

УДК 528.9:504.06

Сопубеков Нематилла Абдилахатович,
кандидат технических наук, профессор
Зулпукаров Жакшылык Алибаевич,
кандидат физико-математических наук, доцент
Эркинбаева Назгуль Абдикаримовна,
доцент

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА
ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В ЭКОЛОГИИ И ГЕОГРАФИИ**

Сопубеков Нематилла Абдилахатович,
техника илимдеринин кандидаты, профессор
Зулпукаров Жакшылык Алибаевич,
физика-математика илимдеринин кандидаты, доцент
Эркинбаева Назгуль Абдикаримовна,
доцент

**ЭКОЛОГИЯ ЖАНА ГЕОГРАФИЯДАГЫ МЕЙКИНДИК МААЛЫМАТТАРЫН ТАЛДООҮЧҮН
ГЕОМААЛЫМАТТЫК ТУТУМДАР ЖАНА МАТЕМАТИКАЛЫК СТАТИСТИКА**

Nematilla A. Sopubekov,
candidate of technical sciences, professor
Zhakshylyk A. Zulpukarov,
candidate of physical and mathematical sciences, associate professor
Nazgul A. Erkinbaeva
associate professor

**GEOINFORMATION SYSTEMS AND MATHEMATICAL STATISTICS
FOR SPATIAL DATA ANALYSIS IN ECOLOGY AND GEOGRAPHY**

Ошский технологический университет им. М.М. Адышева, Ош, Кыргызская Республика
М.М.Адышева атындагы Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы
Osh Technological University named after M.M.Adyshev, Osh, Kyrgyz Republik

Аннотация. В статье рассматривается применение геоинформационных систем (ГИС) и методов математической статистики для анализа пространственных данных в экологии и географии. Обосновывается необходимость интеграции ГИС-технологий с современными статистическими методами обработки информации. Приводятся примеры применения методов регрессионного анализа, кластеризации, корреляционного анализа и геостатистики для решения задач мониторинга и прогнозирования природных процессов. Представлены табличные модели анализа и мониторинга экологических данных.

Ключевые слова: ГИС, пространственные данные, математическая статистика, экология, география, моделирование, мониторинг.

Аннотация. Бул макалада экология жана географияда мейкиндик маалыматтарды талдоо үчүн географиялык маалыматтык системаларды (ГИС) жана математикалык статистика ыкмаларын колдонуу каралат. ГИС технологияларын маалыматтарды иштеп чыгуунун заманбап статистикалык ыкмалары менен интеграциялоонун зарылчылыгы негизделген. Табигый процесстерге мониторинг жана болжолдоо маселелерин чечүүдө регрессиялык ана-

лизиди, кластердик, корреляциялык анализди жана геостатистиканы колдонуу мисалдары келтирилген. Экологиялык маалыматтарды талдоо жана мониторинг жүргүзүү үчүн таблица моделдери берилген.

Ачкыч сөздөр: ГИС, мейкиндик маалыматтары, математикалык статистика, экология, география, моделдөө, мониторинг.

Annotation. This article discusses the application of geoinformation systems and mathematical statistics methods for spatial data analysis in ecology and geography. The necessity of integrating GIS technologies with modern statistical methods of information processing is substantiated. Examples of the use of regression analysis, clustering, correlation analysis, and geostatistics methods for solving problems of monitoring and forecasting natural processes are given. Tabular models for the analysis and monitoring of environmental data are presented.

Keywords: GIS, spatial data, mathematical statistics, ecology, geography, modeling, monitoring.

Актуальность. Современные экологические и географические исследования характеризуются обработкой огромных объемов, пространственных данных, поступающих от сенсоров, метеостанций, сенсорных сетей, спутников дистанционного зондирования Земли и беспилотных систем наблюдения. Масштабы поступающей информации растут в геометрический прогресс, что делает традиционные методы анализа и визуализации недостаточно эффективными. В этих условиях особую роль приобретает интеграция геоинформационных систем (ГИС) с математическими и статистическими методами обработки данных. Такое сочетание позволяет не только повысить точность моделирования и прогнозирования природных ресурсов, позволяющая повысить точность прогнозирования природных процессов, но и выявлять скрытые пространственно-временные зависимости, проводить многомасштабный анализ и формировать новые подходы к интерпретации экологических явлений [1].

Важным направлением развития этого научного направления становятся методы машинного обучения и искусственного интеллекта, которые способны автоматически распознавать сложные нелинейные зависимости в многомерных массивах пространственных данных. Так, алгоритмы классификации и кластеризации применяются для автоматического картографирования типов землепользования на основе спутниковых изображений, а регрессионные и нейросетевые модели — для прогнозирования распространения загрязняющих веществ в атмосфере, водных объектах и почвенном покрове. Использование таких подходов существенно

повышает информативность и оперативность анализа природных процессов.

Не менее значимым направлением является развитие технологий больших данных (Big Data), которые обеспечивают возможность работы с информацией в режиме, близком к реальному времени. Это создаёт предпосылки для формирования цифровых двойников природных систем — динамических моделей, непрерывно обновляемых поступающими данными. Такие системы становятся востребованным инструментом при решении задач устойчивого развития территорий, оценки рисков природных катастроф и выработки мер адаптации к изменению климата. Их внедрение способствует повышению эффективности управленческих решений на уровне государства, бизнеса и региональных структур.

Учитывая вышеуказанных, синтез геоинформационных технологий, методов математической статистики и инструментов анализа данных (Data Science) формирует новую парадигму пространственных исследований. Происходит переход от описательного анализа и ретроспективного моделирования геосистем к их прогностическому и предиктивному управлению, что открывает принципиально новые возможности для науки о земле и практической экологии.

Методы исследования. В данной работе мы применили комплексный подход, объединяющий возможности геоинформационных систем и методы математической статистики, что обеспечивает глубину и точность анализа пространственных данных.

В разделе ГИС-технологий используются инструменты пространственного анализа, включая буферизацию, наложение слоев и

цифровое моделирование рельефа для расчёта морфометрических показателей, таких как уклоны, экспозиции и индексы влажности. Здесь особое внимание уделено интеграции разнородных данных — векторных, растровых и атрибутивных — в единую геоинформационную модель, что позволяет создавать полное и согласованное представление о пространственных закономерностях исследуемых территорий.

А в математико-статистическом разделе этот блок включает корреляционный и регрессионный анализ для выявления и количественной оценки взаимосвязей между параметрами, алгоритмы кластеризации для определения пространственно однородных ареалов, а также методы геостатистики (кригинг, вариограммный анализ) для интерполяции и оценки пространственной автокорреляции. Дополнительно применяются методы анализа временных рядов для выявления трендов, сезонности и цикличности природных процессов [2,3].

В исследовании совместное использование ГИС и статистических инструментов создаёт синергетический эффект: появляется возможность перехода от статического описания к динамическому многовариантному моделированию природных процессов. Это, в свою очередь, позволяет открывать перспективы для сценарного прогнозирования их развития в пространственно-временном континууме и служит надёжной основой для принятия научно обоснованных управленческих решений в области экологии и географии.

Практическое применение. В исследованиях совместное использование геоинформационных систем и методов математической статистики нашло широкое применение в прикладных исследованиях и практических задачах, включая экологический мониторинг, оценку экологических рисков, градостроительное планирование, географические исследования и климатологическое моделирование [4,5,6].

Приведем конкретные примеры:

- Экологический мониторинг: формирование цифровых карт загрязнения атмосферы, почв и водных объектов на основе интерполяции данных с пунктов наблюдения с использованием методов геостатистики. Дополнительно алгоритмы машинного обучения позволяют автоматически выявлять изменения в землепользовании по спутниковым изображениям, обеспечивая оперативный контроль за состоянием окружающей среды.

- Оценка экологических рисков: пространственное моделирование зон потенциального затопления, оползней или последствий промышленных аварий. Статистический анализ позволяет рассчитывать вероятности наступления событий и оценивать уязвимость инфраструктуры, что особенно важно для планирования мероприятий по снижению рисков и защиты населения.

- Градостроительное планирование и умные города: анализ транспортных потоков и оптимизация размещения социальной инфраструктуры (школ, больниц). Использование многокритериального анализа с учётом экологических, социальных и экономических факторов помогает выявлять территории, перспективные для жилой и коммерческой застройки, обеспечивая устойчивое развитие городской среды.

- Географические исследования: изучение пространственных закономерностей распространения природных и социально-экономических явлений — от анализа биоразнообразия и миграций животных до моделирования рынков сбыта продукции и перемещений населения.

- Климатология и агромоделирование: анализ многолетних временных рядов спутниковых данных для выявления климатических трендов, прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур с учётом характеристик почв, осадков и температурного режима.

Используя и учитывая этих примеров составлена таблица с примерами практического применения.

Таблица 1. Примеры практического применения.

Область применения	Используемые методы	Пример результата
Мониторинг воздуха	Регрессия, корреляция	Карта концентрации загрязняющих веществ
Гидрология	Временные ряды, ГИС-анализ	Прогноз паводковых зон
Почвенные исследования	Геостатистика (кригинг)	Карта содержания тяжелых металлов
Лесные пожары	Анализ спутниковых данных	Моделирование риска возгорания
Урбанистика	Кластеризация, ГИС	Оптимизация градостроительных решений

Следовательно, интеграция ГИС и статистических методов создаёт мощный аналитический инструмент, позволяющий проводить комплексный анализ, моделировать природные и социально-экономические процессы и формировать научно обоснованную базу для принятия управленческих решений. Применение такие подходы способствует повышению эффективности планирования, прогнозирования и стратегического развития территорий.

Анализ полученных данных. Проведенные анализ пространственных данных с применением геоинформационных систем и методов математической статистики позволяет нам, выявлять пространственные закономерности, определять временные тенденции и строить прогностические модели. Такой подход способствует разработке целевых мер по снижению экологических рисков и формированию комплексных карт экологических показателей [6,7].

Использование ГИС и данные статистики превращает первые сырые данные в инструмент стратегического планирования. Аналитический процесс не ограничивается описанием текущего состояния окружающей среды: он позволяет выявлять движущие силы процессов, прогнозировать их развитие и принимать обоснованные управленческие решения.

Основные аналитические возможности включают:

1. Выявление скрытых пространственных закономерностей и аномалий. С помощью пространственной статистики,

например индексов Морана или кластерного анализа, можно объективно определить зоны статистически значимого скопления явлений — «горячие точки» загрязнения, ареалы повышенного биоразнообразия или территории с однородными социально-экономическими условиями.

2. Определение и количественная оценка временных тенденций. Анализ временных рядов данных дистанционного зондирования и наземных измерений позволяет отслеживать динамику природных и антропогенных процессов: деградацию лесов, урбанизацию территорий, изменение уровня водоёмов или концентрации парниковых газов в атмосфере.

3. Построение и верификация прогностических моделей. На основе выявленных взаимосвязей между факторами, такими как рельеф, землепользование и концентрация загрязняющих веществ, создаются регрессионные и машинные модели. Эти модели позволяют с высокой точностью прогнозировать развитие событий в различных сценариях, например распространение лесных пожаров или последствия паводковых ситуаций.

Практическая ценность анализа заключается в его прикладной направленности. Такие полученные результаты используются для:

- Разработки целевых мер по снижению экологических рисков, что позволяет сосредоточить ресурсы на наиболее уязвимых и критически важных территориях;
- Формирования комплексных тематических карт.

ческих карт, объединяющих экологические, социальные и экономические показатели в единую информационную панель для при-

нятия управленческих решений. В таблице 2 указаны показатели экологического анализа.

Таблица 2. Анализ экологических показателей

Показатель	Метод анализа	Характер выявленной зависимости
Концентрация NO ₂	Корреляционный анализ	Рост показателя связан с плотностью транспортного трафика
Качество воды	Кластеризация	Выделение 3 групп рек по уровню загрязнения
Загрязнение почвы	Геостатистика	Локальные аномалии вблизи промышленных зон
Климатические изменения	РСА, временные ряды	Главный фактор – рост среднегодовой температуры
Рельеф	ГИС + регрессия	Зависимость эрозии почвы от уклона местности

Исходя из этого, синтез ГИС и статистических методов позволяет преобразовать разрозненные данные в системное знание, необходимое для реализации принципов устойчивого развития и адаптивного управления территориями. Такой подход обеспечивает научно обоснованную основу для прогнозирования и стратегического планирования в экологической, географической и градостроительной сферах.

Результаты исследования. По результатам исследования, проведенные анализы показали, что интеграция геоинформационных систем и методов математической статистики позволяет существенно повысить точность моделирования природных процессов и выявлять скрытые корреляции между экологическими факторами и техногенными нагрузками. В рамках исследования были построены пространственно-временные прогнозы развития природных систем, а также сформированы комплексные карты экологических рисков.

Полученные результаты имеют практическую значимость: они могут использоваться для планирования и управления территориями, разработки мероприятий по охране окружающей среды, а также оптимизации

систем экологического мониторинга. Такой подход обеспечивает научно обоснованную основу для принятия управленческих решений в области природопользования и устойчивого развития территорий.

Заключение. Подводя итогов интеграция геоинформационных систем и методов математической статистики является одним из наиболее перспективных направлений исследований в экологии и географии. Применение этих инструментов позволяет нам проводить комплексный анализ пространственных данных, выявлять скрытые закономерности, строить прогнозные модели и принимать обоснованные решения в сфере природопользования и охраны окружающей среды.

Использование возможности ГИС и данные статистики открывает новые возможности для научных исследований и практических приложений, включая экологический мониторинг, оценку рисков природных и техногенных воздействий, градостроительное планирование и адаптацию к изменениям климата. Это создаёт основу для более эффективного и стратегически обоснованного управления природными ресурсами и территориальными системами.

Список литературы:

1. Чертко Н.К., Карпиченко А.А. Математические методы в географии: учебно-методическое пособие. — Минск: БГУ, 2019.
2. Букаты М.Б. Геоинформационные системы и математическое моделирование. - Томск: Изд. ТПУ, 2019.
3. Парыгин Д.С., Игнатьев А.В., Садовникова Н.П., Гуртяков А.С. Геоинформационные системы: Учебно-методическое пособие. - Минск: БГУ, 2023.
4. Жуков В.Г., Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Математико-географическое моделирование в географии. - М.: Мысль, 2020.
5. Калинина В.Н., Панкин В.Ф. Математическая статистика: учебное пособие. - 4-е изд., испр. - М.: Дрофа, 2022.
6. Мельников Д.П. Геоинформационные технологии в экологическом мониторинге. - Екатеринбург: УрФУ, 2021.
7. Петрова Л.С. Методы статистического анализа экологических данных. - Казань: КФУ, 2019.