

УДК 504.3:33

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике (физико-математические науки, экономические науки)

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
УСТОЙЧИВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ГЕОПАРКА
ТОРАТАУ**

Шафеева Элина Ильгизовна
канд. с.-х. наук, доцент кафедры кадастра
недвижимости и геодезии
SPIN-код автора: 8591-8916
*Башкирский государственный аграрный
университет, Уфа, Россия*

Мифтахов Ильнур Ринатович
соискатель, младший научный сотрудник
SPIN-код автора: 9429-5990
*Башкирский государственный аграрный
университет, Уфа, Россия*

Статья посвящена экономической оценке устойчивого использования природных ресурсов геопарка «Торатау», уникального природного объекта Республики Башкортостан, представляющего важность для экологического и социально-экономического развития региона. Цель исследования заключается в оценке текущих подходов к рациональному природопользованию на территории геопарка, анализе потенциала для экономического роста и разработке рекомендаций для улучшения природоохранных мероприятий. В работе использованы экономико-статистические и картографические методы, а также метод оценки затрат и выгод (CBA) для детального анализа пространственного распределения антропогенной нагрузки. Исследование показало, что природные угодья составляют 70,59% площади в Ишимбайском районе и 69,69% в Гафурийском, в то время как в Стерлитамакском районе их доля составляет лишь 45,68%, что сопровождается высоким коэффициентом относительной антропогенной нагрузки ($K_o=4,34$). Эти результаты подчеркивают необходимость усиления охранных мер в районах с высокой нагрузкой, что позволит сбалансировать природоохранные цели и экономическое развитие

Ключевые слова: ГЕОПАРК «ТОРАТАУ», УСТОЙЧИВОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА, АНТРОПОГЕННАЯ НАГРУЗКА, ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ, РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-204-021>

<http://ej.kubagro.ru/2024/10/pdf/21.pdf>

UDC 504.3:33

5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods in economics (physical and mathematical sciences, economic sciences)

**ECONOMIC ASSESSMENT OF THE
SUSTAINABLE USE OF NATURAL
RESOURCES OF THE TORATAU GEOPARK**

Shafeeva Elina Ilgizovna
Candidate of Agricultural Sciences, Associate
Professor of the Department of Real Estate Cadaster
and Geodesy
Author's SPIN code: 8591-8916
Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

Miftakhov Ilnur Rinatovich
applicant, junior researcher
Author's SPIN code: 9429-5990
Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

The article is devoted to the economic assessment of the sustainable use of natural resources of the Toratau Geopark, a unique natural object of the Republic of Bashkortostan, which is important for the ecological and socio-economic development of the region. The purpose of the study is to assess current approaches to environmental management in the geopark, analyze the potential for economic growth and develop recommendations for improving environmental protection measures. The work uses economic-statistical and cartographic methods, as well as the cost-benefit assessment (CBA) method for a detailed analysis of the spatial distribution of anthropogenic load. The study showed that natural lands account for 70.59% of the area in Ishimbai district and 69.69% in Gafuri district, while in Sterlitamak district their share is only 45.68%, which is accompanied by a high coefficient of relative anthropogenic load ($Co=4.34$). These results highlight the need to strengthen conservation measures in high-stress areas, which will balance environmental objectives and economic development

Keywords: TORATAU GEOPARK, SUSTAINABLE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, ECONOMIC ASSESSMENT, ANTHROPOGENIC LOAD, NATURAL RESOURCES, ENVIRONMENTAL DEVELOPMENT, REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

Введение

В условиях современного мира, когда вопросы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов становятся все более актуальными, геопарки представляют собой важный инструмент для обеспечения устойчивого развития территорий. Геопарк «Торатау» — уникальное природное образование в Республике Башкортостан, сочетающее в себе природные, культурные и геологические ценности [1]. Его сохранение и эффективное использование имеют большое значение не только для охраны природы, но и для социально-экономического развития прилегающих районов.

Экономическая оценка устойчивого использования природных ресурсов геопарка «Торатау» позволяет определить, насколько эффективно реализуются стратегии по охране природы и развитию туризма, а также оценить экономический потенциал территории для стимулирования местной экономики [2]. В этом контексте важным становится вопрос обеспечения баланса между охраной природных ценностей и развитием экономической деятельности, такой как туризм, экопросвещение и сельское хозяйство.

Основная цель данного исследования — провести экономическую оценку устойчивого использования природных ресурсов геопарка «Торатау», выявить существующие возможности и ограничения для развития территории, а также предложить рекомендации по улучшению экономической эффективности мероприятий по охране и использованию природных ресурсов. Особое внимание уделяется анализу затрат и выгод, связанных с развитием туризма, субурбанизацией и использованием земельных ресурсов, что позволяет лучше понять влияние этих факторов на экономику муниципальных районов, где расположен геопарк.

Исследование основывается на данных о текущем состоянии природных ресурсов, динамике землепользования, а также на

экономических показателях, отражающих вклад геопарка в развитие региональной экономики. Ожидается, что результаты анализа позволят обосновать меры по повышению экономической устойчивости и эффективному управлению природными территориями, что в свою очередь будет способствовать как сохранению природных богатств, так и улучшению качества жизни местного населения.

Материалы и методы исследований.

В данном исследовании осуществлен комплексный анализ состояния природных ресурсов, динамики землепользования и экономических показателей, характеризующих вклад геопарка в развитие социально-экономического потенциала региона. Основой для аналитических выводов послужили статистические данные, предоставленные государственными учреждениями, результаты полевых исследований, а также пространственные данные, полученные с использованием геоинформационных систем (ГИС).

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью научного обоснования механизмов устойчивого использования природных ресурсов в контексте регионального развития. Геопарки представляют собой особую категорию природных объектов, чье значение выходит за рамки экологической функции, оказывая влияние на экономическую и социальную структуру прилегающих территорий. В связи с этим, исследование вклада геопарка в региональное развитие требует применения комплексного подхода, основанного на интердисциплинарных методах анализа и пространственных данных.

В рамках исследования также проведена глубокая обработка данных, полученных при реализации государственного контракта, включающего комплексное почвенное обследование, цифровую обработку и корректировку почвенных карт, разработку экспликаций почвенных разновидностей и типов сельскохозяйственных угодий в пределах

муниципальных образований Республики Башкортостан [3, 4]. Дополнительно были привлечены материалы смежных научных исследований, что обеспечило высокий уровень обоснованности и объективности полученных результатов.

Применяемые методы включают экономико-статистический анализ, метод оценки затрат и выгод (СВА), сравнительный анализ, а также картографический метод для оценки пространственного распределения антропогенной нагрузки и ресурсов [5]. Применение комплексного подхода позволяет учесть как количественные, так и качественные аспекты воздействия природных и экономических факторов на устойчивое развитие территории геопарка «Торатау». Ожидается, что результаты анализа позволят обосновать меры по повышению экономической устойчивости и эффективному управлению природными территориями, что в свою очередь будет способствовать как сохранению природных богатств, так и улучшению качества жизни местного населения.

В рамках нашего исследования был использован метод Б.И. Кочурова (см. таблицу 1) [6,7], позволяющий классифицировать земли в зависимости от уровня антропогенной нагрузки. Этот подход предоставляет возможность оценить степень изменения территорий под воздействием человеческой деятельности на основе унифицированных показателей. Применение метода Кочурова в данном исследовании обусловлено его высокой степенью адаптируемости к различным типам ландшафтов и возможностью учитывать широкий спектр факторов, влияющих на эколого-хозяйственную устойчивость территории. Метод позволяет получить количественные оценки, которые служат индикаторами уровня воздействия человеческой деятельности на окружающую среду и устойчивости экосистем. Научная значимость такого подхода заключается в его способности не только фиксировать текущее состояние, но и выявлять тенденции в изменении экосистем под влиянием

антропогенных факторов, что имеет ключевое значение для разработки стратегий управления и сохранения природных ресурсов.

В исследовании используются следующие коэффициенты для комплексной оценки эколого-хозяйственной напряженности, что позволяет учитывать разные аспекты антропогенной нагрузки и устойчивости природных систем.:

1. Коэффициент абсолютной экологической напряженности (K_a) рассчитывается как отношение площадей с высокой антропогенной нагрузкой к площадям с низкой антропогенной нагрузкой. Этот показатель отражает интенсивность воздействия на экосистему, связанного с наиболее измененными участками, и является ключевым для определения зон повышенной нагрузки. Формула 1 для вычисления:

$$K_a = \frac{A_{H6}}{A_{H1}} \quad (1)$$

Чем выше значение K_a , тем более напряженная экологическая обстановка на территории, что свидетельствует о повышенном риске для природных систем, подвергающихся значительным антропогенным воздействиям. Это значение особенно важно в районах с интенсивной хозяйственной деятельностью, где необходимо применять меры по снижению нагрузки.

2. Коэффициент относительной экологической напряженности (K_o) охватывает площади с разными видами антропогенной нагрузки. Данный коэффициент служит для более детальной характеристики распределения нагрузки на территорию и анализа равномерности воздействия по формуле 2:

$$K_o = \frac{(A_{H4} + A_{H5} + A_{H6})}{(A_{H1} + A_{H2} + A_{H3})} \quad (2)$$

При значении K_o , равном или менее 1, экологическая напряженность считается сбалансированной; однако рост этого коэффициента свидетельствует об увеличении нагрузок и необходимости в

корректирующих мерах для предотвращения экологического дисбаланса. Коэффициент K_o позволяет выявить участки, где особенно актуально применение стратегий восстановления.

3. Коэффициент естественной защищенности территории ($K_{ез}$) отражает степень природной устойчивости экосистемы к антропогенному воздействию. Этот коэффициент представляет собой комплексный показатель, который включает в расчет взвешенную площадь территории с разными уровнями нагрузки и оценивает природную защиту, обеспечиваемую самой экосистемой, формулы для расчета 3 и 4:

$$P_{сф} = A \cdot N_1 + 0.8 \cdot A \cdot N_2 + 0.6 \cdot A \cdot N_3 + 0.4 \cdot A \cdot N_4 \quad (3)$$

$$K_{ез} = \frac{P_{сф}}{P_o} \quad (4)$$

Чем выше $K_{ез}$, тем более благополучной является ситуация; если $K_{ез}$ меньше 0.5, это указывает на критический уровень защищенности территории и необходимость в дополнительных мерах по поддержанию или восстановлению экосистемы. Данный показатель используется для долгосрочного мониторинга и оценки потенциальной устойчивости экосистемы к внешним воздействиям.

Эти коэффициенты дают возможность многогранного анализа, позволяя учитывать как интенсивность и равномерность нагрузки, так и способность экосистемы выдерживать антропогенное воздействие.

Метод Кочурова для оценки эколого-хозяйственного состояния территории является полезным инструментом, но его точность зависит от качества исходных данных, классификации антропогенных нагрузок и региональных особенностей. Неполные или устаревшие данные могут исказить результаты, особенно коэффициенты K_a и K_o . Метод предполагает линейную зависимость между площадью и интенсивностью воздействия, что не всегда, верно, так как разные виды антропогенной деятельности оказывают разное влияние на экосистему.

Кроме того, точность метода зависит от корректности классификации категорий нагрузки. В районах с быстрыми изменениями хозяйственной деятельности метод может не успевать за динамикой. Валидация метода с использованием других методов оценки и эмпирических данных позволит улучшить точность. Метод также чувствителен к масштабу, и для крупных или малых территорий он может терять точность.

Таким образом, метод Кочурова требует регулярного обновления данных и адаптации к региональным особенностям, и для повышения точности рекомендуется комбинировать его с другими методами оценки.

Результаты и их обсуждение.

Геопарк «Торатау» расположен в Республике Башкортостан и включает в себя уникальные геологические образования — шиханы, представляющие собой остатки древних рифов, сформировавшихся в Пермском периоде около 280–300 миллионов лет назад. Эти шиханы, такие как Торатау, Юрактау и Куштау, являются ценными объектами для изучения палеонтологии и стратиграфии, поскольку содержат богатые фоссильные сообщества, включая остатки древних морских организмов.

Геопарк «Торатау» выделяется значительным геологическим наследием, которое привлекает внимание как ученых, так и туристов. По данным исследования Ардисламова и Лукашиновой (2019), на территории проектируемого геопарка находится 48 природных объектов, из которых 27 имеют статус особо охраняемых [1]. Эти уникальные геологические и природные образования служат основой для экологического туризма и способствуют развитию устойчивых форм природопользования. Объекты геопарка представляют собой редкие и ценные экосистемы, которые играют важную роль в поддержании биологического разнообразия и сохранении культурного наследия региона.

Согласно исследованию Соколова и Смирнова (2020), в создаваемом геопарке «Торатау», расположенном на территории Гафурийского, Ишимбайского и Стерлитамакского районов Республики Башкортостан, находятся уникальные карстовые пещеры, представляющие значительную научно-прикладную ценность [13]. Эти карстовые объекты служат важными местами для изучения геологических процессов и имеют большое значение для исследований в области экологии, геологии и гидрологии. Ученые применяют специализированные принципы и методы для оценки их ценности, что позволяет определить значимость пещер как объектов природного наследия и ресурса экологического туризма.

Обладая общей площадью в 4727 тыс. км², геопарк «Торатау» представляет собой значимый объект для сохранения и научного исследования природного и культурного наследия региона. На диаграмме (рисунок 1) показаны площади районов, входящих в состав геопарка, что подчеркивает значимость каждого из них в общей структуре территории. Наибольший вклад вносят Гафурийский и Ишимбайский районы, занимая соответственно 242012,35 и 223252,86 га, что делает их ключевыми элементами геопарка. Мелеузовский и Стерлитамакский районы, несмотря на меньшие площади (4264,40 и 5694,60 га), также играют важную роль в поддержании биоразнообразия и сохранении культурных ландшафтов региона.

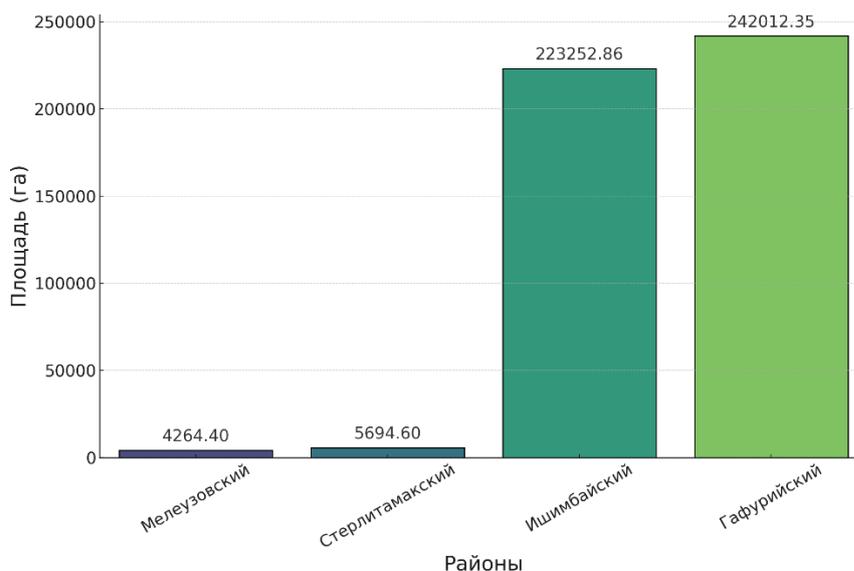


Рисунок 1 – Площади районов, входящих в границы геопарка «Торатау»

Территория геопарка «Торатау» охватывает три значимые природные зоны: горнолесную, хвойно-широколиственные леса и лесостепь. Горнолесная зона, занимая более 70% площади геопарка, представляет собой комплекс горных и лесных экосистем, которые отличаются высоким уровнем биоразнообразия и устойчивостью к внешним воздействиям. Эта зона служит ключевым резервом природных ресурсов, включая редкие виды флоры и фауны, а также обеспечивает стабилизацию климата и водного баланса на территории геопарка.

Хвойно-широколиственные леса занимают значительно меньшую площадь, но играют важную роль в поддержании экосистемной устойчивости, являясь источником древесных и недревесных ресурсов. Эти леса представляют собой уникальные биоценозы, сочетающие в себе хвойные и лиственные породы деревьев, что способствует сохранению видового разнообразия и устойчивости лесных экосистем.

Лесостепная зона, расположенная на периферии геопарка, характеризуется чередованием лесных участков и открытых степных пространств. Этот переходный тип ландшафта поддерживает разнообразие среды обитания для множества видов и служит важной территорией для

сельскохозяйственной деятельности. В условиях геопарка лесостепь также выполняет функцию буферной зоны, способствуя снижению антропогенной нагрузки на центральные природные комплексы.

Совокупность этих природных зон формирует уникальный ресурсный потенциал геопарка «Торатау», способствующий как устойчивому развитию экономики региона, так и возможностям для экотуризма.

Антропогенные процессы, включая добычу полезных ископаемых и развитие инфраструктуры, также оказывают влияние на рельеф, изменяя природный ландшафт и порой нарушая экологический баланс. Однако грамотное управление этими процессами позволяет использовать территорию рационально и минимизировать ущерб окружающей среде.

Понимание природно-географических условий и их воздействия на рельеф и экономику региона имеет важное практическое значение. Оно не только помогает раскрыть геологическую историю территории, но и служит основой для разработки стратегий устойчивого природопользования. Успешное управление природными ресурсами позволяет повысить экономическую эффективность региона, привлекая экологически ориентированных инвесторов, и содействует созданию устойчивой экономической модели, основанной на поддержании экологического баланса и сохранении природного наследия.

Рассмотрение геопарков в качестве центров устойчивого неиндустриального развития территорий представляет собой актуальный и перспективный подход в условиях нарастающей деградации сельских районов России [9]. Сельские территории часто испытывают демографический спад и экономическую нестабильность, что требует внедрения новых стратегий для их поддержания и развития (рисунок 2). В этом контексте геопарки, такие как «Торатау», обладают потенциалом для активизации устойчивого развития, способствуя сохранению природного и

культурного наследия, созданию экологически ориентированных рабочих мест и стабилизации социально-экономической ситуации в сельской местности.

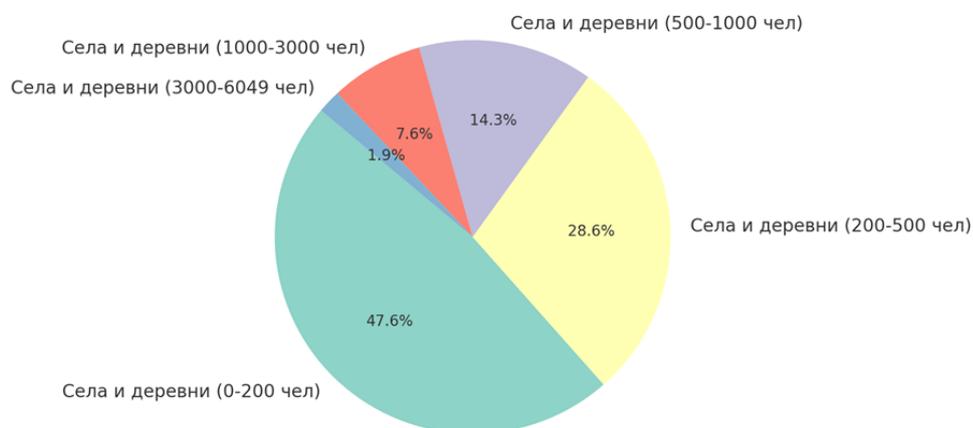


Рисунок 2 - Распределение численности населения в населенных пунктах геопарка «Торатау»

Геопарки играют ключевую роль в поддержке сельской экономики и устойчивом развитии территорий, особенно в условиях деградации сельских районов и демографического спада. Они обеспечивают новые экономические возможности, опираясь на экологически и культурно ориентированные подходы к развитию. Важнейшим механизмом является развитие экологического туризма: уникальные природные ландшафты, геологические и культурные объекты привлекают туристов, что создает спрос на местные услуги, такие как проживание, питание, экскурсии и сувениры, стимулируя доходы сельских общин.

Кроме того, геопарки способствуют созданию рабочих мест в сферах туризма, экопросвещения и обслуживания природных территорий. Местные жители получают возможность трудоустроиться в качестве гидов, экологов, ремесленников и менеджеров по туризму. Это особенно важно для регионов, где традиционные отрасли экономики испытывают трудности. Поддержка местного ремесленного производства также является значимым аспектом. Туристы проявляют интерес к уникальным

изделиям ручной работы, что стимулирует развитие малых предприятий и семейных хозяйств, сохраняющих культурное наследие региона.

Важную роль в поддержке экономики пригородных сельских поселений может сыграть геопарк, который привлекает туристов и служит природно-ресурсным центром региона. Его существование способствует развитию малого бизнеса и созданию рабочих мест в таких секторах, как туризм, сельское хозяйство, ремесленное производство и гостеприимство. Приток туристов, в свою очередь, стимулирует спрос на продукцию местных фермеров и ремесленников, что оказывает положительное влияние на доходы сельских сообществ. Включение экологически чистого сельского хозяйства и поддержка экологического туризма укрепляют экономическую устойчивость региона, позволяя сохранить природное наследие и обеспечивать стабильные источники дохода для местного населения [9].

Для более глубокого понимания экологических последствий антропогенной деятельности важно рассмотреть воздействие, оказываемое на земельные ресурсы Ишимбайского и Гафурийского районов. Большая доля земель с нарушенной структурой в Ишимбайском и Гафурийском районах возникает в результате добычи полезных ископаемых и торфа, а также выполнения геологоразведочных, строительных и исследовательских работ. В результате этих процессов происходит разрушение верхнего плодородного слоя почвы, что вызывает значительные трудности для последующей рекультивации и восстановления природных экосистем..

Как отмечают Ковалева Е.И., «нарушение почвенного покрова вследствие добычи полезных ископаемых и строительных работ требует комплексного подхода к рекультивации, включающего восстановление структуры почвы и биоразнообразия» (Ковалева Е.И., 2023) [10]. В этом контексте ключевую роль играют мероприятия по рекультивации и

биологическому восстановлению, направленные на предотвращение дальнейшего опустынивания и эрозии почвы.

Согласно исследованиям Синдиревой и Петрова, успешное восстановление земель, подвергшихся значительным антропогенным изменениям, возможно только при использовании методов, способствующих возрождению естественных экосистемных процессов [11]. В случае геопарка «Торатау» такие методы могут включать возвращение местных видов растений, восстановление микробиоты почвы и создание условий для естественного восстановления ландшафтов, что особенно важно в условиях разрушения верхнего плодородного слоя.

Результаты анализа изменений в земельном фонде геопарка «Торатау» позволяют выявить ключевые факторы, влияющие на природные ресурсы и биоразнообразие региона. Эти данные служат основой для более детального изучения антропогенного воздействия, особенно на территориях Ишимбайского и Гафурийского районов, где отмечаются значительные преобразования. Для детального изучения изменений, происходящих в структуре землепользования и их влияния на природные ресурсы региона, был проведен сравнительный анализ земельного фонда геопарка «Торатау» за период с 2010 по 2023 годы. Этот анализ позволяет не только оценить масштабы трансформаций ландшафтов, но и выявить ключевые тенденции в изменении природного окружения, обусловленные антропогенными и природными факторами. Сравнительные данные за указанный период способствуют более глубокому пониманию процессов, влияющих на сохранение экологического баланса и устойчивость экосистем в границах геопарка. Полученные данные представлены на диаграмме, которая отражает динамику площадей различных категорий земель и позволяет выявить ключевые тенденции в распределении земельного фонда за указанный период (рисунок 3).

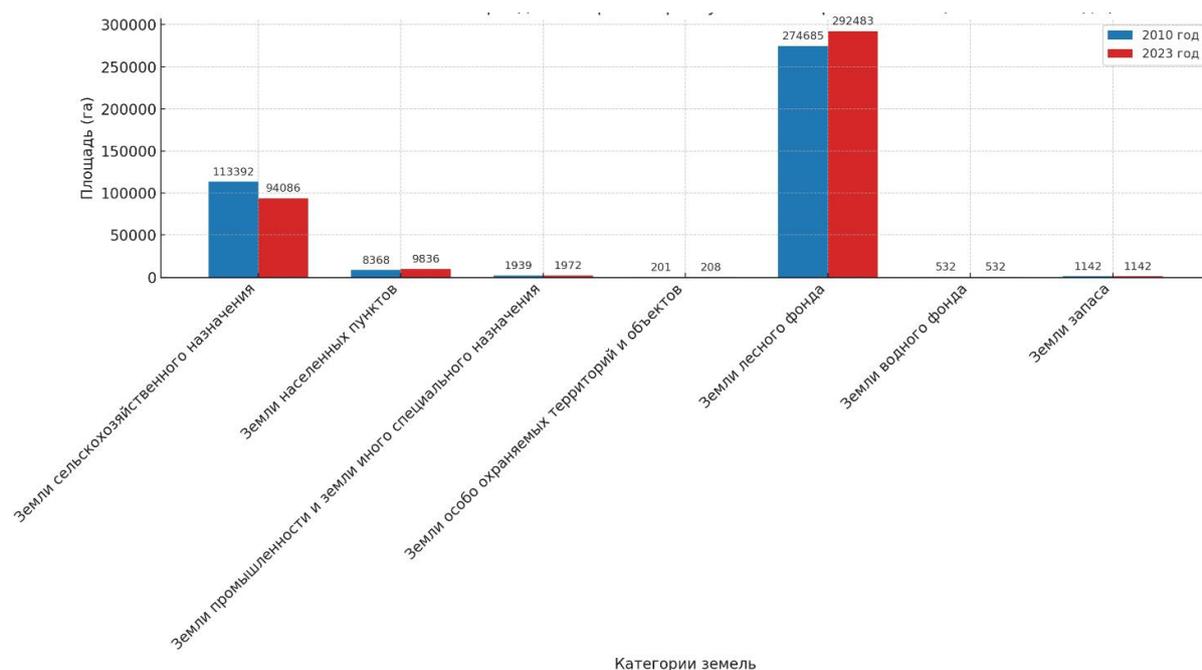


Рисунок 3 – Изменения в земельном фонде МР Ишимбайский район в разрезе территории геопарка Торатау по категориям земель с 2010 по 2023 годы

Диаграмма отражает динамику изменений в земельном фонде МР Ишимбайский район в разрезе территории геопарка Торатау за период с 2010 по 2023 годы, позволяя выявить ключевые тенденции в землепользовании и антропогенном воздействии [12]. За этот период площади сельскохозяйственных земель сократились с 113,392 га в 2010 году до 94,086 га в 2023 году, что может свидетельствовать о снижении интенсивности аграрной деятельности или переориентации этих земель на другие цели. Одновременно с этим земли населенных пунктов увеличились с 8,368 га до 9,836 га, а земли промышленности и иного специального назначения возросли с 1,939 га до 1,972 га, что указывает на развитие инфраструктуры и рост пригородных поселений.

Особое внимание заслуживают земли лесного фонда, которые увеличились с 274,685 га до 292,483 га, отражая усилия по восстановлению и расширению лесных территорий. Также произошло увеличение площадей особо охраняемых территорий и объектов с 201 до 208 га, что

подчеркивает приоритет в сохранении природного наследия. При этом земли водного фонда и земли запаса остались без изменений, составляя 532 га и 1,142 га соответственно, что может свидетельствовать о стабильности их использования или отсутствии необходимости в изменении их статуса.

Таким образом, изменения в распределении земельного фонда geopарка «Торатау» отражают переход к экологически ориентированному управлению, направленному на сохранение природных ресурсов и поддержку устойчивого развития региона.

На рисунке 4 представлена изменения в земельном фонде МР Гафурийский район в разрезе территории geopарка Торатау по категориям земель с 2010 по 2023 годы.

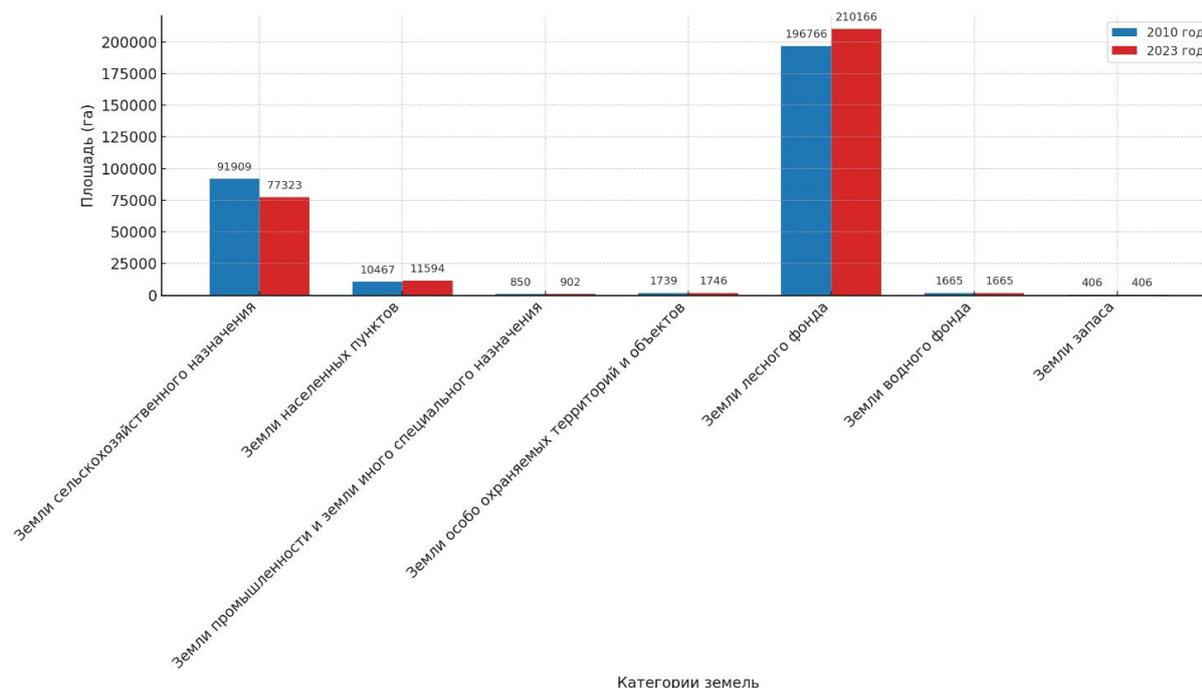


Рисунок 4 – Изменения в земельном фонде МР Гафурийский район в разрезе территории geopарка Торатау по категориям земель с 2010 по 2023 годы

По диаграмме видно, что наблюдается значительное сокращение земель сельскохозяйственного назначения — с 91,909 га в 2010 году до 77,323 га в 2023 году, что может свидетельствовать о снижении

интенсивности сельскохозяйственной деятельности или преобразовании этих земель в другие категории.

Земли населенных пунктов увеличились с 10,467 га до 11,594 га, что, вероятно, связано с процессом субурбанизации и развитием пригородных сельских поселений. Земли промышленного назначения также показали небольшой рост с 850 га до 902 га, что может быть результатом расширения инфраструктуры и экономической деятельности.

Значительное увеличение наблюдается в землях лесного фонда, которые выросли с 196,766 га до 210,166 га. Этот прирост отражает усилия по сохранению и восстановлению лесных территорий в рамках стратегии устойчивого развития. Площади особо охраняемых территорий также немного увеличились, что подчеркивает приоритетность охраны природного наследия.

Площади земель водного фонда и запаса остались неизменными, что указывает на стабильность их использования. В целом, изменения в земельном фонде геопарка указывают на переход к более экологически ориентированному управлению и поддержке устойчивого развития региона.

Для расчета уровня антропогенной нагрузки была использована методика Б.И. Кочурова (см. рисунок 5), предполагающая шестиступенчатую классификацию типов земель. Этот подход основывается на дифференцированном подходе к оценке различных видов землепользования, что позволяет учитывать не только общую площадь земель, но и их функциональную нагрузку. Благодаря этому удастся получить комплексное представление об экологической устойчивости территории, определяя зоны с наибольшим воздействием и потенциальные риски для природной среды. Метод Кочурова предоставляет надежный инструмент для анализа изменений в природном ландшафте и выявления

участков, требующих особого внимания в процессе планирования природоохранных мероприятий.



Рисунок 5 - Классификация уровней антропогенной нагрузки на земельные группы

Исследование степени антропогенной трансформации и распределения земельных категорий, с акцентом на экологические аспекты, является ключевым инструментом для оценки эколого-хозяйственного состояния территории геопарка «Торатау» (см. рисунок 6). Такой анализ позволяет выявить зоны с повышенной нагрузкой на природные экосистемы и определить участки, требующие особого подхода к сохранению и восстановлению.

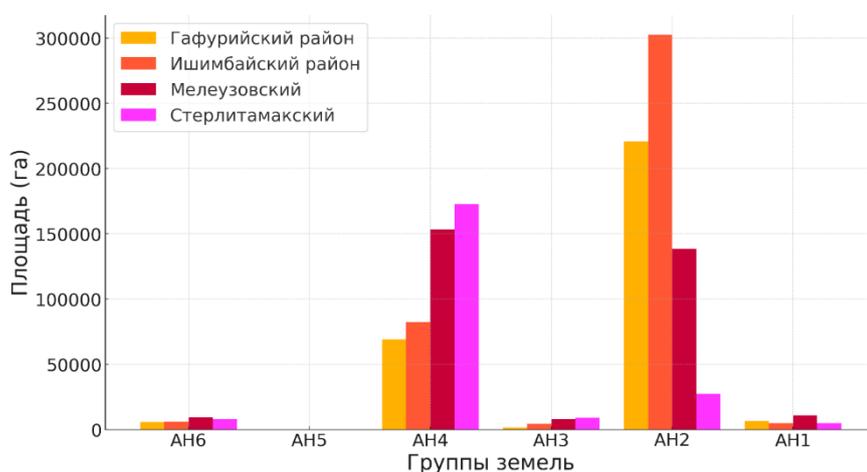


Рисунок 6 – Расчет уровня антропогенной нагрузки районов геопарка «Торатау»

Диаграмма отражает распределение площадей земель различных категорий антропогенной нагрузки в районах геопарка «Торатау». Наибольшую площадь занимают земли категории АН2 (сенокосы и леса с низкой нагрузкой), особенно в Ишимбайском районе (302,677 га) и Гафурийском районе (220,901 га). Земли с более высоким уровнем антропогенной нагрузки, такие как АН4 (пахотные земли и интенсивно используемые пастбища), также занимают значительную площадь, особенно в Мелеузовском и Стерлитамакском районах. Земли категории АН6 (промышленные и нарушенные территории) занимают минимальную площадь по сравнению с другими категориями, что говорит о преимущественно природном использовании территории. Эти данные подчеркивают разнообразие степеней антропогенной нагрузки и важность сохранения территорий с низкой нагрузкой для поддержания экологического баланса в геопарке.

Для анализа устойчивости ландшафтов под воздействием антропогенной нагрузки используется альтернативный, упрощенный подход. В рамках этого подхода шесть исходных категорий земель объединяются в три основные группы, что упрощает классификацию и делает ее более наглядной. Основные группы включают:

- земли с нагрузкой выше средней (промышленные и транспортные территории, нарушенные и орошаемые земли);
- земли с нагрузкой ниже средней (леса, водные объекты, земли запаса);
- земли со средней нагрузкой (пастбища, многолетние насаждения, сельские населенные территории).

Такой метод позволяет более обобщенно оценить антропогенную нагрузку на территории районов геопарка «Торатау», представленного на рисунке 7.

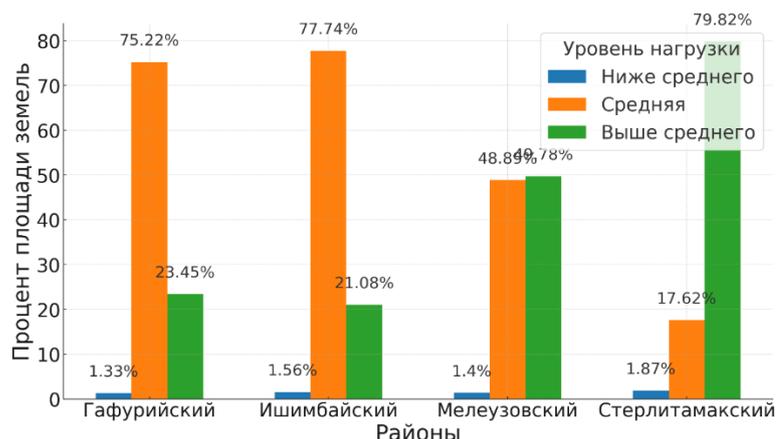


Рисунок 7 - Распределение земель по уровням антропогенной нагрузки в районах геопарка «Торатау»

Диаграмма отражает оценку антропогенной нагрузки на ландшафты различных районов геопарка «Торатау», охватывающего Гафурийский, Ишимбайский, Мелеузовский и Стерлитамакский районы. Трехуровневая классификация нагрузки — ниже среднего, средняя и выше среднего — позволяет определить степень воздействия человеческой деятельности на экосистемы и выявить влияние хозяйственной деятельности на экономику региона.

Результаты анализа показывают, что в Стерлитамакском районе преобладают земли с высокой антропогенной нагрузкой, охватывая 79.82% территории. Этот показатель свидетельствует о значительном промышленном и транспортном воздействии, что способствует экономическому развитию района за счет привлечения инвестиций, создания рабочих мест и развития инфраструктуры. Однако высокая нагрузка несет экологические риски, требующие дополнительных мер по охране окружающей среды и внедрению более экологически устойчивых технологий, чтобы избежать деградации природных ресурсов, которые играют ключевую роль в поддержании туризма и сельского хозяйства.

В Гафурийском и Ишимбайском районах основная часть земель относится к категории со средней нагрузкой (75.22% и 77.74% соответственно), что свидетельствует о более сбалансированном подходе к

использованию земельных ресурсов. Это распределение, вероятно, поддерживает экономическую стабильность благодаря сельскому хозяйству и туризму, не нанося при этом значительного ущерба природным ландшафтам. Поддержание этого баланса способствует устойчивому развитию экономики, сохраняя привлекательность региона для туристов и обеспечивая занятость местного населения.

Мелеузовский район демонстрирует примерно равное распределение земель с средней (48.89%) и высокой (49.78%) нагрузкой. Это может указывать на смешанное использование земельных ресурсов: здесь развиваются как интенсивное сельское хозяйство и промышленность, так и природоохранные зоны. Такое сочетание может способствовать диверсификации экономической активности, увеличению доходов от аграрного сектора и созданию рабочих мест. Однако важно обеспечить контроль за уровнем антропогенного воздействия, чтобы сохранить природные ресурсы, которые также поддерживают туристическую привлекательность района.

Результаты расчета коэффициентов напряженности для различных категорий земель представлены на рисунке 8, что позволяет наглядно увидеть степень антропогенного воздействия в районах геопарка «Торатау».

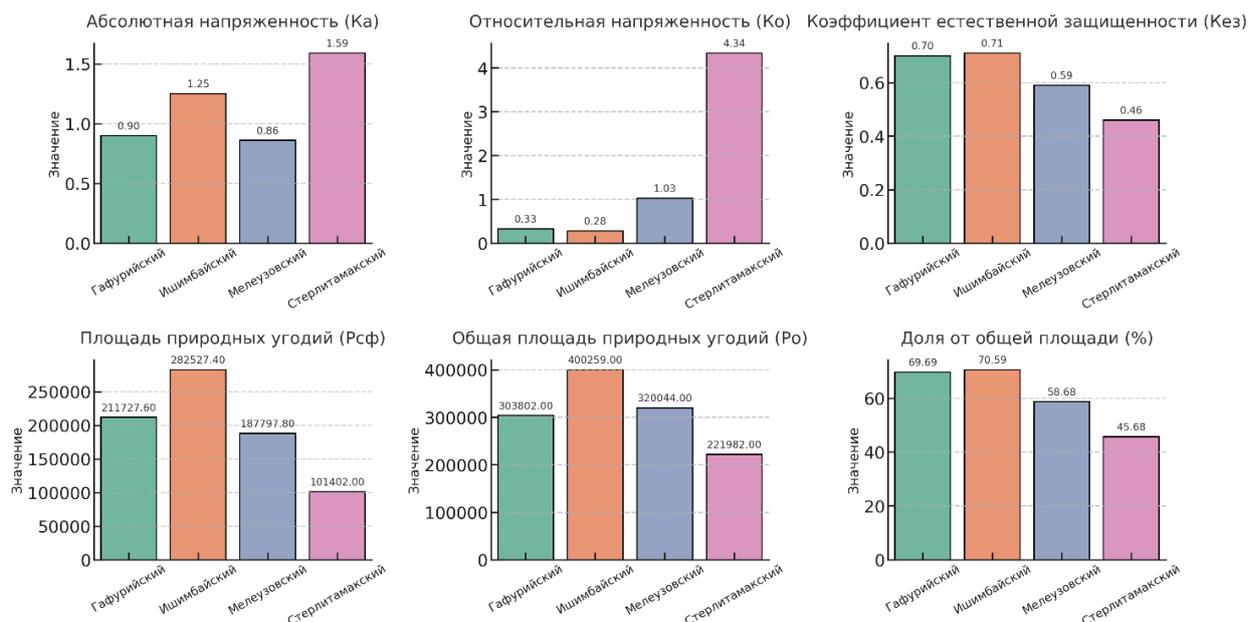


Рисунок 8 - Показатели эколого-хозяйственной напряженности для каждого района геопарка «Торатау»

Диаграмма демонстрирует сравнительный анализ ключевых коэффициентов эколого-хозяйственной напряженности для Гафурийского, Ишимбайского, Мелеузовского и Стерлитамакского районов геопарка «Торатау». Основные показатели включают коэффициенты абсолютной (Ka) и относительной (Ko) напряженности, коэффициент естественной защищенности территории (Kез), площади природных угодий (Pсф и Pо) и долю от общей площади.

Коэффициент абсолютной напряженности (Ka) показывает максимальное значение в Стерлитамакском районе (1.59), что свидетельствует о высоком уровне антропогенного воздействия на эту территорию. В других районах этот показатель находится на среднем уровне.

Коэффициент относительной напряженности (Ko) особенно высок в Стерлитамакском районе (4.34), указывая на значительную трансформацию ландшафта и интенсивное использование ресурсов. Для остальных районов значение этого коэффициента остается сравнительно низким.

Коэффициент естественной защищенности ($K_{ез}$) наивысший в Ишимбайском и Гафурийском районах (0.71 и 0.70 соответственно), что указывает на лучшие природные условия и относительную устойчивость ландшафта к антропогенному воздействию.

Площадь природных угодий ($P_{сф}$ и P_o) максимально представлена в Ишимбайском районе, что подчеркивает его значительные природные ресурсы и потенциал для поддержания биоразнообразия.

Доля от общей площади указывает на наибольшую устойчивость земель в Ишимбайском и Гафурийском районах (70.59% и 69.69%), тогда как Стерлитамакский район демонстрирует наименьший показатель (45.68%), что подчеркивает его высокую антропогенную нагрузку. Для более глубокого понимания взаимосвязей между различными показателями эколого-хозяйственной напряженности в районах геопарка «Торатау» был проведен корреляционный анализ. Диаграмма ниже представляет корреляционную матрицу, где каждый показатель сравнивается с другими, позволяя выявить как положительные, так и отрицательные связи между ними (рисунок 9). Высокие значения корреляции помогают понять, какие показатели оказывают взаимное влияние, а также указывают на потенциальные направления для дальнейших исследований в области управления природными ресурсами и устойчивого развития.

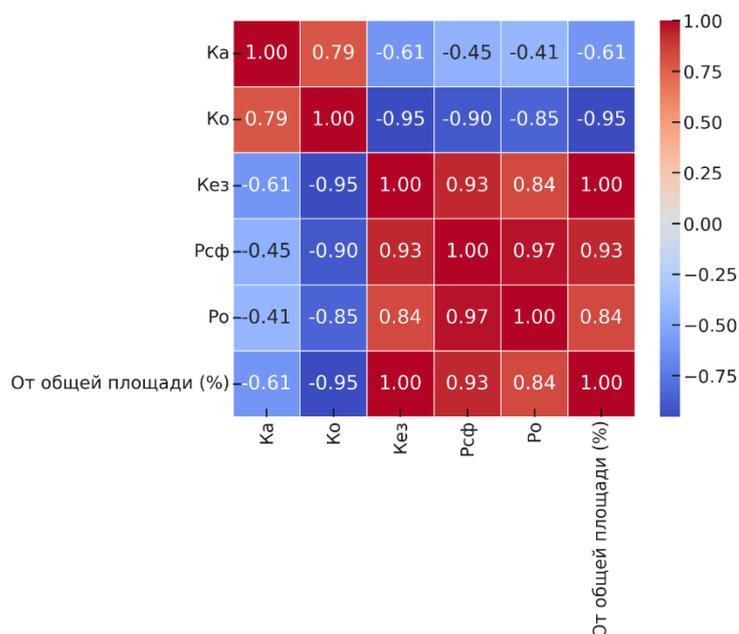


Рисунок 9 - Корреляционный анализ показателей эколого-хозяйственной напряженности для районов геопарка «Торатау»

Корреляционный анализ показателей эколого-хозяйственной напряженности для районов геопарка «Торатау» выявил следующие значимые взаимосвязи:

Сильная отрицательная корреляция между коэффициентом относительной напряженности (Ko) и коэффициентом естественной защищенности (Kез) (-0.95), что указывает на то, что в районах с высокой относительной напряженностью наблюдается низкая естественная защищенность.

Высокая положительная корреляция между площадью природных угодий (Рсф и Ро) и коэффициентом естественной защищенности (Kез) (0.93 и 0.84 соответственно). Это свидетельствует о том, что районы с более обширными природными угодьями имеют лучшую естественную защищенность.

Отрицательная корреляция между коэффициентами абсолютной напряженности (Ka) и естественной защищенности (Kез) (-0.61), указывающая на то, что в районах с высокой антропогенной нагрузкой естественная защищенность снижена.

Представленные данные подчеркивают необходимость усиленного экологического мониторинга и применения защитных мер в Стерлитамакском районе, где антропогенное воздействие наиболее значительное. Гафурийский и Ишимбайский районы обладают более сбалансированными показателями и требуют поддержания текущего уровня природоохранных мер для устойчивого развития.

Для дальнейшего анализа можно рассмотреть кластеризацию районов геопарка по их эколого-хозяйственным показателям, чтобы выявить группы с похожими характеристиками. Кластеризация позволит:

Определить районы с близкими уровнями напряженности и естественной устойчивости.

Разработать целевые рекомендации для каждой группы, выделяя приоритетные зоны для сохранения, мониторинга и улучшения.

Упростить анализ тенденций в управлении природными ресурсами.

Проведем кластерный анализ с использованием метода k-means для формирования групп районов по их эколого-хозяйственным характеристикам.

Результаты кластерного анализа показали, что районы геопарка «Торатау» можно разделить на два кластера:

Кластер 0: Включает Гафурийский, Ишимбайский и Мелеузовский районы. Эти районы характеризуются относительно низкими значениями коэффициента относительной напряженности (K_o) и высоким коэффициентом естественной защищенности ($K_{ез}$), а также значительными площадями природных угодий ($P_{сф}$ и P_o). Они имеют более высокую долю природных земель, что делает их менее уязвимыми к антропогенному воздействию.

Кластер 1: Включает Стерлитамакский район, который выделяется высоким значением коэффициента относительной напряженности ($K_o = 4.34$) и низким уровнем естественной защищенности ($K_{ез} = 0.46$). Доля

природных земель в этом районе также существенно ниже (45.68%), что указывает на значительное антропогенное воздействие и высокую нагрузку на экосистему. Эти данные позволяют предположить, что Кластер 0 может потребовать менее интенсивного экологического мониторинга, так как его районы обладают лучшей естественной устойчивостью. В то же время, районы из Кластера 1, особенно Стерлитамакский, нуждаются в дополнительных мерах по защите и восстановлению природных ресурсов для улучшения их экологического состояния.

Так же провели анализ главных компонент (РСА), которые могут снизить размерность данных и выявить наиболее значимые показатели. Этот метод позволяет оценить, какие из эколого-хозяйственных показателей вносят наибольший вклад в различия между районами.

РСА поможет:

- Определить, какие коэффициенты имеют наибольшее влияние на эколого-хозяйственную напряженность.
- Визуализировать данные в 2D-пространстве для более ясного представления различий между районами.
- Выявить тенденции и потенциальные закономерности, что может быть полезно для дальнейшего анализа и принятия решений.

На рисунке 10 представлена анализ главных компонент (РСА).

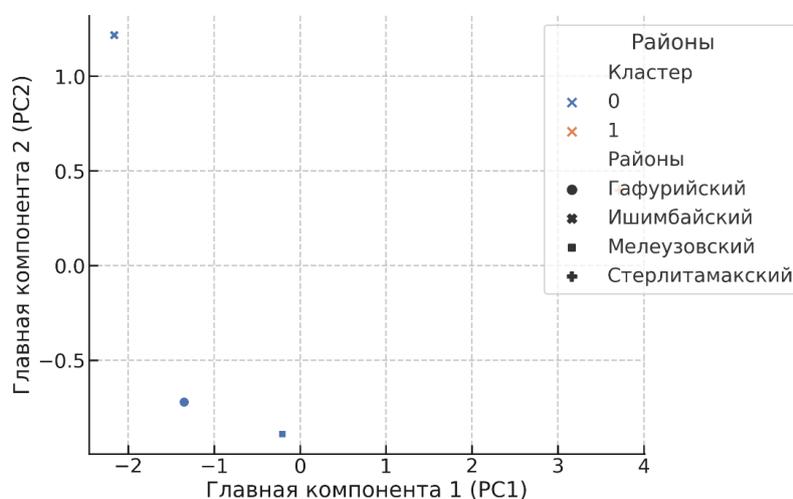


Рисунок 12 - Анализ главных компонент (РСА)

Анализ главных компонент (РСА) показывает, что:

Первая главная компонента (PC1) объясняет 84.6% дисперсии данных, что указывает на то, что большинство различий между районами связано с показателями, на которые влияет PC1. Это может включать такие параметры, как коэффициенты напряженности и площади природных угодий.

Вторая главная компонента (PC2) объясняет 12.3% дисперсии, добавляя информацию о дополнительных различиях между районами, но в значительно меньшей степени.

График визуализирует распределение районов в пространстве главных компонент, разделяя их на два кластера. Гафурийский, Ишимбайский и Мелеузовский районы расположены близко друг к другу, подтверждая схожие характеристики, тогда как Стерлитамакский район отделяется, что указывает на его уникальные показатели антропогенной нагрузки.

Выводы

В ходе анализа эколого-хозяйственных показателей районов geopарка «Торатау» удалось выявить значимые зависимости между степенью антропогенной нагрузки и природной устойчивостью ландшафтов.

Стерлитамакский район характеризуется высоким коэффициентом относительной напряженности ($K_o = 4.34$) и низким коэффициентом естественной защищенности ($K_{ез} = 0.46$), что свидетельствует о высокой антропогенной нагрузке и сниженной устойчивости. В отличие от него, Ишимбайский и Гафурийский районы имеют более низкие значения относительной напряженности ($K_o = 0.28$ и 0.33 соответственно) и более высокую естественную защищенность ($K_{ез} = 0.71$ и 0.70), что указывает на лучшее экологическое состояние этих территорий.

Площадь природных угодий в Ишимбайском районе составляет 282,527.4 га, а в Гафурийском — 211,727.6 га, что составляет 70.59% и 69.69% от общей площади соответственно. Эти показатели подтверждают, что природные угодья играют важную роль в поддержании устойчивости экосистемы. В Стерлитамакском районе, напротив, площадь природных угодий составляет всего 101,402.0 га или 45.68% от общей площади, что подчеркивает повышенное антропогенное воздействие на данный район.

Коэффициент абсолютной напряженности (K_a) также варьируется между районами: Стерлитамакский район имеет наивысшее значение ($K_a = 1.59$), тогда как в Гафурийском и Мелеузовском районах этот показатель ниже ($K_a = 0.90$ и 0.86 соответственно). Эти данные свидетельствуют о значительных различиях в уровне воздействия человеческой деятельности на экосистемы.

На основе кластерного анализа районы были разделены на группы с близкими характеристиками. Гафурийский, Ишимбайский и Мелеузовский районы объединены в один кластер, где наблюдается умеренное антропогенное воздействие, в то время как Стерлитамакский район выделяется как зона с повышенной нагрузкой. Это подчеркивает необходимость приоритетных мер по защите экосистем Стерлитамакского района.

Полученные результаты подчеркивают значимость комплексного подхода к управлению природными ресурсами в геопарке «Торатау». Выявленные зависимости, такие как высокая относительная напряженность ($K_o = 4.34$) и низкая естественная защищенность ($K_{ez} = 0.46$) в Стерлитамакском районе, служат основой для принятия управленческих решений, направленных на снижение нагрузки на экосистемы. Рекомендации включают поддержание природных угодий, особенно в районах с высокой нагрузкой, и использование данных коэффициентов для мониторинга изменений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ардисламов, Ф. Р. Геопарк Торатау объект эффективного взаимодействия с обществом и рационального использования памятников природы / Ф. Р. Ардисламов, Н. А. Лукашина, Е. А. Третьякова // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий. – 2019. – № 7. – С. 206-208. – EDN OSTZTW.

2. Капков, С. А. Механизмы достижения целей устойчивого развития в геопарке "Торатау" / С. А. Капков, Н. А. Лукашина, Е. А. Третьякова // Геологический вестник. – 2019. – № 3. – С. 12-17. – DOI 10.31084/2619-0087/2019-3-2. – EDN THHPNA.

3. Ишбулатов, М. Г. Предварительные итоги корректировки почвенных карт земель сельскохозяйственного назначения РБ / М. Г. Ишбулатов, Р. А. Миндибаев, И. Р. Мифтахов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2020. – № 4(56). – С. 40-47. – DOI 10.31563/1684-7628-2020-56-4-40-47. – EDN OQHXSJF.

4. Предварительные результаты корректировки почвенных карт земель сельскохозяйственного назначения Республики Башкортостан / М. Г. Ишбулатов, Р. А. Миндибаев, И. Р. Мифтахов, А. Г. Байков // Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса : сборник материалов Международной научно-практической конференции посвященной памяти академика РАН В.П. Зволинского и 30-летию создания ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», Солёное Займище, 10–12 августа 2021 года / Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук. – Солёное Займище: Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН, 2021. – С. 626-632. – EDN JYVOUY.

5. Тимошенко К. Н. Модель минимизации расходов потребителей услуг как финансовое обоснование выгоды (невыгоды) аутсорсинговых отношений //Новая экономика, бизнес и общество: материалы Апрельской научно-практической конференции молодых учёных, Владивосток, 11 апреля–19 мая 2022 г./Дальневосточный федеральный университет, Школа экономики и менеджмента; отв. ред. – 2022. – С. 751.

6. Абильдинов, К. К. геоэкологическая оценка антропогенного воздействия на ландшафты Бурабайского района / К. К. Абильдинов // Global Challenges – Scientific Solutions III, Nitra, 02 марта 2021 года / Proceedings conference. – Nitra, Slovakia: ИП "Евразийский центр инновационного развития DARA", 2021. – С. 265-276. – EDN UTLBRQ.

7. Байкалова, Т. В. Оценка эколого-хозяйственного состояния земель сельскохозяйственного назначения приграничных территорий Алтайского края / Т. В. Байкалова // Аграрная наука - сельскому хозяйству : Сборник материалов XV Международной научно-практической конференции. В 2-х книгах, Барнаул, 12–13 марта 2020 года. Том Книга 1. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2020. – С. 349-353. – EDN CJHNF.

8. Япарова, А. Э. современное состояние флоры шихана Тратау / А. Э. Япарова // Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология-2020) : Материалы XVI Международной научно-технической конференции, посвященной 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. В 2-х томах, Уфа, 22 апреля 2020 года. Том 2. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2020. – С. 379-385. – EDN DDOWKO.

9. Злотникова Т. В. Международный и региональный опыт развития геопарков как правовая основа изменения экологического законодательства //Правовое государство: теория и практика. – 2021. – №. 4 (66). – С. 28-46.

10. Ковалева, Е. И. Основы восстановления нарушенных земель : Учебное пособие / Е. И. Ковалева. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью

"Издательство ГЕОС", 2023. – 140 с. – ISBN 978-5-89118-874-7. – DOI 10.34756/GEOS.2023.17.38668. – EDN NDAPSO.

11. Синдирева, А. В. Эколого-правовые основы и геоэко-логические принципы организации природопользования / А. В. Синдирева, Ю. В. Петров. – Омск : Общество с ограниченной ответственностью «Издательский центр КАН», 2021. – 116 с. – ISBN 978-5-907156-89-0. – EDN AVXKEB.

12. САЗЫКИНА М. Ю. и др. Промышленный туризм как перспективное направление развития регионального туризма в Республике Башкортостан // Башкирская академия государственной службы и управления при Главе Республики Башкортостан Башкирский государственный университет Уфимский государственный нефтяной технический университет. – 2020. – С. 56.

13. Соколов, Ю. В. Оценка научно-прикладной значимости карстовых пещер геопарка "Торатау" (принципы и методы определения ценности) / Ю. В. Соколов, А. И. Смирнов // Геологический вестник. – 2020. – № 1. – С. 133-155. – DOI 10.31084/2619-0087/2020-1-9. – EDN HKFLPX.

LITERATURA

1. Ardislamov, F. R. Geopark Toratau ob`ekt e`ffektivnogo vzaimodejstviya s obshhestvom i racional`nogo ispol`zovaniya pamyatnikov prirody` / F. R. Ardislamov, N. A. Lukashina, E. A. Tret`yakova // Geologiya, geoe`kologiya i resursny`j potencial Urala i sopredel`ny`x territorij. – 2019. – № 7. – S. 206-208. – EDN OSTZTW.

2. Kapkov, S. A. Mexanizmy` dostizheniya celej ustojchivogo razvitiya v geoparke "Toratau" / S. A. Kapkov, N. A. Lukashina, E. A. Tret`yakova // Geologicheskij vestnik. – 2019. – № 3. – S. 12-17. – DOI 10.31084/2619-0087/2019-3-2. – EDN THHPNA.

3. Ishbulatov, M. G. Predvaritel`ny`e itogi korrektyrovki pochvenny`x kart zemel` sel`skoxozyajstvennogo naznacheniya RB / M. G. Ishbulatov, R. A. Mindibaev, I. R. Miftaxov // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. – № 4(56). – S. 40-47. – DOI 10.31563/1684-7628-2020-56-4-40-47. – EDN OQHXS F.

4. Predvaritel`ny`e rezul`taty` korrektyrovki pochvenny`x kart zemel` sel`skoxozyajstvennogo naznacheniya Respubliki Bashkortostan / M. G. Ishbulatov, R. A. Mindibaev, I. R. Miftaxov, A. G. Bajkov // Nauchnoe obespechenie ustojchivogo razvitiya agropromy`shlennogo kompleksa : sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii posvyashhennoj pamyati akademika RAN V.P. Zvolinskogo i 30-letiyu sozdaniya FGBNU «PAFNCz RAN», Solenoe Zajmishhe, 10–12 avgusta 2021 goda / Prikaspijskij agrarny`j federal`ny`j nauchny`j centr Rossijskoj akademii nauk. – Solenoe Zajmishhe: Prikaspijskij agrarny`j federal`ny`j nauchny`j centr RAN, 2021. – S. 626-632. – EDN JYVOUY.

5. Timoshenko K. N. Model` minimizacii rasxodov potrebitelej uslug kak finansovoe obosnovanie vy`godnosti (nev`godnosti) autsorsingovy`x otnoshenij // Novaya e`konomika, biznes i obshhestvo: materialy` Aprel`skoj nauchno-prakticheskoy konferencii molody`x uchyony`x, Vladivostok, 11 aprelya–19 maya 2022 g./Dal`nevostochny`j federal`ny`j universitet, Shkola e`konomiki i menedzhmenta; otv. red. – 2022. – S. 751.

6. Abil`dinov, K. K. geoe`kologicheskaya ocenka antropogennogo vozdejstviya na landshafty` Burabajskogo rajona / K. K. Abil`dinov // Global Challenges – Scientific Solutions III, Nitra, 02 marta 2021 goda / Proceedings conference. – Nitra, Slovakia: IP "Evrazijskij centr innovacionnogo razvitiya DARA", 2021. – S. 265-276. – EDN UTLBRQ.

7. Bajkalova, T. V. Ocenka e`kologo-xozyajstvennogo sostoyaniya zemel` sel`skoxozyajstvennogo naznacheniya prigranichny`x territorij Altajskogo kraja / T. V. Bajkalova // Agrarnaya nauka - sel`skomu xozyajstvu : Sbornik materialov XV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. V 2-x knigax, Barnaul, 12–13 marta

2020 goda. Tom Kniga 1. – Barnaul: Altajskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2020. – S. 349-353. – EDN CJHHNF.

8. Yaparova, A. E`. sovremennoe sostoyanie flory` shixana Tratau / A. E`. Yaparova // Nauka, obrazovanie, proizvodstvo v reshenii e`kologicheskix problem (E`kologiya-2020) : Materialy` XVI Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii, posvyashhennoj 75-letiyu Pobedy` v Velikoj Otechestvennoj vojne. V 2-x tomax, Ufa, 22 aprelya 2020 goda. Tom 2. – Ufa: Ufimskij gosudarstvennyj aviacionnyj texnicheskij universitet, 2020. – S. 379-385. – EDN DDOWKO.

9. Zlotnikova T. V. Mezhdunarodnyj i regionalnyj opyt` razvitiya geoparkov kak pravovaya osnova izmeneniya e`kologicheskogo zakonodatel'stva //Pravovoe gosudarstvo: teoriya i praktika. – 2021. – №. 4 (66). – S. 28-46.

10. Kovaleva, E. I. Osnovy` vosstanovleniya narushennyx zemel` : Uchebnoe posobie / E. I. Kovaleva. – Moskva : Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost`yu "Izdatel'stvo GEOS", 2023. – 140 s. – ISBN 978-5-89118-874-7. – DOI 10.34756/GEOS.2023.17.38668. – EDN NDAPSO.

11. Sindireva, A. V. E`kologo-pravovy`e osnovy` i geoe`kologicheskie principy` organizacii prirodopol`zovaniya / A. V. Sindireva, Yu. V. Petrov. – Omsk : Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost`yu «Izdatel'skij centr KAN», 2021. – 116 s. – ISBN 978-5-907156-89-0. – EDN AVXKEB.

12. SAZY`KINA M. Yu. i dr. Promy`shlennyj turizm kak perspektivnoe napravlenie razvitiya regional'nogo turizma v Respublike Bashkortostan //Bashkirskaya akademiya gosudarstvennoj sluzhby` i upravleniya pri Glave Respubliki Bashkortostan Bashkirskij gosudarstvennyj universitet Ufimskij gosudarstvennyj neftyanoy texnicheskij universitet. – 2020. – S. 56.

13. Sokolov, Yu. V. Ocenka nauchno-prikladnoj znachimosti karstovy`x peshher geoparka "Toratau" (principy` i metody` opredeleniya cennosti) / Yu. V. Sokolov, A. I. Smirnov // Geologicheskij vestnik. – 2020. – № 1. – S. 133-155. – DOI 10.31084/2619-0087/2020-1-9. – EDN HKFLPX.