

УДК 52.08

МЕТОДЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сазонов С.Е.

к.т.н., доцент

Севастопольский государственный университет

Севастополь, Россия

Ревенко Д.В.

старший преподаватель

Севастопольский государственный университет

Севастополь, Россия

Аннотация

В статье рассматриваются современные методы геодезического обеспечения экологических исследований, их роль в мониторинге состояния окружающей среды и управлении природными ресурсами. Основное внимание уделяется применению геодезических технологий для решения экологических задач: мониторинга экосистем, оценки климатических изменений, управления водными ресурсами и контроля загрязнений.

Освещены ключевые геодезические методы, включая глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), дистанционное зондирование, лазерное сканирование и геоинформационные системы (ГИС). Показаны возможности их применения для отслеживания изменений природных ландшафтов.

Ключевые слова: геодезический мониторинг, экологические исследования, глобальные навигационные системы, дистанционное зондирование, геоинформационные системы, экологический контроль, мониторинг экосистем, управление природными ресурсами, лазерное сканирование, природоохранные технологии.

METHODS OF GEODETIC SUPPORT FOR ENVIRONMENTAL RESEARCH

Sazonov S.E.

*PhD, Associate Professor,
Sevastopol State University
Sevastopol, Russia*

Revenko D.V.

*senior lecturer,
Sevastopol State University
Sevastopol, Russia*

Abstract

The article discusses modern methods of geodetic support for environmental research, their role in monitoring the state of the environment and natural resource management. The main focus is on the application of geodetic technologies to solve environmental problems: ecosystem monitoring, climate change assessment, water resources management and pollution control.

Key geodetic methods are highlighted, including global navigation satellite systems (GNSS), remote sensing, laser scanning, and geographic information systems (GIS). The possibilities of their application for tracking changes in natural landscapes are shown.

Keywords: geodetic monitoring, environmental research, global navigation systems, remote sensing, geoinformation systems, environmental control, ecosystem monitoring, natural resource management, laser scanning, environmental technologies.

Геодезическое обеспечение экологических исследований представляет собой комплекс методов и технологий, направленных на получение, обработку и интерпретацию пространственных данных, необходимых для всестороннего

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

анализа состояния окружающей среды. Современные геодезические технологии, такие как системы глобального спутникового позиционирования (GNSS), лазерное сканирование (LiDAR), дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) и интерферометрический радар (InSAR), позволяют обеспечить высокую точность измерений и оперативное выявление изменений в экосистемах. Геоинформационные системы (ГИС) интегрируют результаты полевых измерений, позволяя создавать цифровые карты, модели и базы данных, что является важным условием при осуществлении анализа экологических процессов.

В данной статье рассматриваются ключевые методы геодезического обеспечения, этапы их применения, а также примеры успешного использования этих методов в экологических исследованиях. Особое внимание уделяется современным технологиям, обеспечивающим возможность мониторинга в режиме реального времени, и интеграции разнородных данных для комплексного анализа состояния природной среды.

Основные методы геодезического обеспечения в экологии

Современные методы геодезического обеспечения основаны на применении ряда технологий, позволяющих собирать пространственные данные с высокой точностью. Рассмотрим основные из них.

Глобальные навигационные спутниковые системы (GNSS).

GNSS (включая GPS, ГЛОНАСС, Galileo и BeiDou) являются основным инструментом для определения координат объектов на Земле. При помощи специализированных приемников можно получать данные с точностью до сантиметров, что критично при мониторинге и контроле охраняемых природных территорий. Эти технологии используются для корректного позиционирования объектов, определения высотных отметок и построения 3D-моделей местности [1].

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ).

ДЗЗ основано на сборе данных с помощью спутников и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). С помощью мультиспектральных снимков, фотограмметрии и лазерного сканирования исследователи могут получать информацию о распределении поверхностных характеристик, изменениях ландшафта, состоянии водных ресурсов и растительного покрова. ДЗЗ позволяет охватывать большие территории за счет высоко детализированных изображений в реальном времени [2].

Лазерное сканирование (LiDAR).

Метод LiDAR использует лазерное излучение для измерения расстояния до поверхности, что позволяет создать точное облако точек и 3D—модель местности. Эта технология активно применяется для мониторинга изменений рельефа, оценки плотности растительности и анализа плотности городской застройки, что важно при экологическом мониторинге и оценке биоразнообразия.

Интерферометрический радар (InSAR).

InSAR позволяет оценивать деформации поверхности земли с использованием радарных данных, полученных с двух и более снимков. Эта технология важна для мониторинга оползней, изучения грунтовых движений и изменений уровня поверхностных вод. Благодаря интерферометрическому методу можно выявить изменения с точностью до сантиметров, что имеет существенное значение при оценке экологических рисков [3].

Геоинформационные системы (ГИС).

ГИС интегрируют данные, полученные с помощью вышеперечисленных технологий, и обеспечивают их хранение, анализ и визуализацию. Применение ГИС-технологий в экологии позволяет не только осуществлять пространственный анализ, но и создавать базы данных для мониторинга состояния окружающей среды, прогнозирования экологических изменений и поддержки принятия управленческих решений. Такие системы дают

возможность моделирования сложных экологических процессов и оценки воздействия на природные ресурсы.

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)

Современные БПЛА оснащены высокоточным оборудованием и могут использоваться для проведения аэрофотосъемки, создания 3D-моделей местности и оперативного мониторинга экологических объектов. Беспилотные системы позволяют выполнять работы на больших территориях и в труднодоступных районах, что существенно повышает эффективность экологических исследований.

Сравнение методов и областей применения представлено в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнительный анализ методов геодезического обеспечения и их применение в экологических исследованиях.

Метод	Область применения	Точность и особенности
GNSS (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou)	Позиционирование, определение высоты, 3D-моделирование	Высокая точность, используется в любых климатических условиях
ДЗЗ (спутниковая и аэросъемка)	Мониторинг ландшафта, оценка состояния экосистем	Охват больших территорий, мультиспектральное изображение
LiDAR	Создание облака точек, 3D-моделирование	Высокая точность, используется в любых климатических условиях
InSAR	Мониторинг деформаций, оценка геодинамических процессов	Высокая точность, скорость сбора данных, детальная визуализация. Точность до сантиметров, анализ сглаженных данных с радарных снимков
ГИС	Интеграция и анализ пространственных данных	Возможность моделирования, создание баз данных, визуализация результатов
БПЛА	Аэрофотосъемка, создание 3D-моделей	Оперативность, мобильность, доступ в труднодоступные

		районы
--	--	--------

Этапы геодезических исследований в экологии

Геодезическое обеспечение экологических исследований представляет собой многоэтапный процесс, включающий подготовку, сбор данных, обработку, анализ и формирование ответов. Каждый этап имеет свои особенности, требующие применения современных технологий [4].

Подготовительный этап. На подготовительном этапе производится изучение имеющейся картографической информации, документации, предшествующих исследований и геодезических данных. Необходимо определить область исследования, подобрать оптимальные методы сбора данных и составить план работы. ГИС—системы здесь играют ключевую роль, позволяя визуализировать предварительные данные и корректно спланировать полевые работы

Сбор данных. Сбор данных осуществляется с использованием GNSS-приемников, спутниковых снимков, БПЛА и LiDAR-сканеров. Каждый из этих инструментов обеспечивает получение данных с высокой точностью:

- GNSS используется для определения координат и высот объектов в реальном времени;
- ДЗЗ обеспечивает получение мультиспектральных изображений, которые необходимы для анализа изменений в экосистемах;
- LiDAR позволяет детально исследовать рельеф и состояние растительного покрова, создавая облака точек высокой плотности;
- БПЛА оперативно обеспечивают съемку труднодоступных районов, интегрируясь с ГИС для формирования цифровых моделей.

Обработка и анализ данных. После сбора данных они проходят этап предварительной обработки: корректировка координат, фильтрация шумов и приведение данных к единому формату. Использование ГИС-систем позволяет

объединить данные различных источников (GNSS, ДЗЗ, LiDAR), что способствует их комплексному анализу. На данном этапе проводятся пространственные анализы, моделирование 3D-структур, оценка изменений рельефа и мониторинг динамических процессов в экосистемах [5].

Формирование отчетности и визуализация результатов. Последний этап связано с подготовкой технических ответов и визуализацией полученных данных. ГИС-инструменты позволяют создавать цифровые карты, тематические слои, 3D - модели и диаграммы, упрощающие интерпретацию результатов исследования.

Визуальные модели и статистические данные используются для принятия управленческих решений и обеспечения эффективного экологического мониторинга.



Рис. 1 – Блок-схема этапов геодезического обеспечения экологических исследований (разработано автором)

Примеры применения геодезических методов в экологических исследованиях.

Применение геодезических методов дает возможность решать ряд практических задач, связанных с оценкой состояния окружающей среды. Ниже приведены конкретные примеры и кейсы использования этих технологий.

Мониторинг водных ресурсов. Геодезические методы широко применяются для контроля состояния водных объектов. С помощью высокоточных GNSS-измерений, данных ДЗЗ и ИНСАР можно отслеживать динамику береговой линии, объем водных масс и изменения уровня реки или озера [6].

Например, создание геоинформационной базы данных особо охраняемых природных территорий (ООПТ) позволяет объединить пространственные данные с информацией о состоянии водных объектов, что критически важно для природоохранных мероприятий.

Анализ изменений ландшафта и эрозии почвы. Лазерное сканирование (LiDAR) дает возможность создавать детальные 3D-модели рельефа, что позволяет не только оценить текущее состояние поверхности, но и смоделировать будущие изменения. Такие модели применяются для анализа эрозии почвы, прогнозирования оползневых процессов и оценки воздействия антропогенной деятельности на природный ландшафт [7].

Определение мест обитания и мониторинг биоразнообразия. Использование ГИС в комбинации с данными ДЗЗ позволяет создавать пространственные модели распределения флоры и фауны, что особенно важно при планировании охраняемых территорий и восстановлении естественных экосистем. Точные карты мест обитания видов, включенных в Красную книгу, способствуют принятию своевременных мер по их сохранению [8].

Контроль за воздействием антропогенной деятельности. Геодезические технологии позволяют проводить оценку влияния строительства, добычи полезных ископаемых и других видов антропогенной деятельности на окружающую среду. Сравнительный анализ методов топогеодезических измерений, использованных для определения точности координат, показывает, Дневник науки | www.dnevnika.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

что современные системы позволяют минимизировать ошибки, что важно для экологических экспертиз.

Пример комплексного экологического исследования. Одним из реальных кейсов является разработка проекта по мониторингу состояния природных территорий Пермского края, где использовались ГИС-технологии и ГНСС для создания базы данных ООПТ [9]. В данном проекте данные дистанционного зондирования, полученные с использованием спутников и беспилотных летательных аппаратов, объединялись с полевыми измерениями, что позволяло контролировать состояние экосистем и своевременно выявлять негативные изменения.

Преимущества и вызовы применения геодезических технологий. Применение современных геодезических методов в экологических исследованиях имеет ряд очевидных преимуществ, но также сопряжено с определёнными вызовами.

Преимущества:

- Повышенная точность данных. Системы GNSS, LiDAR и InSAR обеспечивают измерения с высокой точностью, что позволяет оценивать микроизменения в рельефе и состоянии окружающей среды.
- Комплексный охват территории. Сочетание данных дистанционного зондирования и полевых измерений позволяет охватывать большие пространства, анализируя экологическую ситуацию в масштабах целых регионов.
- Возможность мониторинга в режиме реального времени. Использование современных технологий позволяет получать данные практически мгновенно, что критически важно для оперативного реагирования на изменения в экосистемах.
- Интеграция разнородных данных. ГИС-системы эффективно объединяют данные различных источников, что улучшает анализ и прогнозирование экологических процессов.

Вызовы и ограничения:

- Необходимость точной калибровки и актуализации данных. Неправильное обращение с геодезическими данными может привести к существенным погрешностям в координатах, что критично для экологических исследований.
- Комплексность обработки больших объемов данных. Современные методы генерируют огромные объемы пространственных данных, требующих мощных вычислительных ресурсов и специализированного программного обеспечения для анализа.

В таблице 2 представлены основные ограничения каждого метода.

Таблица 2 - Сравнительный анализ преимуществ и вызовов применения геодезических методов в экологии

Фактор	Преимущества	Ограничения
Точность измерений	Высокая точность GNSS, LiDAR, InSAR	Возможность погрешностей при некорректной калибровке данных.
Охват территории	Широкий охват с использованием ДЗЗ и БПЛА	Ограничения при неблагоприятных погодных условиях
Интеграция данных	ГИС обеспечивает объединение разнородных данных	Требует высокопроизводительных вычислительных средств
Оперативность	Реальное время мониторинга с использованием современных сенсоров	Зависимость от внешних условий, влияющих на качество снимков

Современные технологии интеграции ГИС, ДЗЗ и геодезии.

В последние годы наблюдается тесная интеграция ГИС, данных дистанционного зондирования и классических геодезических методов. Совмещение этих подходов позволяет значительно повысить аналитический потенциал экологических исследований [10].

Интеграция ГИС с данными ДЗЗ и геодезии. ГИС служат универсальной платформой для хранения, обработки и визуализации пространственных данных, полученных как из традиционных геодезических измерений, так и с Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМН ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

помощью спутниковых снимков и БПЛА. Например, создание геоинформационной базы данных для охраняемых природных территорий требует интеграции высокоточных данных GNSS, снимков из дистанционного зондирования и результатов полевых измерений, что позволяет получать комплексную оценку состояния территории.

Современные программные продукты и инструменты. На рынке представлены специализированные ГИС-продукты, такие как ArcGIS и ENVI, которые позволяют эффективно обрабатывать и анализировать большие объемы экологических данных.

Их функциональность включает:

- Пространственный анализ и моделирование;
- Построение цифровых моделей местности;
- Визуализацию многослойных карт с интеграцией атрибутивных данных.

Роль беспилотных технологий и систем лазерного сканирования. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и системы лазерного сканирования (LiDAR) значительно облегчают сбор данных в труднодоступных районах, позволяя получать высококачественные изображения и 3D - модели в реальном времени. Их применение особенно актуально при мониторинге изменений в экосистемах, где важна оперативность и детальность данных [11].

Применение интерферометрического радара (InSAR). InSAR становится незаменимым инструментом для мониторинга деформаций земной поверхности, позволяя фиксировать микросдвиги и изменения, связанные с оползнями или ответом экосистем на антропогенные воздействия. Интеграция данных InSAR с ГИС позволяет строить динамические модели, демонстрирующие эволюцию ландшафта во времени [12].

Схема интеграции современных технологий представлена на рисунке 2.

В заключении можно отметить, что методы геодезического обеспечения играет важнейшую роль в экологических исследованиях.

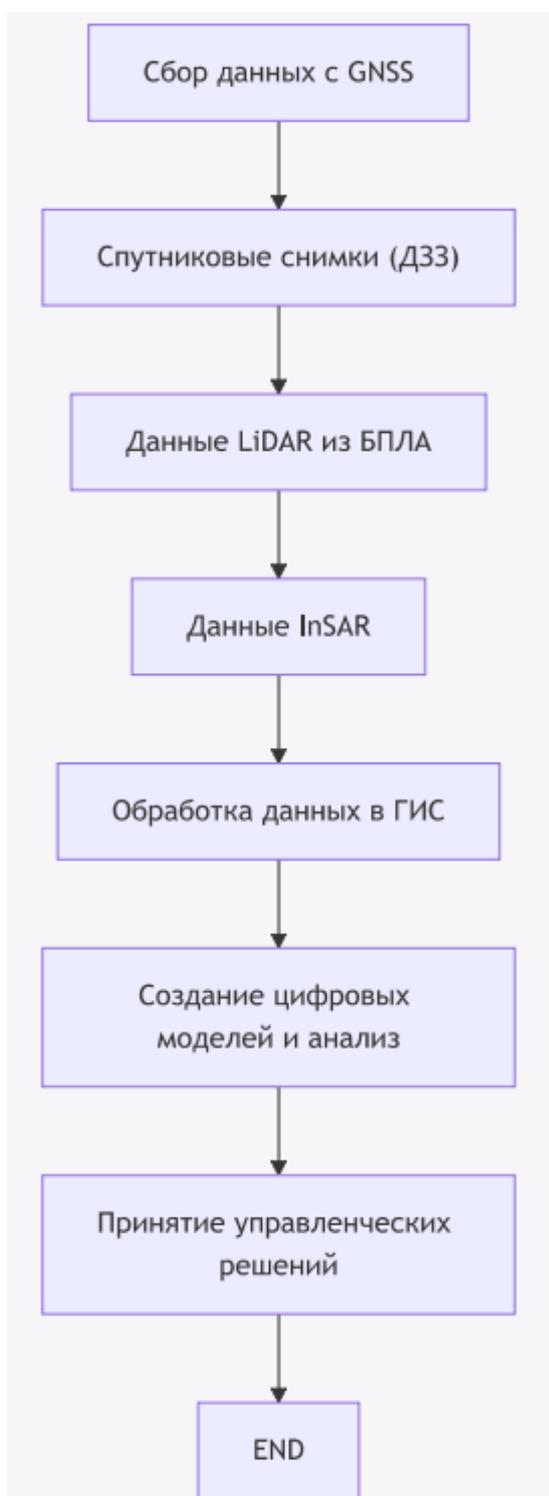


Рис. 2 - Схема интеграции ГИС, ДЗЗ, GNSS, LiDAR и InSAR для экологического мониторинга (разработано автором)

Их применение позволяет:

- Повысить точность и оперативность получения пространственных данных;
- Обеспечить интеграцию разнородных источников информации в единую систему анализа;
- Создать цифровые модели и базы данных, необходимые для оценки состояния природных объектов;
- Осуществлять мониторинг изменений окружающей среды, прогнозировать экологические риски и обеспечивать обоснование управленческих решений.

Ключевые моменты исследования включают следующие аспекты.

- Высокоточные GNSS-системы обеспечивают оперативное и точное позиционирование, что является основой для дальнейших измерений;
- Системы дистанционного зондирования и БПЛА позволяют быстро охватывать большие территории, предоставляя детализированные мультиспектральные данные о ландшафте и состояниях экосистем;
- Лазерное сканирование (LiDAR) и InSAR демонстрируют высокую точность при анализе микродеформаций и изменений рельефа, что особенно актуально для мониторинга динамики природных процессов;
- ГИС-системы становятся универсальной платформой для интеграции, анализа и визуализации данных, что значительно улучшает качество экологических исследований и поддержки принятия управленческих решений.

Таким образом, современные методы геодезического обеспечения представляют собой мощный инструмент в арсенале экологических исследований, способный удовлетворить запросы по мониторингу, оценке и прогнозированию состояния окружающей среды в условиях изменяющихся природных и антропогенных факторов [13].

Основные выводы исследования

- Точность и оперативность: использование современных технологий (GNSS, LiDAR, InSAR) обеспечивает высокоточную информацию, позволяющую своевременно реагировать на изменения экосистем.
- Широкий охват: дистанционное зондирование и использование БПЛА позволяют проводить исследования на обширных территориях и в труднодоступных районах.
- Интеграция данных: ГИС-системы играют ключевую роль в объединении данных из различных источников, что способствует комплексному анализу экологических процессов.
- Преодоление вызовов: несмотря на высокую точность измерений, основные проблемы связаны с калибровкой данных, обработкой больших объемов данных и необходимостью квалифицированных специалистов.
- Прогнозирование и анализ: моделирование с использованием интегрированных геодезических данных позволяет прогнозировать изменения в ландшафте и оценивать экологические риски, что важно для принятия решений по охране окружающей среды [14].

Эти выводы подтверждают важность и необходимость внедрения современных геодезических технологий для комплексного экологического мониторинга и поддержания устойчивости природных экосистем.

Таким образом, методы геодезического обеспечения экологических исследований демонстрируют высокую эффективность и надежность в современном мире. Их интеграция с ГИС, дистанционным зондированием и новейшими технологиями, такими как LiDAR и InSAR, открывает новые возможности для научного анализа и практического применения в управлении природными ресурсами и охране окружающей среды [15].

Дальнейшее развитие данных технологий обещает повысить точность и оперативность экологических исследований, создавая более прозрачную и информированную среду для принятия управленческих решений.

Библиографический список:

1. ГОСТ Р 51774-2001. Аппаратура геодезическая электронная. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Стандартиформ, 2023. – 24 с.
2. ГОСТ 10528-90. Нивелиры. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2022. – 16 с.
3. ГОСТ 21.301-2013. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации инженерных изысканий. – М.: Стандартиформ, 2023. – 32 с.
4. Авакян, А. Б. Экологические основы управления водными ресурсами / А. Б. Авакян, В. И. Данилов-Данильян. – М.: Наука, 2020. – 234 с.
5. Баландин, Р. Ю. Геоинформационные системы в экологических исследованиях / Р. Ю. Баландин, А. В. Поздняков. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2021. – 189 с.
6. Вольвач, А. М. Современные методы геодезического мониторинга природных объектов / А. М. Вольвач // Геодезия и картография. – 2022. – № 5. – С. 25-32.
7. Геодезия с основами картографии и картографического черчения: учебник / под ред. В. Г. Уткина. – М.: КолосС, 2021. – 356 с.
8. Зарубин, А. Г. Применение глобальных навигационных спутниковых систем в экологических исследованиях / А. Г. Зарубин // Экологические системы и приборы. – 2022. – № 8. – С. 45-51.
9. Калачева, Л. В. Дистанционное зондирование в экологических исследованиях / Л. В. Калачева // Современные проблемы науки и образования. – 2022. – № 4. – С. 78-85.
10. Мартынов, В. А. Геодезические методы в экологическом мониторинге / В. А. Мартынов. – М.: Геос, 2021. – 198 с.

11. Никифорова, Ю. Ю. Методы экологических исследований: учеб. пособие / Ю. Ю. Никифорова, О. А. Мельник. – Краснодар: КубГАУ, 2022. – 87 с.
12. Петров, М. А. Лидарные технологии в экологическом мониторинге / М. А. Петров // Оптический журнал. – 2022. – Т. 89, № 6. – С. 98-104.
13. Рахматзода, Р. А. Повышение эффективности применения глобальных навигационных спутниковых систем при геодезическом обеспечении земельно-кадастровых работ: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Р. А. Рахматзода. – Комсомольск-на-Амуре, 2020. – 24 с.
14. Смирнов, В. П. Экологический мониторинг: учебное пособие / В. П. Смирнов. – М.: ФОРУМ, 2021. – 288 с.
15. Ушаков, И. Р. Геоинформационные системы в управлении природными ресурсами / И. Р. Ушаков // Природные ресурсы. – 2022. – № 3. – С. 67-74.

Оригинальность 76%