

## ПРОГНОЗНЫЕ СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ СТЕПНЫХ РЕГИОНОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ВЫЗОВОВ

**Т.В. Лебедева, \*А.А. Чибилёв (мл.)**

Институт степи УрО РАН, Россия, Оренбург

e-mail: \*economgeo-is@mail.ru

В статье предложена методика для оценки влияния различных факторов на природно-хозяйственные системы степных регионов. Используются методы экспертных оценок, статистического наблюдения, кластерного анализа, корреляционного и регрессионного анализа.

Субъекты степных регионов разделены на 2 кластера, которые отличаются по социально-экономическим и экологическим показателям. Разработаны три варианта прогноза для ключевых показателей, таких как плотность населения, уровень безработицы, выбросы загрязняющих веществ, площадь сельскохозяйственных угодий и др. Показано, что субъекты первого кластера имеют более благоприятные прогнозы по большинству показателей, точность которых высока (ошибка не превышает 10 %).

Значимость работы заключается в комплексном подходе к прогнозированию, который объединяет природные и хозяйственные факторы, что особенно актуально для степных регионов, подверженных значительным антропогенным и климатическим воздействиям.

*Ключевые слова:* природно-хозяйственные системы, степные регионы, кластерный анализ, природа, население, хозяйственные ресурсы.

### Введение

Природно-хозяйственные системы (ПХС) представляют собой сложные комплексы, в которых осуществляется взаимодействие природных компонентов и хозяйственной деятельности человека. Изучение характера этих взаимодействий, выявление возникающих проблем и разработка путей их решения приобретают особую актуальность с социально-экономической и экологической точек зрения [1].

Особый интерес представляют степные регионы России, где, несмотря на относительную однородность природно-климатических условий, наблюдается значительное разнообразие хозяйственно-экономических моделей. Эти территории являются ключевыми аграрными регионами страны, однако их устойчивое развитие сталкивается с комплексом серьезных вызовов.

Среди основных угроз степным ПХС следует выделить прогрессирующую деградацию природной среды, нерациональное землепользование, последствия климатических изменений, проблемы социального благополучия и экономической стабильности.

Цель работы – предложить методику разработки прогнозных сценариев, основанную на поэтапном анализе взаимодействия подсистем «природа – население – хозяйственные ресурсы».

### Материалы и методы

Взаимосвязи пространственных, природных и социально-экономических факторов в формировании и эволюции территориальных природно-хозяйственных систем (ТПХС) ранее исследовались отечественными авторами. Бабурин В.Л. в своей работе демонстрирует, что ТПХС – результат сложного взаимодействия природных рамок и социально-экономических инноваций. Их развитие носит циклический и неравномерный характер, требующий

интеграции географического и экономического подходов для прогнозирования и регулирования [2].

Работа Лебедевой М.А. посвящена исследованию роли природно-хозяйственных систем в экономике регионов с акцентом на необходимость баланса между экологическими и экономическими аспектами развития [3].

В работах Краснойяровой Б.А., Назаренко А.Е. и других соавторов исследуется устойчивость ПХС степных регионов Сибири к внешним воздействиям, а уязвимость территорий классифицирована по четырем категориям (влияние изменения климата, загрязнение окружающей среды, сельскохозяйственное производство, доступность водных ресурсов), разработан метод ее определения. В рамках исследования была выполнена оценка распределения ПХС в зависимости от их восприимчивости к природным явлениям и социоэкономическим воздействиям, принимая во внимание возможные экологические и экономические тенденции развития [4, 5, 6].

Статьи Чибилёва А.А. (мл.), Григорьевского Д.В. и Мелешкина Д.С. посвящены исследованию современных вызовов пространственному развитию регионов степной зоны России. Проведен анализ социально-экономических, экологических и геополитических проблем, с которыми сталкиваются природно-хозяйственные системы этих регионов [7, 8].

Разработанная нами поэтапная схема оценки прогнозных сценариев развития природно-хозяйственных систем с учетом влияния факторов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Этапы разработки прогнозных сценариев развития природно-хозяйственных систем с учетом влияния факторов

Этап	Методы
1. Определение объекта прогнозирования	Экспертные методы
2. Выявление факторов, влияющих на объект прогнозирования	Экспертные методы
3. Сбор и обработка эмпирических данных по объекту прогнозирования и факторам, влияющих на него	Статистическое наблюдение, сводка и группировка
4. Исследование вариации объекта прогнозирования и формирование однородной совокупности	1. Показатели вариации 2. Кластерный анализ (метод k-средних)
5. Оценка прогностической модели с учетом влияния факторов	Корреляционный и регрессионный анализ
6. Разработка прогнозных сценариев	Вариантный прогноз по модели регрессии
7. Проверка надежности, точности полученных прогнозов	Относительная ошибка прогноза

На первом этапе, опираясь на матрицу отношений подсистем региональной природно-хозяйственной системы, представленной в исследовании Плякина А.В., а также имеющуюся официальную статистическую информацию по субъектам Российской Федерации за 2023 год, нами сформирована система показателей отношений подсистем региональных природно-хозяйственных комплексов (рис. 1) [9].

Показатели блока «Природа – население» характеризуют расселение населения ( $PN_1$  –  $PN_3$ ) и этнокультурные традиции хозяйствования ( $PN_4$  –  $PN_9$ ); в блок «Природа – хозяйственные ресурсы» включены показатели, характеризующие комфортность окружающей среды ( $PX_6$ ), а также геоэкологическую ситуацию ( $PX_1$  –  $PX_5$ ); показатели блока «Население – хозяйственные ресурсы» отражают ресурсопотребление ( $NX_1$ ), а также условия труда и качество жизни населения ( $NX_2$  –  $NX_4$ ).

### Природа - Население

- PN<sub>1</sub> - доля муниципальных образований с численностью населения более 10 тыс. чел.  
 PN<sub>2</sub> - плотность населения, чел/км<sup>2</sup>  
 PN<sub>3</sub> - удельный вес городского населения в общей численности населения, %  
 PN<sub>4</sub> - индексы промышленного производства, %  
 PN<sub>5</sub> - индексы производства продукции растениеводства, %  
 PN<sub>6</sub> - индексы производства продукции животноводства, %  
 PN<sub>7</sub> - объем работ, выполненных по виду экономической деятельности «Строительство», млрд рублей  
 PN<sub>8</sub> - индексы физического объема оборота розничной торговли, %  
 PN<sub>9</sub> - индексы физического объема платных услуг населению, %

### Природа - Хозяйственные ресурсы

- PX<sub>1</sub> - выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников, тыс. т  
 PX<sub>2</sub> - сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты, млн куб. м  
 PX<sub>3</sub> - сельскохозяйственные угодья, тыс. га  
 PX<sub>4</sub> - лесные земли, тысяч га  
 PX<sub>5</sub> - поверхностные воды, включая болота, тыс. га  
 PX<sub>6</sub> - удельный вес площади ООПТ в общей площади территории, %

### Население - Хозяйственные ресурсы

- NX<sub>1</sub> - валовой региональный продукт на душу населения, рублей  
 NX<sub>2</sub> - медианная заработная плата работников организаций, рублей  
 NX<sub>3</sub> - общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя, кв. м  
 NX<sub>4</sub> - уровень безработицы, %

Рисунок 1 – Показатели отношений подсистем региональных природно-хозяйственных комплексов

### Результаты и обсуждение

По выделенным показателям проведен кластерный анализ. Методом k-средних выделены 2 кластера (табл. 2).

Как видно по данным таблицы 3, в 2023 году в субъектах, вошедших в 1 кластер, средние значения 12 из 19 анализируемых показателей превышали средние по субъектам 2 кластера. Более чем в 2 раза наблюдалось превышение по показателям «доля муниципальных образований с численностью населения более 10 тыс. чел.», «объем работ, выполненных по виду экономической деятельности «Строительство» и «выбросы загрязняющих веществ в

атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников». При этом средний уровень безработицы в субъектах 1 кластера на 31 % ниже, чем в субъектах 2 кластера.

Таблица 2 – Результаты кластерного анализа субъектов степных регионов по показателям отношений подсистем региональных природно-хозяйственных комплексов

№ кластера	Число субъектов	Состав кластера
1	9	Области: Белгородская, Воронежская, Ростовская, Оренбургская, Самарская, Челябинская, Новосибирская; Краснодарский край; Республика Башкортостан
2	9	Области: Волгоградская, Саратовская, Курганская, Омская; Края: Алтайский, Ставропольский; Республики: Адыгея, Калмыкия, Крым
Итого	18	-

Таблица 3 – Соотношений средних значений показателей отношений подсистем региональных природно-хозяйственных комплексов в выделенных кластерах

Показатель	1 кластер	2 кластер	Показатели 1 кластера ко 2 кластеру
<i>Природа – население</i>			
доля муниципальных образований с численностью населения более 10 тыс. чел.	34,6	15,3	2,26
плотность населения, чел/км <sup>2</sup>	41,4	29,5	1,40
удельный вес городского населения в общей численности населения, %	69,2	62,0	1,12
индексы промышленного производства, %	102,6	105,0	0,98
индексы производства продукции растениеводства, %	95,1	96,0	0,99
индексы производства продукции животноводства, %	98,5	99,5	0,99
объем работ, выполненных по виду экономической деятельности «Строительство», млрд рублей	268,6	113,1	2,38
индексы физического объема оборота розничной торговли, %	109,4	117,2	0,93
индексы физического объема платных услуг населению, %	104,2	105,9	0,98
<i>Население – хозяйственные ресурсы</i>			
валовой региональный продукт на душу населения, рублей	697342,1	442419,3	1,58
медианная заработная плата работников организаций, рублей	45098,1	37459,4	1,20
общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя, м <sup>2</sup>	30,9	27,3	1,13
уровень безработицы, %	2,7	3,9	0,69
<i>Природа – хозяйственные ресурсы</i>			
выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников, тыс. т	268,7	94,4	2,85
сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты, млн м <sup>3</sup>	139,8	81,6	1,71
сельскохозяйственные угодья, тыс. га	6114,2	5973,5	1,02
лесные земли, тысяч га	1907,7	1373,8	1,39
поверхностные воды, включая болота, тыс. га	667,3	605,9	1,10
удельный вес площади ООПТ в общей площади территории, %	7,5	7,9	0,95

Исходя из сущности анализируемых показателей, при оценке линейных регрессионных уравнений в качестве экзогенных переменных нами использованы показатели, приведенные на рисунке 1, а также дополнительные показатели, обозначенные «х<sub>г</sub>». Условные обозначения всех экзогенных переменных приведены после таблиц 4-6.

Экзогенными переменными в уравнениях регрессии для показателей блока «Природа – население» выступили показатели блока «Население – хозяйственные ресурсы», два показателя из блока «Природа – хозяйственные ресурсы», а также дополнительные показатели, характеризующие природные условия (X<sub>2</sub> и X<sub>3</sub>) и социально-экономическое развитие субъектов (X<sub>5</sub>, X<sub>6</sub>, X<sub>8</sub>, X<sub>9</sub>, X<sub>10</sub>, X<sub>13</sub>, X<sub>14</sub>) (табл. 4). При этом только для четырех эндогенных переменных (плотность населения; удельный вес городского населения в общей численности населения; индексы производства продукции растениеводства; индексы физического объема оборота розничной торговли) в уравнения для разных кластеров вошли одинаковые экзогенные переменные.

Таблица 4 – Оценка уравнений линейной регрессии для показателей блока «Природа – население»

Эндогенная переменная	Оценка уравнения регрессии	
	1 кластер	2 кластер
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
доля муниципальных образований с численностью населения более 10 тыс. чел. (%)	$\widehat{PN}_1 = -8,8 + 2,72 \cdot x_8$	$\widehat{PN}_1 = 0,58 + 0,002 \cdot x_{13} + 0,05 \cdot x_{10}$
плотность населения (чел/км <sup>2</sup> )	$\widehat{PN}_2 = -7,6 + 0,25 \cdot x_{10}$	$\widehat{PN}_2 = 108,2 + 0,0002 \cdot NX_1 + 0,18 \cdot x_{10}$
удельный вес городского населения в общей численности населения (%)	$\widehat{PN}_3 = -41,2 + 0,002 \cdot NX_2$	$\widehat{PN}_3 = -84,2 + 0,004 \cdot NX_2$
индексы промышленного производства (в процентах к предыдущему году)	$\widehat{PN}_4 = 272,6 - 0,23 \cdot x_5 - 4,63 \cdot x_3$	$\widehat{PN}_4 = 99,95 + 0,04 \cdot x_{10}$
индексы производства продукции растениеводства (в хозяйствах всех категорий; в сопоставимых ценах; в процентах к предыдущему году)	$\widehat{PN}_5 = 106,3 - 0,003 \cdot PX_4 - 9,44 \cdot x_3$	$\widehat{PN}_5 = 103,2 - 16,01 \cdot x_3$
индексы производства продукции животноводства (в хозяйствах всех категорий; в сопоставимых ценах; в процентах к предыдущему году)	$\widehat{PN}_6 = 69,1 - 0,0002 \cdot x_{14}$	$\widehat{PN}_6 = 28,9 + 0,67 \cdot PN_4$

1	2	3
объем работ, выполненных по виду экономической деятельности «Строительство» (в фактически действовавших ценах; миллионов рублей)	$\widehat{PN}_7 = 57410,2 + 13244,7 \cdot x_8$	$\widehat{PN}_7 = 28724,6 + 10221,0 \cdot x_9 + 3796,0 \cdot PN_1$
индексы физического объема оборота розничной торговли (в сопоставимых ценах; в процентах к предыдущему году)	$\widehat{PN}_8 = 126,8 - 6,32 \cdot NX_4$	$\widehat{PN}_8 = 39,2 - 9,96 \cdot NX_4$
индексы физического объема платных услуг населению (в процентах к предыдущему году)	$\widehat{PN}_9 = 80,2 + 0,0009 \cdot NX_2 + 0,60 \cdot NX_3$	$\widehat{PN}_9 = 125,7 + 0,67 \cdot PX_6 - 0,06 \cdot x_6$

где:

$NX_1$  – валовой региональный продукт на душу населения (рублей);

$NX_2$  – медианная заработная плата работников организаций (без субъектов малого предпринимательства; по данным выборочных обследований; за апрель; рублей);

$NX_3$  – общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя, м<sup>2</sup>;

$NX_4$  – уровень безработицы (по данным выборочных обследований рабочей силы; в процентах);

$PX_4$  – лесные земли (тысяч га);

$PX_6$  – удельный вес площади ООПТ в общей площади территории (%);

$X_2$  – сумма осадков в июле (мм);

$X_3$  – отклонение от нормы 1991-2020 гг. температуры воздуха в июле (°C);

$X_5$  – коэффициенты демографической нагрузки – всего (промилле);

$X_6$  – коэффициенты демографической нагрузки населением старше трудоспособного возраста (промилле);

$X_8$  – выпуск специалистов среднего звена (тысяч человек);

$X_9$  – выпуск бакалавров, специалистов, магистров (тысяч человек);

$X_{10}$  – плотность железнодорожных путей общего пользования (км путей на 10000 км<sup>2</sup> территории);

$X_{13}$  – отправление пассажиров железнодорожным транспортом общего пользования (тысяч человек);

$X_{14}$  – инвестиции в основной капитал на душу населения (в фактически действовавших ценах; рублей).

Также существенно различается состав экзогенных переменных в уравнениях регрессии для разных кластеров по блоку эндогенных переменных «Природа – хозяйственные ресурсы» (табл. 5). При этом в уравнениях регрессии для 1 кластера объясняющими переменными выступили три показателя из блока «Природа – население» ( $PN_5$ ,  $PN_6$ ,  $PN_9$ ) и дополнительные показатели ( $X_{11}$ ,  $X_{15}$ ), характеризующие развитие экономики субъектов, а также два показателя, характеризующие состояние окружающей среды ( $X_1$ ,  $X_{16}$ ). В уравнения регрессии для 2 кластера также вошли три показателя из блока «Природа – население» ( $PN_1$ ,  $PN_2$ ,  $PN_3$ ), но характеризующие население; дополнительные показатели, характеризующие состояние природы ( $X_1$ ,  $X_2$ ), и два показателя, отражающие развитие экономики ( $NX_1$ ,  $X_{12}$ ).

Таблица 5 – Оценка уравнений линейной регрессии для показателей блока «Природа – хозяйственные ресурсы»

Эндогенная переменная	Оценка уравнения регрессии	
	1 кластер	2 кластер
выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников (тыс. тонн)	$\widehat{PX}_1 = 958,2 - 7,25 \cdot PN_5$	$\widehat{PX}_1 = -267,5 + 0,06 \cdot X_{12} + 0,001 \cdot NX_1$
сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты (млн м³)	$\widehat{PX}_2 = -4,4 + 0,03 \cdot X_{15}$	$\widehat{PX}_2 = -122,9 + 3,3 \cdot PN_3$
сельскохозяйственные угодья (на конец года; тыс. га)	$\widehat{PX}_3 = 10367,7 - 12,27 \cdot X_{11}$	$\widehat{PX}_3 = 8885,9 - 98,6 \cdot PN_2$
лесные земли (на конец года; тыс. га)	$\widehat{PX}_4 = 23767,9 + 14,49 \cdot X_1 - 238,16 \cdot PN_6$	$\widehat{PX}_4 = -1306,9 + 24,59 \cdot X_1 + 16,82 \cdot X_2$
поверхностные воды, включая болота (на конец года; тыс. га)	$\widehat{PX}_5 = -26850,8 + 264,1 \cdot PN_9$	$\widehat{PX}_5 = -633,3 + 14,91 \cdot X_2 + 5,63 \cdot X_1$
удельный вес площади ООПТ в общей площади территории, %	$\widehat{PX}_6 = 13,95 + 0,005 \cdot x_{16}$	$\widehat{PX}_6 = 13,37 - 0,36 \cdot PN_1$

где:  $NX_1$  - валовой региональный продукт на душу населения (рублей);  
 $PN_1$  – доля муниципальных образований с численностью населения более 10 тыс. чел. (%);  
 $PN_2$  - плотность населения (чел/км²);  
 $PN_3$  - удельный вес городского населения в общей численности населения (%);  
 $PN_5$  - индексы производства продукции растениеводства (%);  
 $PN_6$  - индексы производства продукции животноводства, %;  
 $PN_9$  - индексы физического объема платных услуг населению (%);  
 $X_1$  - количество осадков в январе, отношение к норме 1991-2020 (%);  
 $X_2$  - количество осадков в июле (мм);  
 $X_{11}$  – плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием (на конец года; км путей на 1000 км² территории);  
 $X_{12}$  – пассажирооборот автобусов общего пользования (миллионов пассажиро-километров);  
 $X_{15}$  – используемые передовые производственные технологии (единиц);  
 $X_{16}$  – улавливание загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников (тыс. тонн).

На эндогенные переменные блока «Население – хозяйственные ресурсы» 1 кластера существенное влияние оказывают показатели, характеризующие экономическое развитие субъектов ( $PN_6, PN_8, PN_9, X_{14}$ ), а также два показателя, характеризующие население ( $PN_3, X_6$ ). В уравнения регрессии для 2 кластера вошли три показателя, характеризующие экономическое развитие субъектов ( $NX_1, X_{14}, X_{15}$ ), три показателя, характеризующие население ( $NX_4, PN_2, X_9$ ) (табл. 6).

Различный состав экзогенных переменных в уравнениях по выделенным кластерам позволяет учитывать особенности степных регионов. Полученные оценки уравнений регрессии и их параметров статистически значимы на 5-10 % уровнях значимости, в остатках отсутствует гетероскедастичность (по тесту Уайта), регрессионные остатки имеют нормальный закон распределения, ошибка аппроксимации не превышает 50 %. Полученные характеристики адекватности и точности моделей позволяют использовать их для разработки вариантного прогноза.

Таблица 6 – Оценка уравнений линейной регрессии для показателей блока «Население – хозяйственные ресурсы»

Эндогенная переменная	Оценка уравнения регрессии	
	1 кластер	2 кластер
валовой региональный продукт на душу населения (рублей)	$\widehat{NX}_1 = -2462727,0 + 19909,0 \cdot PN_6 + 11504,0 \cdot PN_9$	$\widehat{NX}_1 = 406502,5 + 15,3 \cdot X_{15}$
медианная заработная плата работников организаций (рублей)	$\widehat{NX}_2 = 49968,0 + 184,1 \cdot PN_3 - 0,12 \cdot X_{14}$	$\widehat{NX}_2 = 30876,8 - 1539,7 \cdot NX_4 + 0,03 \cdot NX_1$
общая площадь жилых помещений, приходящая в среднем на одного жителя (на конец года; м <sup>2</sup> )	$\widehat{NX}_3 = -10,5 + 0,1 \cdot X_6$	$\widehat{NX}_3 = 27,5 + 0,0006 \cdot X_{15} - 0,06 \cdot PN_2$
уровень безработицы (%)	$\widehat{NX}_4 = 13,2 - 0,1 \cdot PN_8$	$\widehat{NX}_4 = 7,3 - 0,0002 \cdot X_{14} - 0,12 \cdot X_9$

где:  $NX_1$  – валовой региональный продукт на душу населения (рублей);  
 $NX_4$  – уровень безработицы (%);  
 $PN_2$  – плотность населения (чел/км<sup>2</sup>);  
 $PN_3$  – удельный вес городского населения в общей численности населения (%);  
 $PN_6$  – индексы производства продукции животноводства (%);  
 $PN_8$  – индексы физического объема оборота розничной торговли (в сопоставимых ценах; в процентах к предыдущему году);  
 $PN_9$  – индексы физического объема платных услуг населению (%);  
 $X_6$  – коэффициенты демографической нагрузки населением старше трудоспособного возраста (промилле);  
 $X_9$  – выпуск бакалавров, специалистов, магистров (тыс. чел.);  
 $X_{14}$  – инвестиции в основной капитал на душу населения (в фактически действовавших ценах; рублей);  
 $X_{15}$  – используемые передовые производственные технологии (единиц).

Если экзогенные переменные примут минимальные значения из наблюдаемых в 2023 году в субъектах степной зоны России, то показатели блока «Природа – население» примут значения, представленные на рисунке 2; при средних значениях экзогенных переменных, наблюдаемых в 2023 году, эндогенные переменные примут значения, представленные на рисунке 3; при максимальных значениях экзогенных переменных – значения, представленные на рисунке 4.

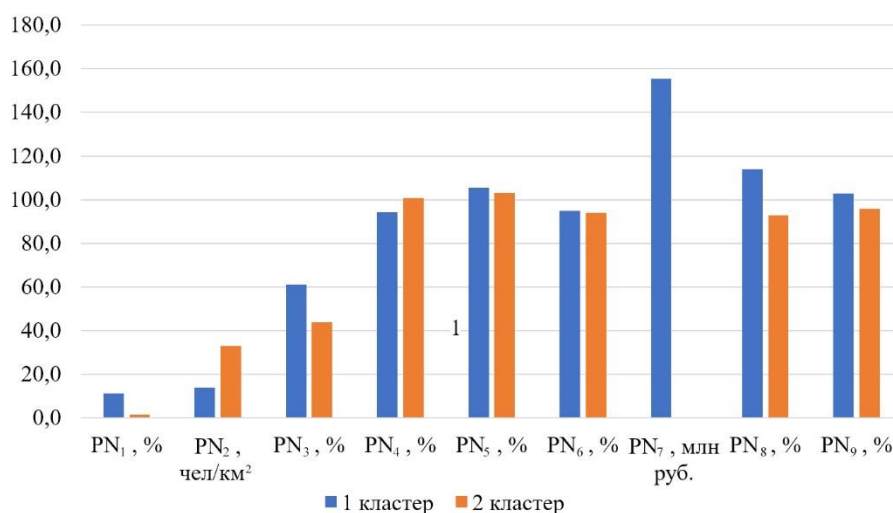


Рисунок 2 – Прогноз показателей блока «Природа – население» при минимальных значениях экзогенных переменных



Так, доля муниципальных образований с численностью населения более 10 тыс. чел. (PN<sub>1</sub>) в субъектах 1 кластера может варьировать от 11,3 % до 70,1 %, в субъектах 2 кластера – от 1,6 % до 28,2 % (рис. 2-4).

Сценарии развития для плотности населения (PN<sub>2</sub>) в субъектах 1 кластера при заданных значениях экзогенных переменных имеют большой размах – от 14,0 чел/км<sup>2</sup> до 67,8 чел/км<sup>2</sup>, при наиболее вероятном 41,4 чел/км<sup>2</sup>. В субъектах 2 кластера ожидаемые значения показателя имеют несущественную вариацию: от 29,5 чел/км<sup>2</sup> до 33,6 чел/км<sup>2</sup> (рис. 2-4).

Удельный вес городского населения в общей численности населения (PN<sub>3</sub>) в субъектах 1 кластера ожидается достаточно высоким при любых сценариях – от 61,2 % до 83,4 %, а в субъектах 2 кластера при неблагоприятном влиянии он составит 43,8 %, при благоприятном – 79,2 % (рис. 2-4).

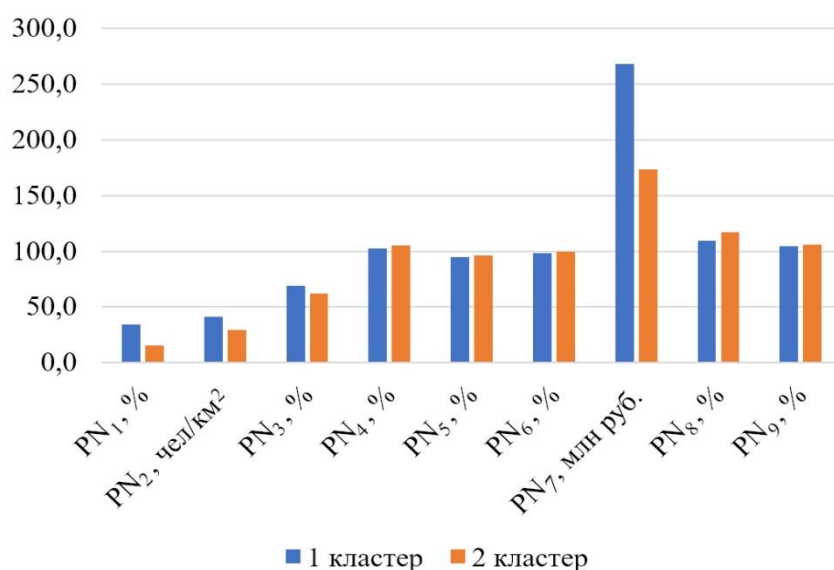


Рисунок 3 – Прогноз показателей блока «Природа – население» при средних значениях экзогенных переменных

При минимальных значениях экзогенных переменных в субъектах 1 кластера ожидается снижение индекса промышленного производства (PN<sub>4</sub>), он может составить 94 %, при максимальных значениях экзогенных переменных ожидается существенный рост – индекс может составить 112,2 %. В субъектах 2 кластера даже при неблагоприятном влиянии факторов сохранится рост индекса промышленного производства – 100,8 %, при этом, при максимальных значениях факторов, рост будет меньше, чем в субъектах 1 кластера – индекс может составить 109,3 % (рис. 2-4).

При неблагоприятных значениях экзогенных переменных индексы производства продукции растениеводства (PN<sub>5</sub>) в субъектах 1 кластера ожидаются на уровне 78,7 %, в субъектах 2 кластера – 87,2 %, при лучших значениях факторов – 105,6 % и 103,2 % соответственно (рис. 2-4).

Индексы производства продукции животноводства (PN<sub>6</sub>) в субъектах 1 кластера ожидаются от 94,8 % до 101,4 %, в субъектах 2 кластера – от 94,1 % до 104,2 % (рис. 2-4).

В субъектах 1 кластера ожидаемый объем работ, выполненных по виду экономической деятельности «Строительство», значительно превышает ожидаемые значения показателя для субъектов 2 кластера. Так, при минимальных значениях экзогенных переменных объем работ составит 0,0 млрд рублей в субъектах 1 кластера и 155,4 млрд рублей в субъектах 2 кластера; при максимальных значениях – 441,5 и 150,0 млрд рублей соответственно (рис. 2-4).

Ожидаемые индексы физического объема оборота розничной торговли (PN<sub>8</sub>) в субъектах 1 кластера при любых значениях экзогенных переменных превышают 100 %, а в субъектах 2 кластера имеют существенную вариацию – от 93 % до 168,8 % (рис. 2-4).

Аналогичный сценарий имеет и индекс физического объема платных услуг населению (PN<sub>9</sub>). В субъектах 2 кластера ожидаемые значения показателя варьируют от 95,7 % до 114,8 %.

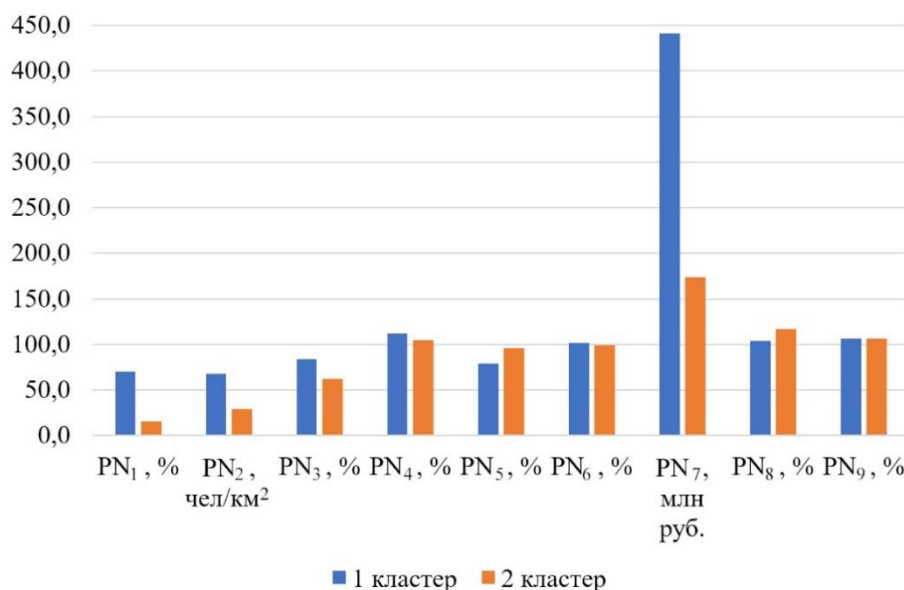


Рисунок 4 – Прогноз показателей блока «Природа – население» при максимальных значениях экзогенных переменных

По блоку показателей «Природа – хозяйственные ресурсы» наибольшие различия в расчетных значениях наблюдаются для показателя «выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников». Как видно на рисунке 5, в субъектах 1 кластера при всех заданных значениях экзогенных переменных ожидаются существенные значения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников, при этом в субъектах 2 кластера при увеличении индекса производства продукции растениеводства (экзогенная переменная) объем выбросов будет снижаться.

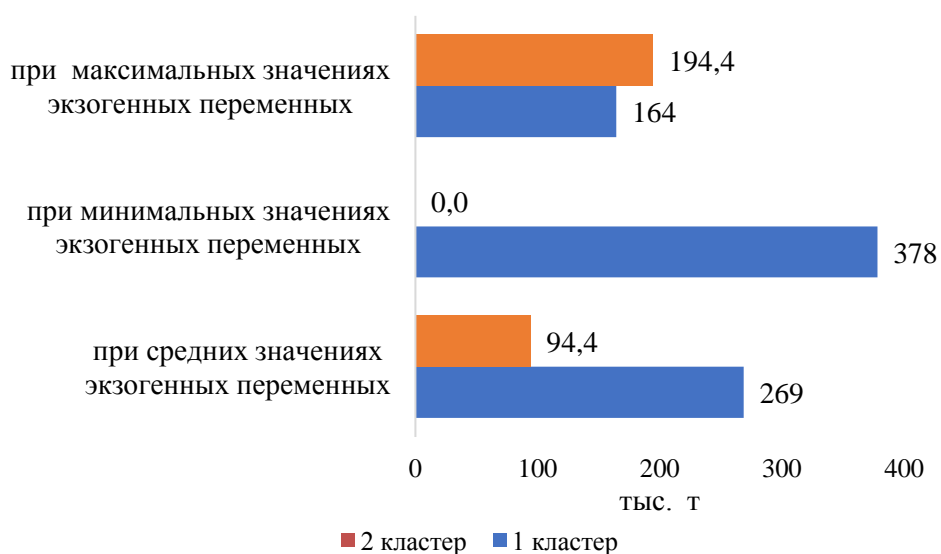


Рисунок 5 – Прогноз показателя «выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников, тыс. т»

Также ожидаемые значения показателя «сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты» в субъектах 1 кластера выше, чем в субъектах 2 кластера. В 1 кластере значения показателя ожидаются от 45 до 227 млн м<sup>3</sup>, а во 2 кластере от 32 до 133 млн м<sup>3</sup> (рис. 6).

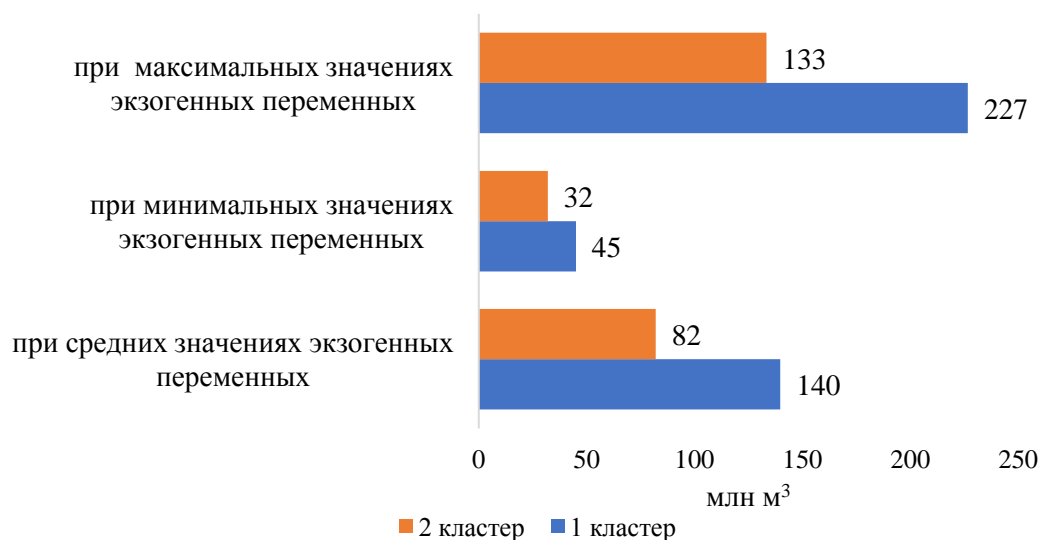


Рисунок 6 – Прогноз показателя «сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты, млн м<sup>3</sup>»

Согласно полученным сценариям, площадь сельскохозяйственных угодий в субъектах 1 кластера будет варьировать от 1383 до 8981 тыс. га, а в субъектах 2 кластера от 1670 до 8531 тыс. га (рис. 7).

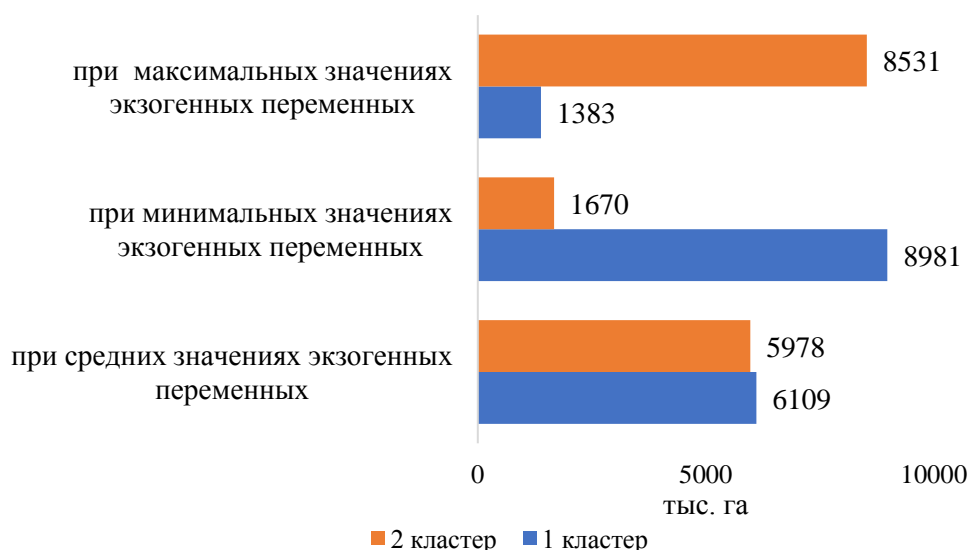


Рисунок 7 – Прогноз показателя «сельскохозяйственные угодья, тыс. га»

Существенные различия получены для ожидаемых значений площади лесных земель в выделенных кластерах. В субъектах 1 кластера значение показателя при заданных значениях экзогенных переменных будет варьировать от 1914 до 4565 тыс. га, а в субъектах 2 кластера от 0 до 4902 тыс. га (рис. 8).

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ



Рисунок 8 – Прогноз показателя «лесные земли, тысяч га»

Значения показателя «поверхностные воды, включая болота» по полученным сценариям близки к наблюдаемым значениям в 2023 году по выделенным кластерам (рис. 9). В 1 кластере наибольшее наблюдаемое значение 3825,9 тыс. га (Новосибирская область), минимальное 47,6 тыс. га (Белгородская область); во 2 кластере соответственно 2316,7 тыс. га (Омская область) и 57,5 тыс. га (Республика Адыгея).

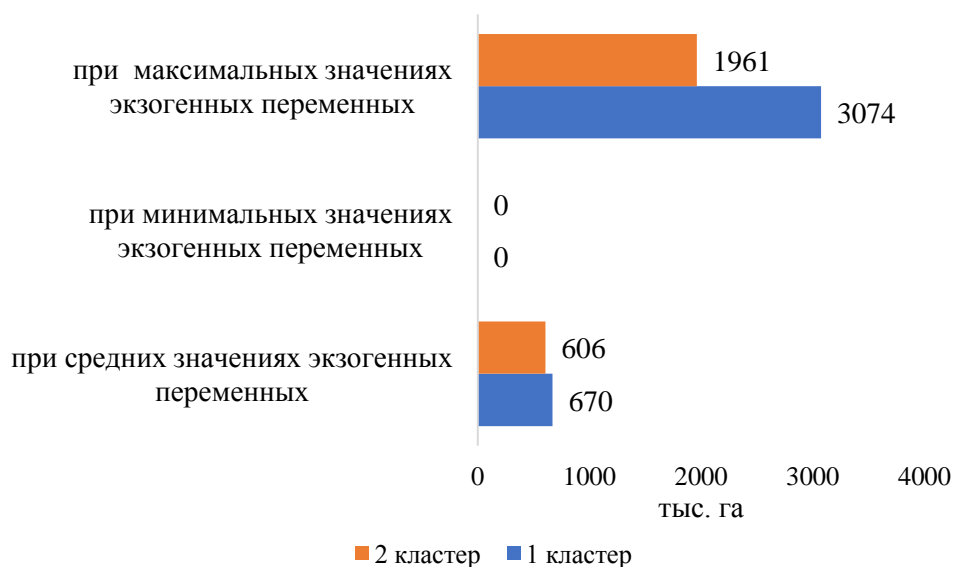


Рисунок 9 – Прогноз показателя «поверхностные воды, включая болота, тыс. га»

Расчетные значения удельного веса площади ООПТ в общей площади территории (рис. 10) также близки к наблюдаемым в 2023 году: в 1 кластере значение показателя варьировало от 2 % (Оренбургская и Ростовская области) до 14 % (Краснодарский край); во 2 кластере от 2 % (Ставропольский край и Саратовская область) до 16 % (Республика Калмыкия).

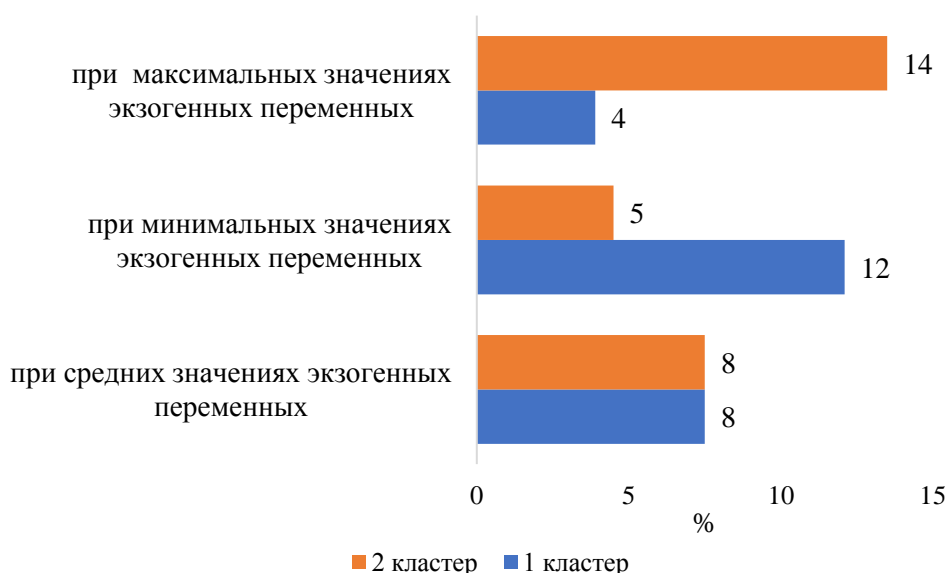


Рисунок 10 – Прогноз показателя «удельный вес площади ООПТ в общей площади территории, %»

По всем показателям блока «Население – хозяйственные ресурсы» расчетные значения показателей по субъектам 1 кластера выше, чем для субъектов 2 кластера. Так, ожидаемые значения ВРП на душу населения в субъектах 1 кластера выше при любых «сценариях», чем в субъектах 2 кластера. Так, при минимальных значениях экзогенных переменных различие показателей в кластерах составит 10 %, а при максимальных – уже в 2 раза (рис. 11).

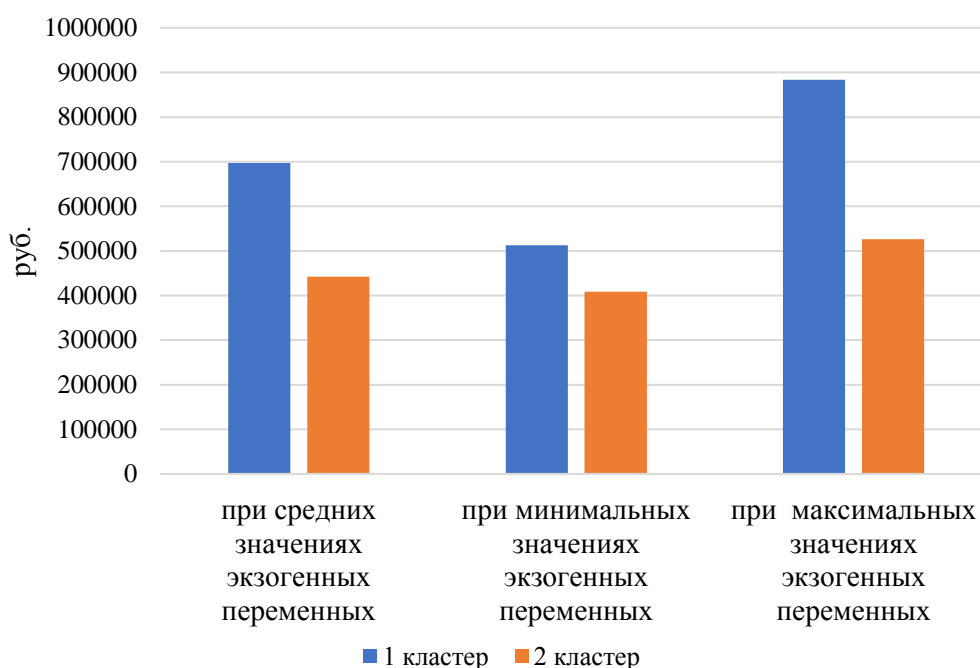


Рисунок 11 – Вариантный прогноз показателя «валовой региональный продукт на душу населения, рублей»

В разработанных «сценариях» ожидаемые значения медианной заработной платы в субъектах 1 кластера на 20-30 % выше, чем в субъектах 2 кластера (рис. 12).

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

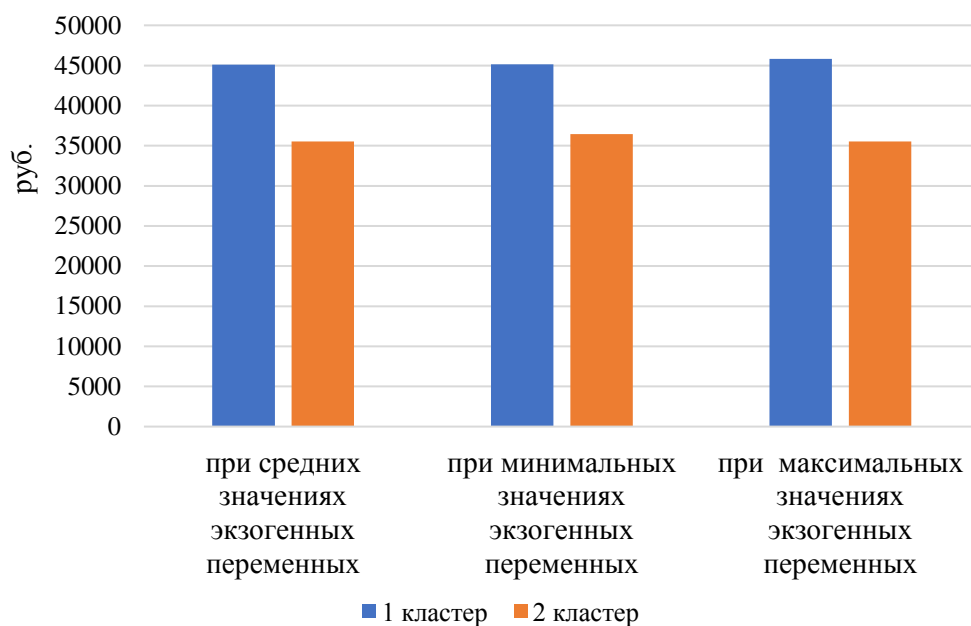


Рисунок 12 – Вариантный прогноз показателя «медианная заработная плата работников организаций, рублей»

Общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя, в субъектах 1 кластера, согласно полученным расчетным значениям при заданных значениях экзогенных переменных на 3-22 % будет выше, чем в субъектах 2 кластера (рис. 13).

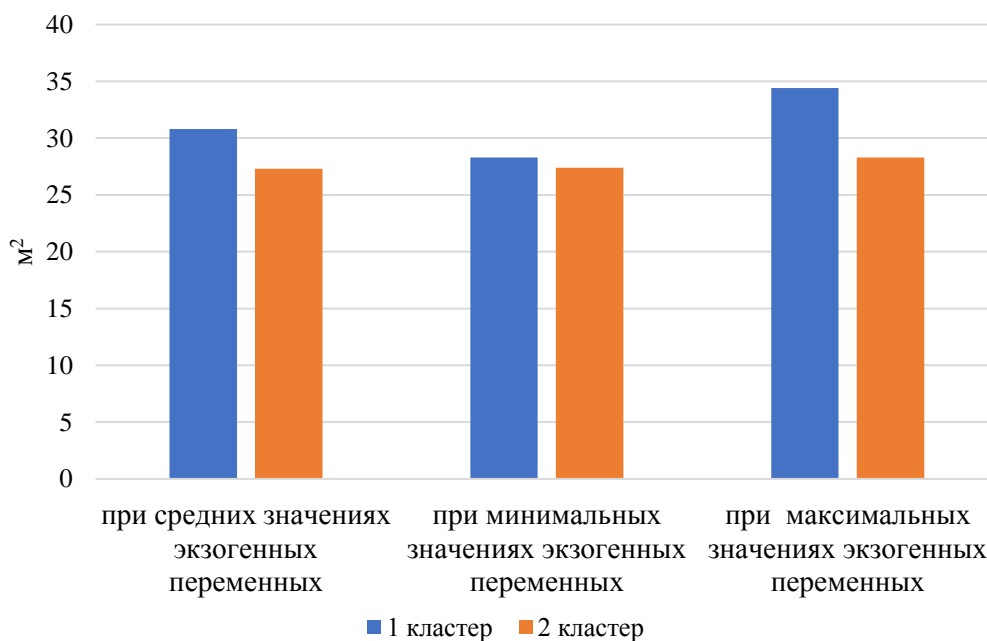


Рисунок 13 – Вариантный прогноз показателя «общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя, м²»

А уровень безработицы, напротив, на 16-37 % в субъектах 1 кластера будет ниже, чем в субъектах 2 кластера (рис. 14).

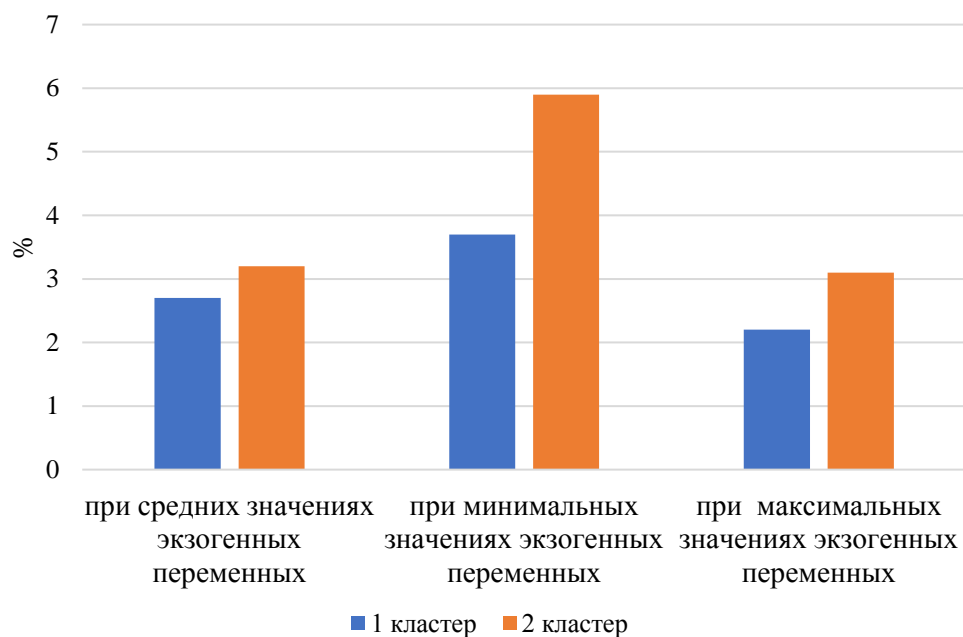


Рисунок 14 – Вариантный прогноз показателя «уровень безработицы, %»

### Выводы

Проведенный вариантный прогноз позволяет сделать вывод, что субъекты 1 кластера имеют более благоприятные прогнозы по большинству показателей всех подсистем. На рисунке 15 представлено соотношение показателей всех блоков при наиболее вероятных значениях экзогенных переменных.

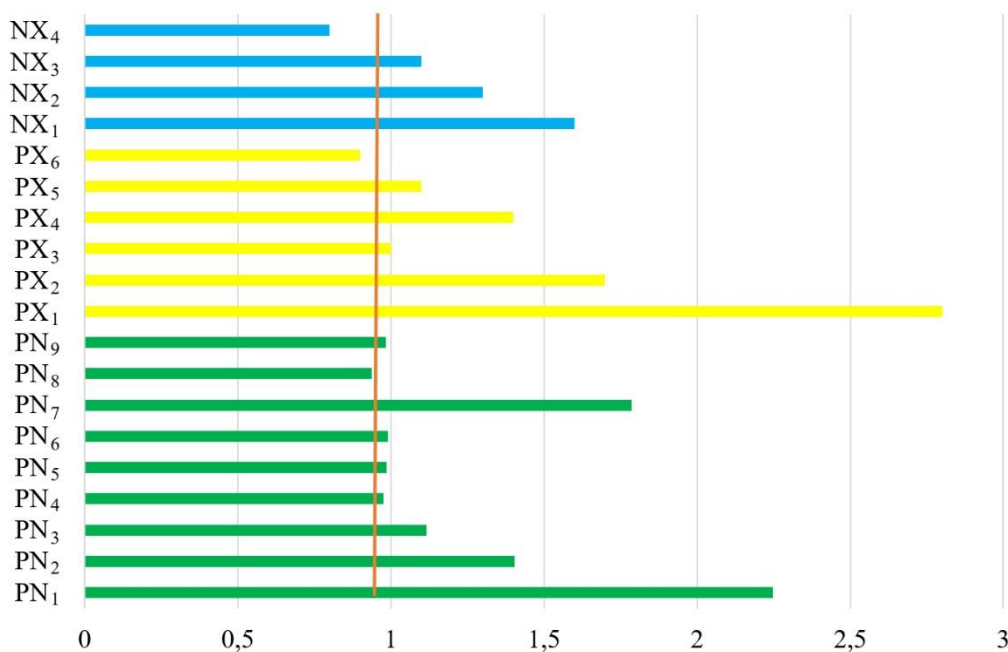


Рисунок 15 – Соотношение расчетных значений эндогенных переменных 1 кластера к переменным 2 кластера при средних значениях экзогенных переменных

Во время подготовки статьи по некоторым эндогенным переменным в единой межведомственной информационной статистической системе появились фактические данные за 2024 год (по показателю NX<sub>1</sub> – за 2023 год) [10]. По формуле 1 нами оценена относительная

ошибка прогноза, выраженная в процентах относительно фактического значения показателя [11]:

$$\delta_t = \frac{\hat{Y}_t - Y_t}{Y_t} * 100\%, \quad (1)$$

где  $\hat{Y}_t, Y_t$  – соответственно прогнозное и фактическое значение показателя,  $t$  – число уровней временного ряда, для которых определялось прогнозное значение.

Результаты расчетов представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Относительная ошибка прогноза, %

Показатель	При средних значениях экзогенных переменных		При минимальных значениях экзогенных переменных		При максимальных значениях экзогенных переменных	
	1 кластер	2 кластер	1 кластер	2 кластер	1 кластер	2 кластер
PX <sub>1</sub>	<b>-1,9</b>	<b>-0,5</b>	38,1	104,9	-40,0	-100,0
PX <sub>2</sub>	<b>-16,0</b>	<b>31,3</b>	-73,0	-48,4	36,2	114,8
PX <sub>3</sub>	<b>-0,1</b>	<b>0,2</b>	46,9	-72,0	-77,4	42,9
PX <sub>4</sub>	<b>-0,7</b>	<b>0,5</b>	30,2	-100,0	136,8	258,6
PX <sub>6</sub>	<b>0,1</b>	<b>1,4</b>	61,6	-44,2	-47,9	55,9
NX <sub>1</sub>	<b>-10,1</b>	-13,5	-33,9	<b>-11,3</b>	13,9	-13,6
NX <sub>3</sub>	<b>-2,8</b>	-2,5	-10,7	-2,1	8,5	<b>1,1</b>
NX <sub>4</sub>	22,7	6,7	68,2	96,7	<b>0,0</b>	<b>3,3</b>
PN <sub>3</sub>	<b>-0,1</b>	<b>-0,2</b>	-11,7	-29,5	20,3	27,5
PN <sub>4</sub>	<b>0,3</b>	<b>-0,3</b>	-7,6	-4,3	9,9	3,8
PN <sub>7</sub>	<b>-17,3</b>	<b>32,3</b>	-52,1	-100,0	36,2	53,0
PN <sub>8</sub>	<b>-0,2</b>	<b>6,5</b>	3,8	-15,3	-5,4	53,7
PN <sub>9</sub>	<b>0,7</b>	<b>-0,1</b>	-0,8	-9,8	3,0	8,2

*Примечание:* полужирным шрифтом выделены наименьшие (по абсолютной величине) значения ошибки.

Как видно из данных таблицы 7, наименьшее расхождение фактических данных у большинства показателей наблюдается при средних значениях экзогенных переменных, при этом ошибка у десяти показателей не превышает 10 %, что свидетельствует о высокой точности полученных прогнозов. Ошибка прогноза для показателей PX<sub>2</sub> и PN<sub>7</sub> не превышает 40%, что свидетельствует об удовлетворительной точности прогноза.

Полученные оценки точности прогнозов позволяют сделать вывод о высокой надежности предложенной методики разработки прогнозных сценариев развития природно-хозяйственных систем степных регионов под влиянием современных вызовов.

### Благодарности

*Авторы выражают благодарность Черновой Л.О. за помощь в подготовке данной статьи.*



*Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем» № АААА-А21-121011190016-1.*

### Список литературы

1. Аюшеева С.Н., Лубсанова Н.Б., Андреева А.М., Сангадиева И.Ю. Теоретические подходы к исследованию природно-хозяйственных систем в контексте взаимодействия природы и общества // Региональные проблемы преобразования экономики. 2024. № 6(164). С. 195-206. DOI: 10.26726/1812-7096-2024-6-195-206.
2. Бабурин В.Л. Развитие территориальных природно-хозяйственных систем как основы экономики // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2012. № 5. С. 5-12.
3. Лебедева М.А. Вклад природно-хозяйственной системы в экономическое развитие региона // Вестник ЧелГУ. 2020. № 11(445). С. 103-113. DOI: 10.47475/1994-2796-2020-11112.
4. Красноярова Б.А., Назаренко А.Е., Плуталова Т.Г., Шарабарина С.Н., Барышников С.Г. Оценка уязвимости природно-хозяйственных систем степной зоны Алтайского края к природным и антропогенным факторам воздействия // Степи Северной Евразии: материалы X междунар. симпозиума. Оренбург, 2024. С. 617-621.
5. Красноярова Б.А., Назаренко А.Е., Плуталова Т.Г., Шарабарина С.Н., Барышников С.Г. Оценка уязвимости аграрно-ориентированных природно-хозяйственных систем // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2024. № 49. С. 72-87. DOI: 10.26516/2073-3402.2024.49.72.
6. Красноярова Б.А., Платонова С.Г., Шарабарина С.Н. Природно-хозяйственные системы Западной Сибири: особенности современной пространственной организации и функционирования на разных иерархических уровнях // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2016. № 4 (43). С. 5-18.
7. Чибилёв А.А. (мл.), Григоревский Д.В., Мелешкин Д.С. Теоретические и методические подходы к выявлению современных вызовов пространственному развитию регионов степной зоны России // Вопросы степеведения. 2021. № 3. С. 69-84. DOI: 10.24412/2712-8628-2021-3-69-84.
8. Чибилёв А.А. (мл.), Мелешкин Д.С. К вопросу выделения модельных природно-хозяйственных систем социально-экономического каркаса регионов степной зоны РФ // Успехи современного естествознания. 2018. № 2. С. 171-176.
9. Плякин А.В. Пространственная экономическая трансформация региональной природно-хозяйственной системы. Волгоград, 2007. 44 с.
10. Единая межведомственная информационно-статистическая система. URL: <https://rosstat.gov.ru/emiss> (дата обращения: 07.08.2025).
11. Дуброва Т.А. Статистические методы прогнозирования: учеб. пособие для вузов. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 206 с.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 30.09.2025  
Принята к публикации 12.12.2025

## FORECAST SCENARIOS FOR THE DEVELOPMENT OF NATURAL-ECONOMIC SYSTEMS OF STEPPE REGIONS UNDER THE INFLUENCE OF MODERN CHALLENGES

**T. Lebedeva, \*A. Chibilev (jr.)**

Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, Orenburg  
e-mail: \*economgeo-is@mail.ru

The article proposes a methodology for assessing the impact of various factors on natural and economic systems in steppe regions. Methods of expert assessment, statistical observation, cluster analysis, correlation, and regression analysis are used.

Subjects of steppe areas are divided into two clusters that differ in socioeconomic and environmental indicators. Three forecast scenarios have been developed for key indicators, such as population density, unemployment rate, pollutant emissions, agricultural area, etc. It has been shown that subjects of the first cluster of regions have more favorable forecasts for most indicators with high accuracy (error does not exceed 10 %).

The significance of this work lies in its integrated approach to forecasting, which combines natural and economic factors that is especially important for steppe regions affected by significant anthropogenic and climate impacts.

*Key words:* natural and economic systems, steppe regions, cluster analysis, nature, population, economic resources.

### References

1. Ayusheeva S.N., Lubsanova N.B., Andreeva A.M., Sangadieva I.YU. Teoreticheskie podkhody k issledovaniyu prirodno-khozyaistvennykh sistem v kontekste vzaimodeistviya prirody i obshchestva. Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki. 2024. N 6(164). S. 195-206. DOI: 10.26726/1812-7096-2024-6-195-206.
2. Baburin V.L. Razvitie territorial'nykh prirodno-khozyaistvennykh sistem kak osnovy ekonomiki. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya. 2012. N 5. C. 5-12.
3. Lebedeva M.A. Vklad prirodno-khozyaistvennoi sistemy v ekonomicheskoe razvitie regiona. Vestnik ChelGU. 2020. N 11(445). S. 103-113. DOI: 10.47475/1994-2796-2020-11112.
4. Krasnoyarova B.A., Nazarenko A.E., Plutalova T.G., Sharabarina S.N., Baryshnikov S.G. Otsenka uyazvimosti prirodno-khozyaistvennykh sistem stepnoi zony Altaiskogo kraya k prirodnym i antropogennym faktoram vozdeistviya. Step'i Severnoi Evrazii: materialy X mezhdunar. simpoziuma. Orenburg, 2024. S. 617-621.
5. Krasnoyarova B.A., Nazarenko A.E., Plutalova T.G., Sharabarina S.N., Baryshnikov S.G. Otsenka uyazvimosti agrarno-orientirovannykh prirodno-khozyaistvennykh sistem. Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle. 2024. N 49. S. 72-87. DOI: 10.26516/2073-3402.2024.49.72.
6. Krasnoyarova B.A., Platonova S.G., Sharabarina S.N. Prirodno-khozyaistvennye sistemy Zapadnoi Sibiri: osobennosti sovremennoi prostranstvennoi organizatsii i funktsionirovaniya na raznykh ierarkhicheskikh urovnyakh. Izvestiya Altaiskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva. 2016. N 4(43). S. 5-18.
7. Chibilev A.A. (ml.), Grigorevskii D.V., Meleshkin D.S. Teoreticheskie i metodicheskie podkhody k vyyavleniyu sovremennykh vyzovov prostranstvennomu razvitiyu regionov stepnoi zony Rossii. Voprosy stepovedeniya. 2021. N 3. S. 69-84. DOI: 10.24412/2712-8628-2021-3-69-84.
8. Chibilev A.A. (ml.), Meleshkin D.S. K voprosu vydeleniya model'nykh prirodno-khozyaistvennykh sistem sotsial'no-ekonomicheskogo karkasa regionov stepnoi zony RF. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2018. N 2. S. 171-176.
9. Plyakin A.V. Prostranstvennaya ekonomicheskaya transformatsiya regional'noi prirodno-khozyaistvennoi sistemy. Volgograd, 2007. 44 s.
10. Edinaya mezhvedomstvennaya informatsionno-statisticheskaya sistema. URL: <https://rosstat.gov.ru/emiss> (data obrashcheniya: 07.08.2025).

**Сведения об авторах:**

Лебедева Татьяна Викторовна

К.э.н., научный сотрудник, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук

ORCID 0000-0001-9295-5784

Lebedeva Tatyana

Candidate of Economic Sciences, Research, Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Чибилёв Александр Александрович (мл.)

К.э.н., ведущий научный сотрудник, заведующий отделом социально-экономической географии, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук

ORCID 0000-0003-1109-6231

Chibilyov Alexander (jr.)

Candidate of Economic Sciences, Leading Researcher, Head of the Department of Socioeconomic Geography, Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

**Для цитирования:** Лебедева Т.В., Чибилёв А.А. (мл.) Прогнозные сценарии развития природно-хозяйственных систем степных регионов под влиянием современных вызовов // Вопросы степеведения. 2025. № 4. С. 19-37. DOI: 10.24412/2712-8628-2025-4-19-37