

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ И ЗОНИРОВАНИЕ ПО ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ ГИС И БД

Н. К. Вахонин, кандидат технических наук, доцент

*РУП «Институт мелиорации»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация

В статье осуществлен пространственно-временной анализ изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур и урожаяобразующих факторов, используя разработанную автоматизированную систему, базирующуюся на ГИС и БД, в которой собраны данные результатов многолетних мониторинговых наблюдений на гидрометеорологических станциях Гидромета, сортоиспытательных станциях системы госсортоиспытаний и стационарах института по урожайности сельскохозяйственных культур и агрометеорологическим урожаяобразующим факторам. В результате анализа изучены вариабельность величин урожайности и агрометеофакторов на основе построения кривых обеспеченности, изменчивость в разрезе многолетия на основе визуализации трендов с помощью алгоритма скользящего среднего, расчета различных статистических характеристик различного уровня генерализации во времени и осуществления зонирования по территории Беларуси.

Ключевые слова: урожайность, многофакторная модель урожая, урожаяобразующие факторы, температура воздуха, осадки, ГИС, база данных, кривые обеспеченности, тренд, скользящие средние, пространственно-временной анализ, зонирование, адаптация, принятие решений, критерии, смешанные стратегии

Abstract

**N. K. Vakhonin
SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF
VARIABILITY AND ZONING ACROSS THE
TERRITORY OF BELARUS OF AGROMETEOROLOGICAL
FACTORS AND CROP YIELDS
ON THE BASIS OF GIS AND DATABASE**

The article carried out a spatio-temporal analysis of variability of crop yields and crop-forming factors, using a developed automated system based on GIS and DB, which collected data from the results of long-term monitoring observations at hydrometeorological stations of Hydromet, grades of plants testing stations of the state crop testing system and stations of the Institute for crop yields and agrometeorological crop-forming factors. As a result of the analysis, the variability of yield values and agrometeo-factors based on the construction of probability curves, variability in the context of many years based on the visualization of trends using the moving average algorithm, the calculation of various statistical characteristics of different levels of generalization in time and zoning on the territory of Belarus were studied.

Keywords: productivity, multivariate crop model, yield factors, air temperature, precipitation, GIS, database, security curves, trend, moving averages, space-time analysis, zoning, adaptation, making decisions, criteria, mixed strategies.

Введение

Для обеспечения конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции необходима смена цели сельскохозяйственного растениеводства с валовых на экономические показатели, что требует осуществления оптимизации сельхозиспользования земель на критерии максимума доходов и минимума затрат.

При строгом подходе оптимизация сельхозиспользования базируется на математической постановке задачи, конкретный вид которой определяет алгоритмы решения, соответствующие данному классу задач оптимизации.

Очевидно, что некорректные постановки задач и ошибки, в особенности использование не обоснованных критериев, не надежных зависимостей и недостоверных исходных данных для расчета

приводят к получению неточных, отличающихся от действительно оптимальных решений.

В соответствии с вышесказанным, общую практическую задачу растениеводства можно сформулировать как проблему принятия решений – согласованного выбора альтернатив вида выращиваемых сельскохозяйственных культур (адаптивные стратегии приспособления к имеющимся условиям) и интенсивности их выращивания (активные, являющиеся, как правило, более затратными, но дающие большую отдачу стратегии по изменению природной среды под требования растений), выбор параметров и управлений при регулировании водного режима (тип и параметры мелиоративных систем), химического режима (дозы удобрений, средства защиты растений и т. д.), обеспечивающих max дохода

и мин затрат при соблюдении ограничений по условиям охраны окружающей среды [1, 2].

При использовании в качестве функции цели экономических показателей ключевым звеном, определяющим правильность их расчета, является надежная зависимость (модель) урожайности сельскохозяйственных культур от урожаеобразующих факторов.

Очевидно, что чем более точно используемая в расчетах модель урожайности соответствует реально имеющей место зависимости урожая сельскохозяйственной культуры от урожаеобразующих факторов, тем более близки к оптимальным принимаемые решения. При этом это имеет место в задачах любого иерархического уровня: при планировании вида и интенсивности сельхозиспользования от республики в целом, до отдельного хозяйства и вплоть до оптимизации технологических процессов на каждом конкретном поле, в том числе с дифференциацией по площади – так называемое «точное земледелие».

Таким образом, базисной основой принятия эффективных решений в растениеводстве на любом иерархическом уровне является использование адекватной модели зависимости урожайности различных сельскохозяйственных культур от урожаеобразующих факторов и наличие надежного информационного обеспечения для чего необходимы многолетние ряды статистически однородных многолетних полевых данных по урожайности различных культур и агроклиматическим урожаеобразующим факторам по различным зонам Беларуси, тогда как полевые опыты обычно имеют продолжительность 3-5 лет.

Сельскохозяйственное растениеводство в Беларуси осуществляется на площади более 8 млн га, расположенных в различных природно-климатических условиях, имеющих значительно различающуюся степень благоприятности для выращивания различных культур и, соответственно, их возможной урожайности.

Погодно-климатические условия имеют зональный характер. Поскольку величины гидрометеорологических характеристик имеют вероятностный характер, то величина урожайности сельскохозяйственных культур, определяемая как детерминированными, так и стохастическими переменными урожаеобразующими факторами, также имеет вероятностный характер по годам, причем различающийся по территории Беларуси.

В настоящее время принятие решений при планировании сельскохозяйственного растениеводства, выборе варианта регулирования факторов сельскохозяйственных культур в период их вегетации ориентировано на среднесезонную урожайность, без учета ее стохастичности по годам, при-

чем различающейся по территории и имеющей свои характеристики для каждого вида культур. В результате этого не учитываются риски снижения валовых сборов сельскохозяйственных культур в связи с учетом пространственно-временного характера изменения природно-климатических факторов, что в особенности актуально с учетом отмечаемых [3, 4] климатических изменений в последние десятилетия.

В связи с вышеизложенным разработка методики пространственно-временного анализа урожаеобразующих факторов, урожайности различных сельскохозяйственных культур, анализ оценки их вариабельности является актуальной для решения важнейшей практической проблемы повышения эффективности сельскохозяйственного растениеводства на основе принятия решений с учетом случайного характера и региональных особенностей природно-климатических условий.

Учет пространственно-временных изменений урожайности различных сельскохозяйственных культур в зависимости от случайно формирующихся агрометеорологических характеристик по территории Беларуси позволяет обеспечить возможность задействования бесплатного потенциала адаптивного их размещения, наиболее соответствующего естественно-природным условиям.

Выбор в качестве основы для анализа изменений данных по урожайности сортоиспытательных станций системы Госсортоиспытаний связан с тем, что это наиболее длинные имеющиеся в Беларуси ряды данных по урожайности по различным культурам, причем в различных точках Беларуси. При этом, так как сортоиспытания осуществляются по общей для всех станций методике, то можно полагать, что они являются наиболее статистически однородными среди имеющейся информации по урожайности сельскохозяйственных культур.

Объекты и методика исследования

Методика исследований основывается на системном анализе проблемы пространственно-временной изменчивости агрометеорологических факторов многофакторности урожайности, геостатистических расчетах и зонировании, базирующихся на разработанных алгоритмах и программных средствах, их реализации, используя многолетние ряды агрометеорологических наблюдений по 48 метеостанциям гидрометслужбы и урожайности различных сельскохозяйственных культур по 42 сортоиспытательным станциям, и зонировании их по территории Беларуси.

Результаты и обсуждение

В условиях ограниченности финансовых ресурсов, лимитирующих возможности наращивания

интенсивности использования высокозатратных технологических факторов, максимально полно должен задействоваться потенциал природных факторов. Реализация этого основывается на размещении сельскохозяйственных культур, различные виды которых имеют различные требования к водному и тепловому режиму, случайное изменение которых по годам определяется зональными особенностями распределения осадков, температур воздуха и других связанных с ними метеофакторов адаптивно к их распределению по территории Беларуси.

Следствием имеющего место не единообразия погодно-климатических условий по территории является то, что степень благоприятности – экстремальности по сочетанию тепла и влаги (засушливости-переувлажненности и т.п.) периода выращивания растений каждого конкретного года различается по регионам, при этом по разному сказываясь на урожайности разных сельскохозяйственных культур в соответствии с различающимися требованиями их к этим условиям.

Данное обстоятельство обеспечивает наличие альтернативных вариантов при выборе стратегии размещения сельскохозяйственных культур, адаптивно к региональным природно-климатическим условиям.

Эффективность принятия решений в сельскохозяйственном растениеводстве в различных природно-климатических условиях определяется надежностью используемой модели урожая, важнейшей составляющей которой является зависимость урожайности от случайно изменяющихся по годам агрометеорологических условий вегетационного периода.

В связи с предельной сложностью задачи: многофакторностью влияния на урожайность множества взаимосвязанных процессов, стохастичностью входных воздействий, наиболее строго отвечающие действительным физико-биологическим процессам формирования урожая теоретические модели урожайности балансового типа [5–8], требуют идентификации нескольких десятков входящих в них параметров, что невозможно обеспечить для решения практических задач оптимизации размещения сельскохозяйственных культур адаптивно природно-климатическим условиям. Остается возможность использования эмпирических многофакторных моделей зависимости урожайности различных культур от основных агрометеорологических характеристик. Главной проблемой при этом является необходимость в многолетних рядах данных по урожайности различных сельскохозяйственных культур, т. к. полевые опыты по урожайности обычно не превышают 3–5 лет.

В условиях отсутствия в настоящее время надежных зависимостей урожайности сельскохозяйственных культур от зональных условий метеофакторов, минимально гарантированной,

необходимой для решения практических задач растениеводства, является возможность осуществления зонирования урожаеобразующих метеофакторов и урожайности различных культур и их сортов, причем с использованием различных типов статистик (средние, max, min) различного уровня агрегирования данных почасовых измерений (суточных, декадных, месячных, сезонных, годовых, многолетних и т. д.), позволяющего осуществить оценку предпочтительности культур и их сортов в зональном разрезе, пространственно-временной изменчивости их урожайности в условиях происходящих изменений метеофакторов.

Важнейшим условием получения обоснованных выводов, как показали проведенные расчеты, является использование при зонировании статистически однородных данных. Для обеспечения этого многолетние ряды данных по всем метеостанциям внесены в разработанную базу данных, начиная с исходных восьми срочных замеров (что позволило исключить ошибки, вызываемые использованием при осуществлении расчетов данных из разных источников, несогласованно фиксируемых в Гринвичском и местном времени, сокращением числа внутрисуточных измерений на отдельных станциях в зимние периоды или даже в ряде лет и т. д.). Данные по главным, определяющим гидротермические условия, урожаеобразующим метеорологическим факторам – осадкам, температурам, дефицитам влажности воздуха внесены в БД по 48 геопривязанным в ГИС (рис.1) метеостанциям Беларуси с 60–80-х по 2015 г., и экспериментальным стационарам за период наблюдений.

Наиболее подходящим массивом данных по урожайности различных культур, причем соответствующих относительно единообразным технологиям выращивания как по территории, так и по годам, являются данные государственных сортоиспытаний культур. В связи с этим были собраны данные по всем 42 имеющимся в Беларуси Государственным сортоиспытательным станциям (участкам), привязанным в ГИС (рис. 1). Данные с бумажных носителей и находящихся в различных электронных форматах были введены по каждой культуре в нормализованные таблицы, обеспечивающие автоматизированное формирование структур данных, необходимых для пространственно-временного анализа.

Сформированы массивы исходных данных за весь период имеющихся наблюдений по урожайности по всем сортам 36 основных сельскохозяйственных культур, включая озимые и яровые зерновые культуры, технические культуры, злаковые и бобовые травы, за все имеющиеся годы, в результате чего сформированы многолетние временные ряды, начиная с семидесятых годов по настоящее время.

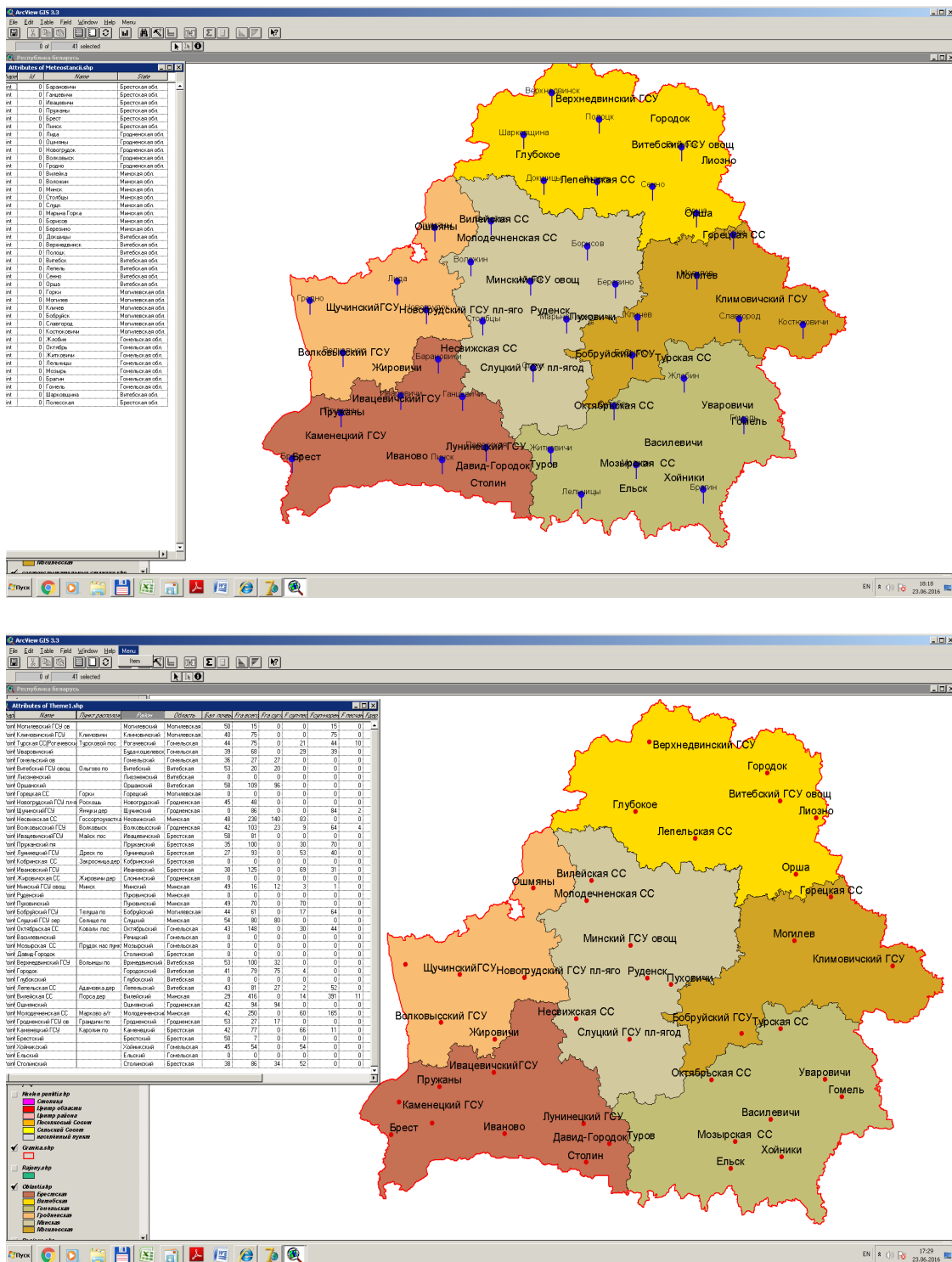


Рисунок 1 – Тематические слои гидрометеостанций и сортиспытательных станций на территории Беларуси

Помимо данных по урожайности введены все имеющиеся данные по сопутствующим ей показателям: масса тысячи зерен, содержание сырого протеина, высота растений, а также характеристикам произрастания: устойчивость к полеганию, зимостойкость, вегетационный период и поражение различного вида болезнями и вредителями.

Сформированная база данных агрометеорологических характеристик вместе с массивом дан-

ных по урожайности сельскохозяйственных культур (всего более 15 млн данных) явилась информационной основой исследований пространственно-временной изменчивости урожайности и связи ее с урожаяобразующими факторами, зонирования их по территории Беларуси для целей выбора оптимальных вариантов размещения сельскохозяйственных культур адаптивно природно-климатическим условиям, с минимизацией негативного их влияния

в экстремальные годы для обеспечения продовольственной безопасности.

Для осуществления пространственно-временного анализа использовалась разработанная система автоматизированной обработки больших рядов пространственно-временных мониторинговых данных, реализующая современное направление информационных технологий («big data», «data-mining»), включающая базу данных и комплекс взаимосвязанных программных средств, обеспечивающих ввод, хранение, обработку данных, включая приведение срочных часовых замеров метеоданных от Гринвичского времени к Белорусскому, синхронизацию данных замеров при наличии пропусков для обеспечения их статистической однородности, сглаживание различными функциями, формирование массивов данных различного уровня генерализации во времени (от срочных до многолетних) для осуществления зонирования урожаеобразующих метеофакторов и урожайности сельскохозяйственных культур с представлением временных рядов в любом необходимом табличном и графическом виде [9–11].

Разработанные программные средства обеспечивают осуществление автоматизированных расчетов с большим быстродействием по любому набору лет сортоиспытаний, что дает возможность проведения пространственно-временного анализа изменчивости урожайности в условиях, изменяющихся в многолетнем разрезе метеоусловий.

Разработана, базирующаяся на использовании автоматизированной системы, методика пространственно-временного анализа, включающая использование базовых статистик, алгоритмов построения кривых обеспеченности урожайности сельхозкультур для оценки их вариабельности в связи с различием метеорологических условий лет, расчета скользящих по годам средних величин урожайности и урожаеобразующих факторов, обеспечивающих наглядное представление трендов их изменчивости в течение хронологической последовательности многолетнего ряда, пространственного зонирования в ГИС различных статистик метеофакторов и урожайности сельскохозяйственных культур многолетия.

Используя разработанные программные средства и сформированные ряды данных наблюдений, осуществлен вероятностно-статистический анализ урожайности и урожаеобразующих факторов по территории Беларуси.

В связи со стохастичностью изменения метеоусловий периода вегетации в различные годы случайным образом изменяется по годам урожайность сельскохозяйственных культур. Вариабельность

урожайности в многолетнем разрезе характеризуется кривыми обеспеченности ее величины (вероятности появления меньшего (или наоборот большего) значения в Р% лет из 100), рассчитываемыми по ряду многолетних наблюдений.

Для расчета кривых обеспеченности урожайности различных сельскохозяйственных культур использовались наиболее длинные (до 42 лет) ряды, сформированные по данным многолетних опытов на стационарах, а также сортоиспытательных станциях.

По сортоиспытательным станциям расчеты осуществлялись начиная с отдельных сортов культур. Однако, так как в большинстве случаев испытание сортов не превышает 3–4 лет, то, используя разработанные программные средства, осуществлялась генерализация данных по всем сортам до статистик по культуре в целом. Анализ кривых обеспеченности урожайности (рис. 2, 3) указывает на значительную вариабельность ее величины относительно средних значений: при одних и тех же природных условиях и технологиях выращивания. В зависимости от метеоусловий года, урожайности культур могут изменяться в два и более раз. При этом влияние экстремальных условий на разные культуры влияет по-разному, в результате чего культуры с большей среднемноголетней урожайностью (50 % обеспеченности) могут иметь меньшие равнообеспеченные значения (более резкое падение урожайности) в экстремальные годы, в сравнении с культурами, уступавшими им в среднемноголетнем разрезе. Различна также кривизна участков кривых обеспеченности для разных природных условий: на дерново-подзолистых почвах Пружанского стационара в неблагоприятные годы урожайность снижается более резко, чем на мелкозалежных торфяниках. Схожую вариабельность имеет урожайность трав на Полесской станции.

Для оценки изменчивости временных рядов в последовательность хода лет использован алгоритм их сглаживания скользящими по годам средними. В результате анализа построенных графиков скользящих средних, установлены тренды различных базовых статистик метеофакторов (рис. 4). По всем метеостанциям, начиная с 60-х годов, имеет место устойчивый рост скользящих средних среднесуточных температур воздуха и, соответственно, среднегодовых (рис. 5).

Незначительно изменялись в этот период максимумы температур. Минимумы понижались до конца 70-х годов, а затем происходит их рост.

Однотипна по территории Беларуси внутригодичная и внутрисуточная изменчивость температур (рис. 6).

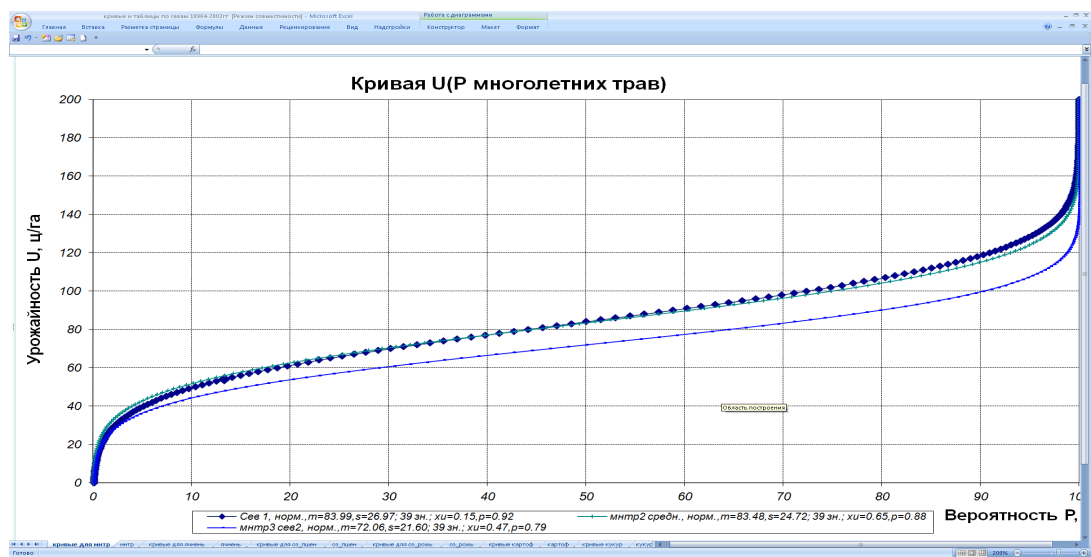
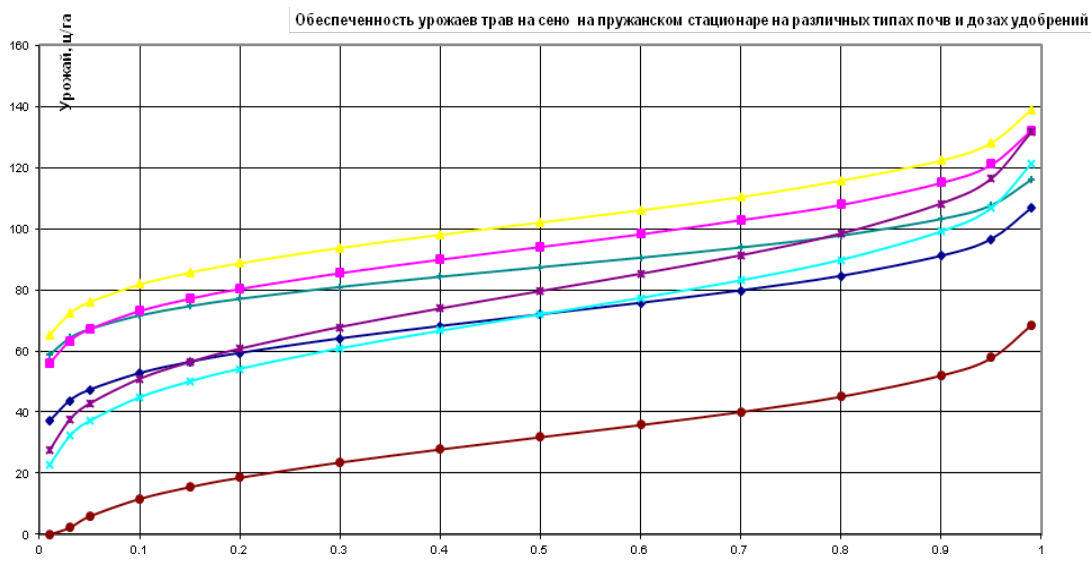


Рисунок 2 – Вариабельность урожайности трав на сено в 40-летних опытах на Пружанском стационаре и ПОСМЗил

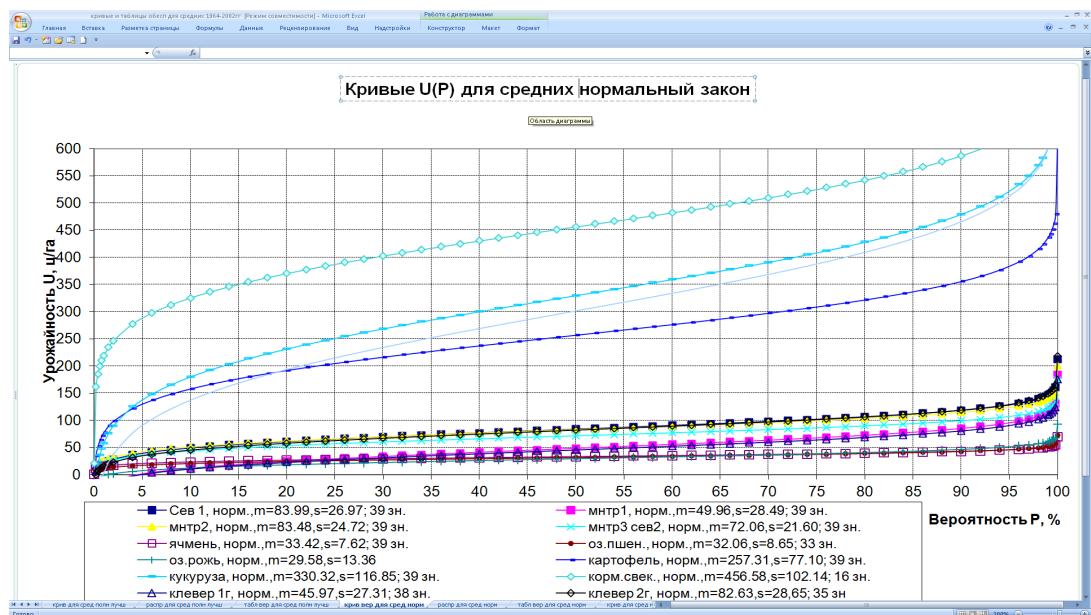


Рисунок 3 – Кривые обеспеченности урожаев различных культур при $N_{0.60} P_{0.150} K_{150}$ в опытах на ПОСМЗил

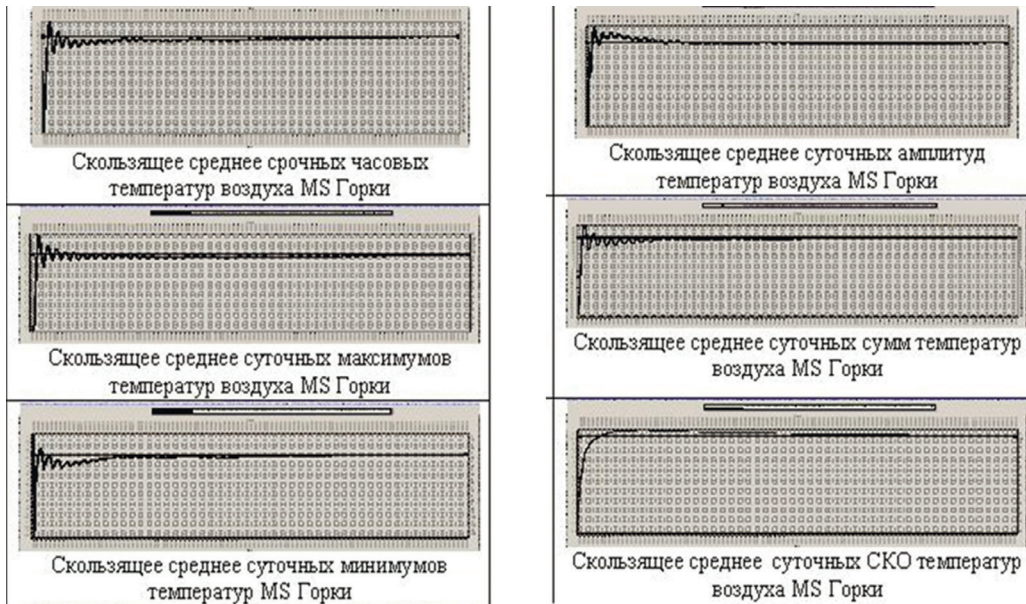
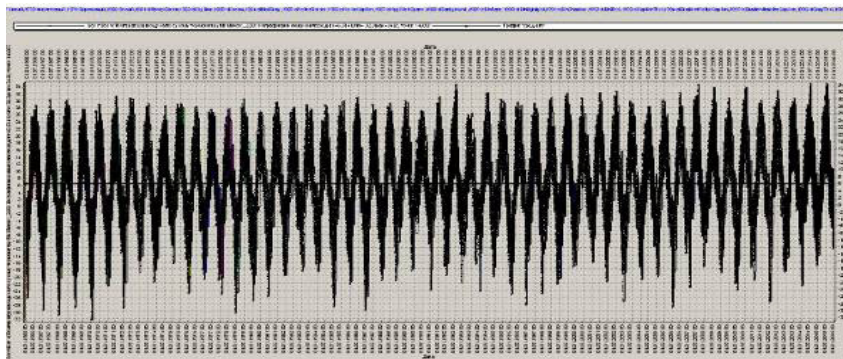
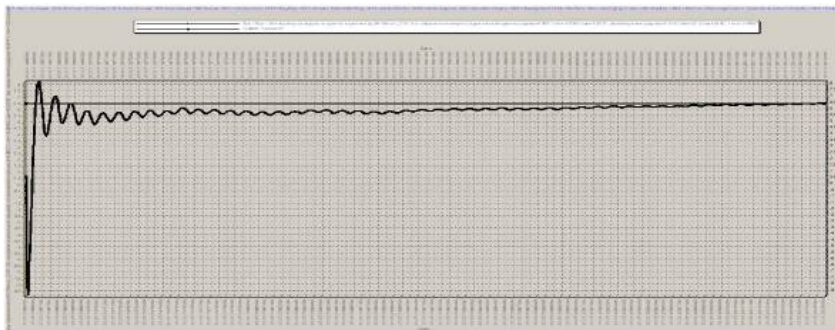


Рисунок 4 – Оценка изменчивости с использованием скользящего среднего вариантов статистических характеристик при агрегировании исходных срочных (8-разовых) измерений температур воздуха по сухому термометру $h=2\text{м}$ до суточных значений MS Горки



MS Минск температура воздуха срочные измерения



MS Минск температура воздуха скользящее среднее исходных срочных замеров

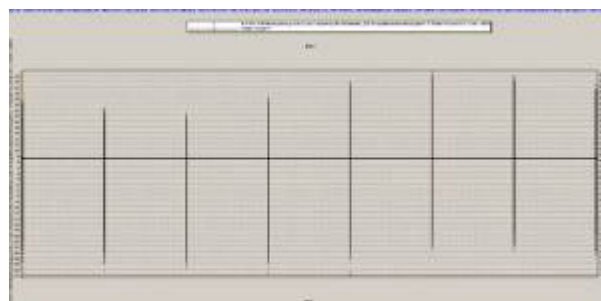


MS Минск температура воздуха скользящее среднее среднегодовых

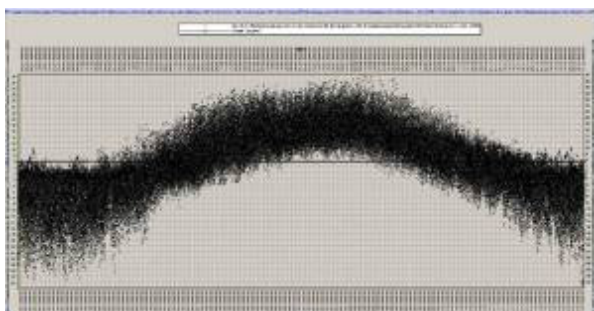
Рисунок 5 – Температуры воздуха и их скользящие средние по дням и годам по метеостанции Минск



Внутригодовая изменчивость температур воздуха
MS Василевичи



Внутрисуточная изменчивость температур воздуха
MS Василевичи



Внутригодовая изменчивость температур воздуха
MS Верхнедвинск



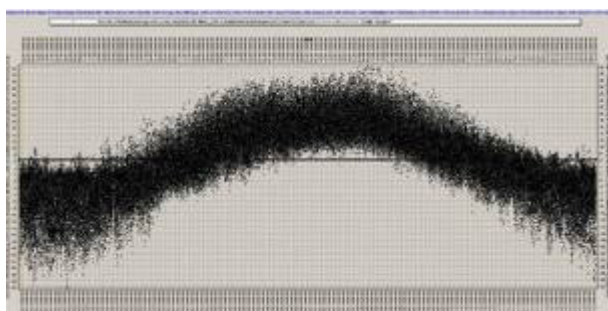
Внутрисуточная изменчивость температур воздуха
MS Верхнедвинск



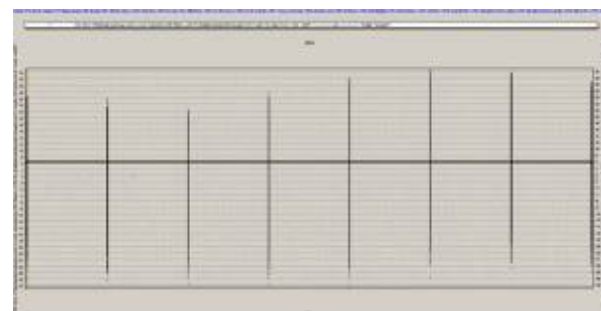
Внутригодовая изменчивость температур воздуха
MS Горки



Внутрисуточная изменчивость температур воздуха
MS Горки



Внутригодовая изменчивость температур воздуха
MS Минск



Внутрисуточная изменчивость температур воздуха
MS Минск

Рисунок 6 – Внутригодовая и внутрисуточная (8 сроков) изменчивость температур воздуха по метеостанциям Республики Беларусь

Более дифференцирована изменчивость осадков за период наблюдений по различным метеостанциям: по метеостанциям Вилейка, Верхнедвинск, Горки до середины 70-х годов происходило уменьшение осадков, а по метеостанциям Пинск, Полесский оно продолжалось до конца 90-х годов. В последующие годы отмечается устойчивый рост ежегодных осадков и с 2008–2010 гг. их

значения превышают среднемноголетнюю величину периода наблюдений (рис. 7).

В связи с изменчивостью по годам агрометеофакторов в многолетнем разрезе могут иметь место разнонаправленные периодические тренды. Их прослеживание обеспечивается с помощью расчета скользящего среднего, сглаживающего резкие колебания ежегодных значений урожайности (см. рис. 4).

Рассчитанные скользящие средние урожайности трав на сено на торфяных почвах на Пружанском стационаре и ПОСМЗиЛ указывают на устойчивый ее характер даже в условиях без переизлучения в течение 20-летнего периода, но при условии внесения достаточных доз удобрений.

Сравнительный анализ, используя скользящие средние в различных точках, на примере урожайности озимой ржи на Молодечненской СС и Ивацевичском ГСУ за период сортоиспытаний показывают незначительный рост в 70-80-е годы, практическую неизменность в 90-е годы и наиболее быстрый рост в первой половине 2000-х (рис. 8).

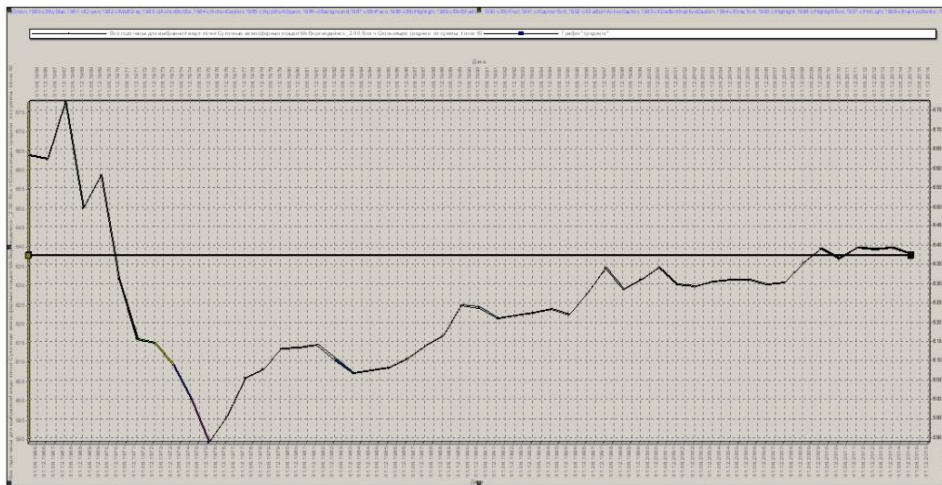
Используя собранные ряды многолетних данных по метеофакторам и разработанные программные средства, осуществлено автоматическое агрегирование урожаяобразующих факторов до многолетних значений, по которым сформированы массивы данных по всем метеостанциям. Аналогичные массивы сформированы по урожайности сель-

скохозяйственных культур по всем станциям сортоиспытаний.

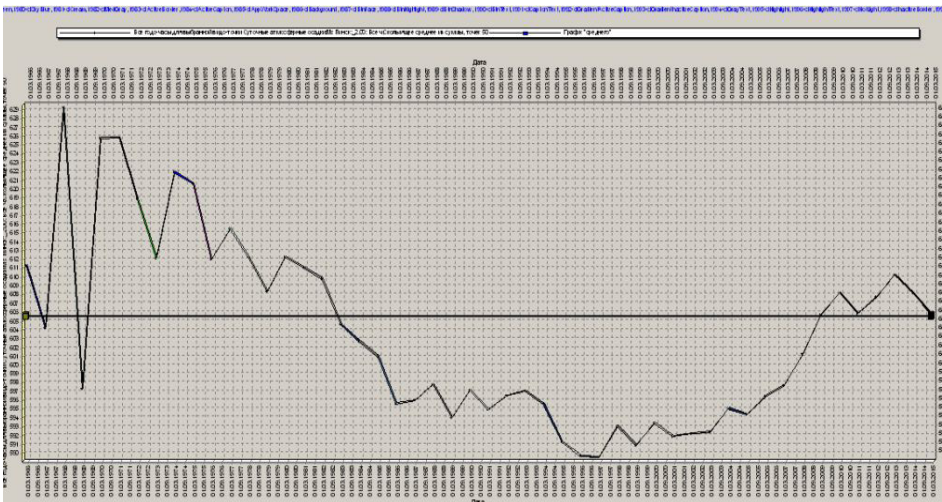
Используя эти ряды, осуществлено зонирование в ГИС различных статистик основных урожаяобразующих метеофакторов: осадков, температур и дефицитов влажности воздуха по территории Беларуси (рис. 9–11).

Проведенный анализ результатов зонирования показал, что характер пространственной изменчивости важнейших, определяющих гидротермические условия произрастания сельскохозяйственных культур метеофакторов: осадков, температур, дефицита влажности воздуха различается между собой. Также различен характер распределения по территории и различных статистических характеристик одного и того же фактора (рис. 9–11).

Распределение среднеемноголетних величин температур воздуха имеет экваториальное направление, возрастая на 3,5 градуса в направлении с севера – северо-востока на юг – юго-запад (рис. 9).



Скольльзящие средние годовых сумм атмосферных осадков MS Верхнедвинск



Скольльзящие средние месячных сумм атмосферных осадков MS Пинск

Рисунок 7 – Оценка многолетней изменчивости суточных измеренных осадков по скользящим средним по дням и годовых сумм MS Верхнедвинск и MS Пинск

Скольльзящие средние урожаи трав на сено 2-го года севообороты 2 и 3 ПОСМЗиЛ

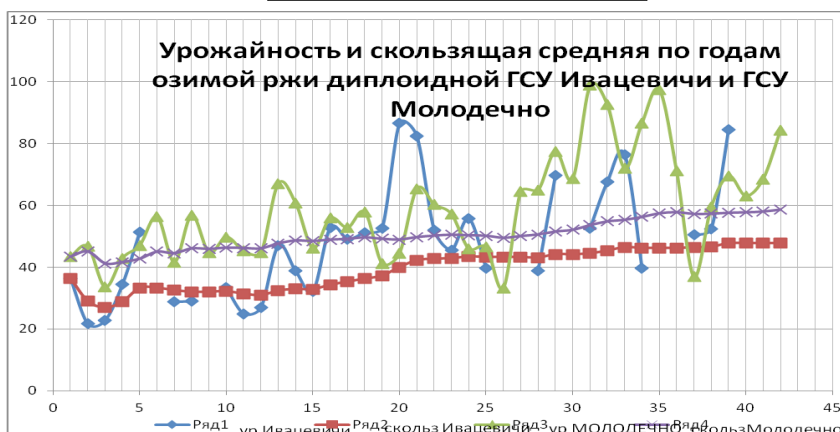
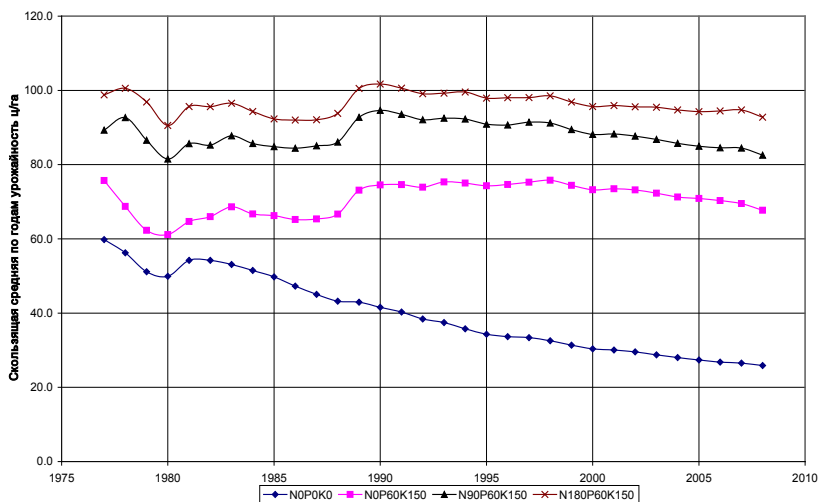
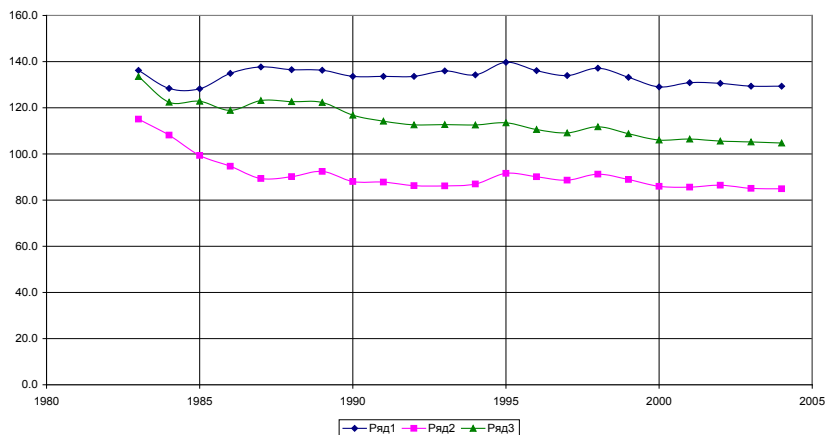


Рисунок 8 – Скользящие средние по годам урожайности трав на сено на мелкозалежном торфянике при различных дозах удобрений на ПОСМЗиЛ и Пружанском стационаре, ржи диплоидной в сортоиспытаниях на Молодечненской СС и Ивацевичском ГСУ

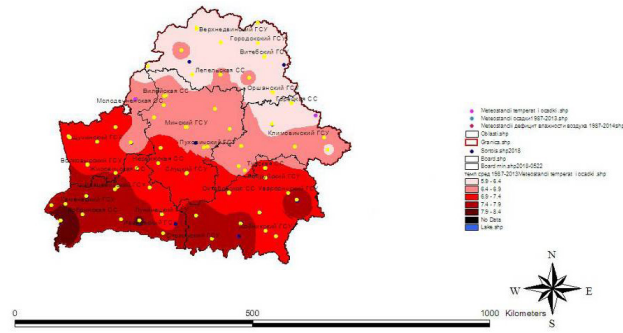
При этом в последние 7 лет имеет место повышение среднемноголетней температуры на 0,5 °С в каждой выделяющейся единообразной температурной полосе с юга на север.

Экстремальные значения максимумов и минимумов температур распределены с запада на восток (в направлении возрастания континентальности).

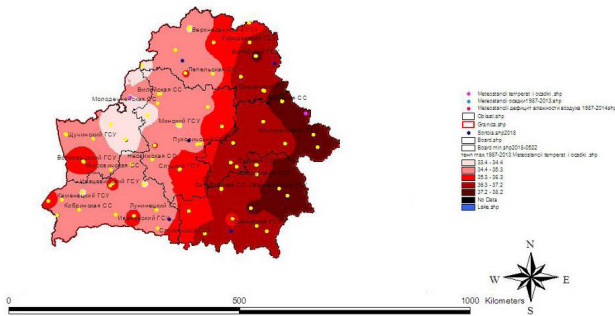
Приблизительно в аналогичном направлении растет также среднемноголетний дефицит

влажности воздуха (рис. 11). Величина среднемноголетних осадков, наоборот, уменьшается с северо-востока на юго-запад приблизительно на 200 мм годового слоя. При этом пространственная изменчивость максимальных за многолетие суточных осадков имеет диаметрально противоположное направление – растет с северо-востока на юго-запад (рис. 10).

Температура воздуха средне многолетняя 1987–2013



Max Tвоз1987-2013



Min Tвоз1987-2013

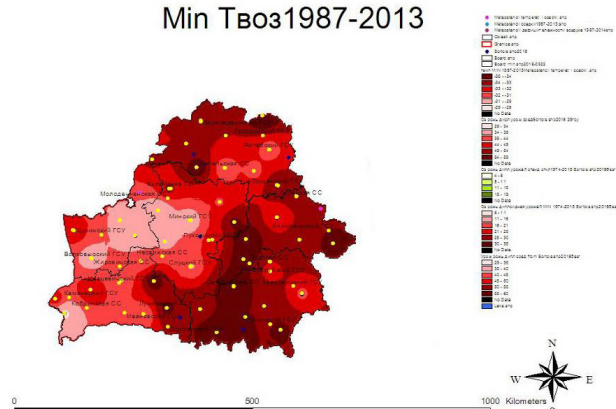
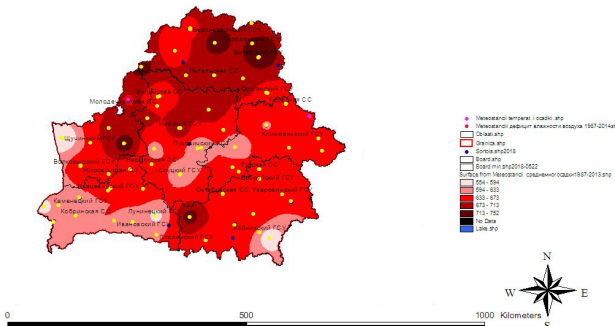


Рисунок 9 – Зонирование температур воздуха по территории Беларуси

Среднегодовые осадки 1987–2013



Максимальные суточные осадки 1987–2013

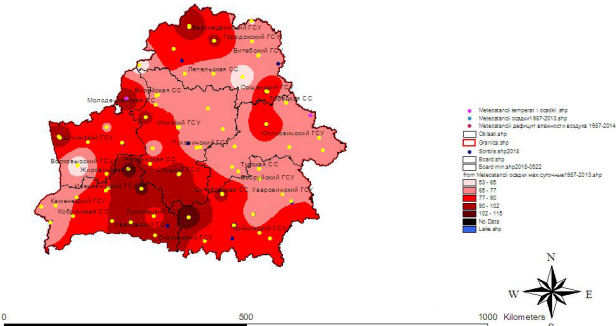
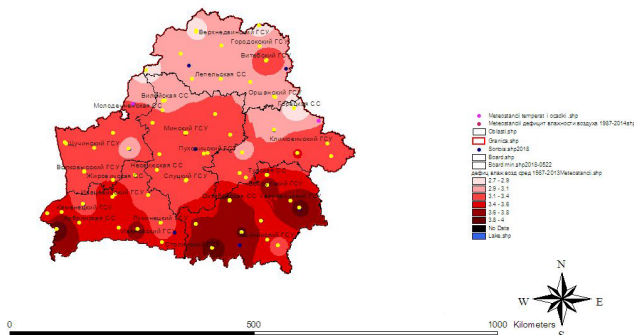


Рисунок 10 – Зонирование осадков по территории Беларуси

Средний дефицит влажности воздуха 1987–2013



Максимальный дефицит влажности воздуха 1987–2013

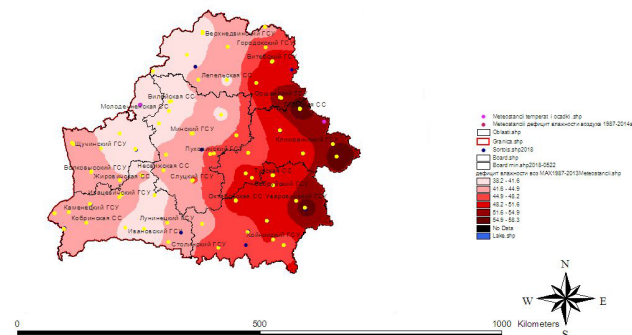


Рисунок 11 – Зонирование дефицита влажности воздуха по территории Беларуси

Наложение одна на другую карт зонирования всех метеофакторов, одновременно по средним и экстремальным величинам каждого из них, образуют пересечения, выделяющие кластеры с различным сочетанием значений урожаяобразующих факторов, в совокупности определяющих величину урожайности сельскохозяйственных культур. При этом характер изменения по территории урожайности различных сельскохозяйственных культур будет формироваться в соответствии с биологическими особенностями отклика каждой из них на всю группу метеофакторов, причем одновременно для средних, максимальных, минимальных их величин, различных в каждом из выделяющихся погодно-климатических кластеров.

К примеру, это подтверждается различным характером распределения по территории величин урожайности озимой ржи диплоидной и яровой пшеницы мягкозерной (рис. 12, 13). При этом следует отметить для каждой из культур различие благоприятных территорий в годы со среднемноголетней урожайностью и в годы минимальной ее величины.

Так, результаты зонирования по территории Беларуси многолетних статистик урожайности озимой ржи диплоидной, рассчитанных по данным 42 летних испытаний на 29 сортоиспытательных станциях, показывают, что наибольшие величины среднемноголетних значений урожайности формируются

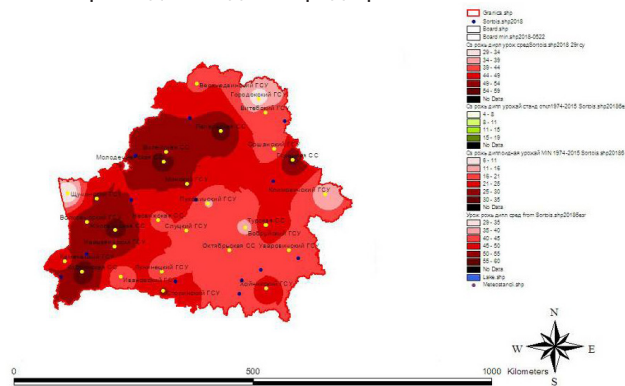
в направлении к западной границе, максимумов урожаев – к западной-юго-западной границе, а наибольшие значения минимальных многолетних урожаев растут к центральной зоне Беларуси. Результаты зонирования урожайности дают возможность оценки эффективности стратегий размещения культур, ориентированных на различные критерии в условиях стохастичности погодно-климатических условий по-разному проявляющихся по территории Беларуси.

Минимальные урожайности ржи диплоидной имеют наибольшие величины в центральной части Беларуси, тогда как яровой пшеницы – в юго-западной.

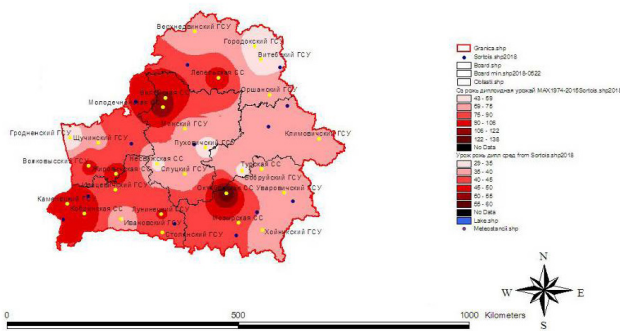
Несовпадение характера территориального распределения величин среднемноголетней урожайности и урожайности при экстремальных условиях свидетельствует о многовариантности возможных стратегий адаптации культур к метеофакторам.

Адаптивность различных культур к природно-климатическим условиям, т. е. зональная специализация хозяйств, может ориентироваться как на среднемноголетние условия, так и на экстремальные годы, что представляет собой кардинально-различающиеся стратегии. При этом предельная адаптация к природно-климатическим условиям наиболее эффективна в среднемноголетнем разрезе, но рискованна в экстремальные годы, а диверсификация и дублирование используемых культур, наоборот, наиболее эффективны в экстремальные годы.

Озимая рожь диплоидная Сред Урожай 1974–2015 г. 29гсц



Оз рожь диплоидная МАХ урожай 1974–2015



Оз рожь диплоидная MIN урожай 1974–2015

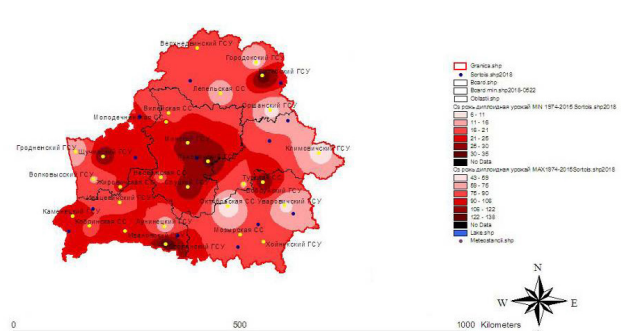
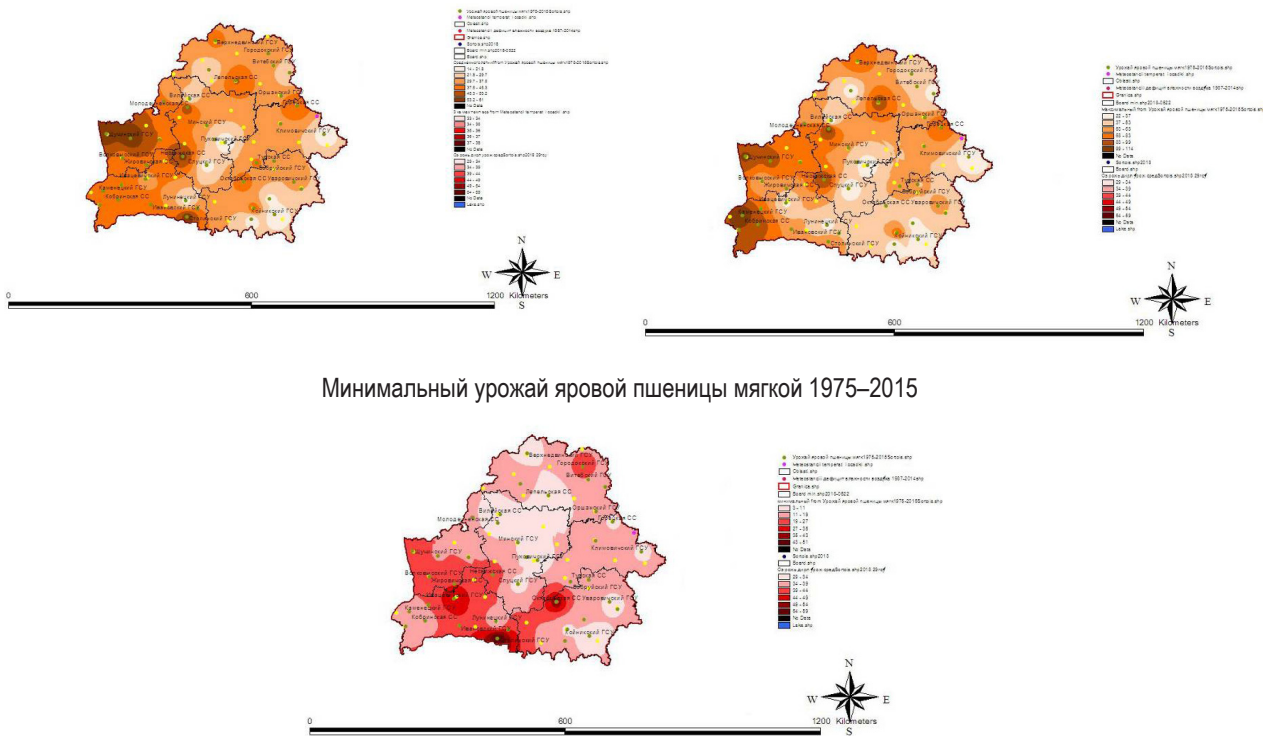


Рисунок 12 – Зонирование урожайности озимой ржи диплоидной по территории Беларуси

Среднегодовой урожай яровой пшеницы мягкой 1975–2015 Максимальный урожай яровой пшеницы мягкой 1975–2015



Минимальный урожай яровой пшеницы мягкой 1975–2015

Рисунок 13 – Зонирование урожайности яровой пшеницы мягкозерной по территории Беларуси

Однозначно очевиден выбор варианта для определенного кластера, когда культура имеет в нем наибольшие значения урожайности, как среднегодовые, так и в экстремальные годы, в результате чего стратегии адаптации к погодно-климатическим условиям, ориентированные на максимум эффекта в среднегодовом разрезе, и ориентированные на максимум эффекта в экстремальные годы, совпадают. В кластерах, не согласованных по благоприятности выращивания при среднегодовых и экстремальных условиях, варианты использования культур будут отличаться при стратегии, ориентированной на матожидание урожая (прибыли), и максимальной стратегии, ориентированной на предельно неблагоприятные годы, с соответствующим выигрышем (проигрышем) при появлении в действительности лет, на которые они не ориентированы. Для таких зон может быть целесообразна не предельная адаптация, соответствующая одной, той или иной, стратегии, а определенная компромиссная диверсификация набора культур для страховки в различные по условиям годы, в соответствии с предпочтениями лица, принимающего решение.

Выводы

Проведенные исследования позволяют на качественно более всестороннем уровне рассматривать варианты территориальной адаптации при размещении культур: не только к среднегодовым условиям, но и по критерию Вальда – минимизации потерь в наихудших условиях (снижению рисков не обеспечения продовольственной безопасности) в экстремальные годы в реальных условиях случайного характера урожайности сельскохозяйственных культур из-за изменчивости погодно-климатических воздействий в различные годы. Зонирование урожайности сельскохозяйственных культур может использоваться при выборе сельскохозяйственного использования на уровне агропредприятия, относящегося к конкретному кластеру, а также при совершенствовании размещения культур на республиканском уровне, распределяя культуры по наиболее предпочтительным для них зонам в соответствии с выбираемой стратегией. Использование на практике разработанных подходов дает возможность принятия более эффективных практических решений по сельскохозяйственному использованию в различных регионах в смешанных стратегиях.

Библиографический список

1. Вахонин, Н. К. Методологические основы моделирования и создания систем принятия решений в мелиоративном растениеводстве / Н. К. Вахонин // Математическое моделирование сельскохозяйственных объектов - основа проектирования технологий и машин XXI века : материалы Междунар. науч. конф. / УП БелНИИМСХ. – Минск, 2001. – С. 61-81.
2. Вахонин, Н. К. Методологические принципы формирования задач оптимизации растениеводства / Н. К. Вахонин // Мелиорация переувлажненных земель. – 2007. – № 2(58). – С. 73-79.
3. Логинов, В. Ф. Изменчивость величины трендов температуры на территории белорусского и украинского Полесья / В. Ф. Логинов, Т. Г. Табальчук // Природопользование. – 2016. – Вып. 29. – С. 38-41.
4. Логинов, В. Ф., Хитриков, М. А. Оценка междекадных разностей температуры в центральной части Беларуси за период с 1955 по 2014 год / В. Ф. Логинов, М. А. Хитриков // Природопользование. – 2016. – Вып. 29. – С. 42-48.
5. Бихеле, З. Н. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги / З. Н. Бихеле, Х. А. Молдау, Ю. К. Росс. – Л. : Гидрометеиздат, 1980. – 223 с.
6. Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных культур / Ф. В. Г. Пеннинг де Фриз [и др.]. – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 320 с.
7. Полевой, А. Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов / А. Н. Полевой. – Л. : Гидрометиздат, 1988. – 319 с.
8. Строганова, М. А. Математическое моделирование формирования качества урожая / В. А. Строганова. – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 150 с.
9. Вахонин, Н. К. База данных мониторинговых наблюдений для информационного обеспечения принятия решений / Н. К. Вахонин, Ю. В. Сороговец // Мелиорация переувлажненных земель : сб. науч. работ / БелНИИМил НАН Беларуси. – Минск, 2002. – Т. XLIX. – С. 179-186.
10. Вахонин, Н. К., Краснокутский, Н. Н. Система графического представления временных рядов по различным видам мониторинга / Н. К. Вахонин, Н. Н. Краснокутский // Мелиорация переувлажненных земель. – 2009. – №1 (55). – С. 12-16.
11. Вахонин, Н. К. Автоматизированная система расчёта по многолетним временным рядам гидрометеорологических факторов величин обеспеченности и генерации методом Монте-Карло входных гидрологических воздействий для моделирования осушительного действия мелиоративных систем при многовариантном проектировании реконструкции / Н. К. Вахонин, Е. О. Быкова // Мелиорация. Современные методики, инновации и опыт практического применения : материалы Междунар. науч.-практ.конф., Минск, 19-20 окт. 2017 г. – Минск, 2017. – С. 64-69.

Поступила 15.03.2019