



ежеквартальный научно-практический журнал

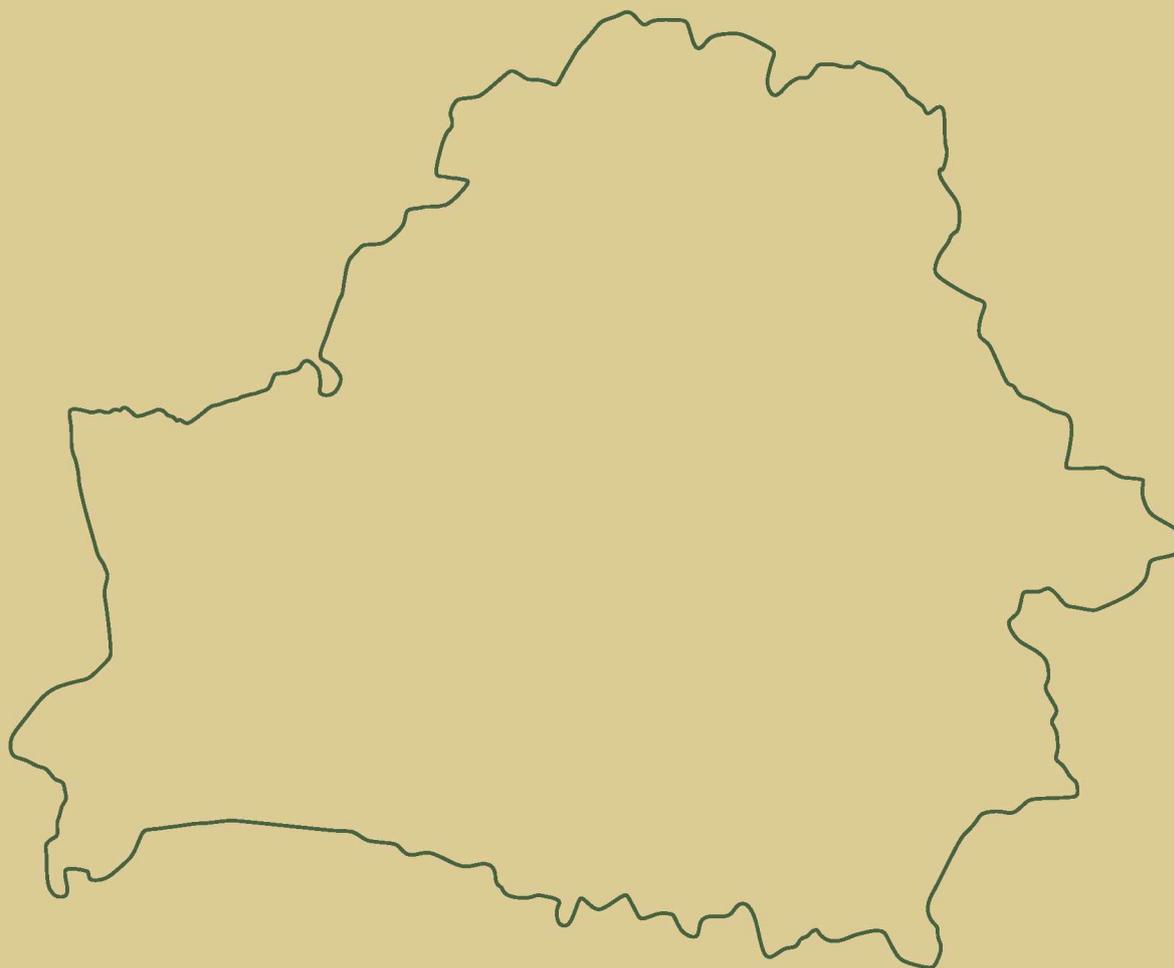
ISSN 2070-9072

ЗЕМЛЯ БЕЛАРУСИ

земельно-имущественные отношения

июль – сентябрь
2025
№ 3 (91)

Land of Belarus
land and property relations



ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, ГЕОГРАФИЯ, ГЕОДЕЗИЯ, ГИС-ТЕХНОЛОГИИ,
КАРТОГРАФИЯ, НАВИГАЦИЯ, РЕГИСТРАЦИЯ НЕДВИЖИМОСТИ,
ОЦЕНОЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, УПРАВЛЕНИЕ ИМУЩЕСТВОМ

ОТСКАНИРУЙ QR-КОД –



И ОБЛОЖКА ОЖИВЕТ!



10. Положение о порядке проведения государственной экологической экспертизы, в том числе требованиях к составу документации, предоставляемой на государственную экологическую экспертизу, заключению государственной экологической экспертизы, порядку его утверждения и (или) отмены, особым условиях реализации проектных решений, а также требованиях к специалистам, осуществляющим проведение государственной экологической экспертизы : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 19 января 2017 г. № 47 // НРПА Республики Беларусь, 24 марта 2025 г., 8/22019.

11. Инструкция о порядке разработки схем землеустройства районов : утв. постановлением Гос. комитета по имуществу Респ. Беларусь, 29 мая 2008 г. № 43 : с изм. и доп. от 16 апреля 2024 г. № 9 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2008. – 8/19288..

12. Положение об изменении постановления Совета Министров Республики Беларусь от 29 января 2021 г. № 55 : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 12 декабря 2023 г. № 871 / НРПА Республики Беларусь, 24 марта 2025 г., 5/41907.

13. Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы : Указ Президента Республики Беларусь, 15 сентября 2021 г., № 348 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2021. – 1/19898.

14. Результаты корректировки кадастровой оценки сельскохозяйственных земель Республики Беларусь : приказ Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь, 20 декабря 2021 г., № 282. – URL: http://www.gki.gov.by/ru/rezultati_kadastrovoi_ocenki/ (дата обращения: 15.03.2024).

15. О геодезической и картографической деятельности : Закон Республики Беларусь, 14 июля 2008 г., № 396-з, в ред. от 13 дек. 2021 г. № 132-3 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2008. – 2/1493.

16. Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Беларусь : Закон Респ. Беларусь от 5 июля 2004 г., № 300-3, по сост. на 4 мая 2019 г. // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь – 2004. – № 2/1049.

17. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы : Указ Президента Республики Беларусь, 29 июля 2021 г., № 292 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2021. – 1/19834.

18. Государственная программа «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Республики Беларусь, 9 апр. 2021 г., № 212 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2021. – 5/48970.

19. Генеральная схема размещения зон и объектов оздоровления, туризма и отдыха Республики Беларусь на 2016–2020 годы и на период до 2030 года : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 15 дек. 2016 г., № 1031, в ред. от 2 июля 2020 г. // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2016. – 5/43066.

20. План мероприятий по разработке схем землеустройства на 2024–2030 годы : утв. зам. Премьер-министра Республики Беларусь, 7 марта 2024 г., № 06/307-113/150.

Введение

Возможности обеспечения устойчивого развития сельского хозяйства сегодня в значительной степени зависят от существующей системы земледеления, а также от качества информационного обеспечения, характеризующего состояние землепользования. Рациональное землепользование, сохранение почвенного плодородия, повышение производительной способности земель невозможно без комплексного ландшафтно-экологического подхода, включающего оценку широкого спектра факторов – как природных, так и антропогенных.

Одним из действенных путей решения задач в этом направлении является развитие системы территориального планирования землепользования на национальном, региональном и местном уровнях.

В разрезе национального уровня обобщения природных и антропогенных условий, сложившихся на территории Беларуси, принято оперировать понятием «провинции». Если обобщить все имеющиеся районирования страны, то можно четко проследить разделение страны на северную, центральную и южную части. В таком масштабе рассмотрения территории главенствующим фактором выступает агроклиматический, в основе которого лежат показатели теплой влагообеспеченности, а также условий перезимовки сельскохозяйственных культур [2]. Агроклиматическое районирование в первую очередь направлено на определение оптимальных условий для возделывания культур, удовлетворения их экологических и физиологических потребностей [11].

С начала XX века наибольших успехов в попытках агроклиматического районирования Беларуси достигли А. И. Кайгородов, А. Х. Шкляр, В. И. Мельник и коллектив Минской гидрометеорологической обсерватории под руководством Н. А. Малишевской. Систематизированное изложение ключевых этапов изучения данного вопроса приведено в работе О. В. Давыденко [3].

Агроклиматическое районирование базируется на ряде метеорологических и климатических критериев, по совокупному значению которых



ТИПОЛОГИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПО АГРОКЛИМАТИЧЕСКОМУ ПОТЕНЦИАЛУ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

TYPOLGY OF AGRICULTURAL LANDSCAPES OF THE REPUBLIC OF BELARUS ACCORDING TO AGROCLIMATIC POTENTIAL BASED ON CLUSTER ANALYSIS

А. А. САЗОНОВ

A. SAZONOV

e-mail: alexey.szonov@gmail.com

УДК 63:911.52(476)

А. Л. КИНДЕЕВ

A. KINDEEV

e-mail: AKindeev@tut.by

*Поступила в редакцию/
Received 16.11.2024*

Аннотация. Приводится методика кластерного анализа 17 агроклиматических показателей для типологии территории Республики Беларусь. Были рассчитаны факторные нагрузки всех предикторов, показавшие, что наиболее значимыми показателями при выделении кластеров являются: средняя температура января, индекс континентальности, количество осадков за год и продолжительность безморозного периода на почве. По результатам кластерного анализа были выделены 4 кластера со схожими агроклиматическими условиями. В исследовании также выводится новый показатель агроклиматического потенциала, основанный на факторных нагрузках признаков и собственных значений.

Ключевые слова: климат, сельскохозяйственные организации, факторы, агроклиматический потенциал, районирование.

Annotation. The article presents a methodology for cluster analysis of 17 agroclimatic indicators for the typology of the territory of the Republic of Belarus. The factor loads of all predictors were calculated, showing that the most significant indicators for identifying clusters are: average January temperature, continentality index, annual precipitation, and duration of the frost-free period on the soil. Based on the results of the cluster analysis, 4 clusters with similar agroclimatic conditions were identified. The study also derives a new indicator of agroclimatic potential based on the factor loads of features and eigenvalues.

Keywords: climate, agricultural organizations, factors, agroclimatic potential, zoning.

экспертным методом определяются границы агроклиматических районов, зон и областей.

Так, А. И. Кайгородовым было впервые выделено четыре агроклиматических района, которые

затем были уточнены автором. По классификации А. Х. Шкляра выделяются три агроклиматические области – Северная, Юго-Восточная и Юго-Западная, в которых позднее на основе числа дней с тем-

пературой воздуха от 5 до 15 °С были выделены подобласти [3]. Вариант агроклиматического районирования Беларуси, разработанный в Минской гидрометеорологической обсерватории, в значительной мере совпадает со схемой районирования А. Х. Шкляра. В 2004 г. В. М. Мельник выделил новую агроклиматическую область на юге страны, появление которой обусловлено изменениями климата. Им же, основываясь на данных о теплообеспеченности за период потепления, обновлено агроклиматическое районирование территории Беларуси на период 1989–2015 гг. и на период 1991–2020 гг., при этом последнее включает три провинции – северную, центральную и южную. Стоит отметить, что ни одно из разработанных как ранее, так и в будущем районирований не будет окончательным, по-

скольку периодические корректировки неизбежны и обусловлены климатическими изменениями.

В таблице 1 представлены основные критерии агроклиматического районирования в Республике Беларусь, проводимые в разные периоды [3], а также используемые характеристики агроклиматических областей при составлении Национального атласа Беларуси [8].

Как было отмечено выше, в основе составления районирования лежит экспертный метод, т. е. итоговые результаты зависят от исследователя и каждое из районирований так или иначе имеет свои субъективные особенности. На сегодняшний день развитый математико-статистический аппарат анализа данных и рост аналитических возможностей геоинформационных систем позволяют отойти от

Таблица 1 – Критерии агроклиматического районирования с характеристиками агроклиматических областей

Критерий районирования и характеристики		Авторы районирования
Средние температуры вегетационного периода		А. И. Кайгородов
Продолжительность периодов с температурами выше 10 °С		А. И. Кайгородов
Продолжительность периодов с температурами выше 15 °С		А. И. Кайгородов, А. Х. Шкляр
Продолжительность периодов с температурами 5–15° С		А. Х. Шкляр
Годовая сумма осадков		А. И. Кайгородов
Сумма температур воздуха выше 10 °С		А. Х. Шкляр, В. М. Мельник, Н. А. Малишевская
Гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова		А. Х. Шкляр, В. М. Мельник
Физико-географические условия		А. Х. Шкляр
Коэффициент увлажнения Н. И. Иванова		А. Х. Шкляр
Индекс Докучаева-Высоцкого по методу М. И. Будыко		А. Х. Шкляр
Продолжительности залегания устойчивого снежного покрова		Н. А. Малишевская
Средняя температура воздуха за месяц, °С	самый теплый (июль)	В. М. Мельник (по Национальному атласу Беларуси)
	самый холодный (январь)	
Продолжительность периода с средней суточной температурой (в днях)	выше 0 °С	
	выше 5 °С	
	выше 10 °С	
	выше 15 °С	
Продолжительность безморозного периода (в днях)	в воздухе	
	на почве	
Сумма температур	выше 5 °С	
	выше 10 °С	
Количество осадков, мм	за год	
	за теплый период	
Количество дней со снежным покровом		



субъективизма и, опираясь на четкие статистические критерии, проводить научные изыскания, в том числе в области районирования территории.

В XXI веке были разработаны и применены новые подходы дистанционного зондирования и ГИС для картирования агроклиматических зон, особенно в полусухих регионах [13]. Облачные платформы геопространственной обработки предлагают мощный инструмент для анализа данных, поддерживая множество алгоритмов дистанционного зондирования. Так, платформа Google Earth Engine содержит большой набор спутниковых снимков (Landsat, Sentinel, MODIS и т. д.), климатические данные (осадки, температура, влажность и т. д.), цифровые модели рельефа и аналогичные наборы данных [12], которые позволяют моделировать агроклиматические условия как в глобальном, так и региональном масштабе.

Применение методов пространственного анализа с помощью ГИС-технологий позволило выделить четыре кластера Нечерноземной зоны России, каждая из которых существенно отличается от другой. В основу выделения были положены метод иерархической древовидной классификации и метод сегментации на основе кластеров k -средних (k -means). Результаты, полученные двумя методами, практически полностью совпали [9]. Данные методы кластерного анализа также показали свою эффективность в недавних исследованиях на Шри-Ланке по определению агроклиматических зон для выращивания кокосов [14]. В исследованиях метеорологических данных при сравнении алгоритмов k -средних, k -медоидов и иерархической агломеративной кластеризации, на основании ошибок прогноза наилучшим методом стал алгоритм k -медоидов, позволивший с наименьшей ошибкой выделить два кластера для планирования сельскохозяйственного производства в штате Риу-Гранди-ду-Сул Бразилии [10]. Таким образом, использование инструментария ГИС позволяет указать условия сходства, соседства и граничности явным

и воспроизводимым образом, что выводит операцию районирования на новый, методически обоснованный уровень [5].

Актуальность исследований по выделению схожих по агроклиматическим условиям территорий Беларуси и появившихся в мировой практике современных и объективных методов пространственного анализа, которые до недавнего времени не нашли своего применения в нашей стране, обусловили *цель* настоящего исследования – разработку методики выделения однородных типологических зон Беларуси по агроклиматическому потенциалу на основе кластерного анализа.

Основная часть

Объект и методы

Объектом исследования являются агроландшафты Беларуси – сельскохозяйственные и несельскохозяйственные земли в границах землепользований (сельскохозяйственных организаций), на большей части территории которых естественная растительность заменена сельскохозяйственными культурами, при этом сельскохозяйственные земли являются продукционными ядрами агроландшафта.

На основании площадей сельскохозяйственных организаций нами были определены статистически значимые объекты (площадь более 1400 га). Всего нами отобрано 1316 объектов учета (агроландшафтных выдела) с общей площадью около 10 млн га (см. рисунок 1).

Для расчетов нами было задействовано 17 признаков (переменных), которые представлены в таблице 1.

Пространственная дифференциация агроклиматических характеристик в разрезе агроландшафтов представлена на рисунке 2.

Из исходного картографического материала были получены растровые модели методом *Топо в растр* в ГИС ArcGIS с фактором погрешности дискретизации 0,75 с пространственным разрешением 100 м, которые затем были агрегированы по территории выделенных ранее агроландшафтов.

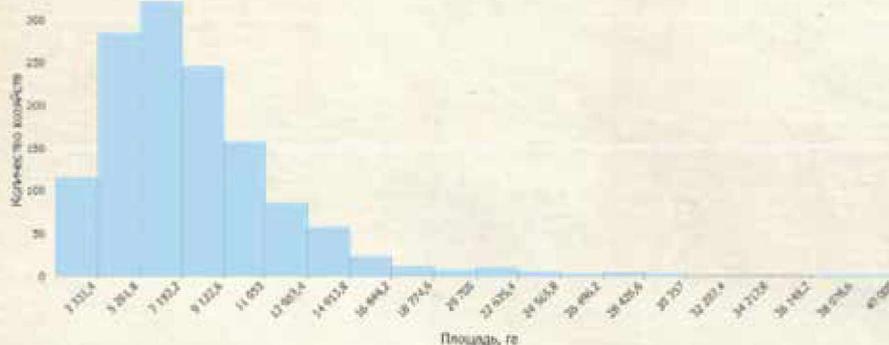


Рисунок 1 – Распределение сельскохозяйственных организаций по занимаемой площади, га

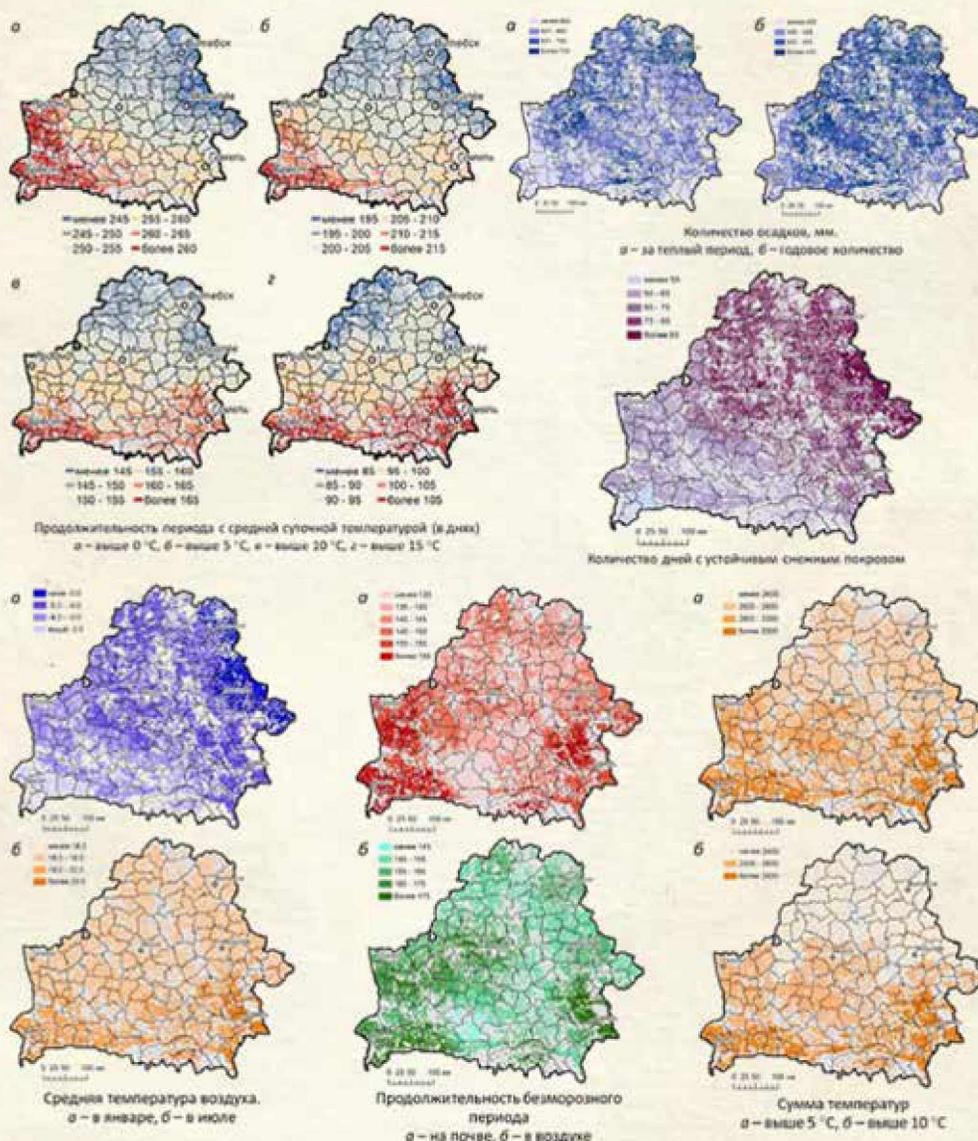


Рисунок 2 – Климатические характеристики агроландшафтов



Биоклиматический потенциал (БКП) рассчитан нами по методике Д. И. Шашко [7] по данным [1] по формуле

$$БКП = 100 \times K_p \frac{T}{1900 \text{ } ^\circ\text{C}}, \quad (1)$$

где *БКП* – биоклиматический потенциал; *T* – сумма активных температур выше 10 °С; *K_p* – коэффициент обеспеченности ресурсами влаги.

Основой расчета послужили данные о сумме температур выше 10 °С, годовой сумме осадков и дефиците влажности воздуха (рисунок 2).

Индекс континентальности рассчитан нами по методике Н. Н. Иванова [6] по данным [8] по формуле

$$K = \frac{A}{0,33\varphi} 100\%, \quad (2)$$

где *K* – индекс континентальности по Н. Н. Иванову; *A* – годовая амплитуда температуры воздуха, °С; *φ* – географическая широта.

По классификации Н. Н. Иванова выделяют следующие пояса континентальности: крайне океанический (индекс континентальности менее 48 %), океанический (48–56 %), умеренно океанический (57–68 %), морской (69–82 %), слабо морской (83–100 %), слабо континентальный (101–120 %), умеренно континентальный (121–146 %), континентальный (147–177 %), резко континентальный (178–214 %), крайне континентальный (более 214 %).

Индекс аридности де Мартонна рассчитан по формуле [4]

$$DMI = \frac{T}{P + 10}, \quad (3)$$

где *DMI* – индекс де Мартонна; *P* – годовая сумма выпавших осадков, мм; *T* – среднегодовая температура воздуха, °С.

Чем ниже значение индекса, тем суше климат.

Среднемноголетнее количество дней в году с устойчивым снежным покровом определено по данным [8] как сумма дней после установления

устойчивого снежного покрова и после его схода. Результаты расчетов данных индексов для агроландшафтов приведены на рисунке 3.

Методика типологии заключается в следующем: на первом этапе проводится факторный анализ исходных данных и выявление признаков с наибольшей факторной нагрузкой, на втором этапе на основе отобранных признаков проводится кластерный анализ для выявления пространственной структуры в данных, на третьем этапе производится расчет индекса агроклиматического потенциала.

Для определения значимых признаков нами проведен факторный анализ методом главных компонент с вращением варимакс (нормализация Кайзера) в программном продукте IBM SPSS. Так как переменные внутри факторов коррелируют сильнее, чем между факторами, они минимизируют мультиколлинеарность в последующем кластерном анализе и делают кластерную структуру более четкой.

Непосредственно кластерный анализ проводился в программном продукте ArcGIS Pro с помощью инструмента «Многофакторная кластеризация», используя методы обработки «без обучения» для нахождения естественных кластеров данных. Эти методы не требуют набора классифицированных заранее объектов для «тренировки» алгоритма в целях дальнейшего поиска кластеров в данных. В качестве исходных значений кластеров установлены оптимизированные значения, количество кластеров заранее не задавалось. Эффективность кластерного анализа нами оценивается по методу псевдо-F-статистики, или индекса Калински-Харабаза (ИКХ). Метод заключается в том, что выборка разделяется на группы до тех пор, пока возрастает схожесть внутри групп (кластеров) и различие между группами, а наибольшее значение метрики характеризует наилучшее число выделяемых кластеров.

Агроклиматический потенциал оценивался нами как взвешенная сумма нормированных по методу *минимакс* собственных значений при-

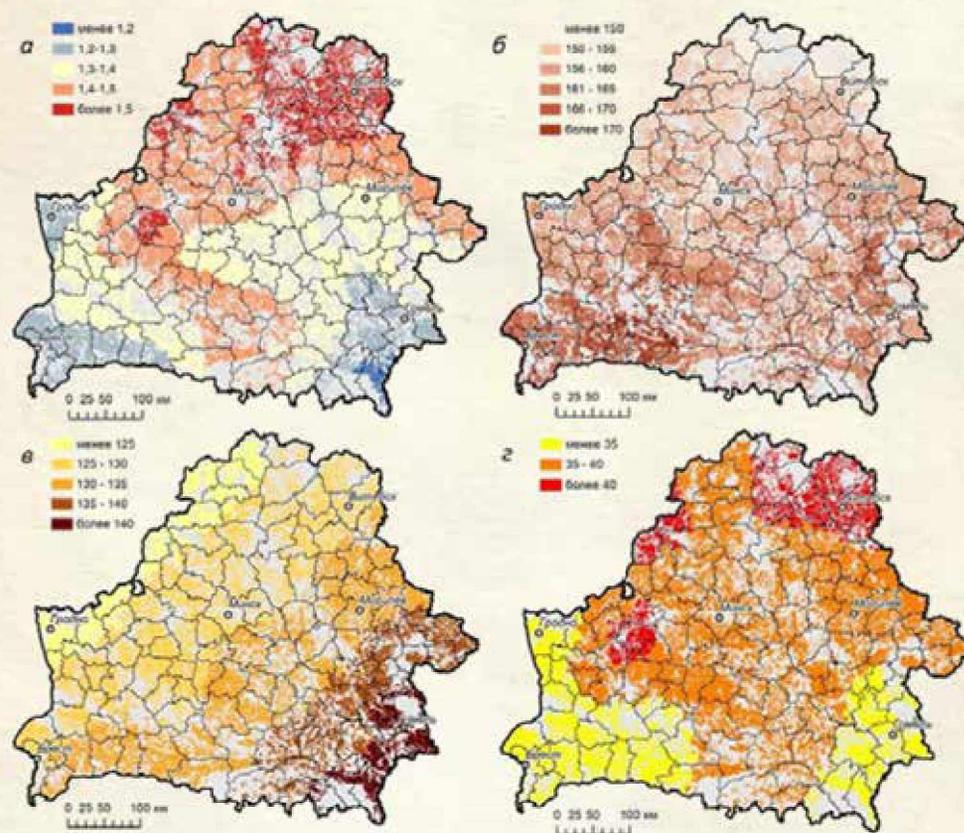


Рисунок 3 – Результаты расчетов данных индексов для агроландшафтов:
 а – ГТК; б – БКП; в – индекс континентальности;
 г – индекс аридности де Мартона

знаков с учетом весового коэффициента – доли объясненной дисперсии фактора, что выражается формулой

$$A = \sum \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \times \sum \frac{y_i - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} \times v_i - \dots \quad (4)$$

где A – агроклиматический потенциал; x_i, y_i – собственное значение признака; x_{\min}, y_{\min} – минимальное значение признака в выборке; x_{\max}, y_{\max} – максимальное значение признака в выборке; v_x, v_y – доля объясненной дисперсии для фактора.

Число слагаемых зависит от числа выделенных признаков; в свою очередь число признаков должно быть равно числу выделенных факторов.

Результаты и их обсуждение. Выделенные признаки прошли предварительную статистиче-

скую обработку с определением минимальных и максимальных значений показателя, а также среднеарифметического и стандартного отклонения (таблица 2).

В среднем температуры самого теплого и самого холодного месяца по стране различаются незначительно (2 и 3 градуса соответственно). Индекс континентальности колеблется от 122 до 143, что указывает на умеренно континентальный климат. Сумма температур выше 10°C колеблется от 2279 до 2762, при среднем 2463°C , при этом продолжительность периода со среднесуточной температурой выше 10°C составляет от 144 до 168 дней.

После статистического анализа был произведен факторный анализ всех признаков, позволивший выделить влияние того или иного признака в общей структуре факторов (таблица 3).



Таблица 2 – Статистические параметры признаков агроклиматического потенциала

Признак		Параметр			
		Минимум	Максимум	Среднее	Стандартное отклонение
Средняя температура воздуха за месяц, °С	самый теплый (июль)	18	20	18,9	0,57
	самый холодный (январь)	-5	-2	-4,14	0,68
Продолжительность периода с средней суточной температурой (в днях)	выше 0 °С	239	285	255	9,33
	выше 5 °С	193	218	204	6,38
	выше 10 °С	144	168	156	5,80
	выше 15 °С	82	114	97,9	8,26
Продолжительность безморозного периода (в днях)	в воздухе	139	180	159	8,15
	на почве	130	161	147	6,90
Сумма температур	выше 5 °С	2551	3182	2831	146
	выше 10 °С	2279	2762	2463	135
Количество осадков, мм	за год	569	749	639	34,96
	за теплый период	390	465	439	15,79
Количество дней с устойчивым снежным покровом		53	92	71,8	10,95
Гидротермический коэффициент		1	2	1,39	0,09
Биоклиматический потенциал		137	178	159	6,14
Индекс аридности		31	45	36,7	2,77
Индекс континентальности		122	143	130	4,61

Таблица 3 – Матрица компонентов факторного анализа признаков агроклиматического потенциала

Признак		Матрица компонентов				Повернутая матрица компонентов			
		Компонент							
		1	2	3	4	1	2	3	4
Средняя температура воздуха за месяц, °С	самый теплый (июль)	0,88	0,37	0,14	0,15	0,36	0,82	-0,26	0,30
	самый холодный (январь)	0,78	-0,61	0,02	0,05	0,93	0,01	-0,22	0,25
Продолжительность периода с средней суточной температурой (в днях)	выше 0 °С	0,86	-0,50	0,04	0,04	0,91	0,13	-0,26	0,26
	выше 5 °С	0,94	-0,28	0,15	0,02	0,85	0,37	-0,28	0,21
	выше 10 °С	0,97	0,01	0,20	0,09	0,68	0,62	-0,26	0,25
	выше 15 °С	0,93	0,27	0,18	0,10	0,48	0,78	-0,28	0,26
Продолжительность безморозного периода (в днях)	в воздухе	0,59	0,00	-0,46	0,56	0,25	0,19	-0,11	0,87
	на почве	0,60	0,08	-0,57	0,47	0,17	0,20	-0,25	0,89
Сумма температур	выше 5 °С	0,97	0,09	0,17	0,13	0,62	0,68	-0,26	0,29
	выше 10 °С	0,97	0,13	0,15	0,12	0,58	0,69	-0,29	0,30
Количество осадков, мм	за год	-0,70	-0,12	0,30	0,58	-0,26	-0,24	0,90	-0,02
	за теплый период	-0,66	-0,09	0,58	0,30	-0,17	-0,12	0,82	-0,38
Количество дней с устойчивым снежным покровом		-0,80	0,50	-0,21	0,05	-0,93	-0,16	0,21	-0,07
Гидротермический коэффициент		-0,89	-0,20	0,17	0,23	-0,37	-0,51	0,68	-0,24
Биоклиматический потенциал		0,80	-0,02	0,29	-0,11	0,61	0,53	-0,27	-0,01
Индекс аридности		-0,89	-0,02	0,17	0,38	-0,50	-0,36	0,76	-0,13
Индекс континентальности		0,49	0,82	0,26	0,04	-0,18	0,96	-0,16	0,04

Выявлено 4 фактора (компонента), при этом после вращения первый фактор объясняет 34 %, второй – 27 %, третий – 20 % и четвертый – 13 % общей дисперсии, суммарно – 94 %.

Первый фактор описывает влияние холодного периода: средняя температура января имеет наибольшую факторную нагрузку (ФН) 0,933, высоки нагрузки у продолжительности периода выше 0 °С (ФН 0,914) и 5 °С (ФН 0,845), на количество дней с устойчивым снежным покровом фактор закономерно имеет обратное воздействие (ФН –0,928). С повышением температур влияние фактора убывает: продолжительность периода выше 10 °С и 15 °С демонстрируют ФН 0,681 и 0,476 соответственно, а температура июля – всего 0,361. Такое поведение фактора также отражается на осадках: ФН количества осадков за теплый период ниже, чем за год в целом (соответственно –0,171 и –0,255).

Второй фактор, наоборот, характеризуется признаками, которые описывают теплый период года. Наибольшую факторную нагрузку имеют индекс континентальности (ФН 0,963), что объясняется его сильной корреляцией со средней температурой воздуха в июле и суммой температур за период выше 15 °С (коэффициент корреляции 0,781 и 0,717 соответственно). Закономерно высока ФН самого теплого месяца, июля – 0,816, а также вырастают ФН у признаков продолжительности периодов с температурой выше 10 °С и 15 °С (ФН 0,624 и 0,780), суммы температур 10 °С и 15 °С (ФН 0,676 и 0,687 соответственно).

Третий фактор описывается количеством осадков, в частности, количеством осадков за год (наибольшая ФН – 0,899)

и за теплый период (ФН 0,820), менее выражено влияние фактора на индекс аридности и ГТК (ФН 0,760 и 0,678 соответственно).

Четвертый фактор целиком описывает продолжительность безморозного периода на почве и в воздухе (ФН соответственно 0,886 и 0,872).

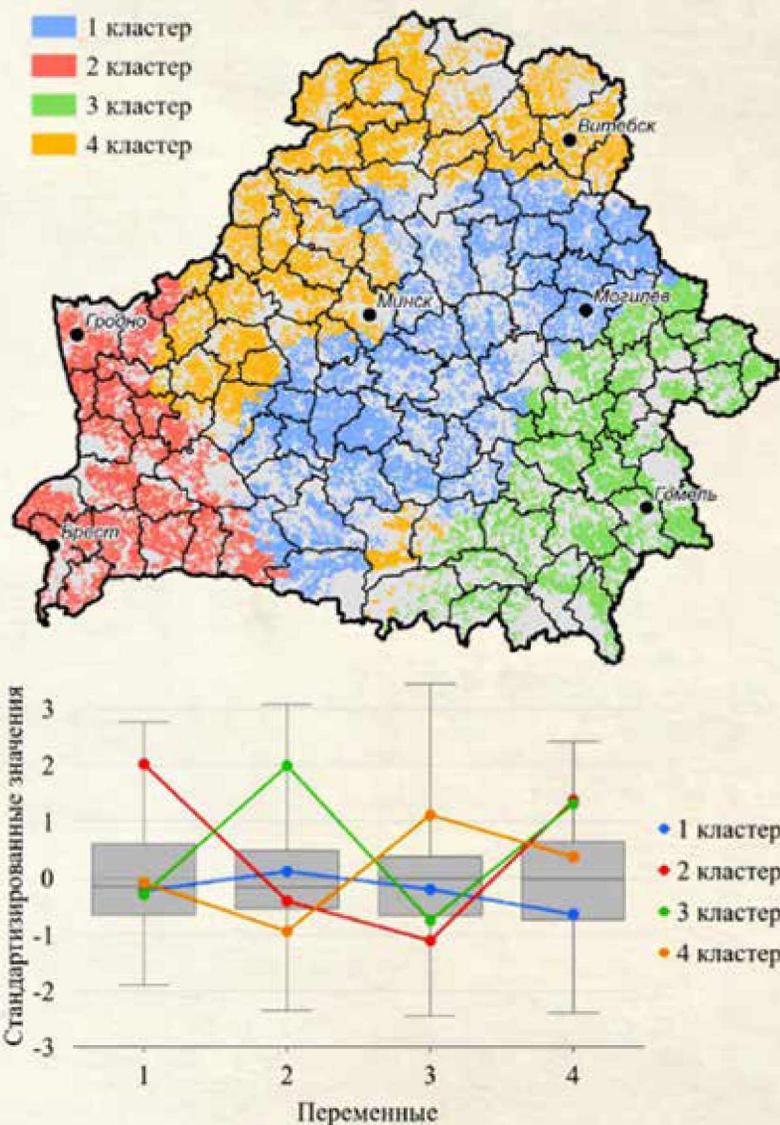


Рисунок 4 – Агроклиматические кластеры Беларуси

Цифрами по оси X обозначены: 1 – средняя температура января; 2 – индекс континентальности; 3 – количество осадков за год; 4 – продолжительность безморозного периода на почве.



Признаки сумм температур выше 10 °С и 15 °С, продолжительности периода с температурами выше 10 °С и 15 °С, БКП испытывают одновременное влияние первого и второго факторов (ФН 0,5–0,8).

Для исследования пространственной взаимосвязи признаков нами проведен кластерный анализ методом *k*-средних. Для формирования четкой структуры кластеров и недопущения мультиколлинеарности по каждому фактору отобраны только признаки с наибольшими факторными нагрузками: 1) средняя температура января; 2) индекс континентальности; 3) количество осадков за год; 4) продолжительность безморозного периода на почве.

Результаты кластерного анализа по выявленным факторам и признакам представлены на рисунке 4, сводная характеристика кластеров приведена в таблице 4.

Первый кластер наиболее многочисленный – в него входят 478 агроландшафтных выделов (36 % от общего количества), он занимает площадь в 3,3 млн га. Географически кластер вытянут

с северо-востока на юго-запад, занимая центральную часть страны, имея небольшой выступ на северо-запад в Мядельском районе. Кластер характеризуется умеренными климатическими условиями: умеренные показатели увлажнения и температур, с наименьшими средними показателями продолжительности безморозного периода (154 дня в воздухе и 140 дней на почве), при этом количество осадков в теплый период в целом выше среднего (448 мм).

Второй кластер наименее многочисленный – в него входят 222 агроландшафтных выдела (17 % от общего количества), также он занимает наименьшую площадь – 1,7 млн га. Географически кластер приурочен к западной и юго-западной частям страны, расширяясь с севера на юг. Кластер характеризуется наиболее теплыми климатическими условиями: наиболее высокие суммы температур выше 5 °С в год (2990), наибольшая продолжительность безморозного периода в воздухе и на почве (169 и 156 дней соответственно), и наименьшим количеством осадков – в среднем 600 мм.

Таблица 4 – Сводная характеристика кластеров

Признак (среднее значение)		Кластер			
		1	2	3	4
Количество агроландшафтных выделов		478	222	257	359
Средняя температура воздуха за месяц, °С	самый теплый (июль)	18,8	19,4	19,6	18,5
	самый холодный (январь)	-4,3	-3,0	-4,4	-4,4
Продолжительность периода с средней суточной температурой (в днях)	выше 0 °С	252,9	270,9	253,1	250,3
	выше 5 °С	202,9	213,5	204,9	199,0
	выше 10 °С	154,8	162,5	159,8	150,9
	выше 15 °С	96,1	104,9	106,3	90,2
Продолжительность безморозного периода (в днях)	в воздухе	154,6	169,2	163,0	159,3
	на почве	140,6	155,6	152,7	146,2
Сумма температур	выше 5 °С	2796,5	2990,7	2940,0	2703,6
	выше 10 °С	2424,4	2602,8	2577,3	2347,4
Количество осадков, мм	за год	638,2	600,8	621,8	678,2
	за теплый период	448,0	420,3	427,9	449,0
Количество дней с устойчивым снежным покровом		73,5	56,9	73,7	77,6
Гидротермический коэффициент		1,4	1,3	1,3	1,5
Биоклиматический потенциал		159,9	165,6	162,3	154,3
Индекс аридности		37,0	33,0	35,3	39,8
Индекс континентальности		131,0	129,0	138,3	126,9

Третий кластер включает 257 агроландшафтных выдела (20 % от общего количества) и занимает площадь в 2,1 млн га. Географически кластер приурочен к восточной и юго-восточной частям страны. Кластер характеризуется наиболее континентальными условиями: наибольшей годовой амплитудой температур (24 °С), наибольшим значением индекса континентальности (138,3) и малым количеством осадков (620 мм в год).

Четвертый кластер включает 359 агроландшафтных выдела (27 % от общего числа) и занимает площадь в 2,9 млн га. Географически кластер разделен на две части: наиболее крупная занимает северную и северо-западную части страны, вторая представлена небольшим ареалом на юге. Кластер характеризует условия

баланса тепла и влаги. Пространственная дифференциация объясняется условиями увлажнения, в частности, количеством осадков, которое в этом кластере наибольшее по стране и в среднем составляет 678 мм в год, и ГТК, который в южной части кластера превышает 1,5. Кластер характеризуется наименьшим значением индекса континентальности (126,9) и невысокими суммами температур выше 5 °С (2700 в год).

Оценка агроклиматического потенциала Беларуси, выраженная в баллах, представлена на рисунке 5.

Наибольшего значения балл агроклиматического потенциала достигает в юго-западной и западной частях страны, наименьшего – в восточной. Для первого кластера средняя величина балла составила 0,39, для второго – 0,58, для третьего –

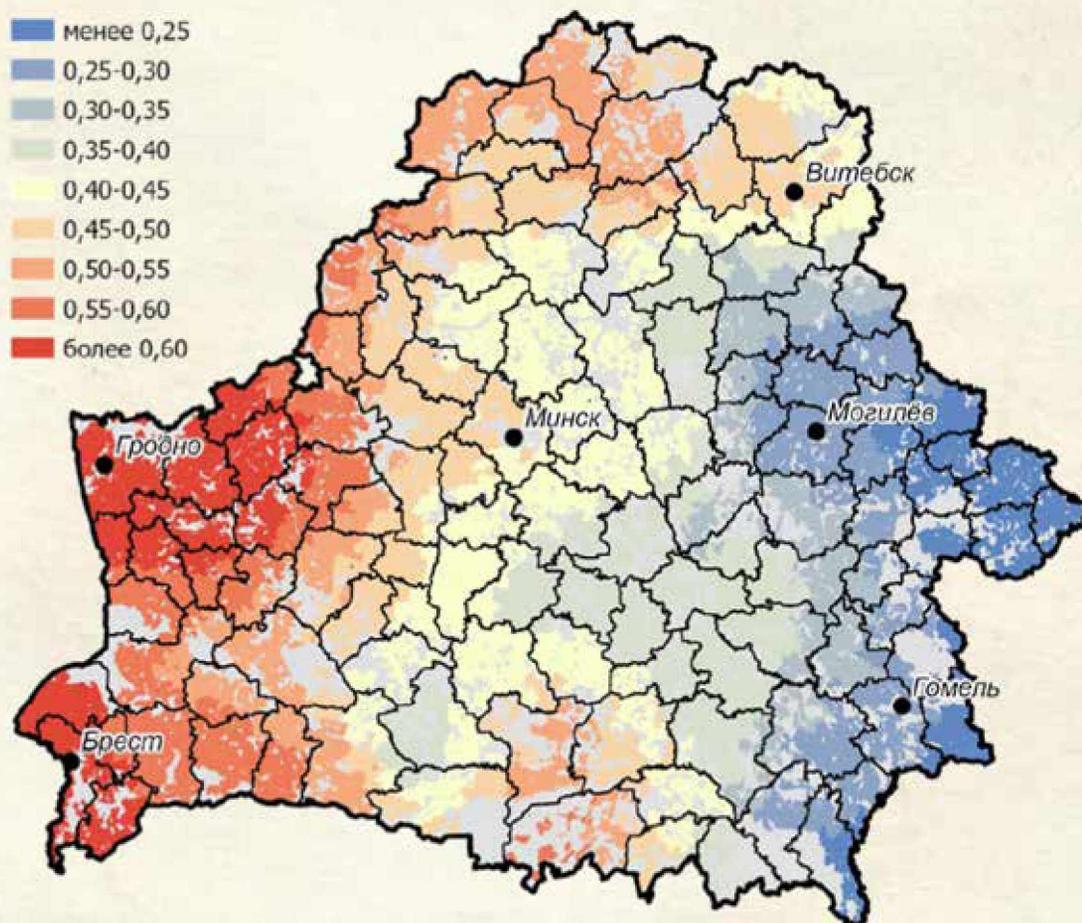


Рисунок 5 – Балл агроклиматического потенциала



0,31, для четвертого – 0,50. Минимальное значение балла – 0,23 – наблюдается в Добрушском районе (КСУП «Круговец»), максимальное – 0,65 в Каменецком районе (ОАО «Восход-Каменец»). В среднем по стране агроклиматический балл оценивается в 0,43.

Заключение

Проведение агроклиматического районирования Республики Беларусь ввиду изменения климата будет постоянно оставаться актуальной задачей для обеспечения устойчивого воспроизводства сельскохозяйственных культур и определения общих стратегий в сельскохозяйственном секторе экономики страны.

Развитие современных аналитических систем, позволяющих анализировать большие массивы пространственных данных, позволяет уйти от субъективизма и уменьшить трудоемкость исследований. Использование метода кластеризации *k*-средних, показавшего свою эффективность во многих исследованиях [9], на основе выделенных 17 основных переменных для Республики Беларусь, позволило определить, что с учетом сложившихся агроклиматических условий на данный момент Беларусь можно разделить на 4 агроклиматических кластера. Также важным результатом исследования является выделение из всех показателей, которые взаимосвязаны между собой, 4 основных переменных – средняя температура января, индекс континентальности, количество осадков за год и продолжительность безморозного периода на почве.

Предлагаемая методика оценки агроклиматического потенциала позволяет оценить потенциал как для территории страны в целом, так и для отдельных хозяйств.

Таким образом, разработанная методика позволила выделить 4 типологические провинции Беларуси, которые являются результатом первого

обобщения множества показателей, влияющих на сельскохозяйственное производство в стране, и будет использована как основа для выделения отдельных иерархически соподчиненных областей и районов на региональном и локальном уровне районирования Беларуси.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения / А. Н. Афонин [и др.]. – М.: б/и, 2008.
2. Варламов, А. А. Зонирование территорий / А. А. Варламов, Д. В. Антропов. – М.: Форум, 2016. – 208 с.
3. Давыденко, О. В. Агроклиматическое районирование Беларуси в условиях изменения климата / О. В. Давыденко // Вестник Белорусского государственного университета. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2009. – № 1. – С. 106–111.
4. Дажо, Р. Основы экологии: Природа и человек / Р. Дажо. – М.: Прогресс, 1975. – 415 с.
5. Колбовский, Е. Ю. Пространственный анализ в геоэкологии / Е. Ю. Колбовский. – М.: МГУ, 2022. – 830 с.
6. Котляров, Д. А. Анализ индекса континентальности климата на территории Северо-Востока России / Д. А. Котляров // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер. Естественные и медицинские науки. – 2024. – № 1. – С. 92–103.
7. Логинов, В. Ф. Оценка биоклиматического потенциала Беларуси с использованием данных дистанционного зондирования и компьютерного моделирования / В. Ф. Логинов, М. А. Хитриков // Природные ресурсы. – 2019. – № 2. – С. 82–93.
8. Нацыянальны атлас Беларусі / У. Р. Гусакоў [и др.]. – Минск: Белкартаграфія, 2024. – 348 с.
9. Classification of the Non-Chernozem Zone regions of Russia by Agro-Climatic and Soil Indicators / E. Egorova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Т. 852 – P. 012028.
10. Clustering of meteorological data to improve agricultural decisions: a case study with SIMAGRO-RS / M. A. De Oliveira [et al.] // Proceedings of the 20th Brazilian Symposium on Information Systems: SBSI '24. – New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2024. – Clustering of meteorological data to improve agricultural decisions. – P. 1–10.
11. GIS-based agro-ecological zoning for crop suitability using fuzzy inference system in semi-arid regions / J. Nabati [et al.] // Ecological Indicators. – 2020. – Т. 117 – P. 106646.
12. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone / N. Gorelick [et al.] // Remote Sensing of Environment. – 2017. – Т. 202 – P. 1–10.
13. Tsiros, E. Sustainable production zoning for agroclimatic classification using GIS and remote sensing / E. Tsiros, C. Domenikiotis, N. Dalezios // Idojaras. – 2009. – Т. 113. – С. 55–68.
14. Optimizing intercropping selection for coconut plantations based on PAR and agro-climatic zones / S.S. Udumann [et al.] // Agroforest Syst. – 2024 – P. 1–13.