

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева

БЕГИМЖАНОВА ЕРКЕЖАН ЕРНАРҚЫЗЫ

**Интеграция геопространственных данных при оценке экологических
рисков (на примере промышленных регионов Карагандинской области)**

АННОТАЦИЯ

к диссертационной работе на соискание степени доктора философии (PhD)
8D07306 «Геопространственная цифровая инженерия»

Научный руководитель:

к.т.н., профессор

К.Б. Рысбеков

PhD, профессор

Ы. Жакыпбек

Зарубежный научный руководитель:

д.т.н., профессор

Дай Хуаянь

(Китайский горно-
технологический университет,
Пекин)

Республика Казахстан

Алматы, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертационной работы. Современное развитие промышленности и урбанизации сопровождается увеличением антропогенной нагрузки на окружающую среду и обострением экологических проблем. Для Казахстана, особенно для Карагандинской области, данная проблема имеет особое значение. Этот регион является одним из крупнейших индустриальных центров страны, где сосредоточены предприятия металлургической, угольной, химической и энергетической отраслей.

Интенсивное использование природных ресурсов, высокая концентрация выбросов и накопленных отходов формируют комплексные экологические риски, влияющие на здоровье населения и устойчивое развитие территории. Традиционные методы экологического мониторинга зачастую не обеспечивают достаточной пространственной точности и комплексности оценки рисков.

Современные технологии работы с геопространственными данными — интеграция геоинформационных систем (ГИС), дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), данных экологического мониторинга и статистических показателей — открывают новые возможности для более точной и комплексной оценки экологических рисков. Объединение различных геопространственных данных позволяет выявлять пространственные закономерности загрязнения, моделировать распространение загрязняющих веществ, определять экологически уязвимые территории, а также разрабатывать обоснованные меры по снижению экологической нагрузки.

Для промышленных регионов Карагандинской области эта проблема особенно актуальна, поскольку существует необходимость:

- разработки эффективных инструментов управления экологическими рисками;
- обеспечения соответствия требованиям национальной и международной экологической политики;
- минимизации отрицательного воздействия на здоровье населения и окружающую среду;
- формирования основ устойчивого социально-экономического развития.

Одним из факторов, повышающих значимость исследования, является определение экологической безопасности и устойчивого развития в качестве приоритетных направлений в стратегических документах Республики Казахстан:

- Национальный проект «Зелёный Казахстан» (2021–2025 гг.) — направлен на снижение негативного воздействия промышленности на окружающую среду и улучшение экологической ситуации в регионах;

- Экологический кодекс Республики Казахстан (новая редакция, 2021 г.) — закрепляет современные подходы к оценке воздействия на окружающую среду и управлению экологическими рисками.

С международной точки зрения тема также имеет высокую актуальность. Казахстан, как участник глобальных инициатив, взял на себя обязательства по реализации Целей устойчивого развития ООН (ЦУР, 2015–2030 гг.).

Исследовательская работа выполнена в лабораторий «Экологического мониторинга» инновационно-инжинирингового центра ГМК горно-металлургического института в рамках ПЦФ BR21881939 «Разработка ресурсосберегающих энергогенерирующих технологий для горно-металлургического комплекса и создание инновационного инжинирингового центра».

Таким образом, данное исследование, направленное на интеграцию геопространственных данных при оценке экологических рисков на примере Карагандинской области, является актуальным. Оно способствует совершенствованию научных основ и практических инструментов управления экологической безопасностью, повышению эффективности мониторинга, снижению неопределённости при прогнозировании рисков и соответствию национальным и международным стратегическим приоритетам.

Цель работы: Оценка экологических рисков на промышленных территориях Карагандинской области на основе интеграции геопространственных данных.

Основные задачи диссертации:

- изучить методы интеграции геопространственных и статистических данных;
- разработать методику оценки экологических рисков;
- создать корреляционно-геостатистическую модель состава тяжёлых металлов;
- выполнить пространственное зонирование и картографирование опасных зон;
- оценить пространственное распределение и взаимосвязь размещения населения в опасных зонах.

Методы исследования: Для решения поставленных задач использовались методы системного анализа, оценки на основе интеграции геопространственных и статистических данных, а также построения корреляционно-геостатистической модели содержания тяжёлых металлов.

На защиту выносятся следующие научные положения:

- Интеграция геопространственных и статистических данных обеспечивает формирование научно обоснованной методики оценки экологических рисков в пределах промышленных территорий.
- Корреляционно-геостатистическая модель взаимосвязей концентраций тяжелых металлов служит инструментом для идентификации и пространственного выделения экологически опасных зон.

Научная новизна:

- Разработана методика оценки экологических рисков в промышленных районах, основанная на интеграции геопространственных и статистических данных, что позволяет повысить точность пространственного анализа и экологического мониторинга
- Предложена корреляционно-геостатистическая модель распределения тяжёлых металлов, обеспечивающая выявление и картографирование потенциально опасных зон загрязнения окружающей среды.

Обоснованность и достоверность научных результатов и выводов подтверждаются:

- использованием геопространственных и статистических данных при оценке рисков;
- применением количественной оценки угроз здоровью от выбросов горнодобывающей промышленности и корреляционно-геостатистического моделирования;
- внедрением научных результатов в учебный процесс, а также использованием при выполнении технических и научных проектов.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы были представлены и обсуждены на следующих конференциях: Международно-практическая конференция «Сатпаевские чтения» (Алматы, 2021); XVIII Международная научно-практическая конференция *Zprávy vědecké ideje – 2021* (Польша, 2021); XVII Международная научно-практическая конференция *Conduct of modern science* (Прага, 2021); XXII Международная научно-практическая конференция *Strategiczne pytania światowej nauki – 2025* (Пшемысль, 2025).

Научные публикации.

По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, в том числе: 4 статьи в журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК; 1 статья в журнале *Journal of Advanced Research in Natural Science*; 4 статьи в сборниках международных научно-практических конференций; 2 статьи в журналах, индексируемых в базах *Scopus / Web of Science* (Q1 квартиль) — с процентилями 96% (General Engineering) и 86% (Environmental Science).

Структура и объём диссертационной работы.

Диссертационная работа состоит из введения, трёх разделов, заключения и списка использованных источников (115 наименований). Общий объём — 101 страница, включает 53 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава. В первой главе отмечается, что загрязнение физических и биологических компонентов окружающей среды до уровня, оказывающего негативное воздействие на нормальные экологические процессы, стало одной из наиболее актуальных проблем XXI века. Эти загрязнения угрожают здоровью человека, экосистемам и всей планете в целом.

В настоящее время загрязнение окружающей среды является основным источником глобальных экологических кризисов. Загрязнение воздуха, воды и почвы нарушает устойчивость экосистем и представляет прямую угрозу здоровью человека. В целом, для обеспечения экологической безопасности необходимо систематически проводить мониторинг атмосферных, земельных и водных ресурсов, внедрять современные технологии переработки отходов, повышать экологическую эффективность энергетического и транспортного секторов.

Одной из самых значимых глобальных экологических проблем является усиление парникового эффекта, вызванного выбросами парниковых газов, что приводит к глобальному потеплению. Согласно исследованиям, 2024 год признан самым жарким за всю историю наблюдений. Основными причинами этого являются сжигание угля, природного газа и нефти для получения энергии и тепла, что увеличивает выбросы парниковых газов, удерживает тепло в атмосфере и повышает температуру земной поверхности. Вследствие этого в последние годы наблюдаются разрушительные лесные пожары, нашествия саранчи в Африке, на Ближнем Востоке и в Азии, таяние вечной мерзлоты в Арктике и повышение уровня моря. Другие экологические катастрофы включают накопление пищевых отходов, вырубку лесов и утрату биоразнообразия.

Потеря биоразнообразия выражается в сокращении численности растений, животных и других организмов во многих регионах мира. За последние 50 лет наблюдается стремительный рост потребления, численности населения и урбанизации. В 2020 году численность популяций млекопитающих, рыб, птиц, рептилий и амфибий сократилась в среднем на 68 % по сравнению с 1970–2016 годами.

В Казахстане в 2022 году общий объем отходов, образовавшихся в горнодобывающей промышленности, составил 712 197,5 тыс. тонн, что соответствует 78,16 % всех отходов страны. Этот показатель на 242 298,6 тыс. тонн (51,5 %) больше, чем в 2021 году. По итогам 2021 года в республике зафиксировано 245,2 тыс. га нарушенных земель (в результате строительства промышленных объектов, линейных сооружений, освоения месторождений полезных ископаемых и геологоразведки), из которых 55,8 тыс. га подлежат рекультивации.

Все промышленные зоны имеют экологически опасные участки — отвалы, карьеры, скважины и полигоны, общая площадь которых превышает

60 тыс. га. Эти объекты постоянно загрязняют почву. Только в результате деятельности предприятий цветной металлургии накоплено свыше 22 млрд тонн отходов, включая около 4 млрд тонн горных отходов, 1,1 млрд тонн токсичных хвостов обогащения и 105 млн тонн отходов металлургического передела.

Отходы цветной металлургии занимают около 15 тыс. га: отвалы горных пород — 8 тыс. га, отходы обогатительных фабрик — около 6 тыс. га, отходы металлургических заводов — более 500 га. Аналогичные масштабы характерны для чёрной металлургии и химической промышленности. По данным индекса загрязнения воздуха за 2019 год, уровень загрязнения был «высоким» (7 и более баллов) в восьми городах Казахстана: Астана (Нур-Султан), Караганда, Темиртау, Актобе, Балхаш, Усть-Каменогорск, Жезказган и Алматы. Наиболее загрязнёнными оказались густонаселённые города — Астана и Алматы.

Цель экологического картографирования заключается в определении экологической ситуации, динамики её распространения, пространственно-временной изменчивости загрязняющих факторов. Поэтому сбор, анализ, оценка, интеграция и пространственная интерпретация данных, а также корректное картографическое отображение сложной экологической информации становятся крайне важными задачами.

Экологическо-картографический метод является необходимым элементом эколого-географических исследований, прогнозирования и экспертизы. Экологическое картографирование возникло в рамках использования природных ресурсов и в настоящее время представляет собой самостоятельное направление тематического картографирования.

Выводы по первой главе:

1. Загрязнение земельных и водных ресурсов ухудшает экологическую ситуацию, приводит к деградации подземных вод, почв и экосистем вследствие неконтролируемого накопления бытовых и промышленных отходов и неэффективного размещения опасных веществ.
2. Загрязняющие вещества по-разному воздействуют на природную среду и здоровье человека в разных странах; поэтому эффективное использование земельных ресурсов и законодательное регулирование объёмов выбросов опасных веществ являются приоритетными мерами.
3. Экологическое картографирование позволяет выявлять взаимосвязь природных и социально-экономических процессов, визуализировать и анализировать территориальные особенности экологической обстановки, обеспечивая основу для экологической безопасности, устойчивого развития и природопользования.

Вторая глава. Во второй главе рассматривается, что дестабилизация окружающей среды и усиление антропогенных и природных факторов повышают важность точной и своевременной оценки экологических рисков. Геодезические методы являются неотъемлемой частью экологических

исследований и обеспечивают информационную базу для пространственно-временной оценки рисков.

Геодезические измерения и координатные наблюдения позволяют определять пространственную динамику природных и техногенных процессов, количественно описывать экологические изменения и с высокой точностью измерять деформации рельефа, просадки, эрозию и колебания уровня воды. Эти данные необходимы для выявления экологически опасных зон, оценки степени риска и совершенствования системы экологического мониторинга.

Геодезические методы интегрируются с технологиями спутниковой навигации (GNSS/GPS) и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в составе геоинформационных систем (ГИС). Такое сочетание позволяет картографировать пространственные изменения природной среды с высокой точностью, прогнозировать распространение экологических рисков и отслеживать динамику изменений во времени.

Современные ГИС представляют собой многофункциональные системы, выполняющие пять основных этапов работы с географическими данными:

1. Ввод — загрузка пространственных и атрибутивных данных;
2. Обработка — масштабирование, преобразование проекций и геометрических параметров;
3. Управление — хранение, структурирование и организация данных;
4. Запрос и анализ — выполнение пространственных запросов и выборки;
5. Визуализация — отображение результатов в виде карт, трёхмерных моделей, графиков, таблиц и мультимедиа.

Эти возможности делают ГИС эффективным инструментом пространственного анализа и принятия решений.

Геостатистические методы позволяют анализировать пространственную структуру экологических процессов, оценивать загрязнение и изменения качества почвы, а также создавать карты экологических рисков. Корреляционно-геостатистический анализ помогает количественно оценивать пространственное распределение экологических данных и выявлять влияние природных и антропогенных факторов.

Выводы по второй главе:

1. Геодезические и космические методы формируют новый научно-практический уровень оценки экологических рисков и позволяют комплексно анализировать влияние природных и антропогенных процессов в промышленных регионах.
2. Интеграция ГИС-технологий и геостатистических методов (буферизация, наложение слоёв, интерполяция, кригинг и кокригинг) повышает эффективность экологического мониторинга и обеспечивает научную основу пространственного анализа.

3. Геостатистический и корреляционный анализ дают возможность создавать карты экологических рисков и выявлять пространственные закономерности загрязнения.

Третья глава. В третьей главе рассматривается экологическая ситуация Карагандинской области — одного из крупнейших промышленных регионов Казахстана, где уровень техногенного загрязнения ежегодно растёт. Основными источниками загрязнения являются предприятия угольной промышленности («АрселорМиттал Темиртау» АО, «Шубарколь Көмір» АО), добычи полезных ископаемых (ТОО «Корпорация Казахмыс», АО «Жайрем КБК», ТОО «Нова-Цинк», АО «Казхром»), теплоэнергетики (ТОО «КарагандаЭнергоцентр» (ТЭЦ-1, ТЭЦ-3)), производства строительных материалов (АО «ЦентралАзияЦемент»), а также металлургии (ТОО «Казахмыс Смэлтинг», АО «Темиртауский электрометаллургический комбинат»).

В области расположены также два токсичных полигона с отходами хромосодержащих шламов и коксохимического производства, принадлежащие АО «АрселорМиттал Темиртау». В Темиртау размещены крупнейшие в Казахстане металлургические предприятия и хвостохранилища площадью около 5000 км².

Согласно исследованиям, уровень загрязнения почв полиметаллами в Темиртау оценивается как «низкий», однако у 40 % почв индекс загрязнения превышает допустимые нормы. По данным РГП «Казгидромет» (весна–осень 2020 г.), в почвах города выявлены высокие концентрации тяжёлых металлов: цинк — 26,4 мг/кг, медь — 3,64 мг/кг, хром — 2,84 мг/кг, свинец — 37,8 мг/кг, кадмий — 0,64 мг/кг.

Экологическая ситуация в Темиртау осложнена загрязнением тяжёлыми металлами, промышленными отходами и выбросами в атмосферу, что создаёт угрозу качеству почв, воды, воздуха и здоровью населения.

Современные подходы к оценке экологических рисков требуют учёта пространственно-временной изменчивости природных и антропогенных факторов. Наиболее эффективным инструментом является интеграция лабораторных, геопространственных и статистических данных, обеспечивающая комплексную оценку состояния окружающей среды.

Преимущества интеграционного подхода:

1. Комплексный анализ: объединение пространственных и количественных данных (например, концентраций тяжёлых металлов, радиации, эрозии).
2. Выявление пространственных закономерностей: определение географических закономерностей распределения загрязнений.
3. Создание карт рисков: применение геостатистических моделей (кригинг, IDW, регрессионный анализ).
4. Повышение точности: сравнение спутниковых и локальных данных повышает достоверность моделей.
5. Прогнозирование: моделирование сценариев изменения экологической ситуации.

В Темиртау и на территории предприятия «Кармет» было отобрано 25 проб почвы, определены концентрации тяжёлых металлов и выполнено построение корреляционно-геостатистической модели их пространственного распределения.

На основе метода Ordinary Kriging были построены карты распределения концентраций тяжёлых металлов, показавшие зонирование по степени загрязнения.

Корреляционный анализ показал положительные взаимосвязи между рядом металлов. Наиболее высокая корреляция наблюдается между Mn и Cu ($r = 0,64$, $p = 0,0005$), а также между Mn–Pb, Mn–Zn, Cr–Zn, Ba–Zn ($r > 0,5$, $p < 0,004$). Средняя корреляция выявлена для пар Cr–Cu и As–Cr.

На основе этих связей построена композиционная корреляционно-геостатистическая модель, позволившая определить опасные зоны.

Кроме того, геопространственный анализ зависимости концентрации металлов от расстояния до источников загрязнения (в радиусе 1–13 км) позволил установить радиус антропогенного воздействия. Для этого использовались методы буферного анализа и корреляционного анализа, результаты которых были визуализированы в виде карт.

Полученные данные подтвердили ухудшение экологической ситуации и показали прямое влияние промышленного загрязнения на расширение зон техногенного воздействия в Карагандинском регионе. Результаты исследования могут служить научной основой для разработки мер по переработке отходов и экологической ремедиации.

Выводы по третьей главе:

1. Анализ объёмов и состава промышленных отходов и выбросов позволяет оценить влияние на качество почвы, воды, воздуха и здоровье населения Темиртау.
2. Наиболее эффективной методологией признана интеграция лабораторных, геопространственных и статистических данных.
3. Разработанная модель состава тяжёлых металлов обеспечивает комплексную оценку уровня техногенного загрязнения и служит научной основой для планирования мер экологического управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе разработана методика комплексной оценки экологических рисков в промышленных районах Карагандинской области на основе интеграции геопространственных и статистических данных. Предложенный научно-практический подход направлен на моделирование распространения загрязняющих веществ в окружающей среде, прогнозирование экологических рисков и определение их влияния на здоровье населения.

Основные научные результаты и выводы диссертационной работы заключаются в следующем:

- Показано, что интеграция геопространственных и статистических данных позволяет комплексно решать задачи точного определения уровня экологического риска.
- Разработана методика оценки экологических рисков в промышленных территориях на основе анализа концентрации и закономерностей распространения тяжёлых металлов и загрязняющих веществ, а также их влияния на качество окружающей среды.
- Предложена композиционная корреляционно-геостатистическая модель тяжёлых металлов, предназначенная для оценки пространственных особенностей распределения и выявления экологически опасных зон.
- На основе геостатистического анализа выполнено зонирование промышленных территорий по уровням экологического риска и созданы тематические карты, отражающие степень опасности.
- Определена пространственная корреляция между плотностью населения и очагами загрязнения, что позволило выделить территории с высокой вероятностью экологического риска и установить численность населения, подвергающегося воздействию.

Результаты исследования сформировали научную основу для оценки экологических рисков и выявления опасных зон в промышленных регионах посредством интеграции геоинформационных и статистических данных. Предложенные методики могут быть использованы для обеспечения экологической безопасности, совершенствования систем территориального планирования и экологического мониторинга.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих научных трудах:

1. Gulmira Kezembayeva, Kanay Rysbekov¹, Zhuldyz Dyussenova, Almas Zhumagulov, Umbetaly Sarsembin, Madina Barmenshinova, Yerkezhan Begimzhanova, Yryszhan Zhakypbek. Public health risk assessment of quantitative emission from a molybdenum production plant: case study of Kazakhstan. *Engineered Science*, 2025, 34, 1454 DOI: 10.30919/es1454
2. Yryszhan Zhakypbek, Kanay Rysbekov, Bi Yinli, V Lozynskiy, Salmurzauly Ruslan, Yerkezhan Begimzhanova, Gulmira Kezembayeva, Yelikbayev Bakhytzhan, Assel Sankabayeva. Geospatial and Correlation Analysis of Heavy Metal Distribution on the Territory of Integrated Steel and Mining Company Qarmet JSC . Sustainability (Switzerland). 2025. DOI: 10.3390/su17157148
3. Е.Е. Бегимжанова, Ы. Жакыпбек, С.В. Турсбеков. Қатты тұрмыстық қалдықтар полигонын қашықтықтан ұшқышсыз ұшу аппараттарымен бақылау. *Горный журнал Казахстана*, №5, 2021; 48-51.
4. Kalybekov T., Rysbekov K.B., Sandibekov M.N., Zhakypbek Y., Begimzhanova Y.Y. The study of rational technology of reclamation of the mine-out quarry space. *Journal of Advanced Research in Natural Science*. – Seattle, USA: SRC MS, AmazonKDP. – 2020. – Issue 9. 63– 70p. ISSN 2572-4347.
5. Е.Е. Бегимжанова, Ы. Жакыпбек, С.С. Абдыгалиева. Зарубежный опыт обращения с твердыми отходами и возможность его применения в условиях Казахстана. *Materiály XVIII Mezinárodní vědecko - praktická konference «Zprávy vědecké ideje -2021»*, Volume 4:.. Publishing House «Education and Science». 2021. С.: 3-12.
6. Бегимжанова Е. Е., Жакыпбек Ы. Причины самовозгорания твердых бытовых отходов. *Materials of the XVII International scientific and practical Conference Conduct of modern science - 2021*, No: Sheffield. Science and education LTD. С. 52-57.
7. Ы. Жакыпбек, Е.Е. Бегимжанова, Г.Б. Кезембаева С.В. Турсбеков. Қоршаған ортаға қатты тұрмыстық қалдықтардың тигізетін әсерін зерделеу. *Materialy XXII Międzynarodowej naukowí-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2025»*. С. 13-23.
8. Е.Е. Бегимжанова. Қатты тұрмыстық қалдықтар классификациясы. *Сатпаев оқулары*. –Алматы, 2021; 353-356.
9. Ы. Жакыпбек, А. Айдарқызы, Е.Е. Бегимжанова, Г.Б. Кезембаева. Теміртау қаласының өнеркәсіптік ластануын қашықтықтан зондтау арқылы бағалау. *Горный журнал Казахстана*. – 2024. – №9. – Б. 66–70. – ISSN 1684-2822.
10. Ы. Жакыпбек, А. Айдарқызы, Е.Е. Бегимжанова, Г.Б. Кезембаева. Қашықтықтан зондтау деректері негізінде Теміртау қаласындағы қалдық

үйінділерінің өзгеруін және қоршаған ортаның ластануын бағалау. Горный журнал Казахстана. – 2025. - №8. Б. 42-47.

11. Ы. Жакыпбек, Е.Е. Бегимжанова, Г.Б. Кезембаева, С.В. Турсбеков, Ж.Т. Кожаев. Алматы қаласы ауасын ластаушы заттардың кеңістіктік-уақыттық өзгерістерін картографиялық талдау. Гидрометеорология и экология, №1 (116), 2025, 116-131.