

Разработка информационно-аналитической системы на основе ГИС-технологии в сфере рационального управления лесными ресурсами: этапы, методы, примеры

П.В. Будник¹, В.Н. Баклагин², О.Н. Галактионов¹, А.М. Крупко¹

¹Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск

²Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск

Аннотация: В статье представлены основные этапы и рекомендации по разработке информационно-аналитической системы (ИАС) на основе геоинформационных систем (ГИС) в сфере рационального управления лесными ресурсами, обеспечивающей обработку, хранение и представление информации о лесных древесных ресурсах, а также описание некоторых частных примеров реализации ее отдельных компонентов и цифровых технологий. Рассмотрены следующие этапы разработки ИАС: этап сбора и структурирования данных о лесных древесных ресурсах; этап обоснования типа программной реализации ИАС; этап выбора оборудования; этап разработки блока анализа и обработки данных; этап разработки архитектуры взаимодействия блоков ИАС; этап разработки интерфейса приложения ИАС; этап тестирования ИАС. Взаимодействие между клиентской и серверной частью предлагается реализовывать на основе технологии Asynchronous JavaScript and XML (AJAX). Библиотеки «Leaflet» с открытым исходным кодом рекомендуется использовать для визуализации геоданных. Для хранения больших объемов данных на сервере предложено использовать систему управления базой данных SQLite. Предложенные подходы могут найти применение при создании ИАС для формирования управленческих решений в сфере рационального управления лесными древесными ресурсами.

Ключевые слова: геоинформационные системы, лесные ресурсы, методика, веб-приложение, технология AJAX, SQLite, Leaflet, обработка информации.

1. Введение

Одной из основных целей Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года, утверждённой распоряжением Правительства РФ от 20 сентября 2018 г. №1989-р, является достижение устойчивого лесопользования. Принцип устойчивого лесопользования выражается в ведении лесного хозяйства, где лесопользователь не только получает доход, но и сохраняет экологическую ценность лесных участков. Реализация такого принципа требует развитой системы управления лесными ресурсами, выработанной на основе системного научного подхода. Очевидно, что решение этой задачи не может быть обеспечено без повышения степени информатизации лесной отрасли. В Петрозаводском

государственном университете ведутся исследования, направленные на разработку информационно-аналитической системы (ИАС) управленческого назначения, обеспечивающей обработку, хранение и представление информации о лесных древесных ресурсах регионов Европейского Севера России [1]. С прототипом системы в сети Интернет можно ознакомиться по следующему адресу: forestgis.krc.karelia.ru/.

Одним из важнейших результатов отмеченных исследований является выработанная на основе полученного опыта методика по разработке подобных ИАС, включающая рекомендации поэтапности разработки, применяемым программным средствам, источникам данных и методам их обработки и анализа, проектированию структуры базы данных, созданию графического интерфейса. Целью данной публикации является представление основных этапов и рекомендаций по разработке ИАС в сфере рационального управления лесными ресурсами, обеспечивающей обработку, хранение и представление информации о лесных древесных ресурсах, а также описание некоторых частных примеров реализации ее отдельных компонентов и применяемых при разработке цифровых технологий.

Следует отметить, что в основу методики по разработке ИАС был положен, в том числе, опыт специалистов Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева [2]. Основные этапы разработки ИАС, без которых невозможно создание функционирующего сервиса были сформированы в ходе реализации проекта № 23-21-00143, поддержанного Российским научным фондом (rscf.ru/project/23-21-00143/).

2. Этапы и методы для разработки ИАС в сфере рационального управления лесными ресурсами

2.1 Этап сбора и структурирования данных о лесных древесных ресурсах

Один из первых этапов связан со сбором и структуризацией данных о лесных древесных ресурсах. В качестве основы данных могут использоваться общедоступные источники: лесные планы субъектов РФ; лесохозяйственные регламенты лесничеств субъектов РФ; открытые данные Федерального агентства лесного хозяйства РФ; карты РФ и ее регионов (физических, топографических, климатических, ландшафтных, почвенных карт, карт растительности и т.п.), в том числе цифровых, а также результатов исследований в области лесного хозяйства. Структуризацию данных целесообразно осуществлять на основе формирования базы данных (БД) с использованием системы управления базой данных (СУБД). Формирование БД и выбор СУБД связан не только со сбором данных и структурированием, но также важно для последующих этапов разработки.

В качестве СУБД может использоваться SQLite, одним из преимуществ которой является кроссплатформенность и автономность (не требует отдельного сервера и не имеет отдельных процессов). Примером такой БД для ИАС на основе СУБД SQLite можно привести зарегистрированную в Роспатенте БД «Качественные и количественные характеристики ресурсов древесины Европейского Севера России» [3].

2.2 Этап обоснования типа программной реализации ИАС

Еще один этап, который потребуется пройти при разработке ИАС предполагает выбор и обоснование типа программной реализации ИАС, а также выбор программного обеспечения и средств, используемых в качестве платформ для пользовательской реализации алгоритмических структур и интерфейса.

Следует отметить, что создание ИАС, связанной с лесными древесными ресурсами, предполагает обработку, анализ и визуализацию данных, имеющих географическую привязку, т.е. геопространственных данных. Поэтому создание ИАС невозможно без использования элементов

геоинформационных систем (ГИС). Анализ мирового опыта в создании ИАС и ГИС для поддержки проведения мульти- и междисциплинарных научных исследований [4-6] показал, что наиболее приемлемым решением для создания программной оболочки ИАС является веб-приложение (клиент-серверное приложение, где логика распределена между сервером и клиентом, а хранение данных осуществляется на сервере). Преимущества веб-приложений перед настольными (десктопными) приложениями: возможность расширения и масштабирования, связывания с другими решениями и внешними системами; не требуется установка на отдельных персональных компьютерах (ПК); обновления выполняются без участия пользователя; мгновенный доступ к данным.

В качестве инструментов разработки ИАС целесообразно применять программные средства с открытым исходным кодом, что позволит использовать последние наработки мирового уровня в данной области. Это существенно повысит эффективность как разработки, так и функционирования реализуемой ИАС.

Кроме того, крайне необходимо наличие оперативного взаимодействия между клиентской и серверной частью, поскольку использование геопространственных данных предполагает большой объем информации, а значит, для устойчивого и стабильного функционирования системы необходимо, чтобы система могла экономично использовать ресурсы интернет-связей. Это может достигаться за счет использования технологии AJAX (Asynchronous JavaScript and XML).

Технология AJAX соответствует современному уровню разработки веб-приложений и широко используется для создания веб-сервисов по всему миру [7]. Например, одним из первых приложений, использующими данную технологию, стал популярный сервис карт Google Maps. Технология AJAX позволяет добиться ряда преимуществ относительно классических моделей

веб-приложений, а именно: экономия трафика, снижение нагрузки на сервер, ускорение реагирования интерфейса. Обмен данными осуществляется по средствам объекта XMLHttpRequest, который является посредником между клиентской частью и серверной. С помощью XMLHttpRequest осуществляются запросы на сервер, а также ответы с сервера в виде различного рода данных.

Для программной реализации серверной части необходимо использовать кроссплатформенный язык программирования, находящийся в открытом доступе, чтобы была возможность использовать современные наработки, которые не будут ограничивать создание сервера (backend) финансовыми и материальными затратами. Одним из распространенных примеров такого языка программирования является мультипарадигмальный язык программирования Python [8], который доказал свою эффективность для программной реализации веб-приложений, включающих ГИС [9-11]. Язык программирования Python имеет встроенные библиотеки «Flask» или «Django», которые обеспечивают формирование клиент-серверных взаимодействий. «Flask» или «Django» – это свободные фреймворки для разработки быстрых и безопасных веб-приложений и сайтов.

Еще одна задача, которая встает при создании ИАС – это программная разработка клиентской части веб-приложения, реализующего ИАС. Требования к реализации клиентской части (frontend) схожи с требованиями, применимыми к реализации backend. Наиболее широко распространенным языком программирования, используемым для создания frontend, является интерпретируемый язык программирования JavaScript, который обеспечивает необходимую функциональность для безопасного обмена с сервером.

Клиентская часть, как правило, реализована посредством стандартизованного языка разметки документов HTML, с использованием

CSS (каскадных таблиц стилей), а также объектно-ориентированного интерпретируемого языка программирования JavaScript.

Поскольку одним из основных требований к созданию ИАС является наличие и возможность использования элементов ГИС, то для этого необходимо также в режиме браузера иметь возможность отображения и интерактивного взаимодействия с данными элементами. Одним из способов решения этой задачи является использование средств визуализации геоданных – библиотеки «Leaflet» с открытым исходным кодом, которая является модулем JavaScript. Данная библиотека успешно применяется для отображения картографической информации в веб-приложениях [12-14]. Использование «Leaflet» позволяет отображать информацию, использующую как векторный, так и растровый формат данных. На основе использования «Leaflet» возможно формирование всевозможных тематических карт и отображения обобщенных аналитических данных, имеющих географическую привязку к местности.

Хранение больших объемов данных на сервере, в частности, собранной информации о лесных древесных ресурсах, также является важной задачей при создании ИАС. В данном случае также целесообразно использовать свободно распространяемую СУБД, которая обеспечивает быстрый и безопасный доступ к данным. Примером такой СУБД является SQLite, которую мы уже отмечали выше. На языке программирования Python работу с СУБД в рамках SQLite реализует модуль «sqlite3», который позволяет осуществлять реализацию запросов к базе данных о лесных древесных ресурсах, сформированной в виде реляционных таблиц данных под управлением СУБД SQLite.

SQLite выбрана в качестве СУБД не случайно, поскольку максимально удовлетворяет предъявляемым требованиям к функциональным возможностям системы управления базой данных в условиях работы веб-

приложения, а именно: файловая структура состоит из одного файла, ввиду чего имеется возможность переносить данные на разное оборудование; отсутствие необходимости настройки сервера СУБД; полностью свободная лицензия; кроссплатформенность; высокая скорость простых операций выборки данных; безопасность; экономичность ресурсов. Также важно отметить, что данное программное обеспечение позволяет осуществлять поддержку пространственных данных и учитывать концепцию «пространства», то есть работать непосредственно с пространственными объектами и понятиями.

2.3 Этап выбора оборудования

Функционирование развертываемой ИАС требует оборудования с соответствующими техническими характеристиками. Оборудование включает в себя сервер и хранилище данных. Технические характеристики оборудования должно обеспечивать проведение расчетов, связанных с реализацией кластерного анализа и функционирования искусственных нейронных сетей. В качестве примера можно привести вычислительный блок сервера, снабженного многоядерным 48-ми поточным процессором AMD EPYC 7401P 24C/48T 2.0/3.0GHz (Socket-SP3 1P, L3 64MB, TDP 155/170W), а также восьмью модулями оперативной памяти DDR4 общим объемом 64 Гб, которые установлен на материнскую плату SuperMicro MBD-H11SSL-I-O ATX. В качестве хранилища данных может использоваться сетевое хранилище NAS ZYXEL NAS542-EU0101F с общим объемом физической памяти 40Тб, что позволит обеспечить не только хранение информации, но и быстрый доступ к этим данным по запросам пользователей через разработанную ИАС. Также для реализации передачи данных по сети Интернет серверу потребуется многофункциональный мультипортовое устройство, в частности, MIKROTIKRБ2011UIAS-2HND-IN.

2.4 Этап разработки блока анализа и обработки данных

Один из наиболее наукоемких этапов в разработке ИАС управленческого назначения, обеспечивающей обработку, хранение и представление информации о лесных древесных ресурсах, связан с разработкой блока анализа и обработки данных. При этом наиболее важной задачей является обеспечение возможности ИАС создавать тематические карты на основе анализа с применением методов многомерной статистики, таких как факторный анализ, кластерный анализ и дискриминантный анализ, а также методов машинного обучения (нейросетевого моделирования). Ранее авторами статьи были изложены основные методические основы такого анализа применительно к рассматриваемой сфере [15-17].

В данной работе отметим, что поскольку в качестве языка программирования рекомендуется использовать язык программирования Python для реализации серверной части, то для разработки блока кластерного анализа целесообразнее всего использовать модуль машинного обучения Python «sklearn». Данный модуль позволяет использовать простые и эффективные инструменты для предиктивного анализа данных, в том числе и кластерного анализа, свободно распространяем и создан на основе модулей NumPy, SciPy и Matplotlib, которые широко распространены при работе с обработкой, анализом и визуализацией многомерных структурированных данных.

2.5 Этап разработки архитектуры взаимодействия блоков ИАС

Концептуальная схема архитектуры рабочих модулей ИАС (функциональные и аналитические возможности) и информационное наполнение определяется предъявляемыми задачами к разрабатываемому программному продукту. В рассматриваемом случае – это формирование информационной основы для принятия управленческих решений, рационального использования и охраны лесных древесных ресурсов, обеспечивая информационную поддержку работы органов принимающих

решения (структур Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, соответствующих органов власти субъектов РФ и т. п.), способствующих развитию экономики региона [4]. Пример реализации ИАС с учетом использования клиент-серверных связей представлен на рис. 1. Данная блок-схема иллюстрирует программную реализацию ИАС, разработанную авторами статьи в рамках ранее уже упомянутого проекта № 23-21-00143.

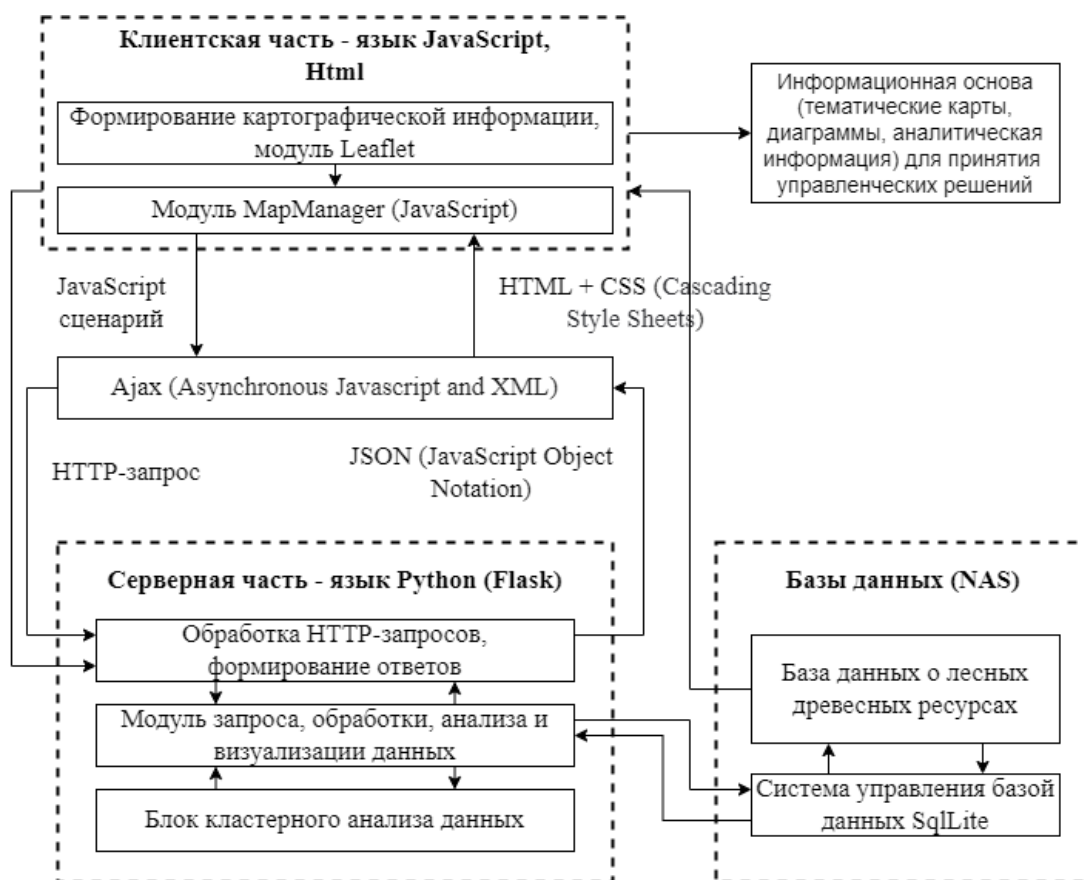


Рис. 1. – Блок-схема архитектуры программной основы ИАС

Ключевым блоком в алгоритмической логике ИАС является «Модуль запроса, обработки, анализа и визуализации данных». Данный модуль выполняет ряд связующих функций, необходимых для нормальной работы программной основы ИАС, а именно:

- формирование sql-запросов к сформированным базам данных на основе сформированного HTTP-запроса;

– обработка sql-ответов от СУБД и обработка запрошенных данных, их визуализация, обобщение и т.д.;

– обработка и формирование задач для блока кластерного анализа.

Блок «Обработка HTTP-запросов, формирование ответов» служит для обработки HTTP-запросов, поступающих от клиентской части, сформированных пользователем, а также формирование HTTP-ответов на основе сформированных данных блоком «Модуль запроса, обработки, анализа и визуализации данных».

Сформированные HTTP-ответы, содержащие информацию в текстовом формате, обрабатываются модулем «MapManager», который преобразует текстовую информацию в картографическую и наносит ее на векторную карту, визуализируя в виде различных тематических карт, диаграмм и графиков, используя модуль «Leaflet». Кроме того, в HTTP-ответе содержится и информация по управлению HTML-страницы, отображая необходимую информацию согласно запросу пользователя.

2.6 Этап разработки интерфейса приложения ИАС

Интерфейс приложения должен отвечать требованиям удобства и скорости формирования интересующих запросов пользователя. В качестве примера приведен разработанный авторами статьи интерфейс ИАС (рис. 2).

Стартовая страница включает в себя следующие элементы управления: элемент управления масштабом отображения картографической информации, вкладка «отображаемые показатели», вкладка «режим контурной карты», вкладка «режим аналитической карты», вкладка «настройки отображения».

Элемент управления масштабом позволяет изменять масштаб карты в заданных интервалах.

Вкладка «отображаемые показатели» содержит элементы управления для формирования запросов к базе данных о лесных древесных ресурсах и

отображения текстовой информации как для центральных лесничеств, так и для регионов в целом. Вкладка «режим контурной карты» содержит элементы управления для формирования произвольных тематических карт без привязки к данным на усмотрения пользователя.



Рис. 2. – Интерфейс приложения ИАС лесохозяйственного районирования Европейского Севера Росси

Вкладка «режим аналитической карты» содержит элементы управления для формирования запросов к базе данных и формирования на основе них обобщенных тематических (аналитических) карт, в том числе путем применения методов многомерной статистики.

Вкладка «настройки отображения» содержит элементы управления для управления отображением различных объектов/элементов, находящихся как на карте, так и на интернет-странице в целом. Более подробно с интерфейсом можно ознакомиться в сети Интернет по ссылке: forestgis.krc.karelia.ru/.

2.7 Этап тестирования ИАС

Одним из заключительных этапов в разработке ИАС является этап тестирования. Требования к тестированию приложения, реализующего функции ИАС продиктованы условиями тестирования веб-приложения в целом, то есть:

- тестирования серверной частей программной основы ИАС, устранение необработанных исходным кодом исключений, возникающих при функционировании веб-приложения на стороне сервера;

- выявление ошибок на стороне клиента;

- выявление проблем обновления сертификата безопасности веб-приложения, реализующего ИАС, разработка алгоритма устранения данной проблемы;

- проведение сквозного тестирования разработанного веб-приложения методами «белого ящика» и «черного ящика».

Этапы тестирования включают:

- функциональное тестирование (проверка требуемых функций приложения),

- интеграционное тестирование (проверка совместимости и взаимодействия с БД о лесных древесных ресурсах, а также расчетных блоков (в частности блока кластерного анализа),

- тестирование безопасности,

- тестирование локализации и глобализации (проверка различных форматов дат, чисел и др., используемых в приложении),

- тестирование удобства пользователя (проверка навигации, корректной отражаемости контента – отступы, выравнивание и т.д.),

- кросс-платформенное тестирование (проверка корректной работы приложения с разными браузерами).

По результатам этапа в программный код вносятся соответствующие изменения, при этом на практике может сложиться ситуация, требующая возврата к предыдущим этапам разработки.

3. Заключение

Реализация описанных методических подходов позволяет получить работоспособный прототип ИАС с элементами ГИС в виде интерактивного



веб-приложения для ПК, рассчитанного на широкий круг пользователей. Приведенный пример прототипа ИАС лесохозяйственного районирования Европейского Севера России имеет расширенный функционал для анализа данных о лесных древесных ресурсах, а также функционал для формирования картографической, обобщающей информации, получения новых сравнительных данных о лесных ресурсах рассматриваемых регионов на основе кластерного анализа и применения искусственных нейронных сетей. Методика может быть основой для тиражирования полученного опыта по разработке подобных ИАС для территории других регионов страны. В целом, предложенные подходы позволяют создавать информационную основу для формирования управленческих решений в сфере рационального управления лесными древесными ресурсами.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-00143, rscf.ru/project/23-21-00143/.

Литература

1. Будник П.В., Баклагин В.Н., Галактионов О. Н. Геоинформационно-аналитическая система ресурсов древесины Европейского Севера России. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023669307, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 13.09.2023 г.

2. Мохирев А.П., Позднякова М.О., Резинкин С.Ю., Мамматов В.О. Оценка доступности лесных ресурсов с использованием современных методик на базе географических информационно-аналитических систем // Лесотехнический журнал. 2017. №. 4. С. 109-122.

3. Будник П.В., Баклагин В.Н. Качественные и количественные характеристики ресурсов древесины Европейского Севера России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023622157, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 28.06.2023 г.



4. Шокин Ю.И., Добрецов Н.Н., Пестунов И.А., Молородов Ю.И., Смирнов В.В., Синявский Ю.Н. Система сбора, хранения и обработки спутниковых и наземных данных Новосибирского научного центра СО РАН // Вычислительные технологии. 2008. Т. 13. Серия: Математика, механика, информатика. № 4 (59). С. 371-376.

5. Zavala-Romero O., Ahmed A., Chassignet E.P., Zavala-Hidalgo J., Eguiarte A.F., Meyer-Baese A. An open source Java web application to build self-contained web GIS sites // Environmental Modelling & Software, Volume 62, 2014, pp. 210-220.

6. Kulawiak M., Dawidowicz A., Pacholczyk M.E. Analysis of server-side and client-side Web-GIS data processing methods on the example of JTS and JSTS using open data from OSM and geoportal // Computers & Geosciences. Volume 129. 2019. pp. 26-37.

7. Garrett J.J. Ajax: A New Approach to Web Applications. URL: courses.cs.washington.edu/courses/cse490h/07sp/readings/ajax_adaptive_path.pdf.

8. Yogesh R. Python: Simple though an Important Programming language (англ.) // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2019. vol. 06, iss. 2. pp. 1856—1858.

9. Etherington T.R. Teaching introductory GIS programming to geographers using an open source Python approach // Journal of Geography in Higher Education, 2016. Vol. 40. pp. 117-130.

10. Xuan Shi. Python for Internet GIS Applications // Computing in Science & Engineering, 2007. Vol. 9. pp. 56-59.

11. Zambelli P., Gebbert S., Ciolli M. Pygrass: An Object Oriented Python Application Programming Interface (API) for Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Geographic Information System (GIS) // ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2013. No 2(1), pp. 201-219.

12. Edler, D., Vetter, M. The Simplicity of Modern Audiovisual Web Cartography: An Example with the Open-Source JavaScript Library leaflet.js. // KN J. Cartogr. Geogr. Inf. 2019. No 69. pp. 51–62.
13. Farkas G. Applicability of open-source web mapping libraries for building massive Web GIS clients // J Geogr Syst. 2017. No 19. pp. 273–295.
14. Tymoteusz H., Dariusz L. The use of Leaflet and GeoJSON files for creating the interactive web map of the preindustrial state of the natural environment // Journal of Spatial Science. 2022. No 67(1). pp. 61-77.
15. Будник П.В., Баклагин В.Н., Галактионов О. Н., Крупко А. М. Оценка лесоэксплуатационных условий в лесах приграничных регионов российской Арктики на основе факторного анализа // Инженерный вестник Дона, 2023, №9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8683.
16. Будник П.В., Баклагин В.Н., Галактионов О. Н., Крупко А. М. Оценка рациональных направлений развития лесной отрасли приграничных регионов российской Арктики на основе кластерного анализа // Инженерный вестник Дона, 2023, №9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8658.
17. Будник П.В., Баклагин В.Н., Галактионов О.Н. Лесоэксплуатационное районирование лесных субарктических территорий // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. №. 6. С. 114-135.

References

1. Budnik P.V., Baklagin V.N., Galaktionov O. N. Geoinformatsionno-analiticheskaya sistema resursov drevesiny Yevropeyskogo Severa Rossii. Svidetel'stvo o programme gosudarstvennoy registratsii dlya EVM № 2023669307 [Geoinformation and analytical system of wood resources of the European North of Russia. Certificate of state registration of the computer program No. 2023669307].
2. Mokhirev A.P., Pozdnyakova M.O., Rezinkin S.Yu., Mammatov V.O. Lesotekhnicheskij jurnal. 2017. No. 4. pp. 109-122.

3. Budnik P.V., Baklagin V.N. Kachestvennyye i mnogochislennyye kharakteristiki resursov drevesiny Yevropeyskogo Severa Rossii. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh № 2023622157 [Qualitative and quantitative characteristics of wood resources of the European North of Russia. Certificate of state registration of the database No. 2023622157].

4. Shokin Yu.I., Dobretsov N.N., Pestunov I.A., Molorodov Yu.I., Smirnov V.V., Sinyavskiy Yu.N. Vy`chislitel`ny`e texnologii. 2008. T. 13. Seriya: Matematika, mexanika, informatika. No. 4 (59). pp. 371-376.

5. Zavala-Romero O., Ahmed A., Chassignet E.P., Zavala-Hidalgo J., Eguiarte A.F., Meyer-Baese A. Environmental Modelling & Software, Volume 62, 2014, pp. 210-220.

6. Kulawiak M., Dawidowicz A., Pacholczyk M.E. Computers & Geosciences. Volume 129. 2019. pp. 26-37.

7. Garrett J.J. Ajax: A New Approach to Web Applications. URL: courses.cs.washington.edu/courses/cse490h/07sp/readings/ajax_adaptive_path.pdf

8. Yogesh R. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2019. vol. 06, iss. 2. pp. 1856–1858.

9. Etherington T.R. Journal of Geography in Higher Education, 2016. Vol. 40. pp. 117-130.

10. Xuan Shi. Computing in Science & Engineering, 2007. Vol. 9. pp. 56-59.

11. Zambelli P., Gebbert S., Ciolli M. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2013. No 2(1), pp. 201-219.

12. Edler, D., Vetter, M. KN J. Cartogr. Geogr. Inf. 2019. No 69. pp. 51–62.

13. Farkas G. J Geogr Syst. 2017. No 19. pp. 273–295

14. Tymoteusz H., Dariusz L. Journal of Spatial Science. 2022. No 67(1). pp. 61-77.



15. Budnik P.V., Baklagin V.N., Galaktionov O.N., Krupko A.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, № 9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8683.

16. Budnik P.V., Baklagin V.N., Galaktionov O.N., Krupko A.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, № 9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8658.

17. Budnik P.V., Baklagin V.N., Galaktionov O.N. Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Lesnoj jurnal. 2023. No. 6. pp. 114-135.

Дата поступления: 06.09.2024

Дата публикации: 07.10.2024