



ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ ЗЕРНОВОГО ХОЗЯЙСТВА НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Л.Б. Винничек¹, А.Ю. Киндаев², А.В. Моисеев², А.Ю. Павлов²

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

²Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия

Аннотация. Статья отражает результаты исследований авторов, направленных на выделение однородных групп сельскохозяйственных территорий по результатам возделывания зерновых культур и выявления природно-климатических и экономических факторов, влияющих на эту группировку. В качестве статистических данных для исследования использовались природно-климатические характеристики и показатели урожайности по пяти зерновым культурам в разрезе муниципальных образований Пензенской, Самарской, Саратовской и Ульяновских областей за 1995–2021 гг. Анализ динамики изменения посевных площадей зерновых и зернобобовых культур показал стабильность долевой структуры за исследуемый период. Для получения качественного разбиения применялись критерии *Duda* и *Hart* и *Calinski-Harabasz*, использовались различные алгоритмы выделения кластеров (Варда, полной связи) и исследовалась значимость различий урожайности в каждый исследуемый год при применении метода *k*-средних. В результате исследования было решено выделить 5 групп. Анализ значимости разбиения по годам методом *k*-средних показал не существенность 2010 г. по озимой ржи, что объясняется аномальными климатическими условиями в этот год для рассматриваемых областей. Полученные результаты подтверждают целесообразность проведенной группировки. На основе дискриминантного анализа в зависимости от природно-климатических характеристик была определена зерновая специализация выделенных групп. В частности, выделены районы с потенциально высокими показателями урожайности по всем рассматриваемым зерновым культурам, с ограничением выращивания ржи озимой, с рекомендацией по выращиванию пшеницы и другие. Полученные результаты важны для принятия управленческих решений сельскохозяйственными производителями с точки зрения выбора культур для возделывания, а также для принятия решений в области рискованного страхования страховыми компаниями.

Ключевые слова: урожайность, кластерный анализ, территориальное развитие, устойчивость

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-780-0220, <https://rscf.ru/project/22-78-00220>.

Original article

DETERMINATION OF AGRICULTURAL SPECIALIZATION OF GRAIN FARMING ON THE BASIS OF MATHEMATICAL AND STATISTICAL ANALYSIS

L.B. Vinnichek¹, A.Yu. Kindaev², A.V. Moiseev², A.Yu. Pavlov²

¹Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, Pushkin, Russia

²Penza State Technological University, Penza, Russia

Abstract. The article reflects the results of the authors' research aimed at identifying homogeneous groups of agricultural territories based on the results of the cultivation of grain crops and identifying natural, climatic and economic factors that affect this grouping. As statistical data for the study, natural and climatic characteristics and yield indicators for five grain crops were used in the context of the municipalities of the Penza, Samara, Saratov and Ulyanovsk regions for 1995–2021. Analysis of the dynamics of changes in the sown areas of grain and leguminous crops showed the stability of the share structure for the study period. To obtain a qualitative partition, the *Duda* and *Hart* and *Calinski-Harabasz* criteria were used, various clustering algorithms (Ward, full connection) were used, and the significance of yield differences in each study year was studied using the *k*-means method. As a result of the study, it was decided to allocate 5 groups. The analysis of the significance of the division by years using the *k*-means method showed that 2010 was not significant for winter rye, which is explained by abnormal climatic conditions in this year for the regions under consideration. The results obtained confirm the expediency of the grouping. On the basis of discriminant analysis, depending on the natural and climatic characteristics, the grain specialization of the selected groups was determined. In particular, areas with potentially high yields for all considered crops, with a restriction on the cultivation of winter rye, with a recommendation for the cultivation of wheat, and others have been identified. The results obtained are important for making management decisions by agricultural producers in terms of choosing crops for cultivation, as well as for making decisions in the field of risk insurance by insurance companies.

Keywords: productivity, cluster analysis, territorial development, sustainability

Acknowledgments: the study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-780-0220, <https://rscf.ru/project/22-78-00220>.

Введение. На современном этапе развития общества, увеличения численности населения, повышения качества жизни важнейшим условием эффективного развития является обеспечение продовольственной безопасности. Ее обеспечение является одним из главных постулатов национальной безопасности государства. Стратегия продовольственной безопасности призвана обеспечить качество жизни населения страны за счет стабильного внутреннего производства, а также создания необходимых запасов и резервов.

Одной из задач Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации является своевременное прогнозирование, направленное на выявление и предотвращение внутренних и внешних угроз продовольственной безопасности. Прогнозирование является

одним из методов, позволяющим выявить зависимости или различия объектов любой природы, а также позволяет получить информацию о возможном состоянии объекта в будущем. Математико-статистические методы исследования позволяют оценить различные показатели сельского хозяйства в целом или отдельных показателей. С помощью таких методов можно выделить экстремальные значения ценовых максимумов и минимумов, оценить вероятность страховых выплат при исследовании рискованных видов страхования, оценить финансовые показатели, а также описать другие экономические процессы.

Реальные статистические данные позволяют оценить ситуацию в прошлом, настоящем, а также на основе построения моделей осуществить прогноз развития событий на перспективу.

Применение математических и статистических методов позволяет реализовать прогнозирование, которое необходимо для осуществления стратегического планирования.

Применение экономико-математических методов широко применяется в сельском хозяйстве. Вопросами применения таких методов для оптимизации размещения посевных площадей занимались Алтухов А.И., Силаева Л.П., Кравченко Р.Г., Чеплянская Н.М., Попов И.Г. и многие другие ученые [1, 2]. Вопросами эколого-экономического моделирования развития природно-хозяйственного комплекса занимались Долматова Л.Г., Щеткин Б.Н., Замятина М.Ф., Дьяков М.Ю. [3, 4]. Многие исследователи в своих работах отмечают необходимость применения математических методов для обеспечения устойчивого развития территорий [5, 6, 7].



Материалы и методы исследования.

Объектом исследования выступают природно-климатические и аграрно-экономические показатели муниципальных образований четырех областей Поволжья: Пензенской, Самарской, Саратовской и Ульяновской. Данные для анализа брались за период с 1995 по 2021 гг. в открытых источниках на сайтах территориальных органов Федеральной службы государственной статистики перечисленных выше областей.

В работе рассматривается производство зерна. При рассмотрении урожайности зерновых культур применяются методы сравнительного, кластерного, дисперсионного анализа. При проведении кластерного анализа рассматриваются критерий *Duda* и *Hart* (основан на оценке суммы квадратов внутрикластерных расстояний) и критерий *Calinski-Harabasz* (также известен как критерий отношения дисперсий) для расчета оптимального числа кластеров. Также анализ проводится методом Варда (также известен как метод минимальной дисперсии), методом полной связи (или метод «дальнего соседа») и методом *k*-средних.

Рассмотрим два наиболее эффективных метода, предложенных *Calinski* и *Harabasz* (1974) и *Duda* и *Hart* (1973) для работы с непрерывными данными. *Calinski* и *Harabasz* (1974) предложили принять значение *g* за число групп, которое соответствует максимальному значению *C(g)*, где *C(g)* рассчитывается как:

$$C(g) = \frac{trace(B)}{(g-1)} / \frac{trace(W)}{(n-g)}$$

Как и во всех методах определения количества групп, оценка этого критерия при заданном числе групп *g* требует знания принадлежности к группе для определения матриц *B* и *W*. Как правило, количество выбранных групп зависит от используемого кластерного метода (и реализации).

Duda и *Hart* (1973) предложили критерий разделения *m*-го кластера на два подкластера. Они сравнивают внутрикластерную сумму квадратов расстояний между объектами и центроидом $J_1^2(m)$, с суммой внутрикластерной суммы квадратов расстояний, когда кластер оптимально разделен на два, $J_2^2(m)$. Критическое значение по критерию находится как:

$$1 - \frac{2}{pp} - z_{(1-\alpha)} \sqrt{\frac{2(1 - \frac{8}{n^2p})}{np}}$$

где, *n* — число объектов; *p* — число критериев; $z_{(1-\alpha)}$ — квантиль стандартного нормального распределения уровня.

Нулевая гипотеза об однородных группах отклоняется в пользу следующей группы, когда хотя бы одна тестовая статистика превышает свое критическое значение [8].

При исследовании данных методом Варда (он же метод минимальной дисперсии или метод кластеризации минимальной дисперсии Варда) вместо прямого измерения расстояния анализируется дисперсия кластеров. Метод Варда является наиболее подходящим методом для количественных переменных. Недостатком является то, что это полученное число кластеров не всегда является оптимальным. Тем не менее полученные кластеры обычно достаточно хороши для большинства целей.

На основе статистических методов проводится интерпретация полученных кластеров и принимается решение об эффективности и обоснованности разбиений.

Результаты исследований и обсуждение.

Важнейшим условием эффективного развития зернового хозяйства является выявление факторов, обеспечивающих рост урожайности и валовых сборов зерна [9]. Зерно является не только основным жизненным продуктом городских и сельских жителей, но и важным стратегическим ресурсом, связанным с национальной безопасностью. Поэтому зерновая безопасность является важным аспектом национальной безопасности. Готовность фермеров выращивать зерно является ключевым фактором обеспечения продовольственной безопасности [10]. На рисунке 1 представлена доля посевных площадей зерновых и зернобобовых культур в общей структуре посевных площадей с 2010 по 2021 гг. [11].

Анализируя динамику изменения посевных площадей (рис. 1), видно, что долевая структура за исследуемый период весьма стабильная. По Саратовской области наблюдается уменьшение доли зерновых и зернобобовых с 62% в 2010 г. до 53% в 2021 г. Если рассматривать общую посевную площадь в абсолютных значениях, то наблюдается рост по Саратовской области на 548 тыс. га (или на 15%), по Ульяновской области — на 138 тыс. га (или на 15%), по Самарской области — на 351 тыс. га, а наибольший рост наблюдается по Пензенской области — на 29% или 340 тыс. га. Возделывание зерновых и зернобобовых культур занимает большую часть территории пахотных земель исследуемых регионов и является ключевым звеном в растениеводстве регионов.

Для оценки результатов выращивания зерновых культур была проанализирована урожайность пяти культур: пшеницы озимой, пшеницы яровой, ячменя ярового, озимой ржи и овса за период с 1995 по 2021 гг. В предыдущих работах [12, 13] было рассмотрено выделение кластеров по Пензенской области методом *k*-средних,

а разбиение проводилось на пять кластеров. Интерпретировались они как кластер с высокой, выше средней, средней, ниже средней и низкой урожайностями. При рассмотрении урожайностей пяти зерновых культур в разрезе муниципальных образований Пензенской, Самарской, Саратовской и Ульяновских областей были рассмотрены различные методы и критерии определения оптимального числа кластеров. В таблице 1 представлена сравнительная таблица выделения кластеров различными методами.

Получение чисто технического разбиения на кластеры недостаточно для утверждения, что полученное количество групп является оптимальным. Проанализируем получившиеся кластеры. В нашем случае число объектов составляет 110, разбиение на 2 кластера является не целесообразным, так как в этом случае получаются группы с высокой и низкой урожайностью, где объекты, несмотря на то что попали в один кластер, все же имеют значительный разброс урожайностей. Разбиение на 7-11 кластеров также нецелесообразно ввиду того, что такое разбиение приводит к выделению мелких (1-3 объекта) групп, которые трудно объяснить с какой-либо точки зрения.

При разбиении урожайности по методу *Duda* и *Hart* по пшенице яровой на 6 групп, в последнюю группу попал всего 1 объект, поэтому такое разбиение нельзя считать оптимальным. При рассмотрении того же метода по овсу также получается последний кластер из одного объекта. На основе представленной статистики из данных таблицы 2 можно сделать вывод, что по большинству культур для исходных данных наиболее подходящий метод полной связи, поскольку разбиение позволяет интерпретировать полученные кластеры, а также отсутствуют разбиения на 2 или более 7 кластеров.



Рисунок 1. Доля посевных площадей зерновых и зернобобовых культур в общей структуре по четырем областям Поволжья с 2010 по 2021 гг.
Figure 1. The share of sown areas of grain and leguminous crops in the overall structure for the four regions of the Volga region from 2010 to 2021

Таблица 1. Сравнительная таблица выделения кластеров по урожайности зерновых культур за 26 лет по четырем областям
Table 1. Comparative table of cluster allocation by grain yield over 26 years in four regions

Культура	Метод <i>Duda</i> и <i>Hart</i>	Метод <i>Calinski</i> и <i>Harabasz</i>	Метод Варда	Метод полной связи
Пшеница озимая	5(4,11)	2(3,4)	2(3,4)	4
Пшеница яровая	6(7,11)	3(4,2)	3(4)	5(4)
Ячмень яровой	3(9,5)	2(3,4)	2	5(4)
Овес	7(5)	2(4)	4	4(5)
Рожь озимая	2(5,7)	4(5,6)	4	5(6)
				1 аномальное значение — Балашовский район





Для оценки влияния конкретного года на выделение кластеров проведем кластерный анализ методом k-средних. На основании вышеизложенного выберем 5 кластеров разбиения. Результаты представлены в таблице 2.

На основе проведенного дисперсионного анализа видно, что не значимый один год — 2010 г. по ржи озимой. Это можно объяснить засухой, которая была в этом году на анализируемых территориях. Многие хозяйства не стали убирать урожай ввиду экономической нецелесообразности. Остальные значения являются значимыми, то есть каждый год оказывает влияние на выделение объектов в кластер (расчетное значение (F) превышает табличное, уровень значимости (p) меньше критического уровня 0,05).

Сельское хозяйство является одной из областей экономики, которая в основном за счет интенсификации производства значительно влияет

на природную среду. Экономические выгоды от специализации очень тесно связаны с наличием эффекта масштаба в производстве. В сельском хозяйстве может быть получена как внешняя, так и внутренняя экономия за счет эффекта масштаба. Внутренний эффект масштаба достигается за счет преимуществ в расходах, обусловленных условиями внутри производственной единицы, а внешний эффект масштаба достигается за счет преимуществ в расходах, обусловленных увеличением производства в том или ином секторе, регионе или даже в экономике в целом.

В качестве факторов были выбраны природно-климатические характеристики, которые в значительной степени влияют на показатели результативности выращивания зерновых культур, такие как: x_1 — среднее значение урожайности, ц/га; x_2 — бальная оценка типа почвы; x_3 — бальная оценка почвообразующих пород;

x_4 — количество осадков за вегетационный период; x_5 — сумма средних суточных t воздуха за период с $t > 10^\circ\text{C}$; x_6 — продолжительность периода со средней суточной t воздуха выше 0°C ; x_7 — значение гидротермического коэффициента (ГТК); x_8 — степень эродированности сельскохозяйственных угодий; x_9 — доля посевных площадей зерновых и зернобобовых в общей структуре посевных площадей.

На основе дискриминантного анализа были выделены значимые факторы, которые влияют на выделение кластеров. Результаты сведены в таблицу 3.

Из данных таблицы 3 видно, что есть схожие факторы, которые являются значимыми для отдельных культур, так, например, степень эродированности сельскохозяйственных угодий и доля посевных площадей зерновых и зернобобовых в общей структуре посевных площадей значимы для озимых культур и не значимы для яровых. Средние значения урожайности являются значимыми для всех исследуемых культур.

С учетом результатов дискриминантного анализа было получено разбиение районов на группы по каждой культуре. Результаты выделения представлены на рисунках 2-6.

Выводы. На основе полученных результатов при одновременном рассмотрении четырех областей можно выделить специализации производства зерна:

1. Районы с потенциально высокими показателями урожайности по всем рассматриваемым зерновым культурам, благоприятными агроклиматическими характеристиками (достаточным количеством осадков, суммы температур в вегетационный период и т.д.). Среди районов можно выделить Мелекесский, Новомалыклинский, Ульяновский, Чердаклинский, Ставропольский, Бековский, Каменский, Мокшанский и Пензенский районы. Как правило, валовой сбор на данных территориях превышает большинство районов, как в составе своих территориальных единиц, так и при рассмотрении в совокупности четырех регионов. На данных территориях преобладают черноземные почвы, благоприятные для ведения сельского хозяйства. Значение гидротермического коэффициента Селянинова составляет более 1, что свидетельствует о достаточном уровне увлажнения, что также важно для получения высокого урожая.

2. Районы с высокими показателями урожайности по всем рассматриваемым зерновым культурам, кроме ржи озимой. К таким районам относятся Кузоватовский, Сурский, Цильинский, Кошкинский, Башмаковский, Белинский, Бессоновский, Вадинский, Земетчинский, Иссинский, Наровчатский, Нижнеомовский, Сердобский и Тамалинский районы. По большинству агроклиматических характеристик регионы не уступают перечисленным в группе выше, но существенно хуже результаты по выращиванию ржи озимой. Это может обуславливаться тем, что по другим культурам могут быть получены более высокие валовые сборы. Значение гидротермического коэффициента Селянинова составляет в среднем от 0,89 до 1,05, что свидетельствует о достаточном, но не оптимальном увлажнении. Так, сумма посевных площадей под рожью озимой уменьшилась в 5 раз за последние 20 лет.

3. Районы с рекомендацией по возделыванию пшеницы. К таким регионам можно отнести Сердобский, Колышлейский, Лунинский, Спасский и Пачелмский районы. Все перечисленные районы относятся к Пензенской области, где наблюдается оптимальная температура для роста и развития пшеницы — $10-24^\circ\text{C}$.

Таблица 2. Результаты дисперсионного анализа по культурам за 26 лет
Table 2. Results of analysis of variance by crops for 26 years

Год	Пшеница озимая		Пшеница яровая		Ячмень яровой		Овес		Рожь озимая	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
1995	25,61	0,000	21,46	0,000	19,98	0,000	23,27	0,000	10,35	0,000
1996	17,65	0,000	23,37	0,000	8,87	0,000	35,76	0,000	15,95	0,000
1997	4,29	0,003	9,45	0,000	7,17	0,000	17,28	0,000	11,48	0,000
1998	24,02	0,000	26,42	0,000	19,69	0,000	31,99	0,000	13,79	0,000
1999	17,22	0,000	17,30	0,000	6,72	0,000	31,78	0,000	8,84	0,000
2000	16,85	0,000	5,33	0,001	11,66	0,000	22,68	0,000	14,77	0,000
2001	26,19	0,000	7,73	0,000	22,74	0,000	48,02	0,000	21,37	0,000
2002	30,09	0,000	6,34	0,000	28,81	0,000	54,38	0,000	12,10	0,000
2003	15,80	0,000	8,22	0,000	12,62	0,000	14,67	0,000	11,19	0,000
2004	29,07	0,000	15,70	0,000	21,86	0,000	23,22	0,000	8,12	0,000
2005	36,04	0,000	11,67	0,000	18,46	0,000	17,95	0,000	6,32	0,000
2006	20,96	0,000	15,81	0,000	24,46	0,000	14,67	0,000	8,67	0,000
2007	14,21	0,000	11,43	0,000	9,11	0,000	24,64	0,000	9,99	0,000
2008	30,10	0,000	32,32	0,000	21,93	0,000	27,39	0,000	11,85	0,000
2009	42,19	0,000	23,75	0,000	21,15	0,000	29,03	0,000	7,79	0,000
2010	9,74	0,000	10,34	0,000	8,93	0,000	10,43	0,000	0,85	0,494
2011	10,63	0,000	20,65	0,000	17,26	0,000	41,83	0,000	3,62	0,008
2012	15,89	0,000	5,68	0,000	26,25	0,000	28,13	0,000	7,94	0,000
2013	16,22	0,000	37,32	0,000	30,53	0,000	25,41	0,000	24,49	0,000
2014	18,14	0,000	21,09	0,000	31,14	0,000	35,67	0,000	33,43	0,000
2015	46,86	0,000	42,22	0,000	45,02	0,000	44,08	0,000	27,31	0,000
2016	35,46	0,000	39,17	0,000	27,26	0,000	36,23	0,000	29,80	0,000
2017	45,28	0,000	27,43	0,000	54,98	0,000	49,56	0,000	16,85	0,000
2018	69,69	0,000	65,43	0,000	62,34	0,000	47,88	0,000	28,79	0,000
2019	82,04	0,000	31,36	0,000	64,71	0,000	36,74	0,000	15,54	0,000
2020	81,25	0,000	71,57	0,000	85,02	0,000	58,06	0,000	29,70	0,000

Таблица 3. Сводная таблица значимых дискриминантных переменных при анализе зерновых культур по Саратовской, Самарской, Ульяновской и Пензенской областям
Table 3. Summary table of significant discriminant variables in the analysis of grain crops in the Saratov, Samara, Ulyanovsk and Penza regions

Дискриминантная переменная	Пшеница яровая	Пшеница озимая	Ячмень яровой	Овес	Рожь озимая
Среднее значение урожайности, ц/га	+	+	+	+	+
Бальная оценка типа почвы	+				+
Бальная оценка почвообразующих пород	+				
Количество осадков за вегетационный период			+		
Сумма средних суточных t воздуха за период с $t > 10^\circ\text{C}$	+		+	+	
Продолжительность периода со средней суточной t воздуха выше 0°C	+			+	
Значение гидротермического коэффициента (ГТК)	+	+		+	+
Степень эродированности сельскохозяйственных угодий		+			+
Доля посевных площадей зерновых и зернобобовых в общей структуре посевных площадей		+			+

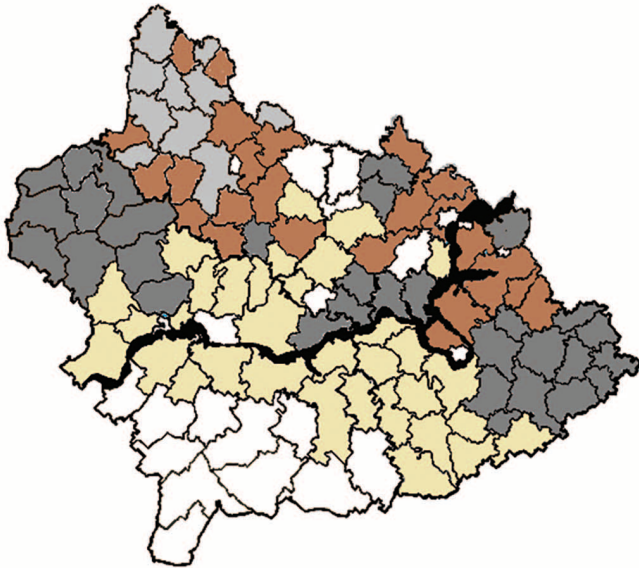


Рисунок 2. Выделение кластеров по пшенице яровой по значимым факторам
Figure 2. Clustering of spring wheat by significant factors

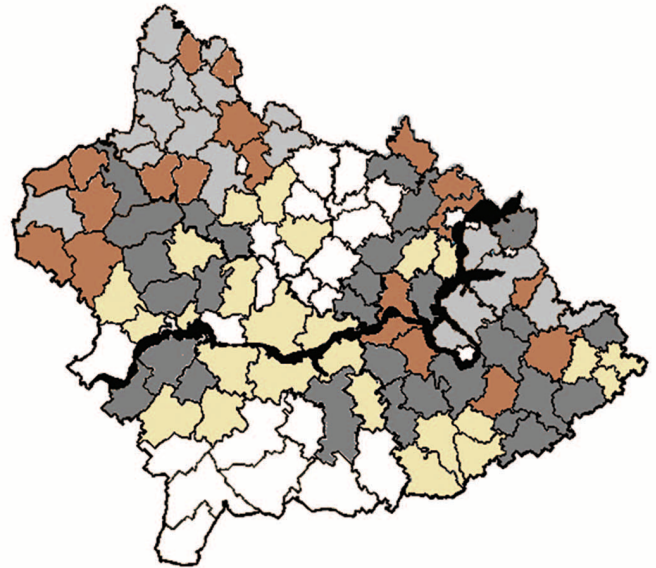


Рисунок 3. Выделение кластеров по пшенице озимой по значимым факторам
Figure 3. Identification of clusters for winter wheat by significant factors

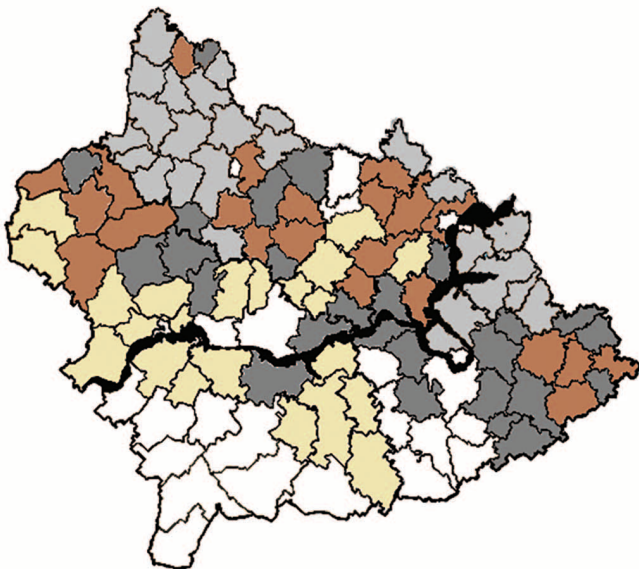


Рисунок 4. Выделение кластеров по ячменю яровому по значимым факторам
Figure 4. Clustering of spring barley by significant factors

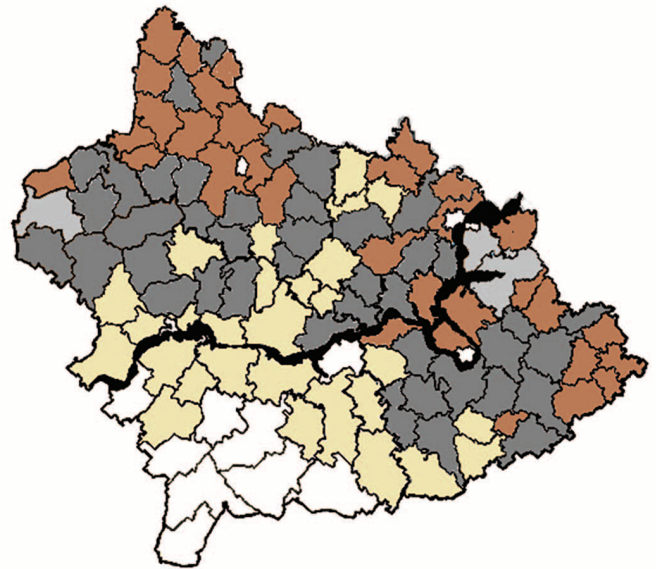


Рисунок 5. Выделение кластеров по овсу по значимым факторам
Figure 5. Clustering for oats by significant factors

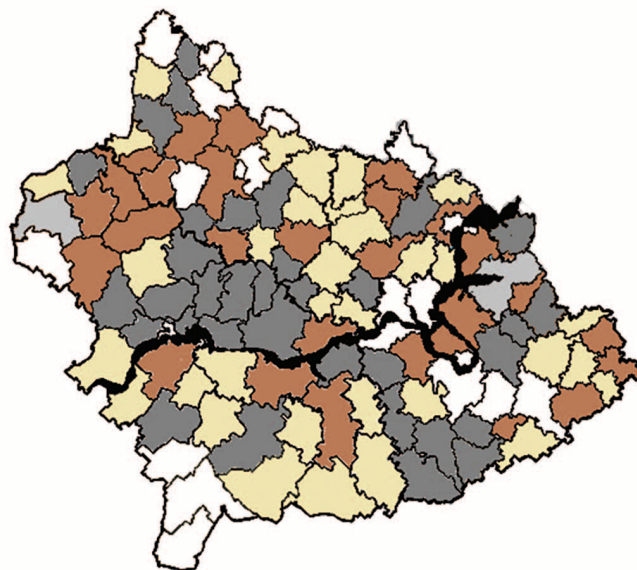


Рисунок 6. Выделение кластеров по ржи озимой по значимым факторам
Figure 6. Identification of clusters for winter rye by significant factors



Как более жаркая погода Саратовской области, так и более прохладная погода Ульяновской и Самарской областей отрицательно сказываются на росте, развитии и продуктивности пшеничного растения.

4. Районы с рекомендацией по возделыванию озимых зерновых культур. Наиболее благоприятные агроклиматические условия сложились в Аркадакском, Балашовском, Калининском и Безенчукском районах. Три района относятся к Саратовской области, занимающей пятое место в России по объему посевов озимой пшеницы. Это связано с тем, что культура успешнее зимует, если успевают образоваться 3-4 стебля, что требует длительной осенней вегетации порядка 50-55 дней, которая может быть обеспечена только в южных регионах.

5. Районы с рекомендацией по возделыванию яровых зерновых культур. Наиболее подходящие районы: Романовский, Старомайский, Иса克林ский, Шигонский, Городищинский, Шемшейский. В данную группу попали районы из всех рассматриваемых субъектов РФ, поскольку для возделывания зерновых культур подходят различные почвы с рН 6,5-7: черноземы, слабоподзолистые и каштановые почвы; семена прорастают при 1-2°C, всходы появляются при 4-5°C, наиболее благоприятная температура для прорастания — 12-15°C.

6. Районы с рекомендацией по возделыванию озимой ржи. Среди таких регионов можно выделить Клявлинский, Карсунский, Похвистневский, Кузнецкий, Лопатинский, Вешкаймский, Богатовский, Шенталинский, Балаковский, Никольский, Энгельсский. В силу природно-климатических особенностей в перечисленных районах в качестве основной страховой культуры выступает озимая рожь, которая не требовательна к виду почвы, способна выносить беснежные зимы с температурами ниже -30°C, при этом культура приносит стабильный урожай.

Список источников

1. Силаева Л.П., Баринаева Е.В. Современное состояние и условия рационального размещения производства пшеницы // Экономический журнал. 2019. № 1 (53). С. 33-42.
2. Алтухов А.И. Совершенствование размещения посевов пшеницы — основа производства высококачественного зерна в стране // Региональные проблемы устойчивого развития сельской местности: материалы XV Международной научно-практической конференции. Пенза: Пензенский ГАУ, 2018. С. 3-13.
3. Замятина М.Ф., Дьяков М.Ю. Развитие природно-хозяйственного комплекса муниципального образования на принципах эколого-экономической сбалансированности // Экономика и управление. 2014. № 4 (102). С. 28-38.

Информация об авторах:

Винничек Любовь Борисовна, доктор экономических наук, профессор, декан факультета экономики и управления в АПК, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6127-7201>, Scopus ID: 57536704400, Researcher ID: F-1187-2017, l_vinnichек@mail.ru

Киндаев Александр Юрьевич, кандидат технических наук, заведующий сектором научной аттестации, Пензенский государственный технологический университет, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3855-1970>, Scopus ID: 57214625051, Researcher ID: P-5306-2017, ale-kindaev@yandex.ru

Моисеев Александр Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой математики и физики, Пензенский государственный технологический университет, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9534-2465>, Scopus ID: 15731404900, Researcher ID: AAF-8891-2019, moigus@mail.ru

Павлов Александр Юрьевич, кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой экономики и управления, Пензенский государственный технологический университет, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3734-0183>, Scopus ID: 56149065900, Researcher ID: C-4781-2017, crsk@mail.ru

Information about the authors:

Lyubov B. Vinnichек, doctor of economic sciences, professor, dean of the faculty of economics and management in the agro-industrial complex, Saint-Petersburg State Agrarian University, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6127-7201>, Scopus ID: 57536704400, Researcher ID: F-1187-2017, l_vinnichек@mail.ru

Alexander Yu. Kindaev, candidate of technical sciences, head of the sector of scientific attestation, Penza State Technological University, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3855-1970>, Scopus ID: 57214625051, Researcher ID: P-5306-2017, ale-kindaev@yandex.ru

Alexander V. Moiseev, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, head of the department of mathematics and physics, Penza State Technological University, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9534-2465>, Scopus ID: 15731404900, Researcher ID: AAF-8891-2019, moigus@mail.ru

Alexander Yu. Pavlov, candidate of economic sciences, associate professor, head of the department of economics and management, Penza State Technological University, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3734-0183>, Scopus ID: 56149065900, Researcher ID: C-4781-2017, crsk@mail.ru

4. Щеткин Б.Н. Техничко-эколого-экономическое моделирование в процессе разработки новых технологий в агроэкологических системах // Актуальные вопросы современной науки. 2014. № 1 (2-3). С. 109-115.

5. Шаронова Е.В., Саникова М.О. Устойчивое производство зерна: формирование оптимальной программы минимизации рисков производителей // Научные труды Вольного экономического общества России. 2015. Т. 194. № 5. С. 336-349.

6. Агафонова Н.П. Принципы и методы оценки устойчивого развития сельских территорий // Успехи современной науки и образования. 2017. Т. 3. № 2. С. 113-115.

7. Антипов С.К. Математическая модель устойчивого развития регионов арктической зоны Российской Федерации // Социальные и экономические системы. 2022. № 6-6 (35). С. 356-370.

8. Everitt, B.S., Landau, S., Leese, M. (2011). *Cluster Analysis*. United States, Wiley, 346 p.

9. Сидоренко О.В., Буряева Е.В. Применение кластерного анализа и методов многомерного статистического моделирования при изучении факторов роста урожайности зерновых культур // Вестник аграрной науки. 2018. № 3 (72). С. 130-138.

10. Moreno-Camacho, C.A., Montoya-Torres, J.R., Jaegler, A., Gondran, N. (2019). Sustainability Metrics for Real Case Applications of the Supply Chain Network Design Problem: A Systematic Literature Review. *Journal of Cleaner Production*, vol. 231, pp. 600-618.

11. Федеральная служба государственной статистики. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 01.02.2023).

12. Киндаев А.Ю., Моисеев А.В. Поддержка принятия решений в агростраховании на основе анализа урожайности // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2023. Т. 12. № 1 (61). С. 36-40.

13. Киндаев А.Ю., Выхристюк Е.И. Цифровые технологии в анализе рисков в сложных системах // Современные вопросы финансовых и страховых отношений в мировом сообществе: сборник статей по материалам VIII Международной научно-практической конференции преподавателей вузов, ученых, специалистов, аспирантов, студентов, Нижний Новгород. Нижний Новгород: НГПУ имени Козьмы Минина, 2022. С. 59-62.

References

1. Silaeva, L.P., Barinova, E.V. (2019). Sovremennoe sostoyanie i usloviya ratsional'nogo razmeshcheniya proizvodstva pshenitsy [Modern condition and conditions of rational placement of wheat production]. *Ehkonomicheskii zhurnal*, no. 1 (53), pp. 33-42.
2. Altukhov, A.I. (2018). Sovershenstvovanie razmeshcheniya posevov pshenitsy — osnova proizvodstva vysokokachestvennogo zerna v strane [Improving the placement of wheat crops — the basis of the production of high-quality grain in the country]. *Regional'nye problemy ustoichivogo razvitiya selskoi mestnosti: materialy XV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Regional problems of sustainable rural development: materials of the XV International scientific and practical conference]. Penza, Penza SAU, pp. 3-13.
3. Zamyatina, M.F., D'yakov, M.Yu. (2014). Razvitiye prirodno-khozyaistvennogo kompleksa munitsipal'nogo obrazovaniya na printsipakh ehkologo-ehkonomicheskoi sblansirovannosti [Development of the natural and economic

complex of the municipality on the principles of ecological and economic balance]. *Ehkonomika i upravlenie* [Economics and management], no. 4 (102), pp. 28-38.

4. Shchetkin, B.N. (2014). Tehnichko-ehkologo-ehkonomicheskoe modelirovaniye v protsesse razrabotki novykh tekhnologii v agroehkologicheskikh sistemakh [Technical, environmental, economical modelling in the process of the development of new technologies in agro-ecological systems]. *Aktual'nye voprosy sovremennoi nauki* [Topical issues of modern science], no. 1 (2-3), pp. 109-115.

5. Sharonova, E.V., Sannikova, M.O. (2015). Ustoichivoe proizvodstvo zerna: formirovaniye optimal'noi programmy minimizatsii riskov proizvoitelei [Sustainable grain production: forming the optimal program for minimizing risks for producers]. *Nauchnye trudy Vol'nogo ehkonomicheskogo obshchestva Rossii* [Scientific works of the Free Economic Society of Russia], vol. 194, no. 5, pp. 336-349.

6. Agafonova, N.P. (2017). Printsipy i metody otsenki ustoichivogo razvitiya selskikh territorii [Principles and methods for assessing sustainable development of rural territories]. *Uspekhi sovremennoi nauki i obrazovaniya* [Successes of modern science and education], vol. 3, no. 2, pp. 113-115.

7. Antipov, S.K. (2022). Matematicheskaya model' ustoichivogo razvitiya regionov arkticheskoi zony Rossiiskoi Federatsii [Mathematical model of sustainable development of regions of the arctic zone of the Russian Federation]. *Sotsial'nye i ehkonomicheskie sistemy* [Social and economic systems], no. 6-6 (35), pp. 356-370.

8. Everitt, B.S., Landau, S., Leese, M. (2011). *Cluster Analysis*. United States, Wiley, 346 p.

9. Sidorenko, O.V., Buraeva, E.V. (2018). Primenenie klaster'nogo analiza i metodov mnogomernogo statisticheskogo modelirovaniya pri izuchenii faktorov rosta urozhainosti zernovykh kul'tur [Application of the cluster analysis and methods of multifactorial statistical modelling when studying factors of grain crops productivity growth]. *Vestnik agrarnoi nauki* [Bulletin of agrarian science], no. 3 (72), pp. 130-138.

10. Moreno-Camacho, C.A., Montoya-Torres, J.R., Jaegler, A., Gondran, N. (2019). Sustainability Metrics for Real Case Applications of the Supply Chain Network Design Problem: A Systematic Literature Review. *Journal of Cleaner Production*, vol. 231, pp. 600-618.

11. Federal State Statistics Service. Available at: <https://rosstat.gov.ru/> (accessed: 01.02.2023).

12. Киндаев А.Ю., Моисеев А.В. (2023). Podderzhka prinyatiya reshenii v agrostrakhovanii na osnove analiza urozhainosti [Decision support in agricultural insurance based on yield analysis]. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus XXI century: resumes of the past and challenges of the present plus*, vol. 12, no. 1 (61), pp. 36-40.

13. Киндаев А.Ю., Выхристюк Е.И. (2022). Tsifrovyye tekhnologii v analize riskov v slozhnykh sistemakh [Digital technologies in risk analysis in complex systems]. *Sovremennyye voprosy finansovykh i strakhovykh otnochenii v mirovom soobshchestve: sbornik statei po materialam VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii prepodavatelei vuzov, uchenykh, spetsialistov, aspirantov, studentov, Nizhniy Novgorod* [Modern issues of financial and insurance relations in the world community: a collection of articles based on the materials of the VIII International scientific and practical conference of university teachers, scientists, specialists, post-graduates, students, Nizhny Novgorod]. Nizhny Novgorod, pp. 59-62.