

А.Н. Заканова^{1*} , Н.Т. Ержанов¹ , Ю.Н. Литвинов² 

¹Торайгыров университет, Казахстан, г. Павлодар

²Институт систематики и экологии животных, Россия, г. Новосибирск

*e-mail: assel.biology@gmail.com

ВИДОВОЙ СОСТАВ И ХАРАКТЕРИСТИКА ФАУНЫ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА С РАЗЛИЧНОЙ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Млекопитающие распространены повсеместно на территории Павлодарской области. В статье представлены данные о видовом, половом и возрастном составе фауны мелких млекопитающих северо-восточного региона Казахстана на различном удалении от крупнейших заводов. Целью работы являлась регистрация изменений в сообществах микромаммалий по мере приближения к источникам эмиссий.

Сбор объектов осуществлялся при помощи капканов – давилок типа Геро и ловчих канавок по методу Новикова Г.А. с применением стационарных учетных линий и трансект. Отмечено 15 видов животных на всех участках. Отряд *Rodentia* насчитывает 11 видов, представителей отряда *Eulipotyphla* обнаружено 4 вида. Наблюдается уменьшение видового разнообразия мелких млекопитающих по мере приближения к заводам. Общее обилие на техногенных участках ниже контрольного в 2 раза, доминируют виды *Microtus gregalis* и *Sicista subtilis*. Это может свидетельствовать о высоких адаптивных качествах и экологической гибкости доминирующих видов. На контрольном участке часто встречалась обыкновенная бурозубка, малая бурозубка и тундрная бурозубка. По мере приближения к заводам увеличивалась доля самцов в сообществах, особенно у видов доминантов (степная мышовка и узкочерепная полевка), наблюдалось доминирование молодых особей (64%) над взрослыми (22%) и перезимовавшими (13%) организмами.

Проблема загрязнения атмосферного воздуха в городе Павлодаре является одной из наиболее актуальных. Полученные данные о влиянии промышленных атмосферных загрязнителей на отдельные группы микромаммалий могут служить основой для проектирования антропогенных объектов на северо-востоке республики.

Ключевые слова: мелкие млекопитающие, антропогенное загрязнение, видовой состав.

A.N. Zakanova^{1*}, N.T. Erzhanov¹, Y.N. Litvinov²

¹Toraigyrov University, Kazakhstan, Pavlodar

²Institute of Systematics and Ecology of Animals, Russia, Novosibirsk

*e-mail: assel.biology@gmail.com

Diversity and characteristics of small mammals in the north-east Kazakhstan with various anthropogenic pollution

Mammals are widespread throughout the Pavlodar region. There are data about the species, sex and age composition of the north-eastern region small mammals depends on various distances from the largest factories. The aim was register changes in the micromammalia communities as it get closer to the emission source.

The objects collection was carried out with Gero traps – crushers and trap grooves according to Novikov method. Stationary accounting lines and transects was used. 15 species of animals were observed in all areas. The order *Rodentia* has 11 species, the order *Eulipotyphla* has 4 species. There is a decrease in the species diversity of small mammals as its approach the factories. The total abundance in technogenic areas is 2 times lower than the control, *Microtus gregalis* and *Sicista subtilis* species dominate. This may indicate the high adaptive qualities and ecological flexibility of the dominant species. There are many *Sorex Minitus*, *Sorex araneus*, *Sorex tundrensis* in the control area. Proportion of males increased especially in dominant species (*Sicista subtilis*, *Mictotus gregalis*) in the nearest area to the plants. There is the dominance of young animals (64%) in the anthropogenic zone.

The air pollution problem is one of the most urgent in the Pavlodar city. The data of the industrial pollutants impact on individual groups of micromammals can serve as a basis for designing anthropogenic facilities.

Key words: small mammals, anthropogenic pollution, species composition.

А.Н. Заканова^{1*}, Н.Т. Ержанов¹, Ю.Н. Литвинов²

¹Торайғыров университеті, Қазақстан, Павлодар қ.

²Жануарлардың систематикасы және экологиясы институты, Ресей, Новосибирск қ.

*e-mail: assel.biology@gmail.com

Қазақстанның солтүстік-шығыс аудандарының әртүрлі техногендік жүктемесімен ұсақ сүтқоректілері фаунасының түрлік құрамы мен сипаттамасы

Сүтқоректілер Павлодар облысының барлық аумақтарында таралған. Мақалада Қазақстанның солтүстік-шығыс аймағында орналасқан ірі зауыттардан әр түрлі қашықтықтағы ұсақ сүтқоректілері фаунасының түрлік, жыныстық және жас құрамы туралы мәліметтер келтірілген. Жұмыстың мақсаты эмиссия көздеріне жақындаған сайын микромаммалий қауымдастықтарындағы өзгерістерді тіркеу болды.

Объектілерді жинау Г.А. Новиков әдісі бойынша Геро типті қақпан – қысқыштардың және тосқауыл жырашықтардың көмегімен стационарлық есепке алу желілері мен трансектіні қолдану арқылы жүзеге асырылды. Барлық учаскелерде жануарлардың 15 түрі байқалды. *Rodentia* отрядының 11 түрі бар, *Eulipotyphla* отрядының өкілдері 4 түрді тапты. Зауыттарға жақындаған сайын ұсақ сүтқоректілер түрлерінің азаюы байқалады. Техногендік учаскелердегі жалпы молшылық бақылау деңгейінен 2 есе төмен, *Microtus gregalis* және *Sicista subtilis* түрлері басым. Бұл басым түрлердің жоғары бейімделу қасиеттері мен экологиялық икемділігін көрсетуі мүмкін. Бақылау аймағында қарапайым бұрғылау, кіші бұрғылау және тундралық бұрғылау жиі кездесетін. Зауыттарға жақындаған сайын қауымдастықтардағы еркектердің үлесі артты, әсіресе доминант түрлерінде (дала тышқаны және сүйек қуысы тар кеміргіш), жас дарақтардың (64%) ересектер (22%) мен қыстайтын (13%) организмдерге қарағанда үстемдігі байқалды.

Павлодар қаласындағы атмосфералық ауаның ластану проблемасы ең өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Өнеркәсіптік атмосфералық ластағыштардың микромаммалиялардың жекелеген топтарына әсері туралы алынған деректер республиканың солтүстік-шығысындағы антропогендік объектілерді жобалау үшін негіз бола алады.

Түйін сөздер: ұсақ сүтқоректілер, антропогендік ластану, түр құрамы.

Сокращения и обозначения

ПАЗ – Павлодарский Алюминиевый завод; КЭЗ – Казахстанский Электролизный завод; и.д. – индекс доминирования; D – индекс разнообразия Симпсона; E – индекс выравненности Симпсона; H – индекс разнообразия Шеннона; J – индекс выравненности Шеннона

Введение

Атмосферные загрязнения могут стать причиной изменения качества воздуха и вести как к самым очевидным последствиям, такие как смог, так и до незаметных на первый взгляд, например, повышение температуры в городах, изменения в выпадении осадков в регионе [1]. Согласно Гроза М.М., Ермиенко А.В., в Павлодарской области выбрасываются в атмосферных воздух окись углерода, азота, хлора, токсические вещества, содержащиеся в автомобильных выхлопах, пыль [2]. В последнее время наблюдается преобразование растительных сообществ вследствие антропогенной активности [3], и как результат, на участках вблизи заводов присутствует эрозия и деструктуризация почвенного покрова [4].

Микромаммалии играют значимую роль в трофических уровнях и поддержании экосистем. Количественные показатели мелких млекопитающих могут использоваться в экологических исследованиях, в частности для определения уровня антропогенной нагрузки на территории [5]. Герц с коллегами в прошлом столетии пришел к выводу, что не все мелкие млекопитающие одинаково реагируют на увеличение токсических веществ в атмосфере. Это свидетельствует о влиянии разного типа питания и экологии на степень проявления признаков накопления поллютантов [6]. У млекопитающих в рационе питания, которых преимущественно зеленые надземные части растений (например, полевки рода *Microtus*) проявляются более сильные признаки влияния аэрогенных выбросов промышленности, чем у типичных зерноядных видов (например, лесные мыши) [7].

В Павлодарской области и Северном Казахстане в целом, распространены зверьки, ведущие наземный образ жизни, например *Microtus gregalis*, *Sicista subtilis*, *Phodopus sungorus* [8]. Понижение или увеличение численности тех или иных видов обычно свидетельствуют о влиянии биотических, абиотических или антропо-

генных факторах на ареалы мелких млекопитающих [9]. Если биотические или абиотические элементы достаточно хорошо изучены на Северо-Востоке Казахстана [10, 11], то влияние постоянно расширяющихся антропогенных источников загрязнения следует изучить и дать оценку фактору. На Северо-Востоке Казахстана находится большое количество промышленных гигантов, осуществляющих производство и добычу горючего топлива, металлов, электроэнергии. Такие как АО «Алюминий Казахстана», ТОО «Павлодарский нефтехимический завод», ПФ ТОО «Кастинг», АО «Павлодарэнерго», АО «Казахстанский электролизный завод», ПФ ТОО «KSP Steel» и другие производства. Согласно данным Управления предпринимательства и индустриально-инновационного развития Павлодарской области 62,6% промышленности региона составляет обрабатывающая, 23,4% горнодобывающая, 13,3% электроснабжение, менее 1% приходится на водоснабжение. Доля всей промышленности составляет более 7% от всего производства страны.

Исследуемые биогеоценозы являются открытыми системами, постоянно взаимодействующие с окружающей средой путем обмена энергией, органического и неорганического вещества [12], поэтому для описания функционирования экологических систем Северо-Востока Казахстана мы прибегли к методам системной экологии. Осуществлялся системный анализ, на основании которого производилась обработка первичных полевых данных, полученных с осени 2020 года по осень 2021 год. В рамках применения данного метода осуществлялись изучение территории, определение ее компонентов и взаимосвязей между организмами, поиск информации о функционировании экологической системы, анализ полученной информации, выведение закономерностей, оценка результатов анализа. Перечисленные действия позволили оценить функционирование экологических систем.

Таким образом, характеристика мелких млекопитающих, проживающих на разной удаленности от источника антропогенного загрязнения северо-востока Казахстана (на примере Павлодарской области) при помощи количественных показателей видового состава, стала главным вопросом нашего исследования.

Материалы и методы

Сбор информации для исследования начинался со сбора объектов в природе: на исследуемых территориях завода №1 (Павлодарский

Алюминиевый завод – ПАЗ) и №2 (Казахстанский Электролизный завод – КЭЗ), находящихся вблизи города Павлодара и на контрольном участке, где антропогенное воздействие на экосистему значительно меньшей степени, чем на территориях, под воздействием негативных факторов. Контрольный участок располагался возле села имени Мамаита Омарова, Павлодарской области, расположенным на 51°55'11" северной широты и 77°03'27" восточной долготы.

С целью комплексного анализа исследуемой территории, рассмотрено растительное сообщество в радиусе 30 км от города Павлодара, составлен список доминирующих видов. Почвы в окраинах города подвержены антропогенной нагрузке: многолетней распашки темнокаштановых почв, наличием рядом крупных автомагистралей и различных производств [13]. Многие земли сейчас выведены из севооборота и наблюдаются постепенный процесс сукцессии и фитоценозы находятся на различных этапах восстановления.

Согласно Мухачевой С.В., Давыдовой Ю.А. (2017), участки для исследования были поделены на импактную, буферную, фоновую согласно Таблице 1 [14]. Полученные данные сравнивались с данными контрольного участка.

Таблица 1 – Расположение учетных линий

Территория	Расположение
Импактная зона	0,5 – 3 км от источника техногенной нагрузки
Буферная зона	3-5 км от источника техногенной нагрузки
Фоновая зона	20-25 км от источника техногенной нагрузки
Контрольная зона	100 км от источника техногенной нагрузки

Сбор объектов осуществлялся при помощи капканов – давилок типа Геро и ловчих канавок по методу Новикова Г.А. с применением стационарных учетных линий и трансект [15]. На техногенных и контрольном участках выставлялись по две учетных линий с давилками и выкапывались по две ловчие канавки с цилиндрами. Таким образом, в техногенной зоне располагались 6 учетных линий с давилками и 6 ловчих канавок. На контрольном участке располагались 2

учетные линии с применением давилок и 2 ловчие канавки с использованием конусов.

Первичный полевой этап исследования проводился в весенне-летнее время. В теплое время наблюдается пик активности и генеративного периода микромаммалий, проживающих на изучаемой территории. Сбор проводился на протяжении 4 месяцев в 2021 году. Отлавливание животных производилось на протяжении 10 суток 1 раз в месяц с мая по сентябрь. Контроль ловушек выполнялся в первой половине суток (чем жарче, тем раньше) для предотвращения разложения организма, съедение хищниками или падальщиками. После первичного полевого этапа исследования, осуществлялась статистическая обработка материала. Проведены предварительные расчеты и определены закономерности в количественных характеристиках биоразнообразия мелких млекопитающих окраин города Павлодара.

Используя совокупности случайных наблюдений, рассчитывалась генеральная совокупность относительно модальностей: видовых, половых и возрастных признаков. В зависимости от местоположения изучаемого участка, выборки были малая ($n < 30$) либо большая ($n < 100$). Таким образом, мы можем наблюдать выборочный метод исследования. Рассматривались состояния характеристик номинальных данных в процентном соотношении. Например, частота встречаемости определенного вида.

Расчет и анализ различных индексов разнообразия позволяет детерминировать происходящие изменения в биоценозах под действием антропогенных и абиотических факторов [16]. Индексы доминирования и выровненности предоставляют информацию об общих и различных признаках сообществ, являются достоверными индикаторами различий между территориями или выборками, которые не заметны на первый взгляд [17].

Использовались следующие формулы [18]:

$$D = \frac{1}{\sum P^2 i} \quad (1)$$

$$E = \frac{D}{S} \quad (2)$$

$$H = \sum P_i \ln P_i \quad (3)$$

$$J = \frac{H}{\ln S} \quad (4)$$

где:

D – индекс разнообразия или доминирования Симпсона;

E – индекс выровненности Симпсона;

H – индекс разнообразия Шеннона;

J – индекс выровненности Шеннона;

S – видовое богатство;

P_i – доля i-ого вида в суммарной численности.

Кроме числового значения выборок животных, рассматривались, в зависимости от качественных признаков: внешнее состояние организма, возрастные и половые характеристики животных.

Результаты и обсуждение

Учеными хорошо описано влияние катастрофических факторов на популяции териофауны [19], но слабые постоянные воздействия антропогенных эмиссий практически не исследованы, хотя с теоретической и практической точки зрения и не менее ценны. Анализ количественных и качественных данных выборок в совокупности предоставляет данные для экологического и популяционного мониторинга. Согласно Одуму [20] биоразнообразие организмов, в том числе мелких млекопитающих, дает информацию о благополучии экосистемы. При воздействии антропогенных, биотических или абиотических факторов на сообщества происходит перестройка видовой структуры [21].

Павлодарская область, где проводилось исследование, располагается на Северо-Востоке страны на берегу одной из самых крупных водных артерий региона – реки Иртыш. Характеризуется в основном холодной, снежной и ветреной зимой, продолжительностью до 7-8 месяцев. Самая низкая температурная точка отмечается в январе. Среднесуточная температура -13-19 °С. Самый пик низких погодных условий фиксировался на -48 °С. Теплое время года обычно менее продолжительно, чем зимнее, с самым жарким месяцем июлем. Лето характеризуется жаркими и засушливыми днями. Среднесуточная температура варьируется в районе отметки +20 °С. Относительная влажность воздуха равна 70-75% [22].

С географической точки, область большую свою часть (преимущественно Северо-Восточную) располагается на самом большом равнинном участке планеты: Западно-Сибирской. Самые высокие точки доходят до 100-150 метров

над уровнем моря. Казахстанский мелкосопочник образует юго-западную часть, поднимающийся над уровнем моря от 200 до 350 метров, образуя небольшую горно-лесную территорию. Имеются водные резервуары, представленные озерными котлованами, небольшими холмами и гривами. На территории области протекает крупная река Иртыш, имеются большое количество соленых озер и до сотни пресных, расположенные преимущественно в пойме реки [23].

Промышленность региона сосредоточена в трех городах: Павлодар, Экибастуз и Аксу. В совокупности основными отраслями являются горнодобывающая, нефтеперерабатывающая, химическая, черная и цветная металлургия [24]. На предприятия Экибастуза приходится до 46% всех выбросов региона, предприятия Аксу и Павлодара по 25-26% [25]. Список крупных предприятий области расположен в Таблице 2.

Таблица 2 – Крупные предприятия, расположенные на территории Северо-Восточного Казахстана (Павлодарская область)

Завод	Месторасположение	Объем производства	Год ввода в эксплуатацию	Основная деятельность
Павлодарский алюминиевый завод	Павлодар	1,4 млн тонн глинозёма в год	1964	Выпуск глинозема, электроэнергии
Казахстанский электролизный завод	Павлодар	250 тыс. тонн алюминиевого литья в год	2007	Производство алюминия необработанного
Павлодарский нефтехимический завод	Павлодар	5,1 млн. тонн нефти в год	1978	Производство нефтепродуктов, добыча минерального сырья
Павлодарская ТЭЦ-3	Павлодар	555 МВт	1972	Выработка тепловой и электрической энергии
KSP Steel	Павлодар	-	2007	Производство бесшовных труб и стали
Кастинг (Сталелитейный завод)	Павлодар	345 тыс. в год	1994	Выпуск стали
Угольный разрез Богатырь	Экибастуз	50 млн тонн угля в год	1965	Добыча угля
Угольный разрез Восточный	Экибастуз	30 млн тонн угля в год	1985	Добыча угля
Проммашкомплект	Экибастуз	300 000 штук ж/д колес в год	2018	Выпуск железнодорожных колес
Экибастузская ГРЭС-1	Экибастуз	3500 МВт	1980	Выработка электроэнергии
Экибастузская ГРЭС-2	Экибастуз	1000 МВт	1990	Выработка электроэнергии
Экибастузская ТЭЦ	Экибастуз	12 МВт	1956	Выработка тепловой и электрической энергии
Аксуский завод ферросплавов	Аксу	-	1968	Производство ферросплавов

В совокупности в Северо-Восточном регионе Казахстана действует около 1000 промышленных производств [25]. Из них более 70% объема производимой продукции принадлежит предприятиям, представленным в Таблице 2.

На расстоянии 30 км от города Павлодара наблюдается преобладание дикорастущих растений. В районах с пионерными растительными сообществами наблюдаются сорные одно- и двулетние виды: лебеда стреловидная (*Atriplex*

sagittata), марь белая (*Chenopodium album*), щирица запрокинутая (*Amaranthus retroflexus*), дурнишник обыкновенный (*Xanthium strumarium*), бассия веничная (*Kochia scoparia*), Пастушья сумка обыкновенная (*Capsella bursa-pastoris*), икотник серый (*Berteroa incana*). На участках, находящихся на следующей стадии восстановления фитоценоза (от 4 до 6 лет) доминируют типично степные виды: полынь австрийская (*Artemisia austriaca*), полынь горькая (*Artemisia*

absinthium), ковыль – волосатик (*Stipa capillata*), ковыль Лессинга (*Stipa lessingiana*), овсяница валлийская или типчак (*Festuca valesiaca*). По данным Дударь Ю.А. срок восстановления степных фитоценозов, таких как разнотравно-ковыльных, типчаково-коренных, занимает более 25-30 лет [26].

За весь срок сбора информации было обработано 1200 конусо-суток и 6000 давилко-суток в районе двух заводов. В контрольной территории освоено 200 конусо-суток и 1000 давилко-суток.

1400 конусо-суток и 7000 давилко-суток зарегистрировали 173 микромаммалий. На импактной территории зафиксировано 2,25 животного на 100 ловушек (конусо- и давилко-суток). На буферном участке 4,6 мелких млекопитающих на 100 ловушек. На фоновой территории 6,7 микромаммалий на 100 ловушек. На контрольном участке 21 животное.

Видовой состав не отличался большим разнообразием. Всего было определено 15 видов, принадлежащих двум отрядам класса млекопи-

тающих. Большая часть принадлежит отряду Грызуны (лат. *Rodentia*): насчитывается 11 видов. 4 вида относятся к отряду Насекомоядные (лат. *Eulipotyphla*). Были получены два вида выборок: на всех техногенных участках малая (25 организмов и меньше), на контрольном участке большая (свыше 100 организмов). Перечень и количество организмов импактной, буферной, фоновой зон зафиксированных при помощи давилок и конусов в районах ПАЗ и КЭЗ. В таблице 3 приводятся частоты встречаемости видов в выборках, полученных при полевом исследовании импактных зон. Объем первой выборки равен $n=6$. Минимальный $x_{\min} = 1$ и максимальный $x_{\max} = 10$.

В таблице 4 приводится пример расчета частоты встречаемости видов в выборках, полученных при изучении буферных зон. Минимальный $x_{\min} = 1$ и максимальный $x_{\max} = 14$.

В таблице 5 приводится пример расчета частоты встречаемости видов в выборках, полученных при изучении фоновых зон. Минимальный $x_{\min} = 1$ и максимальный $x_{\max} = 5$.

Таблица 3 – Частота встречаемости видов в импактных зонах

№	Вид	Количество организмов	Частота встречаемости	Частота встречаемости
Отдел Грызуны (лат. <i>Rodentia</i>)				
1	Джунгарский хомячок <i>Phodopus sungorus</i> Pallas, 1773	1	0,04	4%
2	Малая лесная мышь <i>Apodemus uralensis</i> Pall., 1811	1	0,04	4%
3	Обыкновенная полевка <i>M. arvalis</i> Pall., 1779	5	0,2	20%
4	Степная мышовка <i>Sicista subtilis</i> Pall., 1773	10	0,4	40%
5	Узкочерепная полевка <i>Mictotus gregalis</i> Pal., 1779	8	0,32	32%
Отряд Насекомоядные (лат. <i>Eulipotyphla</i>)				
1	Малая белозубка <i>Crocidura suaveolens</i> Pall., 1811	1	0,04	4%
	Σ, особь	25		

Таблица 4 – Частота встречаемости видов в буферных зонах

№	Вид	Количество организмов	Частота встречаемости	Частота встречаемости
Отдел Грызуны (лат. <i>Rodentia</i>)				
1	Степная пеструшка <i>Lagurus lagurus</i> Pall., 1773	1	0,05	4,5%
2	Степная мышовка <i>Sicista subtilis</i> Pall., 1773	5	0,23	23%
3	Узкочерепная полевка <i>Mictotus gregalis</i> Pal., 1779	14	0,63	63,4%
Отряд Насекомоядные (лат. <i>Eulipotyphla</i>)				
4	Тундряная бурозубка <i>Sorex tundrensis</i> Merriam., 1900	2	0,09	9,1%
	Σ, особь	22		

Таблица 5 – Частота встречаемости видов фоновых зон

№	Вид	Количество организмов	Частота встречаемости	Частота встречаемости
Отдел Грызуны (лат. <i>Rodentia</i>)				
1	Джунгарский хомячок <i>Phodopus sungorus</i> Pallas, 1773	2	0,1	10%
2	Малая лесная мышь <i>Apodemus uralensis</i> Pall., 1811	1	0,05	5%
3	Обыкновенная слепушонка <i>Ellobius talpinus</i> Pall., 1770	1	0,05	5%
4	Степная мышовка <i>Sicista subtilis</i> Pall., 1773	3	0,15	15%
5	Степная пеструшка <i>Lagurus lagurus</i> Pall., 1773	2	0,1	10%
6	Узкочерепная полевка <i>Microtus gregalis</i> Pal., 1779	5	0,25	25%
Отряд Насекомоядные (лат. <i>Eulipotyphla</i>)				
1	Малая белозубка <i>Crocidura suaveolens</i> Pall., 1811	1	0,05	5%
2	Тундряная бурозубка <i>Sorex tundrensis</i> Merriam., 1900	5	0,25	25%
	Σ, особь	20		

Частота встречаемости в импактных зонах джунгарского хомячка, малой лесной мыши, малой белозубки снижена по сравнению с обыкновенной полевкой больше, чем в 5 раз и многократной уступает (>28%) двум видам доминантам (степная мышовка, узкочерепная полевка). В буферных зонах степную пеструшку и тундряную бурозубку можно встретить с относительной вероятностью 13,6%, остальная приходится на виды доминанты. Фоновые

участки отмечаются доминированием узкочерепной полевки и тундряной бурозубки (по 25%). Остальные виды проявляются спорадически.

В таблице 6 приводится пример расчета частоты встречаемости видов в выборках, полученных при изучении контрольной зоны. Объем четвертой выборки (контрольная территория) равен $n=13$. Минимальный $x_{\min}=1$ и максимальный $x_{\max}=49$.

Таблица 6 – Частота встречаемости видов контрольной зоны

№	Вид	Количество организмов	Частота встречаемости	Частота встречаемости
Отдел Грызуны (лат. <i>Rodentia</i>)				
1	Восточноевропейская полевка <i>Microtus levis</i> Miller, 1908	1	0,01	1%
2	Джунгарский хомячок <i>Phodopus sungorus</i> Pallas, 1773	2	0,02	2%
3	Мышь малютка <i>Micromys minutus</i> Pall., 1771	2	0,02	2%
4	Обыкновенная полевка <i>M. arvalis</i> Pall., 1779	9	0,09	9%
5	Обыкновенная слепушонка <i>Ellobius talpinus</i> Pall., 1770	3	0,03	3%
6	Полевая мышь <i>Apodemus agrarius</i> Pall., 1771	2	0,02	2%
7	Полевка – экономка <i>Microtus oeconomus</i> Pall., 1776	3	0,03	3%
8	Степная мышовка <i>Sicista subtilis</i> Pall., 1773	5	0,05	5%
9	Степная пеструшка <i>Lagurus lagurus</i> Pall., 1773	7	0,07	7%

Продолжение таблицы

№	Вид	Количество организмов	Частота встречаемости	Частота встречаемости
10	Узкочерепная полевка <i>Mictotus gregalis</i> Pal., 1779	49	0,47	47%
Отряд Насекомоядные (лат. <i>Eulipotyphla</i>)				
11	Малая бурозубка <i>Sorex minutus</i> L., 1766	5	0,05	5%
12	Обыкновенная бурозубка <i>Sorex araneus</i> L., 1758	2	0,02	2%
13	Тундрная бурозубка <i>Sorex tundrensis</i> Merriam., 1900	14	0,13	13%
	Σ, особь	104		

Данные о численности животных в пересчете на 100 ловушек показывают постепенное увеличение количества животных по мере удаления от источников эмиссии. Среднее количество животных на расстоянии до 25 км от заводов составляет 4,5 жив. / 100 ловушек, что в 4,7 раз меньше участков контрольной зоны. Согласно исследованиям Serafini V.N., Vajaru S.B. и др. [27, 28] на количество млекопитающих в определенном ареале влияют совокупность нескольких факторов, таких как достаточное количество пищи, разнообразность природного ландшафта, качество почв, большое значение придается растительному сообществу территорий, активность человека. Все перечисленные факторы являются компонентами биотопа и напрямую влияют друг на друга [29]. В ареалах с бедным фитоценозом наблюдается уменьшение количества млекопитающих, что говорит не только о деградации мест обитания рядом с источниками загрязнений, но и о депрессивном состоянии местной териофауны. Согласно правилу Жаккара, численность животных уменьшается по мере увеличения однородности ареала, что и наблюдалось на импактных и буферных территориях, где преобладала сорная одно- и двулетняя растительность, с редкими кустарниками и деревянистыми растениями.

Мы можем наблюдать, доля частоты встречаемости отдела Насекомоядные на загрязненных участках меньше в 2 раза, чем Грызунов. Это свидетельствует о сенсбилизации к эмиссии Насекомоядных, они могут выступать в качестве биоиндикатора.

В некоторых работах предлагается в качестве наиболее эффективных объектов биоиндикации использовать консументов высших порядков, в частности насекомоядных и хищных животных [5, 30]. Данное явление объясняется наличием разнообразных мест обитания для на-

секомоядных животных вдали от антропогенной нагрузки, более широкой кормовой базой по сравнению с импактными зонами. Преобладание консументов более высокого порядка на контрольных территориях может говорить о преобладании климатского сообщества вдали от техногенных зон.

Индекс доминирования (и.д.), предложенный Балогом, отражает информацию о доле вида в популяции [31]. В техногенных территориях индекс доминирования Насекомоядных не состоял больше значения 1. Доминантом во всех выборках, кроме импактной, является узкочерепная полевка. Индекс доминирования *Mictotus gregalis* в буферной, фоновой и контрольной территориях составлял 0,64, 0,25, 47,12 соответственно. В импактной зоне индекс составил 0,32. Доминантом в данном участке являлась *Sicista subtilis* и.д.=0,4. Среди Насекомоядных наибольший индекс доминирования имела *Sorex tundrensis* и.д.=13,46 в контрольном участке.

Считается, что видовое богатство растет по мере продвижения от высоких широт к экватору [32]. В Северо-Запада Казахстана, расположенного в северных диапозонах, с переменными холодными, дождливыми и сухими временами года, наблюдается существование доминантных видов с высокой численностью и редких видов с малым числом особей. Видовое богатство, как индикатор устойчивости экосистемы, связан с индексом доминирования. Мы наблюдаем наличие ярких доминант на всех исследуемых территориях. Степная мышовка и узкочерепная полевка успешно приспособились к проживанию на антропогенных территориях [33]. На контрольной территории узкочерепная полевка практически занимает половину (47%) от всей выборки. Доля степной мышовки в импактной территории составляет 40%. Время восстановления и раз-

нообразии биотопа напрямую влияет на видовое богатство и присутствие видов доминантов свидетельствует о быстрой специализации одних представителей териофауны и вытеснении других. Согласно Одуму, такие экосистемы могут быть устойчивыми и способными успешно адаптироваться к негативным условиям среды при регулярном поступлении источников энергии. В таких условиях низкое разнообразие по Симпсону считается наиболее благоприятным с точки зрения энергозатрат. Учитывая присутствие видов доминантов и спорадическую встречаемость остальных микромаммалий техногенных терри-

торий, при недостатке энергии, она не растрачивается и может трансформироваться в организмах – доминантах [34].

Данные относительно половой модальности, как на техногенных участках, так и на контрольном показывают преобладанием самцов, особенно у видов доминантов (степная мышовка и узкочерепная полевка). Доля самцов и самок техногенных зон составляет 67% и 33% соответственно. На контрольном участке разница в диморфизм меньше: 58% и 42%. Соотношения самок и самцов на всех участках представлено на Рисунке 1.

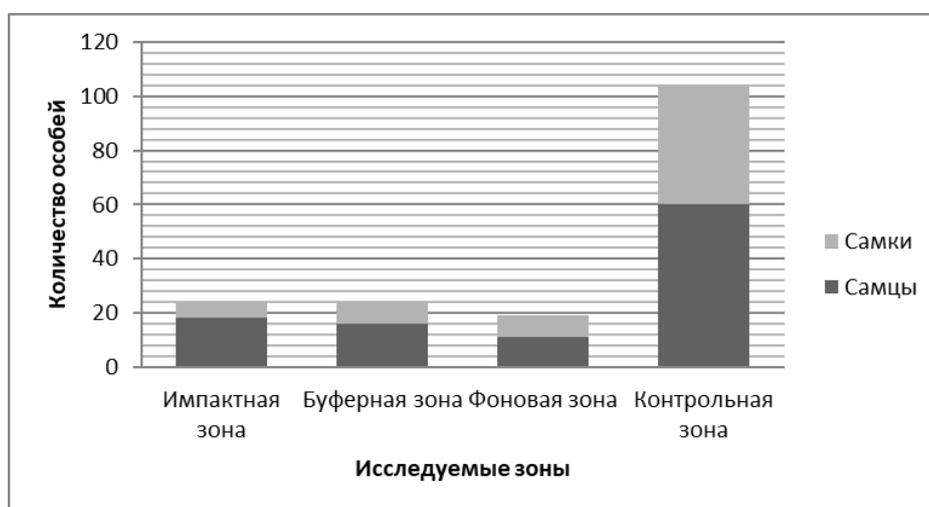


Рисунок 1 – Количество самцов и самок техногенных и контрольных территорий

Chitty, еще в середине прошлого столетия предложил теорию о саморегуляции популяций, далее эту идею доработал относительно млекопитающих Шварц в 60-х гг. Условия среды влияют на численность животных опосредованно, через качественные изменения особей, составляющих население территории. При переживании стресса, численность териофауны может быть направлена на уменьшение и как следствие уменьшение конкуренции путем снижения рождаемости, например, удлинением сроков полового созревания, увеличением гибели эмбрионов и т.д. [34, 35]. Похожее явление мы наблюдали на участках, приближенных к заводам. Отличия между количеством самцов техногенных и контрольных зон составляла 9%.

Возраст животных определялся по ряду косвенных экстерьерных признаков. Мелкие млекопитающие имеют продолжительность жизни от года до двух. При отсутствии врагов, стрессов,

достаточной кормовой базы некоторые животные могут прожить до 4-5 лет. На протяжении большей части своей жизни, мелкие млекопитающие продолжают расти, поэтому масса тела стала главным критерием для оценки возраста животного. Обычно полевок разделяют на группы по массе с определенным интервалом, например, полевок до 15 г, 16-20, 21-25, 26-30 и т.д. [37]. Учитывалось состояние шерсти: перезимовавшие особи обычно имеют залысины в области бедер и основании хвоста, шерсть более редкая и лохматая по сравнению с сеголетками. По предварительным данным процентное соотношение в возрастной структуре молодых, взрослых и перезимовавших составляла на техногенном участке – 64%, 22% и 13,4%, на контрольном – 11, 65 и 29%. Сравнительный возрастной анализ представлен на Рисунке 2. Точный возрастной диморфизм будет устанавливаться по состоянию черепов и зубов животных.

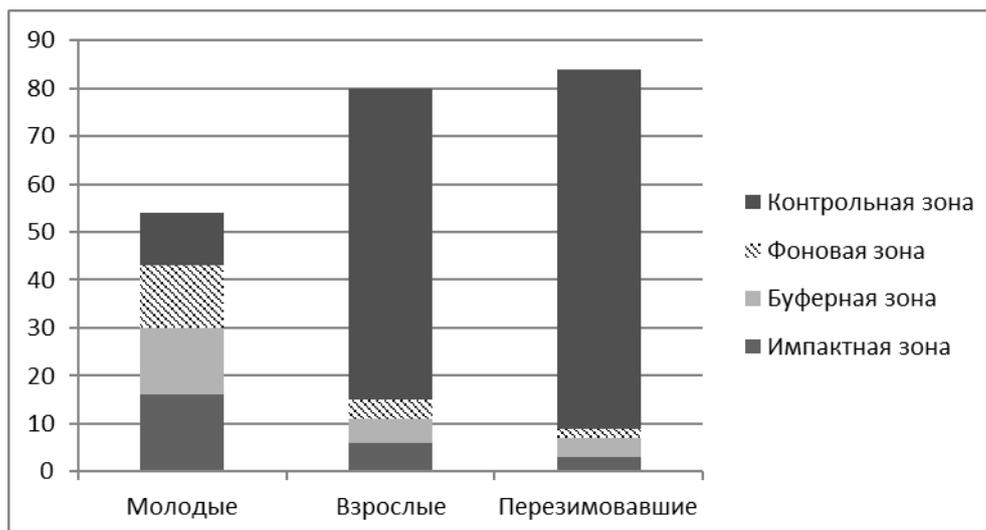


Рисунок 2 – Количество животных – сеголеток, молодых и перезимовавших техногенных и контрольной зон

При исследовании возрастной структуры наблюдается увеличение количества сеголеток на загрязненных участках (всего 43 организма), на контрольной зоне прослеживается тенденция к увеличению взрослых и перезимовавших особей (65 и 75 животных соответственно).

Разница в числе сеголеток техногенных зон и контрольных составила 54%, что говорит о компенсаторных явлениях, происходящих в популяциях, проживающих в урбанистических районах. Численность взрослых половозрелых особей больше на 40% в контрольных территориях, что свидетельствует о низкой выживаемости молодых особей в районах вблизи заводов. Причиной могут являться низкая кормовая база в виду однообразного растительного покрова, открытость мест обитания и меньшей возможности укрытия от хищников, влияние выбросов токсикантов, таких как бенз(а)пирен, которые имеют свойство к накоплению в организмах многоклеточных животных [38]. Существуют исследования о влиянии повышенной радиоак-

тивности на фолликулы мелких грызунов, таких как полевки. Резервные возможности яичников самок полевки, проживающих в районе токсических выбросов, ограничены, однако количество растущих фолликулов в яичниках достоверно превышало контрольные значения [39]. Зрелость желтых тел и потенциальная плодовитость самок с загрязненных территорий выше, чем у контрольных особей [39]. Исследования, проводимые в республике Коми, подтверждают наши заключения, что увеличение рождаемости может являться способом адаптации мышевидных грызунов к неблагоприятным условиям окружающей среды в районах Северо-Востока Казахстана.

Для достоверной **оценки разнообразия и выравненности** микромаммалий на исследуемых территориях использовались информационные индексы сообществ мелких млекопитающих, проживающих на разных территориях. Результаты расчетов представлены в Таблице 7 и Рисунке 3.

Таблица 7 – Значение индексов разнообразия для выборок изучаемых территорий

	D	E	H	J
Импактные зоны	3,92	0,65	1,42	0,69
Буферные зоны	2,26	0,56	0,98	0,67
Фоновые зоны	7,6	0,95	1,89	0,82
Контрольные зоны	3,96	0,3	1,86	0,49

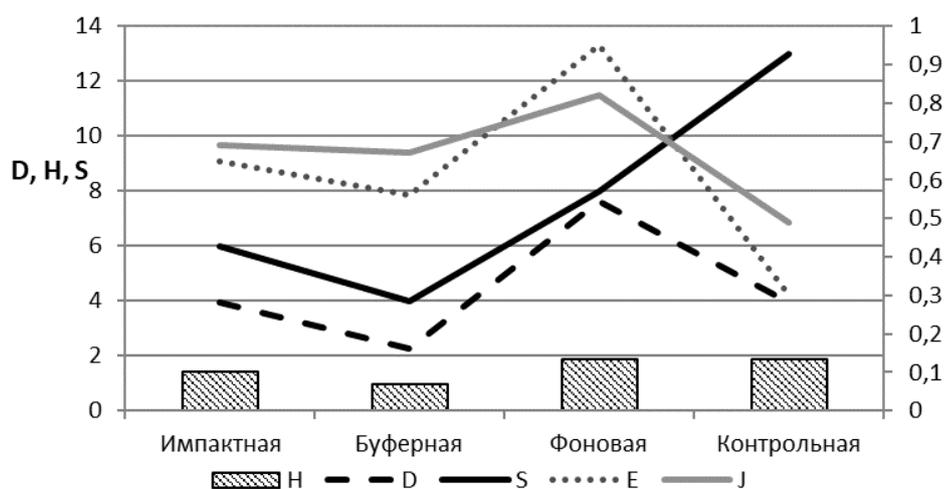


Рисунок 3 – Информационные индексы сообществ мелких млекопитающих, проживающих на техногенной и контрольной территориях

Сравнивая значения индексов доминирования и выровненности Симпсона и Шеннона, мы наблюдаем увеличение количества видового разнообразия (S) по мере удаления от заводов. $S_{\max} = 14$ в контрольной зоне и $S_{\min} = 4$ в буферной. В буферном участке отмечается уменьшение значений индексов разнообразия Симпсона (D) и Шеннона (H), выровненности Симпсона (E) и Шеннона (J): 2,26 и 0,98, 0,56 и 0,67 соответственно. Значения D, E, J также понижаются в контрольной зоне: 3,96, 0,3, 0,49 соответственно. На удалении 20 км от заводов (фоновые участки) наблюдаются близкие по значению к контрольному участку данные: $H = 1,89$, $D = 7,6$, $E = 0,95$, $J = 0,82$. На ближайшем удалении от источников техногенного загрязнения индекс разнообразия Шеннона меньше контрольного и равен 1,42, индекс разнообразия Симпсона равен с контрольным: 3,92, индекс выровненности Симпсона и Шеннона выше, чем у контрольного: 0,65 и 0,69.

Величина индекса разнообразия индекса Симпсона (D) зависит от числа видов в сообществе и их соотношения. Индекс Шеннона зависит от совокупности значений доли каждого вида в сообществе. Изменения в сторону уменьшения свидетельствует о нарушении в структуре и устойчивости сообществ [18].

Учитывая малую выборку техногенных зон, связанную с особенностями местоположения территорий, при оценке сообществ микромаммиалей, рассматривалась совокупность значений всех рассмотренных индексов.

При наличии видов – доминантов, которые подавляют остальные (стремятся к 0), индекс Симпсона и Шеннона принимает меньшее значение и так же стремится к 0. Индекс выровненности Симпсона имеет минимальные значения на всех участках, кроме фоновых.

Индекс выровненности Симпсона фоновых участков стремится к 1 и принимает максимальное значение индекса Шеннона. На индекс Шеннона так же влияет и количество зарегистрированных видов выборки. Рассматривая выше количество зарегистрированных видов микромаммиалей техногенных зон, мы выявили, что яркие доминанты отсутствуют на фоновых территориях, доли всех видов примерно равны. Так же в данной зоне наблюдается высокое значение индекса разнообразия Симпсона, что обусловлено большим количеством видов при малой численности. Выделяется своим низким значением индекс разнообразия Шеннона буферной зоны. Экосистемы с малым индексом Шеннона интерпретируются как экосистемы, подверженные негативному влиянию различных факторов [40].

Заключение

Первые крупные предприятия в исследуемом регионе начали появляться в середине прошлого столетия (Экибастузская ТЭЦ, 1954). Тяжелая промышленность влияет на мелких млекопитающих опосредовано, через цепи питания, упрощая структуру местных экосистем.

Всего выявлено 171 животное. Из них 61% принадлежит особям контрольных территорий. Наблюдается небольшая разница в суммарном значении животных по мере удаления от заводов, но видовой состав и наличие видов доминантов может свидетельствовать о разной антропогенной нагрузке в исследуемых участках.

Всего отмечено 7 видов Грызунов и 2 вида Насекомоядных на техногенных участках, 10 видов Грызунов и 3 вида Насекомоядных на контрольных участках. По мере удаления от крупных заводов увеличивается численность Насекомоядных животных и видовое богатство Грызунов. Это может свидетельствовать о накоплении вредных элементов с повышением трофического уровня в цепи питания и более высокую аккумуляцию в организмах консументов более высокого порядка.

Индекс доминирования показал, что импактные и буферные участки техногенной зоны склонны к монодоминантности. В данных зонах присутствуют виды доминанты: узкощелевая полевка и степная пеструшка. В фоновых территориях видов доминантов нет: значение индексов выравнивания Симпсона и Шеннона максимально по отношению к остальным участкам.

Урбанизация оказывает влияние на половозрастную структуру грызунов и насекомоядных. Животные испытывая постоянный стресс, адаптируются по пути увеличения плодовитости самок и в то же время уменьшения их пропорции в общей численности.

В работе проводился мониторинг местной экосистемы при помощи метода биоиндикации. Существует корреляционная зависимость между уровнем загрязнения и обедненным биологическим разнообразием. Данные о количественных показателях видовой состава могут быть использованы в природоохранных мероприятиях и планировании антропогенных объектов на северо-востоке республики.

Конфликт интересов

Все авторы прочитали и ознакомлены с содержанием статьи и не имеют конфликта интересов.

Источник финансирования

Работа была выполнена за счет собственных средств авторов и не имеет источника финансирования.

Литература

1. Crippa M., Solazzo E., Huang G., Guizzardi D., Koffi E., Muntean M., Janssens-Maenhout G. High resolution temporal profiles in the Emissions Database for Global Atmospheric Research // *Scientific data*. – 2020. – Vol. 7, No 1. – P. 1-17.
2. Гроза М.М., Ермиенко А.В. Экологические проблемы Павлодарской области // *Наука и техника Казахстана. Естественные науки*. – 2005. – № 2. – С. 7 – 14.
3. Леонова Ю.М. Антропогенная трансформация растительности в зоне влияния промышленных объектов Павлодарской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук – Алматы: ПГУ, 2010. – 26 с.
4. Ермиенко, А.В. Влияние деятельности электролизного завода на экологическую обстановку Павлодарского района (республика Казахстан): автореф. дис. ... канд. биол. наук – Омск, ОГПУ, 2010. – 18 с.
5. Gaukler S.M., Murphy S.M., Berryhill J.T., Thompson B.E., Sutter B.J., Hathcock C. D. Investigating effects of soil chemicals on density of small mammal bioindicators using spatial capture-recapture models // *PloS one*. – 2020. – Vol. 15, No 9. – P. e0238870.
6. Martiniaková M., Omelka R., Stawarz R., Formicki G. Accumulation of Lead, Cadmium, Nickel, Iron, Copper, and Zinc in Bones of Small Mammals from Polluted Areas in Slovakia // *Polish Journal of Environmental Studies*. – 2012. – Vol. 21, No. 1.
7. Zwolak A., Sarzyńska M., Szpyrka E., Stawarczyk K. Sources of soil pollution by heavy metals and their accumulation in vegetables: A review // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 2019. – Vol. 230, Vol. 7. – P. 1-9.
8. Сергазинова З.М., Дупал Т.А., Литвинов Ю.А., Ержанов Н.Т. Воздействие выбросов алюминиевого производства в Северном Казахстане на видовую структуру и характер накопления фтора у мелких млекопитающих // *Принципы экологии*. – Петрозаводск, 2018. С. 60-74.
9. Sebezshko O.I., Petukhov V.L., Chysyma R.B., Kuzmina E.E., Shishin N.I., Korotkevich O.S. Osadchuk L.V. Influence of anthropogenic pollution on interior parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the Republic of Tyva // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Vol. 9, No 9. – P. 1530.
10. Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Корогод Н.П., Хвощевская А.А., Копылова Ю.Г., Мазурова И.С., Беляновская А.И. Элементный состав воды биологической как индикатор техногенеза // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2019. – Т. 330. – №. 2.

11. Маралбаева Д.Г., Ахметов К. К., Уалиева Р. М., Инсебаева, М. К.. Фауна и паразитологический анализ зараженности диких птиц Павлодарской области трематодами двух семейств // Вестник КазНУ. Серия биологическая. – 2019. – Т. 81. – №. 4. – С. 96-108.
12. Zhang L., Xiong L., Li J., Huang X. Long-term changes of nutrients and biocenoses indicating the anthropogenic influences on ecosystem in Jiaozhou Bay and Daya Bay, China // *Marine Pollution Bulletin*. – 2021. – Vol. 168. – P. 112406.
13. Леонова Ю.М. Антропогенная трансформация растительности в зоне влияния промышленных объектов г. Павлодара: автореф.... канд. биол. наук. Алма-Ата. – 2010.
14. Давыдова Ю. А., Мухачева С. В. Изменение параметров мочи рыжей полевки в градиенте химического загрязнения: опыт использования реagentных тест-полосок // Материалы XXIII съезда Физиологического общества им. И.П. Павлова с международным участием. – 2017. – С. 2489-2491.
15. Novikov E.A., Panov V.V., Moshkin M.P. Density-dependent regulation in populations of northern red-backed voles (*Myodes rutilus*) in optimal and suboptimal habitats of southwest Siberia // *Biology Bulletin Reviews*. – 2012. – Vol. 2, No 5. – P. 431-438.
16. Орлова Ю.С. Использование индексов биологического разнообразия для анализа альгофлоры бассейна р. Алатырь // *Инженерные технологии и системы*. – 2013. – P. 3-4.
17. Taylor L.R. Bates, Williams, Hutchison – a variety of diversities // *Diversity of Insect Faunas. Symp. Roy. Ent. Soc. Lond.* – 1978. – Vol. 9. – P. 1-18.
18. Литвинов Ю.Н., Абрамов С.А., Бочкарёв Н.А., Дупал Т.А., Ковалёва В.Ю., Панов В.В., Симонов В.Е. Сообщества и популяции животных: морфологический и экологический анализ // *Тр. ИСЭЖ СО РАН*. – Новосибирск. – 2010.
19. Kaur H., Habibullah M.S., Nagaratnam S. Impact of natural disasters on biodiversity: evidence using quantile regression approach // *Jurnal Ekonomi Malaysia*. – 2019. – Vol. 53, No 2. – P. 67-81.
20. Одум Ю. Экология. – М.: Мир, 1986. Т. 1. – С. 358.
21. Odum E.P., Barrett G.W. *Fundamentals of ecology*. – Philadelphia: Saunders, 1971. – 574 p.
22. Агроклиматические ресурсы Павлодарской области: научно-прикладной справочник / Под ред. С.С. Байшоланова – Астана, 2017. – 127 с.
23. Sansyzbayeva A., Saipov A., Dunets A., Mussagaliyeva A., Ramazan A. Geography of natural and recreational facilities in the development of economic integration of the border areas of northern Kazakhstan and the Russian federation // *Geo Journal of Tourism and Geosites*. – 2021. – Vol. 35, No 2. – P. 499-506.
24. Azhayevev G., Esimova D., Sonko S. M., Safarov R., Shomanova Z., Sambou A.. Geocological environmental evaluation of Pavlodar region of the Republic of Kazakhstan as a factor of perspectives for touristic activity // *Geojournal of Tourism and Geosites*. – 2020. – Vol. 28, No 1. – P. 104-113.
25. Управление предпринимательства и индустриально-инновационного развития Павлодарской области. Промышленность региона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gov.kz/memleket/entities/pavlodar-uuir/activities/6149?lang=ru>
26. Дударь Ю.А. К реконструкции уничтоженных степных экосистем // *Степной бюллетень*. – 2000. – №6. С. 20-23
27. Serafini V.N., Priotto J.W., Gomez M.D. Effects of agroecosystem landscape complexity on small mammals: a multi-species approach at different spatial scales // *Landscape Ecology*. – 2019. – Vol. 34, No 5. – P. 1117-1129.
28. Bajar S.B., Kulavmode A.R., Manakadan R. Influence of microhabitat and landscape-scale factors on the richness and occupancy of small mammals in the northern Western Ghats: A multi-species occupancy modeling approach // *Mammalian Biology*. – 2019. – Vol. 99. – P. 88-96.
29. *Encyclopedia of Ecology* / Dimitrakopoulos P.G., Troumbis A.Y. – Mytilene: University of the Aegean, 2019. – Vol. 1. – P. 359-365.
30. Dupal T.A., Sergazinova Z.M., Erzhanov N.T., Litvinov Y.N. Preliminary assessment of changes in the structure of small mammal communities caused by industrial pollution in the North Kazakhstan Region // *Contemporary Problems of Ecology*. – 2017. – Vol. 10, No 6. – P. 700-706.
31. Bang A., Deshpande S., Sumana A., Gadagkar R. Choosing an appropriate index to construct dominance hierarchies in animal societies: a comparison of three indices // *Animal Behaviour*. – 2010. – Vol. 79, No 3. – P. 631-636.
32. Лебедева Н.В., Криволюцкий Д.А., Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н., Алещенко Г.М., Смуров А.В., Максимов В.Н., Тикунов В.С., Огуреева Г.Н., Котова Т.В. География и мониторинг биоразнообразия. – М.: Издательство Научного и учебно-методического центра, 2002. – 432 с.
33. Zadubrovskiy P.A., Novikova E.V., Kondratyuk E.Y., Novikov E.A., Vasina A.V., Matskalo L.L. Effect of anthropogenic factors on the ability of narrow-skulled voles (*lasiodromys gregalis*) to adapt to captive conditions // *Russian Journal of Ecology*. – 2021. – Vol. 52, No 4. – С. 283-289.
34. Chernov Y. I. Species diversity and compensatory phenomena in communities and biotic systems // *Zool. Zh.* – 2005. – Vol. 84, No 10. – P. 1221-1238.
35. Chitty D. Population process in the vole and their relevance to general theory // *Canadian Journal of Zoology*. – 1960. – Vol. 31, No 1. – P. 99-113.
36. Шварц С.С. Эволюционная экология животных. – Свердловск: Труды института экологии растений и животных, 1969. – 199 с.
37. Карасева Е.В. Грызуны России. – М.: Ин-т им. Северцова РАН, 1993. – 166 с.
38. Pedersen R. A. Benzo (a) pyrene metabolism in early mouse embryos // *Culture Techniques*. – De Gruyter, 2019. – P. 447-454.

39. Башлыкова, Л.А., Раскоша О.В., Ермакова О.В. Изменение процесса размножения мышевидных грызунов, обитающих в условиях радиоактивного загрязнения // Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – 2005. – Vol 9, No 95. – P. 22-24.

40. Magurran A. E. Ecological diversity and its measurement. – Princeton university press, 1988. – 181 p.

References

1. Crippa M., Solazzo E., Huang G., Guizzardi D., Koffi E., Muntean M., Janssens-Maenhout G. (2020) High resolution temporal profiles in the Emissions Database for Global Atmospheric Research. *Scientific data*, vol. 7, no. 1, pp. 1-17.

2. Groza M.M., Ermienko A.V. (2005) Ekologicheskie problemy Pavlodarskoj oblasti [Environmental problems of Pavlodar region]. *Nauka i tekhnika Kazahstana. Estestvennyye nauki*, vol. 2. pp. 7–14.

3. Leonova YU.M. (2010) Antropogennaya transformaciya rastitel'nosti v zone vliyaniya promyshlennykh ob'ektov Pavlodarskoj oblasti [Anthropogenic transformation of vegetation in the zone of influence of industrial facilities of Pavlodar region]: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk, Almaty: PGU. pp. 26.

4. Ermienko A.V. (2010) Vliyanie deyatel'nosti elektroliznogo zavoda na ekologicheskuyu obstanovku Pavlodarskogo rajona (respublika Kazahstan) [Influence of the electrolysis plant activity on the ecological situation of Pavlodar region (Republic of Kazakhstan)]: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk, Omsk, OGPU. pp. 18.

5. Gaukler S.M., Murphy S.M., Berryhill J.T., Thompson B.E., Sutter B.J., Hathcock C.D. (2020) Investigating effects of soil chemicals on density of small mammal bioindicators using spatial capture-recapture models. *PloS one*, vol. 15, no 9, pp. e0238870.

6. Martiniaková M., Omelka R., Stawarz R., Formicki G. (2012) Accumulation of Lead, Cadmium, Nickel, Iron, Copper, and Zinc in Bones of Small Mammals from Polluted Areas in Slovakia. *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 21, no. 1.

7. Zwolak A., Sarzyńska M., Szpyrka E., Stawarczyk K. (2019) Sources of soil pollution by heavy metals and their accumulation in vegetables: A review. *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 230, no. 7, pp. 1-9.

8. Sergazinova Z.M., Dupal T.A., Litvinov YU.A., Erzhanov N.T. (2018) Vozdejstvie vybrosov alyuminievogo proizvodstva v Severnom Kazahstane na vidovuyu strukturu i harakter nakopleniya ftora u melkih mlekopitayushchih [Impact of emissions from aluminum production in Northern Kazakhstan on the species structure and nature of fluoride accumulation in small mammals] *Principy ekologii*, pp. 60-74.

9. Sebezhenko O.I., Petukhov V.L., Chysyma R.B., Kuzmina E.E., Shishin N.I., Korotkevich O.S., Osadchuk L.V. (2017) Influence of anthropogenic pollution on interior parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the Republic of Tyva. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, vol. 9, no. 9, p. 1530.

10. Rihvanov L.P., Baranovskaya N.V., Korogod N.P., Hvashevskaya A.A., Kopylova YU.G., Mazurova I.S., Belyanovskaya A.I. (2019) Elementnyj sostav vody biologicheskoy kak indikator tekhnogenez [The elemental composition of biological water as an indicator of technogenesis]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, vol. 330, no. 2.

11. Maralbayeva D.G., Akhmetov, K.K., Ualieva, R.M., Insebaeva, M.K. (2019) Fauna i parazitologicheskij analiz zarazhnosti dikih ptic Pavlodarskoj oblasti trematodami dvuh semejstv [Fauna and parasitological analysis of infection of wild birds of Pavlodar region with trematodes of two families]. *Vestnik KazNU. Seriya biologicheskaya*, vol. 81, no.4, pp. 96-108.

12. Zhang L., Xiong L., Li J., Huang X. (2021) Long-term changes of nutrients and biocenoses indicating the anthropogenic influences on ecosystem in Jiaozhou Bay and Daya Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 168, p. 112406.

13. Leonova YU.M. (2010) Antropogennaya transformaciya rastitel'nosti v zone vliyaniya promyshlennykh ob'ektov g. Pavlodara [Anthropogenic transformation of vegetation in the zone of influence of industrial facilities in Pavlodar]: avtoref.... kand. biol. nauk, Alma-Ata.

14. Davydova YU.A., Muhacheva S.V. (2017) Izmenenie parametrov mochi ryzhej polevki v gradiente himicheskogo zagryazneniya: opyt ispol'zovaniya reagentnykh test-polosok [Changing the parameters of the urine of the red vole in the gradient of chemical contamination: the experience of using reagent test strips]. *Materialy XXIII s'ezda Fiziologicheskogo obshchestva im. IP Pavlova s mezhdunarodnym uchastiem*, pp. 2489-2491.

15. Novikov E.A., Panov V.V., Moshkin M. P. (2012) Density-dependent regulation in populations of northern red-backed voles (*Myodes rutilus*) in optimal and suboptimal habitats of southwest Siberia. *Biology Bulletin Reviews*, vol. 2, no 5, pp. 431-438.

16. Orlova YU.S. (2013) Ispol'zovanie indeksov biologicheskogo raznoobraziya dlya analiza al'goflory bassejna r. Alatyry [The use of biological diversity indices for the analysis of alga flora of the Alatyry river basin]. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy*, pp. 3-4.

17. Taylor L.R. (1978) Bates, Williams, Hutchinson – a variety of diversities. *9th Symposium of the Royal Entomological Society*, vol. 9, pp. 1-18.

18. Litvinov YU.N., Abramov S.A., Bochkaryov, N.A., Dupal T.A., Kovalyova V.YU., Panov V.V., Simonov V.E. (2010). Soobshchestva i populjaczii zhivotnyh: morfologicheskij i ekologicheskij analiz [Animal communities and populations: morphological and ecological analysis]. Novosibirsk: Tr. ISEZH SO RAN, – P. 258.

19. Kaur H., Habibullah M. S., Nagaratnam S. (2019) Impact of natural disasters on biodiversity: evidence using quantile regression approach. *Jurnal Ekonomi Malaysia*, vol. 53, no 2, pp. 67-81.

20. Одум Ю. (1986) Экология [Ecology]. М.: Мир, vol. 1. – P. 328.

21. Odum E.P., Barrett G.W. (1971) Fundamentals of ecology. Philadelphia: Saunders, – P. 574

22. Agroklimaticheskie resursy Pavlodarskoj oblasti: nauchno-prikladnoj spravochnik (2017) [Agroclimatic resources of Pavlodar region] / Pod red. S.S. Bajsholanova – Astana, – P. 127.

23. Sansyzbayeva A., Saipov A., Dunets A., Mussagaliyeva A., Ramazan A. (2021) Geography of natural and recreational facilities in the development of economic integration of the border areas of northern Kazakhstan and the Russian federation. *Geo Journal of Tourism and Geosites*, vol. 35, no 2, pp. 499-506.
24. Azhayev G., Esimova D., Sonko S., Safarov R., Shomanova Z., Sambou A. (2020). Geoecological environmental evaluation of Pavlodar region of the Republic of Kazakhstan as a factor of perspectives for touristic activity. *Geojournal of Tourism and Geosites*, vol. 28, no 1, pp. 104-113.
25. Upravlenie predprinimatel'stva i industrial'no-innovacionnogo razvitiya Pavlodarskoj oblasti (2022) Promyshlennost' regiona [Industry of the region]. – Retrieved from: <https://www.gov.kz/memleket/entities/pavlodar-iiir/activities/6149?lang=ru>
26. Дударь Ю.А. (2000) К реконструкции уничтоженных степных экосистем [Towards the reconstruction of destroyed steppe ecosystems]. *Степной бюллетень*, no. 6, pp. 20-23.
27. Serafini V.N., Priotto J.W., Gomez M.D. (2019) Effects of agroecosystem landscape complexity on small mammals: a multi-species approach at different spatial scales. *Landscape Ecology*, vol. 34, no. 5, pp. 1117-1129.
28. Bajaru S.B., Kulavmode A.R., Manakadan R. (2019) Influence of microhabitat and landscape-scale factors on the richness and occupancy of small mammals in the northern Western Ghats: A multi-species occupancy modeling approach. *Mammalian Biology*, vol. 99, pp.88-96.
29. Dimitrakopoulos P.G., Troumbis A.Y. (2019) *Encyclopedia of Ecology*. Mytilene: University of the Aegean, vol. 1, pp. 359-365.
30. Dupal T.A., Sergazinova Z.M., Erzhanov N.T., Litvinov Y.N. (2017) Preliminary assessment of changes in the structure of small mammal communities caused by industrial pollution in the North Kazakhstan Region. *Contemporary Problems of Ecology*, vol. 10, no. 6, pp. 700-706.
31. Bang A., Deshpande S., Sumana A., Gadagkar R. (2010) Choosing an appropriate index to construct dominance hierarchies in animal societies: a comparison of three indices. *Animal Behaviour*, vol. 79, no 3, pp. 631-636.
32. Lebedeva N.V., Krivoluckij D.A., Puzachenko YU.G., D'yakonov K.N., Aleshchenko G.M., Smurov A.V., Maksimov V.N., Tikunov V.S., Ogureeva G.N., Kotova T.V. (2002) *Geografiya i monitoring bioraznoobraziya* [Geography and monitoring of biodiversity]. М.: Izdatel'stvo Nauchnogo i uchebno-metodicheskogo centra, – P. 432.
33. Zadubrovskiy P.A., Novikova E.V., Kondratyuk E.Y., Novikov E.A., Vasina A.V., Matskalo L.L. (2021) Effect of anthropogenic factors on the ability of narrow-skulled voles (*lasiodomys gregalis*) to adapt to captive conditions. *Russian Journal of Ecology*, vol. 52, no. 4, pp. 283-289.
34. Chernov Y.I. (2005) Species diversity and compensatory phenomena in communities and biotic systems. *Zool. Zh*, vol. 84, no. 10, pp. 1221-1238.
35. Chitty D. (1960) Population process in the vole and their relevance to general theory. *Canadian Journal of Zoology*, vol. 31, no. 1, pp. 99-113.
36. SHvarc S.S. (1969) *Evolucionnaya ekologiya zhitovnyh* [Evolutionary ecology of animals]. Sverdlovsk: Trudy instituta ekologii rastenij i zhitovnyh, vol. 65. – P. 199.
37. Карасева Е.В. (1993) Грызуны России [Rodents of Russia]. М.: Ин-т им. Северцова РАН, – P. 166.
38. Pedersen R.A. (2019) Benzo (a) pyrene metabolism in early mouse embryos. In *Culture Techniques*. De Gruyter, pp. 447-454.
39. Bashlykova, L.A., Raskosha O.V., Ermakova O.V. (2005) *Izmenenie processa razmnozheniya myshevidnyh gryzunov, obitayushchih v usloviyah radioaktivnogo zagryazneniya* [Changes in the reproduction process of mouse-like rodents living in conditions of radioactive contamination]. *Vestnik instituta biologii Komi nauchnogo centra Ural'skogo otdeleniya RAN*, vol. 9, no 95, pp. 22-24.
40. Magurran A. E. (1988) *Ecological diversity and its measurement*. Princeton university press, – P. 181.