

ПРОБЛЕМЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СУБЪЕКТОВ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ БЕЛАРУСИ С ЦЕЛЬЮ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ КЛИМАТИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ

*Лопух П. С., Гледко Ю. А., Бережкова И. С, Брилевский М. Н., Ван Хао,
Гладкая И. Н., Давыденко О. В., Иванов Д. Л., Красовский А. Н., Ковриго П.
А., Логинов В. Ф., Логинова Е. В., Матюшевская Е. В., Суховило Н. Ю.,
Шлендер Т. В.*

*Белорусский государственный университет,
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: lopuch49@mail.ru*

Глобальные изменения климата создают в условиях Беларуси имеют как положительные, так и отрицательные последствия. По оценке экспертов, погодная и климатическая зависимость отраслей экономики составляет: сельское и лесное хозяйство, топливно-энергетический комплекс, строительство, транспорт и связь, жилищное и коммунальное хозяйство. Выполнена оценка влияния изменений климата на отдельные виды экономической деятельности. Получены первые результаты рекомендательного характера для субъектов хозяйствования: сельском и лесном хозяйстве, транспорте, медицинской географии, прогнозировании погоды.

Ключевые слова: климат; потепление; виды деятельности; неустойчивый климат; виды деятельности; адаптация; транспорт; безопасность; районирование; сельское хозяйство; болезни; стволовой прирост; пожары; прогноз.

PROBLEMS OF HYDROMETEOROLOGICAL SUPPORT OF BUSINESS ENTITIES IN BELARUS WITH THE PURPOSE OF ADAPTATION TO CHANGING CLIMATE CONDITIONS

*Lopuch P. S., Gladko U. A. Berezhkova I. Brylewski M. N., Wang Hao, Gladka I.
N., Davydenko, O. V., Ivanov D. L., Krasovskii, A. N., Kovrigo P. A., Loginov V.
F., Loginova E. V., Matuszewska E. V., Suchowilo N. Yu., Slender T. V.*

*Belarusian state University,
Minsk, Republic of Belarus, e-mail: lopuch49@mail.ru*

Global climate changes in Belarus have both positive and negative consequences. According to experts, the weather and climatic dependence of economic sectors is: agriculture and forestry, the fuel and energy complex, construction, transport and communications, housing and utilities. An assessment of the impact of climate change on certain types of economic activities has been carried out. The first results of a recommendatory nature were obtained for business entities: agriculture and forestry, transport, medical geography, weather forecasting.

Key words: climate, warming; types of activity; unstable climate; types of activities; adaptation; transport; safety; regionalization; agriculture; diseases; stem growth; fires; forecast.

Введение. В Республике Беларусь более 40 % ВВП производится погодо- и климатозависимыми отраслями экономики. Погодно- и

климатозависимыми отраслями экономики являются: сельское хозяйство, лесное хозяйство, топливно-энергетический комплекс, строительство, транспорт и связь, жилищное и коммунальное хозяйство [1]. Как показывает мировая практика наибольший ущерб несет сельское хозяйство и лесное хозяйство.

Климатические изменения происшедшие за последние тридцать лет на территории Беларуси (с 1989 года) неоспоримы и подтверждены инструментальными наблюдениями, имеют как отрицательные, так и положительные последствия, которые должны учитываться субъектами хозяйства. При оценке положительных и отрицательных последствий глобального потепления климата в условиях Беларуси наиболее важными являются: неопределенность в отношении сельскохозяйственных культур (выбор и сроки сева, увеличение вероятности повреждения культур в результате проявления опасных явлений и другие), ухудшение еловых лесов, повреждение лесов ураганами, увеличение пожароопасного периода, ухудшение энтомологической ситуации, увеличение повторяемости опасных гидрометеорологических явлений. Изменение климата имеет и положительное значение: увеличение продолжительности теплообеспеченности вегетационного периода, ускорение сроков созревания сельскохозяйственных культур, сокращение продолжительности отопительного периода и другие последствия.

Объектом исследования являются вопросы влияния потепления климата на субъекты хозяйства и адаптации к неустойчивым климатическим условиям. Основными материалами для проведения исследований послужили фондовые данные Белгидромета, а также других профильных организаций.

Цель работы – на основе использования гидрометеорологической информации определить научные основы использования гидрометеорологической информации и разработать для субъектов хозяйства рекомендации, смягчающие негативные последствия глобального потепления и минимизации негативных социально-экономических явлений. В данной работе освещены первые итоги исследований в данной предметной области, позволяющие наметить пути дальнейших перспективных научных разработок в данной предметной области.

Методика исследования. Основными методами исследований являются: теория систем, картографический, ГИС технологии, теория статистической обработки и системного анализа гидрометеорологической информации, моделирования. В процессе исследования использовалась база гидрологических и метеорологических данных Белгидромета за период инструментальных наблюдений в особенности за период устойчивого потепления. Гидрометеорологическая информация обрабатывалась с помощью традиционных программных продуктов и с широким использованием картографического метода для исследования пространственно-временных закономерностей процессов, WRF.

Для изучения атмосферного озона использовались наблюдения за атмосферным озоном в Национальном научно-исследовательском центре мониторинга озоносферы Белгосуниверситета (ННИЦ МО БГУ) на минской озонометрической станции с 1997 г. Кроме того, проводился ежегодный анализ состояния озонового слоя, особенности динамики ОСО публикуемых в экологическом бюллетене «Состояние природной среды Беларуси» по данным прибора ПИОН и спутниковых измерений OMI (2005 – 2020), TOMS (1996 – 2004), Meteor-4 (1993 – 1994), Nimbus-7 (1979 – 1992). В 1995 году спутниковых наблюдений не производилось.

Результаты исследования. Впервые для территории Беларуси выполнен анализ современных геоморфологических процессов на территории Беларуси и дана характеристика природных регионов в неустойчивых климатических условиях (Белорусского Поозерья, Полесья и Центральной части Беларуси). Представленные материалы являются основным итогом пятилетней работы сотрудников и аспирантов кафедры общего землеведения и гидрометеорологии, выполненной в течение 2016 – 2021 годы. Представленный материал в тезисной форме и в виде картографической визуализации отражает основные полученные результаты исследований. Каждый научный фрагмент статьи отражает самостоятельное направление исследований, выполняемое автором лично или в соавторстве, под руководством научного руководителя. Отдельные научные разработки имеют характер завершеного исследования в виде кандидатской диссертации. Большинство работ имеет региональный характер и касаются исследований территории Республики Беларусь.

Как показывают исследования, глобальный процесс изменения климата отражается во многих областях хозяйства [1]. Повышение температуры воздуха, изменения тепловых условий, увеличение частоты опасных метеорологических условий требуют адаптации субъектов хозяйствования к складывающимся новым неустойчивым климатическим условиям [6 – 8].

При отсутствии в Беларуси наблюдений за естественной освещенностью расчетным способом получены данные по световому климату и впервые построена карта изофот, отражающая распределение ресурсов суммарной освещенности в современных условиях, получившая название «световой климат» (рисунок 1) [10, 11].

Обобщенные данные температуры воздуха свидетельствуют об повышении средней температуры на 1.4 – 1.5 °С относительно климатической нормы (рисунок 2). Полученные картосхемы средних температур января и июля месяцев характеризуют климатические условия самого холодного и теплого периодов на территории Беларуси в период потепления (рисунок 3).

Анализ сравнения результатов наблюдений показывает, что на всех метеостанциях среднегодовая температура воздуха последнего 30-летнего периода выше на 0,6 – 1 °С по сравнению с аналогичными показателями за период с 1948 по 2018 гг. [4]. Более значительное повышение среднегодовых

температур (0,9 – 1°C) характерно для крупных промышленных центров страны: Витебска, Минска, Гомеля, Орши, Жлобина, Пинска.



Рисунок 1 – Изофоты годовых сумм суммарной естественной освещенности, клк

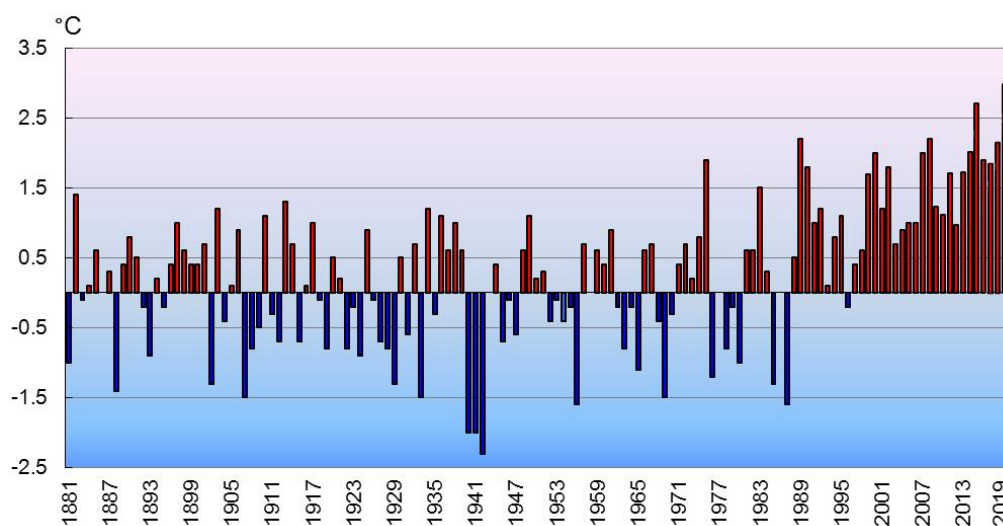


Рисунок 2 – Отклонение средней годовой температуры воздуха от климатической нормы (+5.8°C) по Беларуси за период 1881 - 2019 г

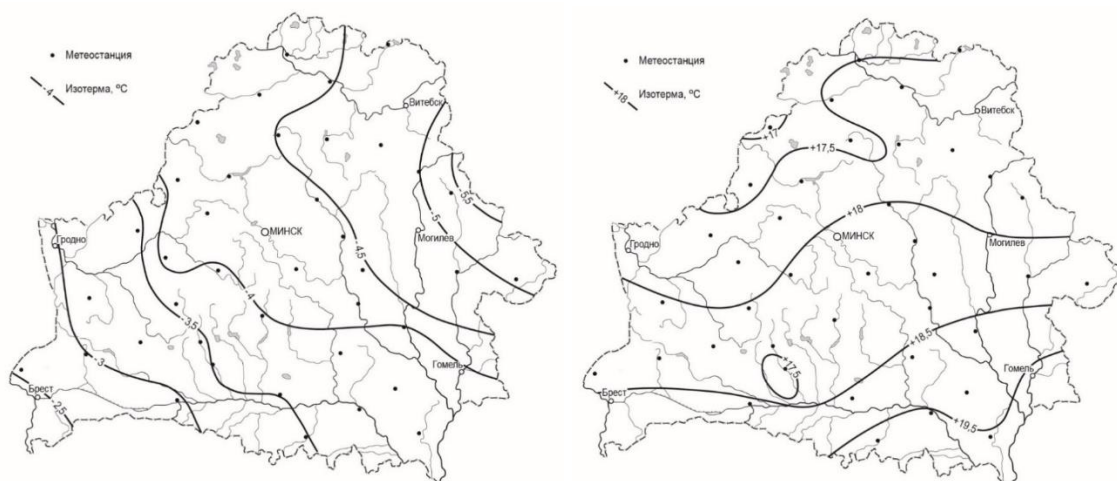


Рисунок 3 – Средняя температура воздуха в январе (левый рисунок) и июле (правый рисунок) за период потепления (1988 – 2018 гг.)

Скорректирована схема гидрологического районирования территории Беларуси с учетом новых данных инструментальных наблюдений за стоком за последние пятьдесят лет, степени преобразованности гидрографической сети в результате хозяйственной деятельности (рисунок 4) [9]. В основу районирования были положены: бассейновый принцип, ландшафтный и гидрологический. Ландшафтный принцип учитывает естественные условия формирования стока и степень преобразованности водосборов рек. В гидрологическом аспекте, как основном факторе, учтены многолетние наблюдения за гидрологическим режимом за период инструментальных наблюдений. При разработке районирования был продлен гидрологический ряд по стоку за последние 60 лет, которые в предыдущем районировании не учитывались, а также учтены многочисленные исследования и анализ стока в различных регионах республики, включая особенности минимального и максимального стока, степень его зарегулированности, восполнения водных ресурсов, циклические колебания увлажнения, особенности гидрологического режима в условиях потепления.

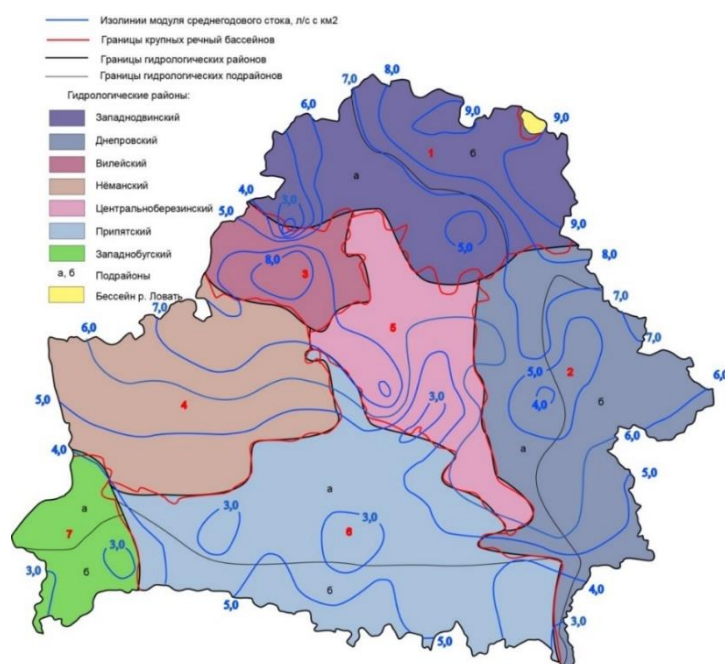


Рисунок 4 – Схема скорректированного гидрологического районирования применительно к современным климатическим условиям

Для складывающихся неустойчивых климатических условий и проявлении антропогенного фактора разработана методика оценки уязвимости озер к внешнему воздействию, а также выполнен прогноз изменения их состояния при ожидаемых условиях потепления климата в XXI столетии при разных сценариях оценки, разработанных в мировой практике (рисунок 5).

Установлено, что при повышении температуры воды, вызванном изменением климатических условий, развитие озерных геосистем будет происходить в направлении снижения уязвимости к внешнему воздействию. Снижение количества осадков будет способствовать увеличению уязвимости озер за счет уменьшения объема водной массы. Полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании развития озер под влиянием естественных природных процессов и антропогенного фактора, при определении тенденций их эволюции при различных климатических условиях, управлении озерными экосистемами, их рекультивации, для природоохранных и рекреационных целей, а также в образовательном процессе в области гидрологии суши, лимнологии, гидроэкологии.

Выполнена оценка влияния неблагоприятных метеорологических явлений на дорожно-транспортную сеть. Для отдельных участков дорог апробирована методика оценки метеоусловий в холодный период года [2]. Выполнен расчет эффективности наблюдений за зимней скользкостью в виде снежного наката и гололедицы. Для опытных участков международного и республиканского класса автомобильных дорог рассчитан экономический эффект использования метеорологической информации (рисунок 6).

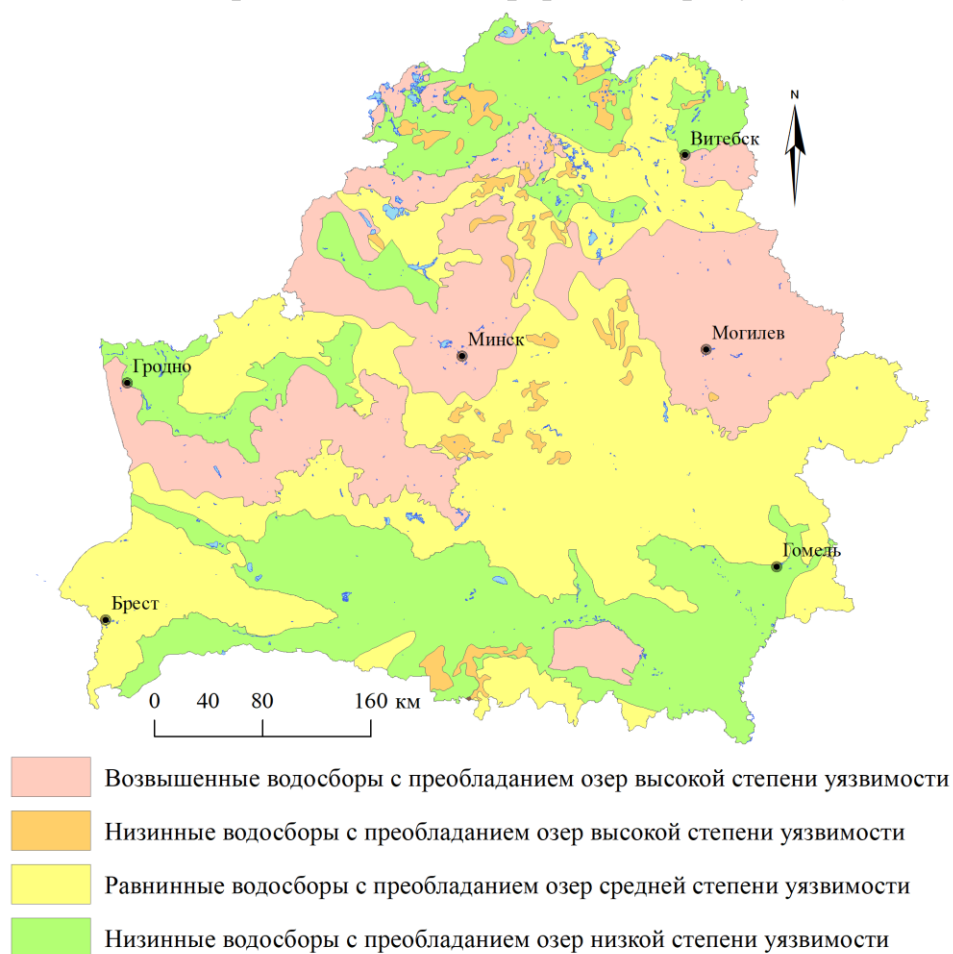
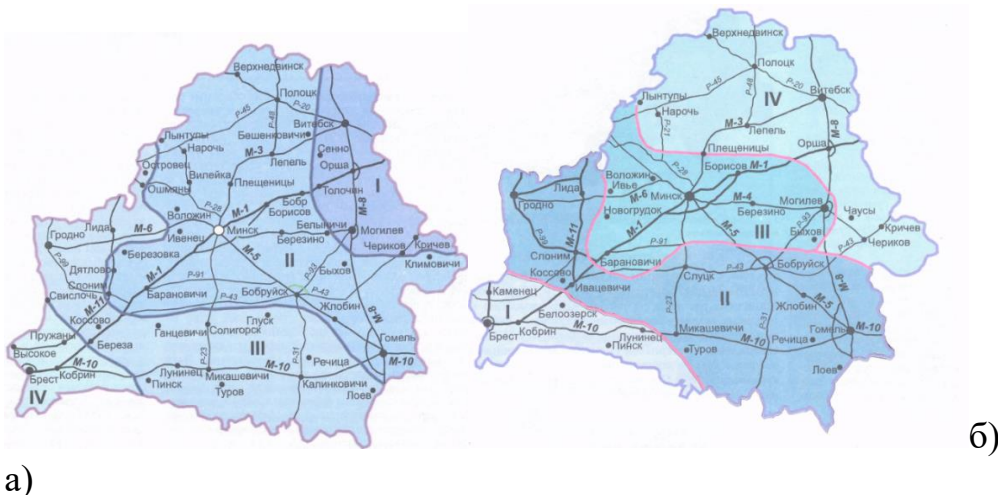


Рисунок 5 – Районирование территории Беларуси по степени уязвимости озер к внешнему воздействию

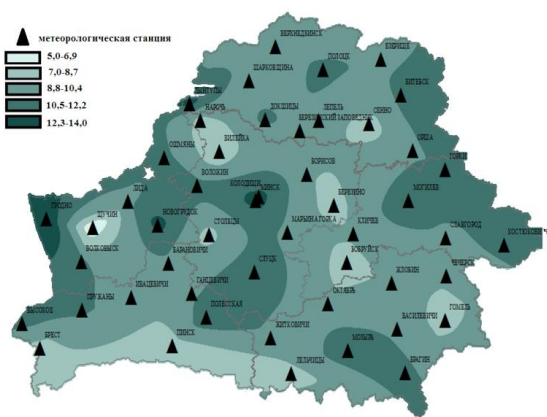
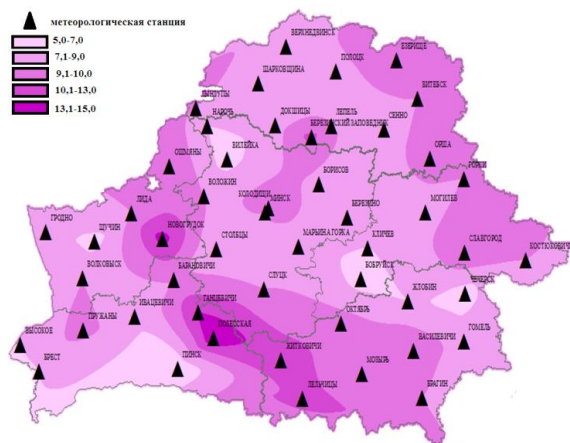


а) *Рисунок 6 – Районирование территории Республики Беларусь по условиям снегоприноса (а) и по условиям ликвидации зимней скользкости (б) на автомобильных дорогах*

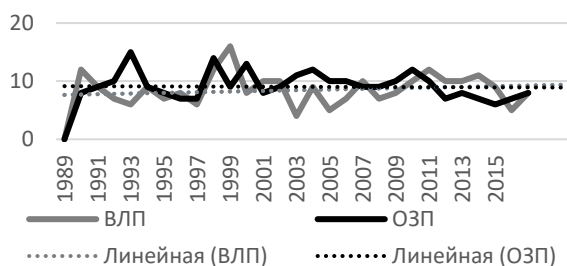
В целях безопасности полетов судов гражданской авиации проведен анализ метеоусловий в период взлета и посадки. Выполнен анализ метеоусловий в случаях происшедших в гражданской авиации авиационных катастроф. Выявлены наиболее опасные метеоусловия для взлета и посадки, наблюдающиеся на территории Беларуси, разработаны соответствующие картографические материалы для обеспечения безопасности воздушных судов. Рекомендован комплексный метод оценки и прогноза метеоусловий, сочетающий специфику работы ДМРЛ и методики срочных наблюдений. Выполнена пространственно-временная оценка рисков, связанных с опасными явлениями на территории Беларуси (рисунок 7).

Проведен анализ агроклиматического районирования, выполненного А. Х. Шклярком в 60-х годах, и внесены в него изменения с учетом неустойчивости климатических условий, вызванных глобальным потеплением. В частности, скорректированы границы климатических районов, получены новые их климатические характеристики, а также скорректированы их названия в связи с новыми их агроклиматическими особенностями (рисунок 8). Выполнена оценка изменения индекса континентальности для периода потепления (1989 – 2015 гг.), [5].

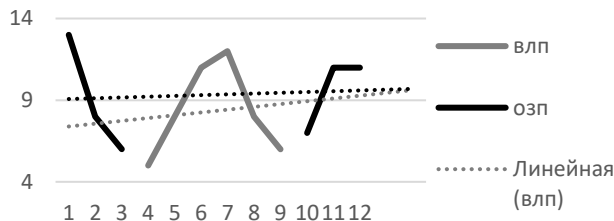
В результате выполненных исследований впервые проведены агроклиматические районирования территории Беларуси по сложившимся условиям для выращивания картофеля и сахарной свёклы. Территория Беларуси включена в зону с достаточными суммами активных температур для выращивания картофеля. На основе вероятности высоких температур (максимальная температура 30 °С и выше на протяжении 10 дней и более за год) выделены три области.



а – ВЛП



б – ОЗП

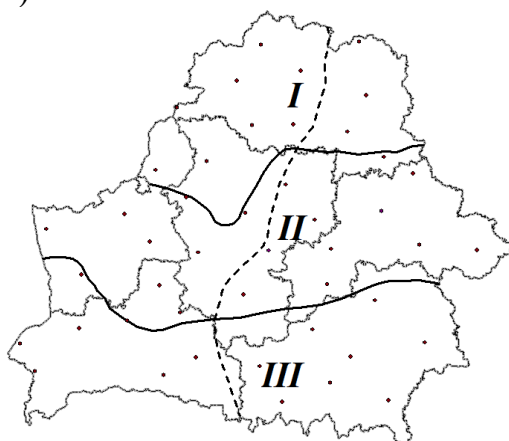


Г

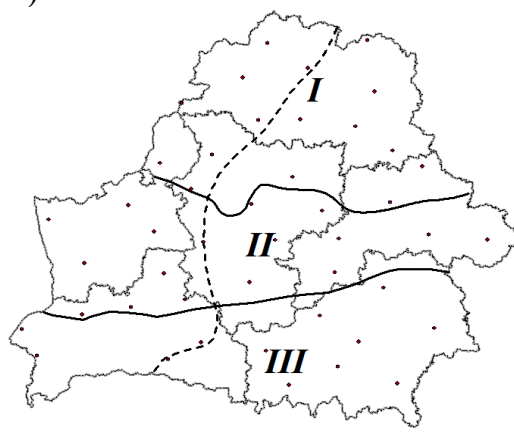
В

Рисунок 7 – Пространственно-временное распределение рисков, связанных с ОЯ (по данным многолетних наблюдений на территории Беларуси)

а)



б)



— Границы агроклиматических областей
 - - - Границы агроклиматических подобластей

Области

I – Северная тёплая умеренно влажная

II – Центральная тёплая неустойчиво влажная с контрастным увлажнением

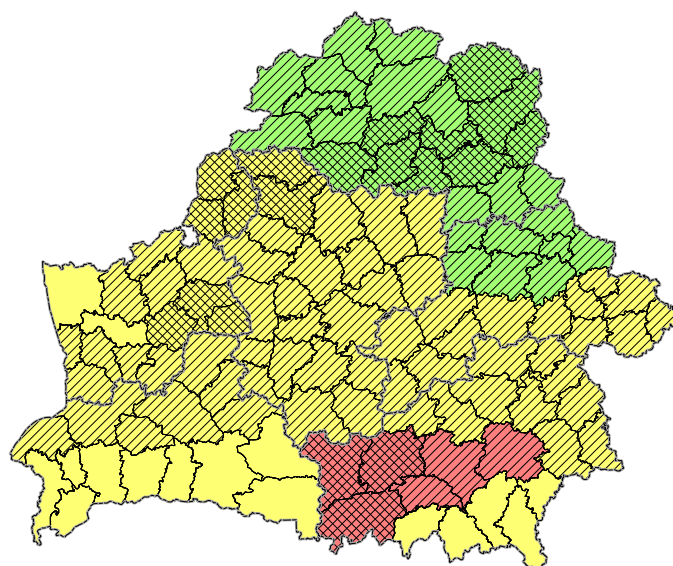
III – Южная очень тёплая неустойчиво влажная с контрастным увлажнением

Рисунок 8 – Общее агроклиматическое районирование территории Республики Беларусь по А. Х. Шкляру (а) и О. В. Давыденко (б)

Соотношение вероятностей низких и высоких значений ГТК за период активной вегетации использовалось в качестве критерия выделения районов в пределах областей. Критерий выделения зон выращивания сахарной свёклы – обеспеченность суммы активных температур 2400 С, необходимой для созревания среднеспелых сортов. По величинам вероятностей низких значений ГТК (менее 1,0) были проведены границы областей, а по значениям вероятности высоких температур (максимальная температура 30 °С и выше на протяжении 10 дней и более за год) – границы районов. Предложено соответствующее районирование территории Беларуси и рекомендации для возделывания этих культур в условиях новых агроклиматических характеристик.

В ходе выполненных исследований впервые проведены агроклиматические районирования территории Беларуси по условиям выращивания картофеля и сахарной свёклы (рисунки 9 и 10). Территория Беларуси включена в зону с достаточными суммами активных температур для выращивания картофеля. На основе вероятности высоких температур (максимальная температура 30 °С и выше на протяжении 10 дней и более за год) выделены три области. Соотношение вероятностей низких и высоких значений ГТК за период активной вегетации использовалось в качестве критерия выделения районов в пределах областей. Критерий выделения зон выращивания сахарной свёклы – обеспеченность суммы активных температур 2400 °С, необходимой для созревания среднеспелых сортов. По величинам вероятностей низких значений ГТК (менее 1,0) были проведены границы областей, а по значениям вероятности высоких температур (максимальная температура 30 °С и выше на протяжении 10 дней и более за год) – границы районов. С учётом погодно-климатических ресурсов расширение ареала возделывания сахарной свёклы не оправдано. Картофель и сахарная свёкла на территории Беларуси (особенно в южной части страны) в отдельные годы нуждаются в орошении, которое в связи с наличием севооборотов следует проводить с помощью дождевальных машин. Актуально введение в севооборот засухоустойчивых и жаростойких сортов.

Выполнен обобщающий анализ влияния изменения климата на здоровье человека. Приведена характеристика основных возбудителей заболеваний, связанных с водным путем передачи заболеваний и изменением климата, оценена роль питьевой воды и процессов, связанных с водой для возникновения инфекционных заболеваний. Приведены потенциальные последствия изменения климата, истощения озонового слоя и возникающие при этом риски для здоровья человека (рисунок 11).



Области

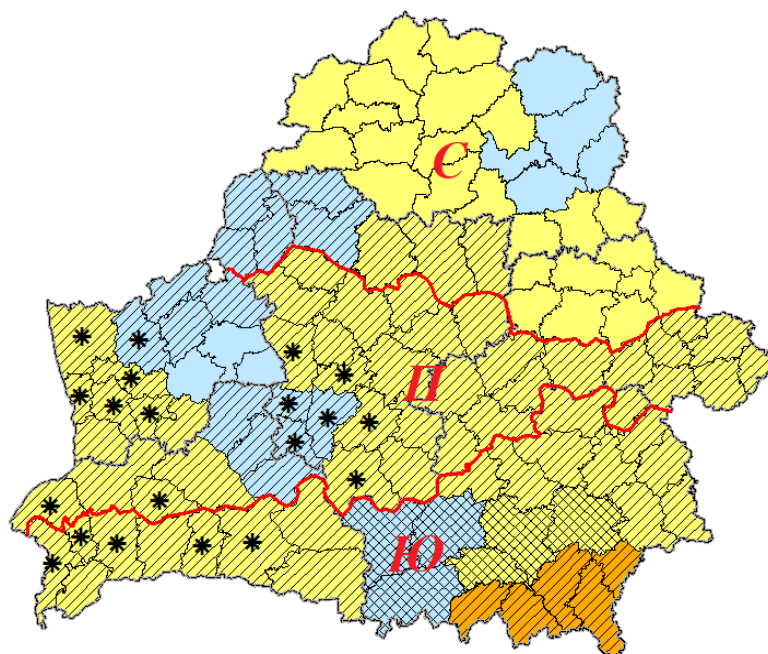
- | | |
|--|---|
| <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #90EE90; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> I | Северная – со слабой термической нагрузкой |
| <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #FFFF00; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> II | Переходная – со средней термической нагрузкой |
| <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #FF0000; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> III | Южная – с высокой термической нагрузкой |

Районы

- | | |
|--|-------------------------------------|
| <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> а | Засушливые |
| <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; background-image: linear-gradient(to top right, transparent 49%, black 49%, black 51%, transparent 51%); background-size: 3px 3px; margin-right: 5px;"></div> б | С контрастными условиями увлажнения |
| <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; background-image: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px); background-size: 4px 4px; margin-right: 5px;"></div> в | Переувлажнённые |

Рисунок 9 – Агроклиматическое районирование территории Беларуси по условиям выращивания картофеля

На примере Витебской области выполнены исследования по медико-географической оценке заболеваемости населения, в связи с неустойчивым характером климатических условий за период с 1997 по 2019 годы. По ежедневным метеорологическим данным были сделаны расчеты комплексного индекса патогенности на территории области. В структуре регистрируемых в Витебской области инфекционных заболеваний на долю острых респираторных заболеваний приходится около 95 %.



- * Районы, включённые в исследования урожайности сахарной свёклы
- Границы зон

Зоны

- С – Северная (ограниченного выращивания сахарной свёклы)
- П – Переходная (относительного неограниченного выращивания сортов сахарной свёклы разных групп спелости)
- Ю – Южная (неограниченного выращивания сортов сахарной свёклы любой группы спелости)

Области

- I Достаточного увлажнения
- II Умеренного увлажнения
- III Слабо засушливая

Районы

- а Со слабой термической нагрузкой
- ▨ б Со средней термической нагрузкой
- ▩ в С высокой термической нагрузкой

Рисунок 10 – Агроклиматическое районирование территории Беларуси по условиям выращивания сахарной свёклы

Комплексная медико-географическая оценка территории Витебской области проводилась на основании следующих критериев: комплексный индекс патогенности метеоэлементов; численность и плотность населения; обеспеченность учреждениями здравоохранения; уровень заболеваемости по гриппу и ОРВИ; уровень заболеваемости по геогельминтозам; уровень заболеваемости по бешенству; уровень заболеваемости по малярии; уровень заболеваемости по клещевым инфекциям; уровень заболеваемости по лептоспирозу; уровень заболеваемости по геморрагической лихорадке с почечным синдромом [2].



Рисунок 11 – Типология районов Витебской области по уровню заболеваемости природно-очаговыми болезнями

По каждому району Витебской области рассчитывались показатели по 4-балльной шкале. Показатели суммировались и выводились итоговые значения, которые соответствуют следующей шкале: 12 – 14 баллов – благоприятные условия; 15 – 17 баллов – умеренно благоприятные условия; 18 – 20 баллов – умеренно неблагоприятные условия; 21 – 23 баллов – неблагоприятные условия.

На основании разработанной нами шкалы произведено районирование территории (рисунок 12).

К районам с благоприятными медико-географическими условиями относятся: Россонский, Миорский, Шарковщинский, Поставский и Докшицкий. К районам с умеренно благоприятными медико-географическими условиями относятся: Городокский, Шумилинский, Ушачский, Глубокский, Дубровенский и Толочинский.

К районам с умеренно неблагоприятными медико-географическими условиями относятся: Браสลavский, Верхнедвинский, полоцкий, Бешенковичский, Лепельский, Чашникский, Сенненский, Лиозненский и Оршанский. Наиболее неблагоприятные условия выявлены и Витебском районе.

Естественная растительность территории Беларуси находится под постоянным влиянием климатических изменений. Это влияние проявляется в первую очередь в изменении в продуктивности лесов. Усиление частоты засушливых периодов проявляется и в усилении пожароопасности в лесных массивах.

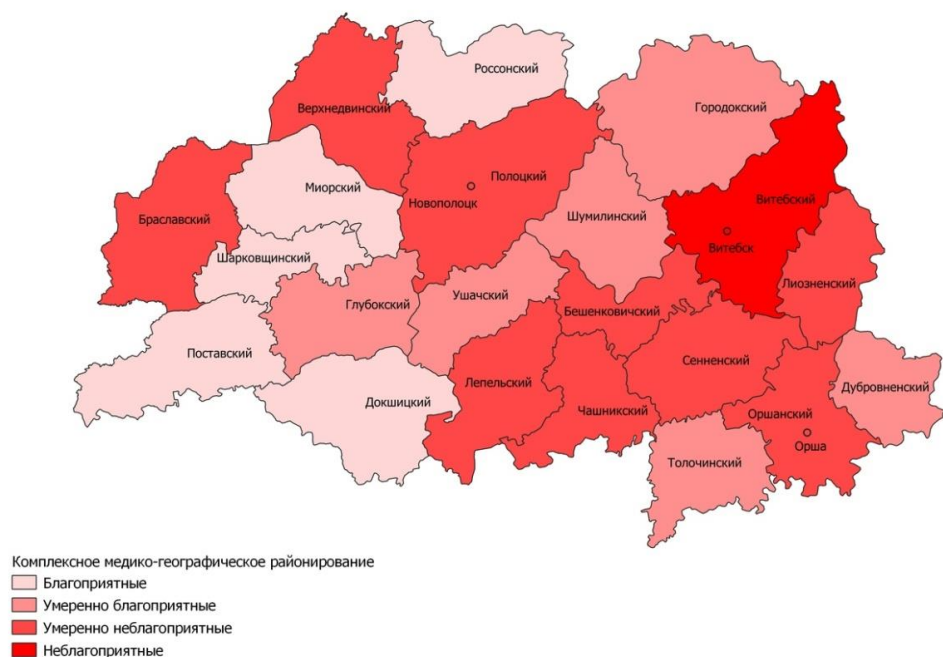


Рисунок 12 – Комплексное медико-географическое районирование Витебской области.

Сосняки черничные, наряду с сосняками мшистыми, служат основным биогеоценозом в хорологической структуре лесного фонда Белорусского Полесья. Для выявления их ресурсного потенциала в нарастании стволовой массы после осушительной мелиорации привлечены насаждения на междуречьях канализированных рек Ипы, Виши, Тремли и Нератовки (Октябрьский и Светлогорский лесхозы) с удалением от них до 1,0 км. Почва – дерново-подзолистая с иллювиально-гумусово-железистым горизонтом. В возрастных сериях 65 и 75 лет средний майский уровень грунтовых вод на глубине 0,6 м, 95 лет – 1,65 м, 115 и 145 лет – 2,1 м.

Индивидуальное (одного дерева) нарастание стволовой массы до 1998 г. происходило в течение всей его жизни (при этом возраст не имел значения) со своими отличительными особенностями, определяемые условиями обводненности эдафотопы и возрастом древостоя У поколений 95-, 115- и 145-летнего возраста максимальный размер годичного кольца формировался до завершения осушительной мелиорации в 1952 г. Его календарно не совпадающие эпизоды после этого года не выявлены.

Сосна в черничном типе при климатических условиях Белорусского Полесья до 1952 г. так же реализовывала свой продукционный потенциал в нарастании стволовой массы до осушительной мелиорации независимо от погодных условий: диапазон температуры за месяцы безлиственного периода от -3,2 до 2,3 °С, вегетационного – от 13,5 до 17,3 °С, за год – от 5,1 до 7,5 °С, осадков за октябрь–апрель от 169 до 407 мм, за май–сентябрь от 192 до 539 мм, за год от 355 до 821 мм. Только температурный фактор месяцев безлиственного периода оказывался корреляционно значимым для стволовой продуктивности и состояния сосняка черничного. После 1952 г. у этих

возрастов нарастание стволовой массы уменьшилось не только по причине понижения грунтовых вод в результате осушительной мелиорации, но и вследствие наступления неустойчиво влажной эпохи с потеплением климата после 1976 г. В насаждении с 75- и 65-летними деревьями, под которыми снижение грунтовых вод не было столь значительным, как у старших поколений (0,6 м по сравнению с 1,6 – 2,1 м), индивидуальный радиальный прирост не сократился. После 1998 г. он приобрел меньшие значения у всех возрастов по сравнению с домелиоративным периодом.

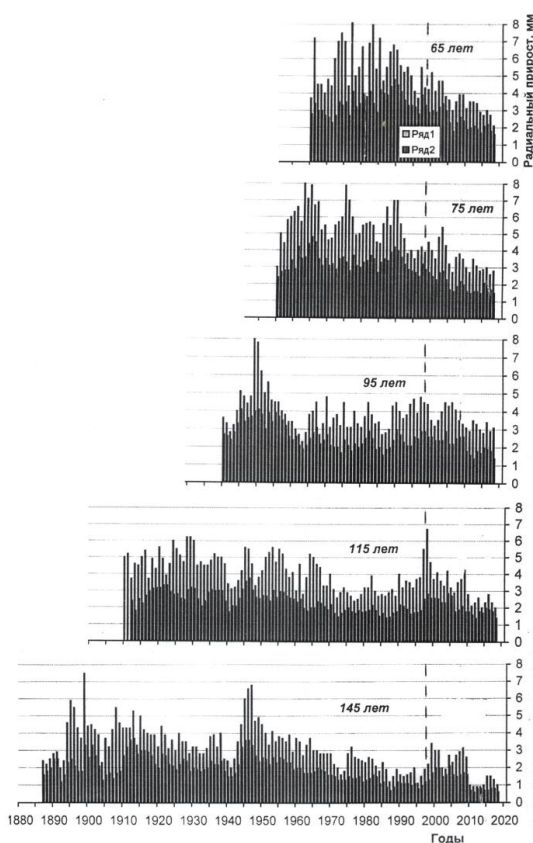


Рисунок 13 – Погодичный ход изменчивости максимального индивидуального (ряд 1) и среднего (ряд 2) радиального прироста деревьев в возрастных сериях сосняка черничного на мелиорированной территории Белорусского Полесья

В многолетнем ходе внутрисериального максимального и среднего радиального прироста сосны отражены особенности его динамики в зависимости от возраста до и после осушительной мелиорации при различных погодно-метеорологических условиях конкретного года и изменяющемся грунтовом увлажнении (рисунок 13).

Только серии в возрасте 95, 115 и 145 лет снизили эти показатели стволовой продуктивности после значительного понижения грунтовых вод в результате осушительной мелиорации (УГВ 1,65 – 2,1 м) по сравнению с 65-75- летними поколениями (УГВ 0,6 м).

Потепление после 1998 г. с возросшим притоком прямой солнечной радиации не было однородным по условиям увлажнения. Увеличение осадков до 1910 г. (в среднем за месяцы вегетационного периода до 360 мм, за год до

687 мм) минимальный радиальный прирост у старших поколений сосны с глубоким залеганием грунтовых вод увеличился. У насаждений с неглубоким залеганием грунтовых вод (возраст 75 и 65 лет) продолжалось поступательное снижение радиального прироста (рисунок 14).

После 2010 г. возникло общее угнетение всех поколений сосны независимо от глубины залегания грунтовых вод по причине аномально холодных и малоснежных зимних месяцев января в 2010 г. ($-11,4^{\circ}\text{C}$, 26 мм осадков), 2014 г. ($-6,7^{\circ}\text{C}$, 26 мм), 2016 г. ($-8,1^{\circ}\text{C}$, 27 мм), февраля в 2011 г. ($-11,7^{\circ}\text{C}$, 27 мм) и 2012 г. ($-11,9^{\circ}\text{C}$, 68 мм). За 2010 – 2018 гг. осадки в среднем за год уменьшились до 499 мм (за май–июнь до 90 мм, май–сентябрь до 220 мм и за октябрь – апрель до 279 мм). Особо засушливым оказалось пятилетие 2014 – 2018 гг. со среднегодовым количеством осадков 331 мм.

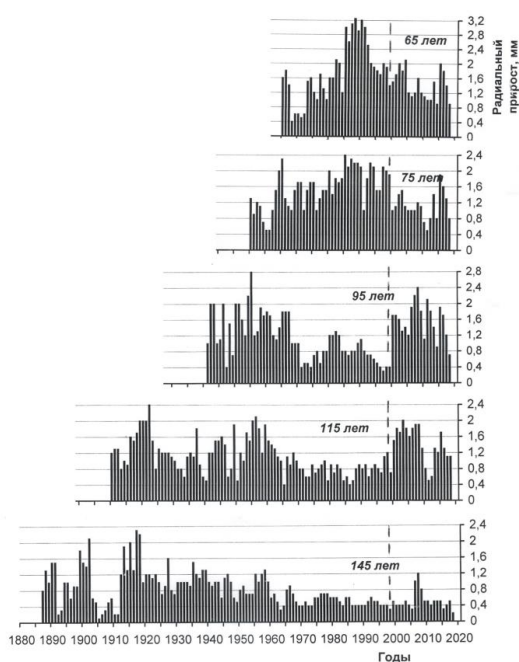


Рисунок 14 – Многолетний погодичный ход изменчивости минимального сериального радиального прироста деревьев в возрастных сериях сосняка черничного на мелиорированной территории Белорусского Полесья

Суммация возникших при потеплении климата неблагоприятных гидротермических условий со снижением грунтовых вод в результате осушительной мелиорации явилась причиной подавления продукционного потенциала сосняка черничного, не приводя к массовому отмиранию древостоя в отличие от сосняка мшистого. Выполненный анализ временной изменчивости минимального радиального прироста подтвердил этот вывод. Залегание грунтовых вод на глубине 0,6 м является оптимальным для сосняка черничного в эдафогидрологических условиях его произрастания, хотя не исключается его угнетение при обильных атмосферных осадках.

Массовое отмирание ели в природнозональных условиях на территории Беларуси происходит с определенной цикличностью при разном климатическом фоне.

В многолетнем ходе изменчивости максимальный индивидуальный (одного дерева) радиальный прирост (рисунок 15) не приурочен к определенному одному году с определенными параметрами погодноклиматических условий, а проявляется в течение всей жизни роста и развития насаждения. Ель реализовывала свой биопродукционный потенциал в радиальном приросте независимо от изменчивости погодноклиматических условий до 1998 г., за исключением экстремальных погодных ситуаций.

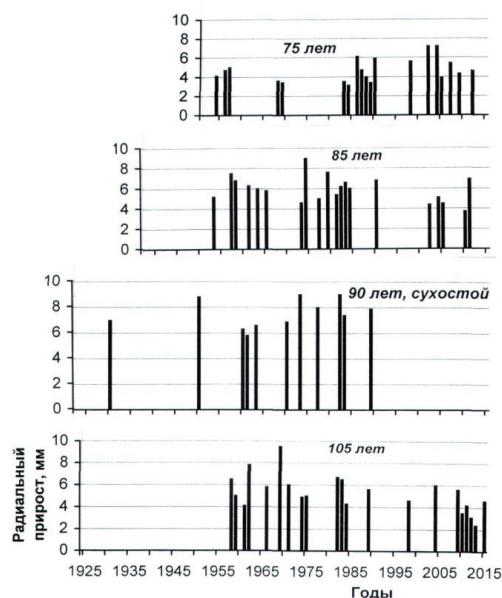


Рисунок 15 – Многолетний ход изменчивости максимального индивидуального прироста ели в возрастных сериях на плакоре в Центральной Беларуси (Логойский лесхоз)

Ход изменчивости минимального сериального радиального прироста у разных календарных возрастов ели оказался разнообразным, как и у максимального. Его текущие значения указали на то, что временные отрезки угнетения и процветания у календарных возрастов насаждения не только не совпадают, но и различаются погодично.

Многолетняя динамика минимального индивидуального радиального прироста подтвердила, что угнетение дерева может происходить при любых метеорологических условиях – как при обильном увлажнении, так и при недоборе осадков, как в относительно холодные, так и теплые годы. Разные календарные сроки угнетения деревьев объясняют появление рассеянного сухостоя, который постоянно присутствует у ельников. Циклическое угнетение ели в средней полосе Беларуси и в Поозерье происходило одновременно, но усыхали, в основном, деревья господствующего класса (по Крафту) в 60-летнем возрасте и старше только на плакорах с лессовидно-суглинистым чехлом мощностью до 0,5 м, покрывающем плотные моренные супеси и суглинки.

Именно в таких эдафических условиях проводящие корни оказываются на поверхности, а корневая система непосредственно у поверхности почвы. Усыхание ели нехватило Поозерье с молодыми почвами на рыхлых моренных отложениях последнего оледенения. Совместное одновременное

угнетение деревьев в конкретный год с экстремальными погодными условиями порождает групповой сухостой. Конечный итог роста и развития насаждения ели – массовое отмирание древостоя. Ель, малотребовательная к теплу, обладает низкой чувствительностью к изменчивости климатических факторов. Только экстремально морозные погодные условия малоснежных зимних месяцев вызывает ее угнетение, отраженное в депрессии радиального прироста и приводящее к отмиранию древостоя.

Как следует из результатов исследования, предотвратить влияние гелиофизического (солнечной радиации) и погодно-климатических факторов (температуры и осадков) на состояние и стволовую продуктивность лесных ценозов в принципе невозможно.

По результатам проведенных расчетов и на основании ожидаемого характера погоды, составляются ежегодные прогнозы показателей пожарной опасности лесов. Наиболее неблагоприятные погодные условия, при которых резко возрастает угроза лесных пожаров, складываются при продолжительном воздействии на территорию Беларуси теплых антициклонов, сформированных в отрогах Азорского максимума или при устойчивом влиянии теплых секторов циклонов, смещающихся с Центральной Атлантики на Скандинавский полуостров. При этом на территорию Беларуси поступает очень теплый и сухой воздух с юго-запада Европы.

За последние 25 лет наиболее сложная пожарная обстановка в лесах нашей страны отмечалась в летний период 1992, 1994 и 2002 гг. В это время наблюдалось относительно малое количество осадков, и как следствие очень низкая относительная влажность воздуха (20-30 %), а дневные максимумы температуры воздуха во многих районах республики достигали +34 +36°C. Данные климатические условия в результате обусловили возникновение массовых лесных пожаров.

Ежегодно в течение пожароопасного сезона проводятся расчеты показателя пожарной опасности в лесах по условиям погоды и горимости лесов. Полученные результаты в оперативном режиме представляются в руководящие органы. Степень риска возникновения пожара задается в соответствии с классификацией пожарной опасности в соответствии с классификацией пожарной опасности по Н.А. Диченкова.

Анализируя динамику изменения лесных пожаров на последние 10 лет, можно сказать, что наблюдался рост пожарной опасности в 2010, 2015, 2019 гг. (рисунок 16).

Максимально сложная пожароопасная обстановка сложилась в 2015 году. Теплая погода в марте и отсутствие осадков, которые в комплексе с малоснежной зимой, ранней весной с уровнями весеннего половодья ниже средних многолетних показателей, быстрым высыханием почвы негативно повлияли на обстановку: в весенний период зафиксировано максимальное количество пожаров за 10-летний период – 1019. Летний период 2015 года отмечался сложной обстановкой в природных экосистемах, что было связано

в первую очередь с острым дефицитом осадков, а также повышенным температурным режимом и порывистыми ветрами в июне–начале июля и августе (рисунок 17).

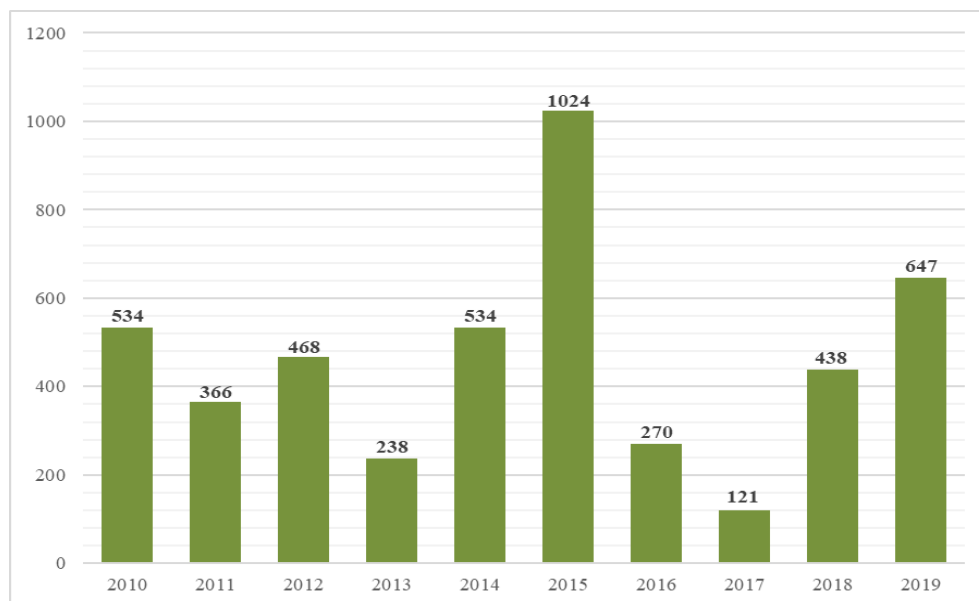


Рисунок 16 – Динамика изменения количества лесных пожаров за период с 2010 по 2019 гг. (сост. по данным Минлесхоза)

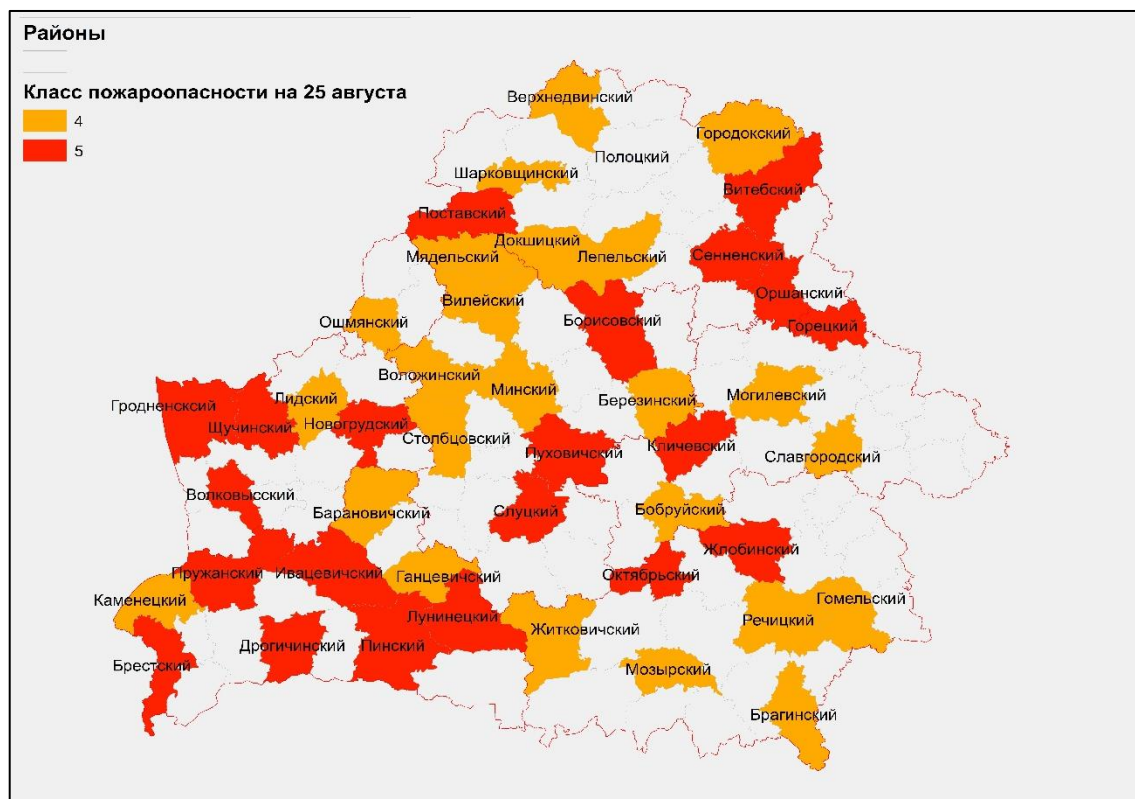


Рисунок 17 – Карта пожарной обстановки на 25.08.2015 (составлена по данным Белгидромета)

Ключевой проблемой исследований является проблема увеличения достоверности прогноза погоды. В этом направлении также были достигнуты достойные результаты. При детальном анализе распределения ОСО по территории Беларуси во всех областных городах перед ураганом 11 июля был достигнут минимум ОСО, после его прохождения, вечер 13 июля, озон начал восстанавливаться. Это было связано с определенным распределением ОСО в пределах страны. На севере и юге 11 июля наблюдались максимумы ОСО и низкая высота тропопаузы (рисунки 19 и 20). Это создало условия для формирования узкого пространственного коридора с юго-запада на северо-восток с сильными ветрами струйных течений, которые отражают положение высотного стационарного полярного фронта. По этой траектории и проходил мини-ураган, который сформировался за полсутки в районе Карпат (рисунок 7). Он являлся третьим мелким циклоном в серии циклонов, идущих в холодной тыльной части глубокого барического образования над Северной Европой, проходивший там несколькими сутками ранее. Аналогичные траектории прохождения мелких, но энергичных циклонов наблюдаются над территорией Беларуси систематически.

На основании анализа общего содержания озона и положения стационарных фронтов по геопотенциальной высоте установлена связь возникновения над территорией Беларуси опасных метеорологических явлений. На рисунке 18 представлены расчетные карты численной модели WRF прохождения мини-циклона через территорию Беларуси, с минимальным давлением в центре 1005 гПа. Основные районы, где выпало наибольшее количество осадков – Гродненская, Минская и Витебская области. В Шарковщинском районе образовался торнадо.

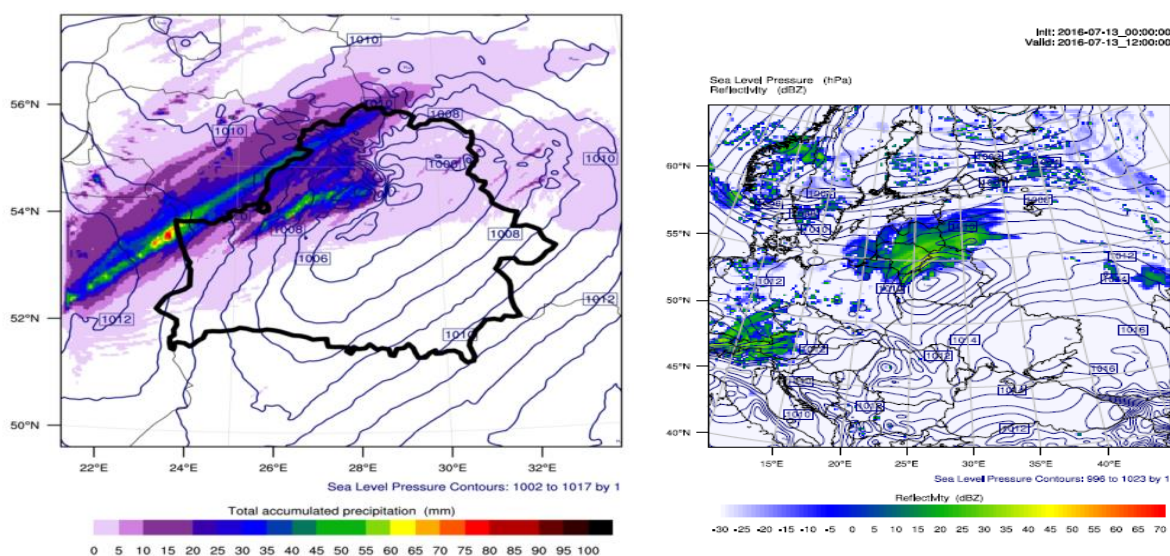


Рисунок 18 – Прохождение мини-циклона с юго-запада на северо-восток через территорию Беларуси 13 июля 2016 г. Слева карта облачности и давления на 12 час, справа – карта осадков и давления на 15 час по расчетам WRF

Исследованные реальные примеры отражают механизмы стратосферно-тропосферного взаимодействия. А именно стратосферные интрузии, прогибы и складки тропопаузы, опускание стратосферного холодного воздуха богатым ОСО в тропосферу. Как правило, такие явления характерны для холодных фронтов больших циклонов, отсеченных мини-циклонов, ВСП, положительных аномалий ОСО.

В качестве критерия предсказания опасного метеорологического явления можно выделить значения потенциальной завихренности, в частности динамической тропопаузы в 2 – 3 PVU на высоте 300 гПа, и резкое повышение значений ОСО за полсуток до наступления воздушной массы в конкретный регион (рисунки 19 и 20).

Данный критерий позволяет заблаговременно определить повышение ОСО и опускание высоты тропопаузы в локальных масштабах без дополнительных синоптических карт и наблюдений, что позволяет оперативно и качественно делать кратковременный прогноз погоды.

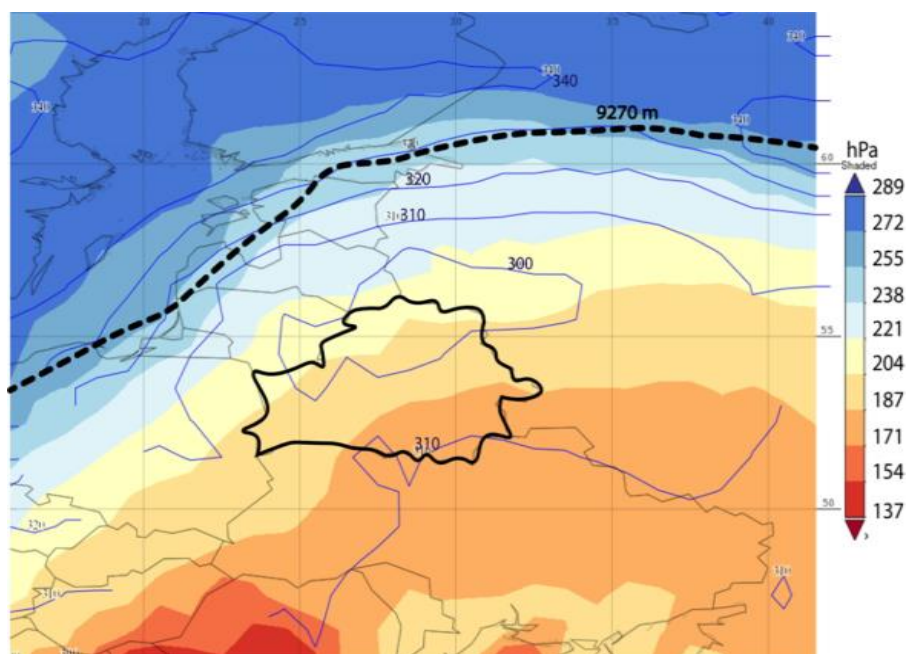


Рисунок 19 – Высота термической тропопаузы (гПа, цветовая заливка), положение полярного фронта (метр, пунктир) и ОСО (ед. Д., контур) на 13 июля 2016г по данным спутникового инструмента AIRS.

Выводы. Результаты выполненных исследований можно сгруппировать в несколько важных направлений: в области климатологии, гидрологии, транспорта, агрометеорологии, лесном хозяйстве и в области прогнозирования погоды. Полученные предварительные результаты вселяют надежды в разработку в последующие годы рекомендации по адаптации к складывающимся неустойчивым климатическим условиям и минимизации негативных последствиям.

Вторым направлением является получение положительных результатов последствий глобального потепления в различных видах хозяйственной деятельности.

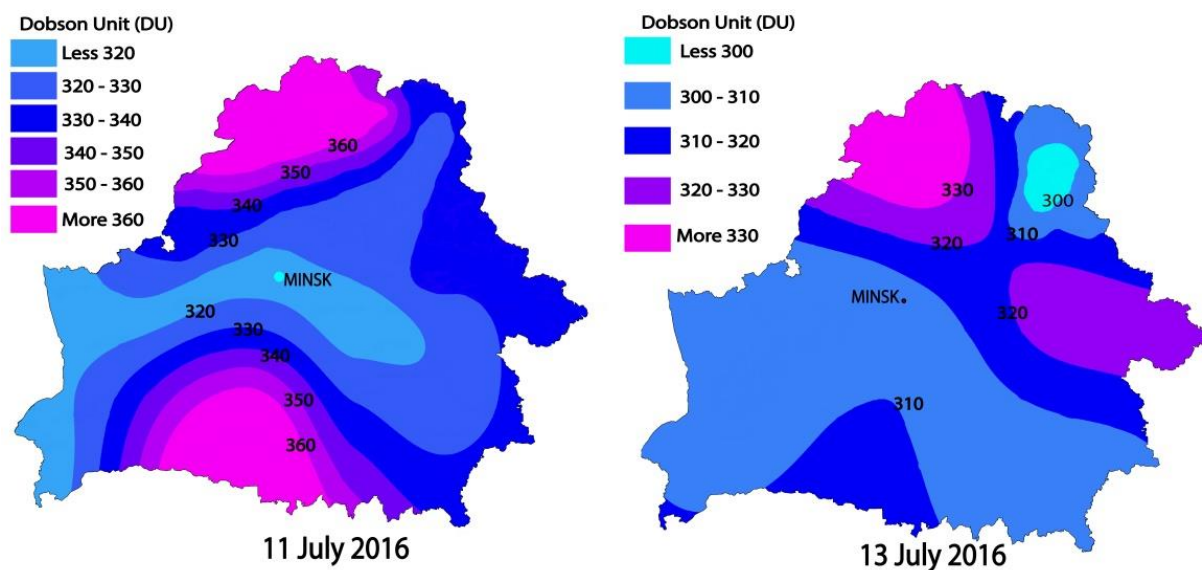


Рисунок 20 – ОСО (ед. Д) над Беларусью 11 и 13 июля 2016 года во время приземного мини-урагана по данным спутниковых приборов OMI/TOMS построенные в QGIS

Третьим направлением является разработка прогнозов дальнейшего развития процессов, вызванных повышением температуры воздуха, появлением новых процессов и прогнозирование перспективного развития традиционных природных процессов на территории Беларуси.

В совокупности перечисленные результаты исследования будут способствовать гидрометеорологической безопасности республики.

Библиографические ссылки

1. Показатели влияния погодных условий на экономику: чувствительность потребителя к воздействию гидрометеорологическому фактору / А.И. Бедрицкий [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2000. – № 2. – С. 5 – 9.
2. Безрученко, А.П. Территориальная структура и совершенствование сети дорог автомобильного транспорта Республики Беларусь: дис. ... канд. геогр. наук: 25.03.02 / А.П. Безрученко. – Минск, 2017. – 192 л.
3. Белов, С.И. Медицинская география Белоруссии / С.И. Белов, Н.С. Ратобылский. – Минск: «Беларусь», 1997. – 160 с.
4. Брилевский, М.Н. Проблема изменения климата на территории Беларуси: отрицательные и положительные аспекты для хозяйственной деятельности. / М.Н. Брилевский // Географія. У дапамогу педагогу, 2020. – №6. – С. 3-13.
5. Давыденко, О.В. Оптимальные и фактические сроки посадки картофеля в Республике Беларусь / О.В. Давыденко, В.А. Бокшиц // Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата: Мат-лы Междунар. научн. конф., 5 – 8 мая 2015 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: П. С. Лопух (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2015. – С. 246 – 248.
6. Логинов, В.Ф. Изменение климата в Беларуси и их последствия для ключевых секторов экономики (сельское, лесное и водное хозяйства) / В.Ф. Логинов. – Минск: БелНИЦ «Экология», 2010. – 151 с.
7. Логинов, В. Ф. Современные изменения глобального и регионального климата / В.Ф. Логинов, С.А. Лысенко. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 315 с.

8. Логинов, В.Ф. Изменения климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В.Ф. Логинов, С.А. Лысенко, В.И. Мельник. – Минск – УП "Энциклопедикс – 2020 – 218 с.
9. Лопух, П.С. Обоснование необходимости разработки нового гидрологического районирования территории Беларуси. / П.С. Лопух // Мат-лы 5 Международ. водного форума «Водные ресурсы и климат». В 2-х частях. Ч.1. 5-6 октября 2017 г. Минск – 2017 – С. 130 – 136.
10. Сивков, С. И. Методы расчета характеристик солнечной радиации / С.И. Сивков – Л.: ГМИ, 1968. – 262 с.
11. Шаронов, В. В. Дневная освещенность при различных условиях / В.В. Шаронов // ДАН СССР – 1935, т. 1, № 9. – с. 45–57.
12. Шлендер, Т.В. Региональное влияние стратосферных процессов в формировании погоды и климата Республики Беларусь по данным мониторинга / Т.В. Шлендер, В.В. Жучкевич, А.Н. Красовский // Журн. БГУ. География. Геология, 2018; № 2. – с.25-38.