

Николаев А., Друмя Д., Цыбульский Ф. Кишинэу: UNDP, 2017. – С.110. https://www.md.undp.org/content/dam/moldova/docs/Publications/04_Soluri_var-RUS_25-01-2018.pdf

4. Free and Open Spatia Data and tools for environmental components analysis. Kumhalova Jitka, Sirbu Rodica, Chisinau, 2022, 52 p.

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МИГРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ И ВОДАХ В КОНТЕКСТЕ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS FOR MONITORING THE MIGRATION OF POLLUTANTS IN SOILS AND WATERS IN THE CONTEXT OF ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT

В. В. Плесканев^{1,2}, П. К. Шалькевич^{1,2}, Л. А. Липницкий^{1,2}

V. V. Pleskanev^{1,2}, P. K. Shalkevich^{1,2}, L. A. Lipnitsky^{1,2}

*¹Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
г. Минск, Республика Беларусь
shalkevich@iseu.by*

²Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск,, Республика Беларусь

*¹International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, the Republic of Belarus*

²Belarusian State University, BSU, Minsk, the Republic of Belarus

Рассмотрены географические информационные системы (ГИС) для мониторинга миграции загрязняющих веществ в почвах и водах. Представлен обзор архитектуры создания программного продукта ГИС: их интерфейса, функций, преимуществ и ограничений. Сформулированы условия, при которых возможно решение экологических проблем для будущих исследований в этой области.

Geographic information systems (GIS) for monitoring the migration of pollutants in soils and waters are considered. An overview of the architecture for creating a GIS software product: their interface, functions, advantages and limitations is presented. The conditions under which it is possible to solve environmental problems for future research in this area are formulated.

Ключевые слова: геоинформационные системы, ГИС, мониторинг окружающей среды, миграция загрязняющих веществ.

Keywords: geographic information systems, GIS, environmental monitoring, contaminants migration.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-320-324>

В современном мире геоинформационные системы используются человеком во многих отраслях: сельское хозяйство, городское планирование, здравоохранение, коммунальные услуги, недвижимость, управление природными ресурсами и чрезвычайными ситуациями, управление окружающей средой. Это обусловлено тем, что ГИС – это универсальная технология, которая широко используется и постоянно развивается, и ее потенциальные области применения расширяются по мере появления новых источников данных [1].

Загрязнение почв и вод является глобальной экологической проблемой и может иметь серьезные последствия для здоровья человека и окружающей среды. ГИС являются эффективным инструментом мониторинга миграции загрязняющих веществ в почвах и водах. Они позволяют визуализировать пространственное распределение загрязняющих веществ, выявлять потенциальные очаги загрязнения и разрабатывать эффективные меры по предотвращению загрязнения [2].

На сегодняшний день на рынке доступен широкий выбор программных продуктов ГИС, каждый из которых имеет свои сильные стороны и возможности. Большинство этих продуктов использует множество методов из различных дисциплин: картографические методы, дистанционное зондирование, геодезические методы, пространственный анализ, методы управления базами данных и визуализация данных и т.д. [3]. Наиболее распространенные ГИС:

- ArcGIS: разработанная компанией Esri, это одна из наиболее широко используемых программ ГИС в мире. Он известен своим всеобъемлющим набором инструментов и возможностей для анализа пространственных данных.

- QGIS: бесплатная ГИС-программа с открытым исходным кодом. Она имеет удобный интерфейс и может работать с различными форматами данных.

- Google Планета Земля: веб-платформа, которая позволяет пользователям исследовать и визуализировать поверхность Земли в 3D. Она также имеет некоторые возможности ГИС, такие как возможность импорта и отображения пространственных данных.

- MapInfo: программа ГИС, которая широко используется для картографирования и пространственного анализа в коммерческом и государственном секторах.

- GRASS GIS: бесплатное программное обеспечение ГИС с открытым исходным кодом, известное своими мощными инструментами для геопространственного анализа и моделирования.

- GeoServer: серверное программное обеспечение с открытым исходным кодом, которое позволяет пользователям обмениваться и публиковать геопространственные данные в Интернете.

- OpenLayers: библиотека JavaScript с открытым исходным кодом, которая позволяет разработчикам создавать интерактивные карты и веб-приложения ГИС.

- PostGIS: расширитель пространственной базы данных с открытым исходным кодом для PostgreSQL, который добавляет поддержку географических объектов, позволяя пользователям хранить пространственные данные и управлять ими в базе данных.

Выбор того, какую ГИС стоит применять на практике зависит от конкретных задач пользователя.

ГИС могут быть классифицированы по определенным критериям:

1) По функциональности:

- Настольные ГИС: это традиционное программное обеспечение ГИС, которое работает на настольных компьютерах и предлагает широкий спектр функций, включая управление данными, пространственный анализ, картографирование и визуализацию.

- Веб-ГИС: это ГИС, которые доступны через веб-браузеры и предлагают функции, аналогичные настольным ГИС. Они часто включают картографические веб-сервисы и обеспечивают совместную работу и обмен данными.

- Мобильные ГИС: это ГИС, предназначенные для использования на мобильных устройствах, таких как смартфоны и планшеты. Они часто включают функции GPS и могут использоваться для сбора полевых данных и составления карт в реальном времени.

2) На основе программной архитектуры:

- Автономные ГИС: это ГИС, которые устанавливаются на один компьютер и работают локально. Они часто требуют значительных вычислительных мощностей и памяти.

- Клиент-серверные ГИС: это ГИС, основанные на архитектуре клиент-сервер. ГИС-клиент устанавливается на отдельные компьютеры, а ГИС-сервер занимается хранением и обработкой данных. Это обеспечивает большую масштабируемость и упрощает обмен данными.

- Облачные ГИС: это ГИС, которые размещены в облаке и доступны через веб-браузеры. Они обеспечивают масштабируемость и гибкость, а также возможность доступа к данным из любого места, где есть подключение к Интернету.

3) По применению:

- Экологические ГИС: это ГИС, которые используются для управления и анализа данных об окружающей среде, таких как качество воды, загрязнение воздуха и землепользование.

- Транспортная ГИС: это ГИС, которые используются для управления и анализа транспортных данных, таких как схемы движения, дорожные сети и системы общественного транспорта.

- Городские ГИС: это ГИС, которые используются для управления и анализа городских данных, таких как контуры зданий, зонирование и демография.

Для построения архитектуры программного продукта ГИС для мониторинга миграции загрязняющих веществ в почвах и водах, необходимо рассмотреть несколько этапов [2]:

1) Собрать данные о загрязняющих веществах, их источниках и потенциальных путях миграции. Сюда можно отнести сбор данных о пробах почвы и воды из разных мест, а также данные о местном климате, топографии и землепользовании.

2) Подготовка данных для обработки: преобразовать формат данных, стандартизировать единицы и создать метаданные для описания данных.

3) Импортировать и интегрировать собранные данные в программное обеспечение ГИС: создать слои для различных типов данных (таких как вода, почва и климат) и создать пространственные отношения между ними.

4) Выполнить анализ данных, чтобы выявить закономерности, тенденции и потенциальные очаги загрязнения. Это может включать создание буферов вокруг источников загрязнения, расчет концентраций загрязняющих веществ и выявление областей, подверженных риску загрязнения.

5) Создание визуализаций и отчетов для передачи результатов анализа, которые включают создание карт, диаграмм и графиков, показывающих пространственное распределение загрязняющих веществ и потенциальные риски для здоровья человека и окружающей среды.

6) Обновление данных.

Технологии разработки ГИС мониторинга миграции загрязняющих веществ в почвах и водах. Разработка ГИС осуществляется при помощи программных технологий, обеспечивающих возможности управления,

анализа и визуализации геопространственных данных. Языки программирования Python, R и Java используются для разработки приложений и инструментов ГИС. Картографические веб-технологии: служба веб-карт (WMS – Web Map Service), служба веб-объектов (WFS – Web Feature Service) и служба веб-покрытия (WCS – Web Coverage Service) используют для предоставления геопространственных данных через Интернет. Платформы облачных вычислений, такие как Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure и Google Cloud Platform, используются для хранения и обработки больших объемов геопространственных данных, а также для запуска приложений и инструментов ГИС. А такие технологии, как глобальная система позиционирования (GPS) и мобильные картографические приложения, могут использоваться для сбора геопространственных данных в полевых условиях.

Выбор системы управления базами данных (СУБД) для ГИС мониторинга миграции загрязняющих веществ в почвах и водах зависит от различных факторов, таких как размер и сложность данных, требуемая производительность системы и доступные ресурсы. Геоданные могут храниться в базе данных, базе геоданных, шейп-файле, растровом изображении, в таблицах DBF или электронных таблицах Microsoft Excel. Для проектов такого рода идеальна СУБД, поддерживающая пространственные данные и способная обрабатывать большие объемы данных и сложные запросы. Некоторые из широко используемых СУБД для ГИС, которые поддерживают пространственные данные, используют технологии PostgreSQL/PostGIS, Oracle Spatial и Microsoft SQL Server.

PostgreSQL/PostGIS – это СУБД с открытым исходным кодом, которая широко используется в сообществе ГИС и обеспечивает поддержку типов и функций пространственных данных. Это хороший вариант для небольших и средних проектов с ограниченным бюджетом.

Oracle Spatial – это коммерческая СУБД, обеспечивающая расширенную поддержку пространственных данных и обычно используемая в крупномасштабных ГИС-приложениях. Это хороший вариант для проектов со значительными ресурсами и сложными требованиями к данным.

Microsoft SQL Server – еще одна коммерческая СУБД, поддерживающая пространственные данные и часто используемая в ГИС-приложениях, интегрированных с другими технологиями Microsoft. Это хороший вариант для проектов, требующих интеграции с технологиями Microsoft.

Почвенный, водный и воздушный пути миграции загрязняющих окружающую среду веществ являются основными, однако физические процессы, которые лежат в основе распространения загрязняющих веществ по воздуху принципиально отличаются от физических процессов, которые лежат в основе распространения загрязняющих веществ в почве и воде. Это объясняется не только особенностями сред распространения, но и спецификой самих загрязняющих веществ. Миграция загрязняющих веществ в почве и воде, как правило, взаимосвязана, что объясняется влиянием влаги на миграционные процессы в почве, а также неоднородностью окружающей среды. При этом, существуют критерии, по которым системы мониторинга миграции загрязняющих веществ в почвах и водах различают от систем мониторинга атмосферного воздуха:

1) Методы отбора проб: методы отбора проб, используемые для мониторинга загрязняющих веществ в почве и воде, отличаются от тех, которые используются для мониторинга воздуха. Например, пробы почвы можно брать с помощью устройства для отбора проб почвы, тогда как пробы воды можно брать с помощью специального пробоотборника для воды. Напротив, пробы воздуха можно брать с помощью насоса, который прокачивает воздух через фильтр.

2) Аналитические методы. Аналитические методы, используемые для мониторинга загрязняющих веществ в почве и воде, также отличаются от тех, которые используются для мониторинга воздуха. Например, образцы почвы и воды могут быть проанализированы с использованием таких методов, как газовая хроматография или жидкостная хроматография, тогда как образцы воздуха могут быть проанализированы с использованием таких методов, как масс-спектрометрия.

3) Пространственное разрешение: пространственное разрешение систем мониторинга почвы и воды, как правило, намного выше, чем для воздуха. Это связано с тем, что загрязняющие вещества в почве и воде имеют тенденцию быть локализованными, в то время как загрязняющие вещества в воздухе могут быть более рассеянными. Поэтому системы мониторинга почвы и воды могут быть разработаны для сбора данных в очень мелком масштабе, например, на уровне отдельных точек отбора проб.

4) Временное разрешение: временное разрешение систем мониторинга почвы и воды также может отличаться от такового для воздуха. Например, системам мониторинга воды может потребоваться собирать данные за более длительный период времени, например, за несколько дней или недель, для учета колебаний расхода воды и уровня загрязняющих веществ. Напротив, системы мониторинга воздуха могут быть предназначены для сбора данных за более короткие периоды времени, например, за несколько часов или дней.

5) Факторы окружающей среды: наконец, системы мониторинга почвы и воды могут нуждаться в учете факторов окружающей среды, таких как pH, температура и микробная активность, которые могут влиять на поведение и перенос загрязняющих веществ в этих средах. Напротив, в системах мониторинга воздуха может потребоваться учет таких факторов, как направление и скорость ветра, которые могут влиять на рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере.

Мониторинг почв и вод подразумевает обработку данных, поступающих в базы данных тем или иным способом. При этом, для сбора формирования данных используются следующие технологии:

1) Технологии сбора данных для мониторинга почв:

- Датчики влажности почвы: эти датчики используются для измерения количества влаги в почве, что может быть важно для понимания переноса загрязняющих веществ через почву.

- Датчики почвенных газов: эти датчики используются для измерения концентрации газов, таких как метан или углекислый газ, в почве. Эта информация может быть использована для понимания биогеохимических процессов, происходящих в почве, и того, как они могут влиять на перенос загрязняющих веществ.

- Оборудование для отбора проб почвы: Оборудование для отбора проб почвы, такое как пробоотборники, можно использовать для отбора проб почвы на различной глубине. Эти образцы могут быть проанализированы в лаборатории для определения концентрации различных загрязняющих веществ в почве.

- Спектроскопические методы. Спектроскопические методы, такие как инфракрасная спектроскопия или рамановская спектроскопия, могут использоваться для анализа образцов почвы на наличие определенных соединений, таких как органические загрязнители или тяжелые металлы.

2) Технологии мониторинга воды:

- Датчики качества воды: эти датчики используются для измерения физических и химических свойств воды, таких как температура, pH, содержание растворенного кислорода и электропроводность. Их можно использовать для контроля качества воды в реках, озерах и других водоемах.

- Оборудование для отбора проб воды: Оборудование для отбора проб воды, такое как пробоотборники или автоматические пробоотборники, можно использовать для отбора проб воды с разных глубин и из разных мест. Эти образцы могут быть проанализированы в лаборатории для определения концентрации различных загрязняющих веществ в воде.

- Оптические датчики. Оптические датчики, такие как датчики флуоресценции, можно использовать для измерения концентрации определенных соединений в воде, таких как растворенные органические вещества или хлорофилл.

- Дистанционное зондирование: методы дистанционного зондирования, такие как спутниковые изображения, могут использоваться для наблюдения за большими водоемами на обширной территории. Эти методы можно использовать для обнаружения изменений качества воды, таких как цветение водорослей или шлейфы отложений, которые могут указывать на наличие загрязняющих веществ.

Важно отметить, что выбор технологий мониторинга будет зависеть от конкретных представляющих интерес загрязнителей, условий окружающей среды и целей мониторинга. В качестве одной из важных целей мониторинга параметров загрязнителей окружающей среды может выступать компьютерное прогнозирование этих параметров [4].

Для комфортной работы в ГИС, необходимо помнить о том, что и интерфейс программного продукта ГИС является важным компонентом для облегчения взаимодействия пользователя с программным обеспечением [5]. Он должен быть удобным, интуитивно понятным и настраиваемым. Хорошо продуманный интерфейс должен позволять пользователям легко получать доступ к данным и визуализировать их, выполнять пространственный анализ и создавать визуализации и отчеты. Интерфейс также должен быть способен обрабатывать большие наборы данных и предоставлять обновления в режиме реального времени.

Одним из ключевых преимуществ использования ГИС для мониторинга загрязняющих веществ является возможность интеграции данных из нескольких источников, включая спутниковые изображения, дистанционное зондирование и наземные датчики. Это позволяет создавать подробные карты и модели, которые могут дать представление о перемещении загрязняющих веществ в различных средах окружающей среды, таких как подземные воды, поверхностные воды и почва.

ГИС также можно использовать для анализа и визуализации сложных данных об окружающей среде, что может помочь выявить тенденции и модели миграции загрязняющих веществ. Например, ГИС можно использовать для выявления очагов загрязнения или отслеживания распространения загрязняющих веществ из точечных источников, таких как промышленные объекты или сельскохозяйственные работы.

Кроме того, ГИС можно использовать для создания прогностических моделей, позволяющих оценить потенциальное воздействие будущих выбросов загрязняющих веществ на окружающую среду. Эти модели можно использовать для информирования при принятии решений и помощи заинтересованным сторонам в разработке эффективных стратегий предотвращения и устранения загрязнения.

Однако существуют также некоторые ограничения на использование ГИС для мониторинга миграции загрязняющих веществ. Например, точность моделей и карт ГИС зависит от качества и количества используемых данных. Кроме того, ГИС может быть сложным и техническим инструментом, требующим специальной подготовки и опыта для эффективного использования.

В целом, ГИС является ценным инструментом для мониторинга и отслеживания миграции загрязняющих веществ в почвах и водах. При использовании в сочетании с другими методами мониторинга и оценки ГИС может обеспечить всестороннее представление об условиях окружающей среды и помочь разработать эффективные стратегии предотвращения загрязнения и восстановления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казаков С.Г., Дочева К.Г., Сухорукова Г.Н. Геоинформационные системы в менеджменте. Учебное пособие. Издательство: "Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова". Москва, 2015 г. С 134.

2. Капралов Е.Г., Кошкарёв А.В., Тикунов В.С. и др. "Основы геоинформатики" (в 2 кн). М.: Издательский центр «Академия», 2004 г.

3. Технологии интернет-картографирования. Р. К. Абдуллин, А. И. Пономарчук. Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2020. – 132 с.

4. Шалькевич, П. К. Компьютерное прогнозирование пространственного распределения концентрации Cs-137 в почве / П. К. Шалькевич // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2021. – Т. 65, № 2. – С. 139-145.

5. Журавков В. В., Тонконогов Б. А., Шалькевич П. К. Разработка веб-ориентированного интерфейса для проведения ретроспективного анализа данных системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и оршанского района / В. В. Журавков, Б. А. Тонконогов, П. К. Шалькевич // Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века = Sakharov readings 2022 : environmental problems of the XXI century : материалы 22-й Международной научной конференции, 19–20 мая 2022 г., г. Минск, Республика Беларусь : в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол. : А. Н. Батын [и др.] ; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, к. т. н., доцента М. Г. Герменчук. – Минск : ИВЦ Минфина, 2022. – Ч. 2. – 346 с. – Минск, 2022. – С. 360–363.

ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В КОНТЕКСТЕ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

ELECTRONIC ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEMS IN THE CONTEXT OF ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT

В. В. Плесканев^{1,2}, Д. С. Трошко^{1,2}, Д. С. Мишлаков^{1,2}, П. К. Шалькевич^{1,2}

V. V. Pleskanev^{1,2}, D. S. Troshko^{1,2}, D. S. Mishlakov^{1,2}, P. K. Shalkevich^{1,2}

¹Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
г. Минск, Республика Беларусь
shalkevich@iseu.by

²Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

¹International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, the Republic of Belarus

²Belarusian State University, BSU, Minsk, the Republic of Belarus

В данной работе представлен обзор современных электронных систем мониторинга окружающей среды. Рассмотрены различные протоколы связи и платформы, используемые для электронных систем мониторинга окружающей среды. Сформулированы преимущества и проблемы электронных систем мониторинга окружающей среды.

This paper gives a comprehensive overview of modern electronic environmental monitoring systems. Various communication protocols and platforms used for electronic environmental monitoring systems are considered. The advantages and problems of electronic environmental monitoring systems are formulated.

Ключевые слова: электронные системы, протоколы, экология.

Keywords: electronic systems, protocols, ecology.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-324-327>

В современном мире электронные системы экологического мониторинга приобретают все большее значение благодаря их способности предоставлять точные данные об окружающей среде в режиме реального времени для принятия решений. Это обусловлено тем, что мониторинг окружающей среды представляет собою систематический сбор и анализ данных об окружающей среде для оценки качества окружающей среды и ее воздействия на здоровье человека и состояние экосистемы. Электронные системы мониторинга окружающей среды представляют собой подмножество систем мониторинга окружающей среды, в которых используются электронные датчики и коммуникационные технологии для сбора и передачи данных в режиме реального времени.

В основе принципа работы электронных систем мониторинга окружающей среды лежат различные типы датчиков для сбора данных об окружающей среде. Выбор датчиков зависит от измеряемых параметров и условий окружающей среды. Некоторые из наиболее распространенных типов датчиков, используемых в электронных системах мониторинга окружающей среды, включают датчики температуры, датчики влажности, датчики света, датчики газа и датчики твердых частиц. Эти датчики работают по разным принципам, включая резистивные, емкостные и оптические принципы [1].

С практической и теоретической точки зрения следует правильно применять и классифицировать типы датчиков:

- датчики температуры используются для измерения температуры окружающей среды. Они работают по принципу теплового расширения или сжатия материалов;