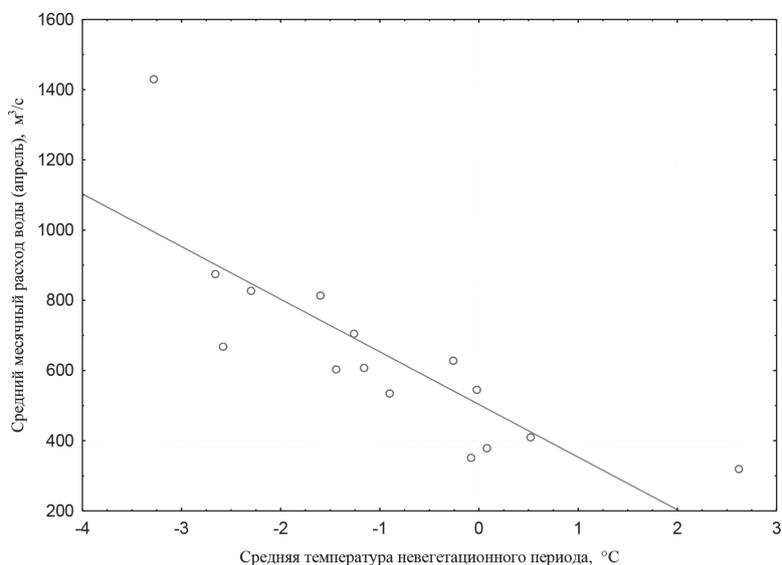


Рис. 3. Зависимость расхода воды р. Днепр в г. Речица в апреле 2008–2022 гг. от средней температуры вневегетационного периода

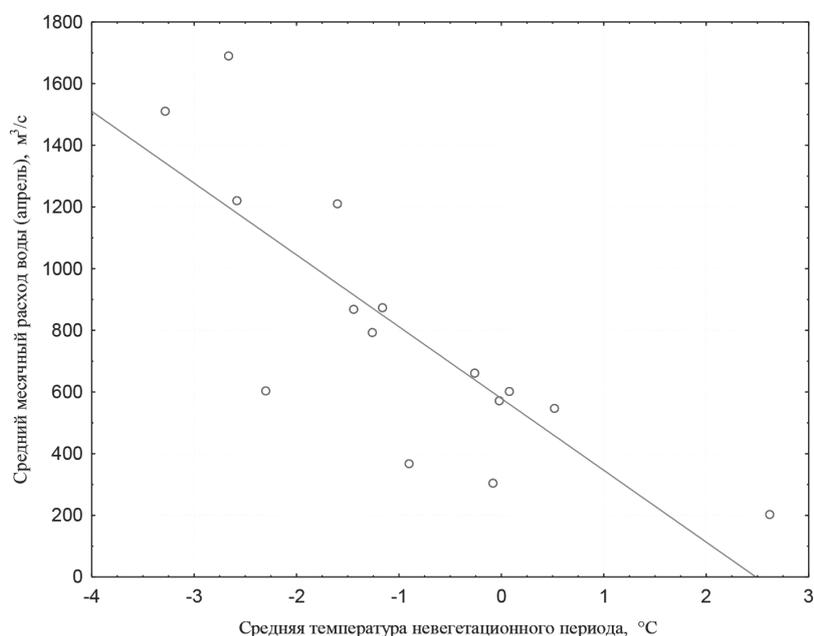


Рис. 4. Зависимость расхода воды р. Припять в г. Наровля в апреле от средней температуры вневегетационного периода

По результатам мониторинга поверхностных вод за 2008–2022 гг. средний расход воды р. Днепр в г. Речица в апреле ( $P_4$ ) статистически значимо коррелирован со средней температурой ( $T_{\text{нв}}$ ) вневегетационного периода (ноябрь – март). Коэффициент корреляции равен 0,81. Корреляционная взаимосвязь описывается следующим уравнением регрессии:

$$P_4 = 503,2 - 150,0 \cdot T_{\text{нв}}$$

Средний расход воды р. Припять в г. Наровля в апреле статистически значимо коррелирован со средней температурой вневегетационного периода с коэффициентом корреляции 0,80. Корреляционная взаимосвязь описывается следующим уравнением регрессии:

$$P_4 = 578,9 - 232,9 \cdot T_{\text{нв}}$$

Следствием данной закономерности является изменение внутригодового стока по сезонам года. Для бассейнов р. Припять, Западный Буг, Днепр и Неман характерно значительное снижение стока почти во все сезоны, за исключением зимнего, где имеет место резкое увеличение стока. Значительные изменения стока происходят в весенний период и связаны со снижением уровня весеннего половодья и более ранним его наступлением. Особенно это характерно для юга Беларуси – бассейнов р. Припять, Западный Буг, Днепр.

Таким образом, если до рассматриваемых климатических изменений происходило накопление влаги в зимний период и ее перенос в вегетационный период, то в настоящее время ввиду повышения температуры наблюдаются повышенный сток в зимний период и, как следствие, падение уровня грунтовых вод и низкая влагообеспеченность в период вегетации.

На рис. 5 показано снижение уровня подземных вод, выявленное в результате многолетних наблюдений в ходе мониторинга уровня подземных НСМОС Беларуси [9].

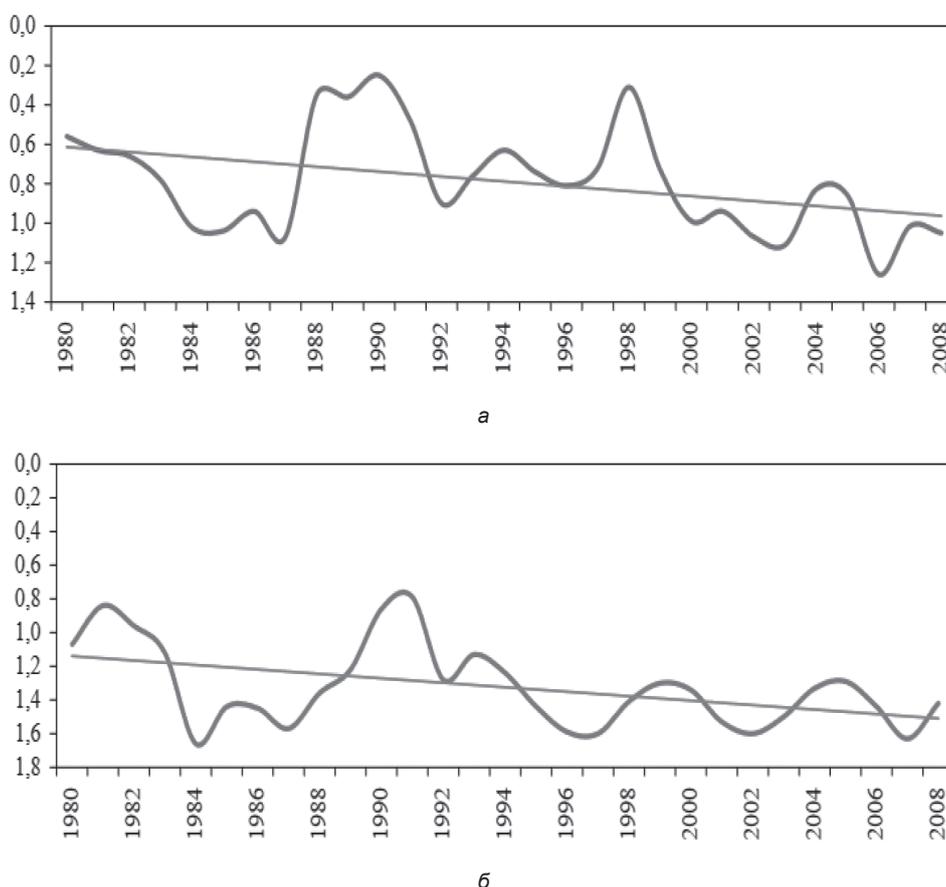


Рис. 5. Результаты наблюдений за изменениями уровня грунтовых вод:  
а – в районе междуречья р. Днепр и Припять; б – в районе р. Припять

Следует отметить, что массовое усыхание хвойных насаждений в большей степени обуславливается минимальными значениями уровней поверхностных и грунтовых вод в вегетационный период года.

В бассейнах р. Днепр и Припять в 1989–2018 гг. выявлено увеличение количества осадков и в то же время отмечен рост числа засух по сравнению с предшествующим 30-летним периодом наблюдений [10]. Снижение весеннего влагонакопления, вызванное изменением температурного и гидрологического режимов зимнего времени года, способствует наблюдаемой за период потепления тенденции снижения запасов влаги в верхнем слое почвы в южных регионах Беларуси [11].

Следует также отметить повышение испарения влаги во вневегетационный период года вследствие повышения температуры и влажности. Этот процесс усугублен значительным трансграничным речным стоком на юге Беларуси и мелиоративным осушением заболоченных территорий, которые в сочетании с уменьшением и неравномерностью выпадения осадков приводят к возникновению засух, падению уровня грунтовых вод и снижению влагообеспеченности древесных и сельскохозяйственных растений.

Результаты многолетних наблюдений за изменениями режима уровня грунтовых вод на территории республики показали, что уровень подземных вод определяется главным образом климатическими факторами (инфильтрация атмосферных осадков и температура воздуха) [7].

Таким образом, изменения температурного и гидрологического режимов в холодный период, мелиоративное осушение заболоченных территорий являются основными причинами климатического опустынивания юга Беларуси и снижения уровня грунтовых вод. Как видно на рис. 2, распространение массового усыхания хвойных насаждений затрагивает преимущественно южные регионы.

Важнейшими факторами роста и развития древесных растений, формирования урожайности сельскохозяйственных культур является их тепло- и влагообеспеченность на протяжении всего периода вегетации. Гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК) является комплексной характеристикой уровня тепло- и влагообеспеченности территории. Данный агроклиматический показатель широко используется в агрономии для общей оценки климата и выделения зон различного уровня тепло- и влагообеспеченности с целью определения целесообразности выращивания тех или иных сельскохозяйственных культур и рассчитывается по формуле:

$$K = R \cdot 10 / \sum t,$$

где  $R$  – сумма осадков в миллиметрах за период с температурами выше  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\sum t$  – сумма температур в градусах Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ) за то же время.

Важно отметить, что данный агроклиматический показатель не учитывает запас почвенной влаги и уровень грунтовых вод, сформированные во вневегетационный период, что снижает его информативность для оценки влагообеспеченности древесных растений.

Древесные растения обладают развитой корневой системой, позволяющей им использовать накопленные в холодный период года глубоко залегающие запасы влаги в засушливые периоды. За вегетационный сезон они транспирируют около 300–400 мм воды [12]. Следует отметить, что хвойные виды транспирируют влаги в 1,5–2 раза меньше лиственных, что обуславливает их меньшую устойчивость к засухе. Транспирация влаги, поглощенная корневыми системами древесных растений, смягчает последствия засух для сельскохозяйственных культур. Таким образом, древесные растения способствуют снижению последствий глобального потепления.

При недостаточной влагообеспеченности у хвойных растений для сокращения транспирации влаги вследствие низкой доступности почвенной влаги и высокой температуры воздуха происходит замыкание клеток устьиц хвои, что приводит к снижению поглощения углекислого газа и, как следствие, к резкому снижению синтеза питательных веществ, а также запускается патофизиологический процесс углеводного голодания. Дефицит питательных веществ приводит к снижению синтеза вторичных метаболитов, в том числе терпеновых масел, которые являются основным компонентом живицы – основы иммунной системы хвойных растений. Снижение синтеза терпеновых масел уменьшает устойчивость насаждений к стволовым вредителям и фитопатогенам, что приводит к массовому усыханию хвойных насаждений.

**Заключение.** Обусловленное потеплением климата изменение температурного и гидрологического режимов во вневегетационный период года приводит к падению уровня грунтовых вод, сокращению водообеспеченности хвойных насаждений в вегетационный период. Сокращение водообеспеченности приводит к снижению их устойчивости, массовому усыханию и сукцессионному замещению лиственными видами. Снижение водообеспеченности древесных растений также вызывает сокращение объемов транспирации влаги, поглощенной корневыми системами, что влечет за собой уменьшение запасов влаги в верхнем слое почвы, снижение урожайности сельскохозяйственных культур.

Указанные обстоятельства свидетельствуют о необходимости мониторинга и контроля уровня грунтовых вод при выращивании хвойных насаждений, целесообразности разработки эффективного индекса влагообеспеченности древесных растений, позволяющего учитывать наряду с осадками вегетационного периода запасы влаги, накопленные в зимний период.

Согласно прогнозам на ближайшие 60 лет на территории Республики Беларусь ожидается дальнейшее повышение среднегодовой температуры на 1,0–2,9  $^{\circ}\text{C}$ . При этом прогнозируется незначительный рост среднегодового количества осадков, который будет приходиться на зимние месяцы, когда их роль как источника влаги для вегетации текущего года не столь велика. Это приведет к увеличению масштаба наблюдаемых в настоящее время явлений и сдвигу ареалов распространения хвойных видов.

## Список использованных источников

1. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2024 г. – М.: РУП «Белгослес», 2024. – 87 с.
2. Прогноз состояния природной среды Беларуси на период до 2035 года / В. М. Байчоров [и др.]; под общ. ред. В. С. Хомича; Нац. акад. наук Беларуси. – Минск: Беларуская навука, 2022. – 332 с.
3. *Сарнацкий, В. В.* Особенности ведения хозяйства в условиях экстремальных нарушений лесных экосистем Беларуси / В. В. Сарнацкий // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2015. – № 1. – С. 21–25.
4. *Ковалевич, А. И.* Массовое усыхание ельников в Республике Беларусь: состояние, проблемы и пути решения / А. И. Ковалевич, В. В. Усеня // Проблемы и перспективы совершенствования лесоводственных мероприятий в защитных лесах: сб. ст. / Всерос. науч.-исслед. ин-т лесоводства и механизации лесного хоз-ва; ред.: З. С. Брунова, М. Ф. Нежлукто, М. М. Сергеева. – Пушкино: [б. и.], 2014. – С. 92–96.
5. *Ковалевич, А. И.* Усыхание сосновых лесов в Республике Беларусь: состояние и пути минимизации / А. И. Ковалевич, В. В. Усеня // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. – СПб.: СПбГЛТУ, 2023. – С. 263–265.
6. *Логинов, В. Ф.* Глобальные и региональные изменения климата. Причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск: ТетраСистемс, 2008, 476 с.
7. *Логинов, В. Ф.* Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – 2-е изд. доп. – Минск: Энциклопедикс, 2020. – 264 с.
8. Мониторинг поверхностных вод в Беларуси. Гидрохимические и гидробиологические статусы поверхностных вод за 2008–2022 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.nsmos.by/environmental-monitoring/monitoring-poverkhnostnykh-vod>. – Дата доступа: 05.05.2024.
9. Национальная система мониторинга окружающей среды. Мониторинг подземных вод в Беларуси 2008 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.nsmos.by/sites/default/files/2023-08/podzemvodu08.pdf>. – Дата доступа: 05.05.2024.
10. Современные изменения режима увлажнения в теплый период года и условий формирования стока летне-осенней межени на реках Беларуси / И. С. Данилович [и др.] // Природные ресурсы. – 2021. – № 1. – С. 22–33.
11. Пространственно-временные изменения почвенных засух на территории Белорусского Полесья в условиях современного изменения климата / В. И. Мельник [и др.] // Природные ресурсы. – 2021. – № 1. – С. 15–21.
12. *Гриневский, С. О.* Моделирование поглощения влаги корнями растений при расчетах влагопереноса в зоне аэрации и инфильтрационного питания подземных вод / С. О. Гриневский // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. – 2011. – № 3. – С. 41–52.

Поступила 07.06.2024