

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ/SYSTEM ANALYSIS,
MANAGEMENT AND PROCESSING OF INFORMATION

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.78>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В
ВОДООХРАННЫХ ЗОНАХ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Научная статья

Кочик Е.Н.^{1,*}

¹ ORCID : 0009-0009-7007-3436;

¹ Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

* Корреспондирующий автор (eugene.kochik[at]gmail.com)

Аннотация

Исследуется возможность построения автоматизированной системы мониторинга антропогенной деятельности в водоохраных зонах на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), направленной на предотвращение и уменьшение загрязнения водных ресурсов.

Для реализации данной задачи предложена методика поиска объектов экологического мониторинга, включающая в себя анализ доступных систем ДЗЗ, анализ природоохранного законодательства, анализ дешифровочных признаков объектов и практическую оценку актуальности поиска выбранных объектов мониторинга.

Определены итоговый объект мониторинга и используемые данные ДЗЗ, что позволяет четко сформулировать задачу по разработке автоматизированной системы экологического мониторинга в водоохраных зонах.

Ключевые слова: экологический мониторинг, антропогенная деятельность, дешифрирование, ДЗЗ, спутниковые снимки.

IDENTIFICATION OF ENVIRONMENTAL MONITORING OBJECTS FOR BUILDING AN AUTOMATED
SYSTEM FOR CONTROLLING ANTHROPOGENIC ACTIVITIES IN WATER PROTECTION ZONES BASED ON
EARTH REMOTE SENSING DATA

Research article

Kochyk Y.N.^{1,*}

¹ ORCID : 0009-0009-7007-3436;

¹ Belarusian State University, Minsk, Belarus

* Corresponding author (eugene.kochik[at]gmail.com)

Abstract

The possibility of building an automated system for monitoring anthropogenic activities in water protection zones based on Earth remote sensing (ERS) data, aimed at preventing and reducing pollution of water resources, is studied.

To fulfil this task, we propose a methodology for searching for environmental monitoring objects, including analysis of available ERS systems, analysis of environmental legislation, analysis of decoding features of objects and practical evaluation of the relevance of searching for selected monitoring objects.

The final monitoring object and the remote sensing data used are defined, which allows to clearly formulate the task of developing an automated environmental monitoring system in water protection zones.

Keywords: environmental monitoring, anthropogenic activities, decoding, ERS, satellite images.

Введение

Водные ресурсы являются национальным достоянием во всех странах мира, обеспеченность ими — ключевой показатель устойчивого развития общества в социальных, экономических и экологических аспектах [1, С. 1].

Программный план действий «Повестка дня на XXI век», принятый на Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро 3–14 июня 1992 года, подчеркивает взаимосвязи между освоением, управлением, рациональным использованием и очисткой водных ресурсов и водными экосистемами и важность осуществления профилактических мер, чтобы избежать впоследствии дорогостоящих мероприятий по восстановлению, очистке и освоению новых водных ресурсов.

В качестве основных проблем, отрицательно влияющих на качество воды рек и озер, конвенция указывает несоответствующую очистку бытовых сточных вод, слабый контроль за сбросом промышленных сточных вод, утрату и разрушение водосборных площадей, нерациональное размещение промышленных предприятий, обезлесение, бесконтрольные залежные системы земледелия, нерациональные методы ведения сельского хозяйства [2].

Эти причины проистекают из антропогенной деятельности, которая, с одной стороны, является реализацией права водопользования на хозяйственную деятельность [3, С. 55–62] и может лишь ограничиваться, но не полностью запрещаться, а с другой, хорошо контролируется мониторингом с использованием материалов ДЗЗ. Материалы ДЗЗ, например, спутниковые снимки, являются источником точной и своевременной информации, на основании которой можно построить комплексный подход в вопросе охраны водных объектов.

Мониторинг непосредственно водных объектов предполагает выявление уже появившихся негативных факторов, для чего в Республике Беларусь уже налажена система мониторинга состояния водных объектов, которая даже на

данном этапе показывает достаточно высокую эффективность, подтверждения чему можно найти, например, в сводном отчете о водной безопасности Беларуси [4, С. 25–26, С. 53–54] или докладе «Водные ресурсы, качество поверхностных вод и водопотребление в странах «Восточного партнерства» [5, С. 53–63].

В то же время профилактический мониторинг, направленный на предотвращение или уменьшение загрязнений водных объектов, отсутствует, хотя имеет все предпосылки к его организации. Так, в Республике Беларусь, с целью защиты ресурсов поверхностных вод от загрязнения и засорения, разработаны проекты водоохранных зон и прибрежных полос водных объектов в разрезе административных единиц, а также отдельных водных объектов [6], что позволило определить научно обоснованные пространственные границы территорий, подлежащих мониторингу.

Основная задача водоохранных зон и прибрежных полос как раз и заключается в предотвращении загрязнения и засорения поверхностных водных объектов путем установления на территории, прилегающей к водному объекту, особого режима осуществления хозяйственной и иной деятельности. Правовое регулирование ведения хозяйственной деятельности в границах водоохранных зон осуществляется в соответствии с положениями главы 11 Водного кодекса Республики Беларусь [7, С. 30–35].

Потому в данном исследовании была проанализирована задача оценки возможности организации системы мониторинга, направленного на предотвращение или уменьшение загрязнений водных объектов, а именно автоматизированного мониторинга хозяйственной деятельности в водоохранных зонах на основе данных ДЗЗ, которая должна быть органично встроена в национальную государственную систему охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Существующие автоматизированные системы мониторинга антропогенных изменений на основе данных дистанционного зондирования Земли

На сегодняшний день накоплен значительный опыт в разработке систем мониторинга антропогенной деятельности на основе данных ДЗЗ. В том числе в Российской Федерации разработан ряд подобных систем.

Так, например, АО «Терра Тех» разработало комплекс отраслевых информационных сервисов «Цифровая Земля — Сервисы», функционирующих на основе данных ДЗЗ. Продукт создан по заказу Госкорпорации «Роскосмос» в рамках мероприятий национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» в интересах руководителей и специалистов государственных структур (министерств и ведомств) по направлениям лесного и сельского хозяйства, недропользования и землепользования, строительства, экологии и чрезвычайных ситуаций. В комплекс «Цифровая Земля — сервисы» входят 7 геосервисов: «Лес-контроль», «Эко-мониторинг», «Карьеры», «Строй-контроль», «Сельхоз-мониторинг», «Чрезвычайные ситуации», «Нарушенные земли» [8].

В Югорском НИИ информационных технологий уже несколько лет назад были разработаны алгоритмы обработки и тематического анализа космических снимков, используемые для выявления нефтезагрязнений на почве, мониторинга действующих факельных установок, контроля лесных рубок и гарей, наблюдения за паводковой обстановкой и изменениями береговых линий вследствие активных русловых процессов на основе широкого круга различных данных ДЗЗ, начиная от мультиспектральных снимков MODIS с пространственным разрешением 250 м до космических снимков с пространственным разрешением не хуже 1 м. Разработана концептуальная схема создания автоматизированной информационной системы экологического мониторинга антропогенных изменений окружающей среды на основе космических снимков [9, С. 96–97].

Еще одним примером является опытный образец «Цифровой платформы мониторинга антропогенного воздействия», разработанный Центром компетенций НТИ «Технологии снижения антропогенного воздействия» на базе МГУ имени М.В. Ломоносова. Данная платформа в будущем будет предназначена для комплексного мониторинга факторов антропогенного воздействия на окружающую среду, включая водные ресурсы, почвы и атмосферу [10].

Сходные системы реализуются и в других странах.

В Германии внедрена система WaCoDiS, предназначенная для улучшения мониторинга водных ресурсов посредством интеграции спутниковых данных, наземных сенсоров и метеорологической информации [11, С. 3].

Агентство передовых исследований в сфере разведки США (IARPA) разработало программу Space-based Machine Automated Recognition Technique, направленную на автоматизацию анализа спутниковых изображений для обнаружения и мониторинга антропогенных и природных изменений на глобальном уровне, включая сельское хозяйство и урбанизацию, с использованием мультиспектральных снимков [12].

Анализ рассмотренных выше и аналогичных систем подтверждает, что данные ДЗЗ являются перспективным источником информации для построения автоматизированных систем мониторинга антропогенной деятельности. В то же время пока еще ни одна система полноценно не встроена в реализацию государственной политики охраны окружающей среды. Аналогичные системы или не достигли еще необходимого уровня технологической зрелости, или являются локальными, и масштабирование их на государственный уровень требует недоступных на сегодня ресурсов, или построены на коммерческой основе и не встроены в государственные процессы контроля и системы учета, или изначально по сути являются рекомендательными продуктами, обработка результатов которых требует значительной экспертной работы.

Методы и принципы исследования

Целью данного исследования является определение состава объектов, которые могут являться причиной или следствием нарушений хозяйственной деятельности в водоохранных зонах и которые могут подлежать мониторингу на основании данных ДЗЗ. При этом система мониторинга водоохранных зон должна быть:

- регулярной (не эпизодической);
- на основании данных ДЗЗ, доступных безвозмездно;
- всей территории страны с учетом ограничений, вводимых законодательством Республики Беларусь.

Выявление таких объектов будет являться стартовым шагом на пути к построению государственной автоматизированной системы мониторинга хозяйственной деятельности в границах водоохранных зон и прибрежных полос, потому возможность автоматизированной обработки тоже является важным аспектом для применения данных ДЗЗ. Примеров функционирования таких систем, построенных на принципах максимальной автоматизации на данный момент не существует. Наиболее близким решением является набор цифровых космических сервисов «Цифровая Земля» для экологического мониторинга от АО «Терра Тех», который все же не предоставляет специализированного сервиса для мониторинга водоохранных зон и не проводит мониторинг на регулярной основе, а только согласно полученным коммерческим заказам.

Территория, на которой будет вестись мониторинг, соответствует ширине водоохранной зоны и прибрежной полосы и определяется ст. 52 Водного Кодекса РБ [7, С. 30], а также зарегистрированными в местных исполнительных комитетах проектами водоохранных зон и прибрежных полос. Данные территории имеют в большинстве случаев ограничения по ширине порядка 1000–1200 м для водоохранных зон и порядка 100 м для прибрежных полос. Указанные параметры сужают спектр данных ДЗЗ, которые могут быть использованы, в части пространственного разрешения. Для применяемых систем ДЗЗ должно быть доступно распознавание объектов имеющих линейную величину до нескольких десятков метров.

Исходя из сформулированной цели анализировались данные ДЗЗ среднего пространственного разрешения и лучше, имеющие пространственное разрешение от 30 м и лучше на пиксель.

Анализ проводился по следующей методике:

- на первом шаге проводилось определение систем ДЗЗ, которые могут быть использованы для контроля хозяйственной деятельности в природных системах с возможностью получения данных на безвозмездной основе;
- на втором шаге осуществлялось формирование предварительного состава контролируемых объектов хозяйственной деятельности в водоохранных зонах и прибрежных полосах на основе анализа нормативных документов и оценки возможностей контроля данных объектов на основе определённых систем ДЗЗ. Если нарушение актуально не только для водоохранной зоны, но и для других территорий, объект тоже исключался из дальнейшего анализа, так как решение такой задачи должно быть комплексным и выходит за пределы водоохранных зон;
- на третьем шаге проводился анализ возможности (наличия признаков) для распознавания нарушений хозяйственной деятельности в водоохранных зонах на основе дешифрирования данных ДЗЗ и определение возможности использования данных ДЗЗ применительно к распознаванию выделенных объектов;
- на четвертом шаге было проведено ручное визуальное дешифрирование территории водоохранных зон 8-ми районов Минской области на материалах ДЗЗ с целью обнаружения объектов из предварительного состава возможных нарушений, что позволило провести практическую оценку актуальности задачи по поиску данных объектов с учетом частоты их появления и возможности детектирования с использованием данных ДЗЗ;
- заключительным шагом исследования является определение состава контролируемых объектов хозяйственной деятельности в водоохранных зонах и прибрежных полосах, мониторинг которых может быть автоматизирован.

Анализ возможных для использования систем ДЗЗ

В соответствии с определенными выше принципами рассматривались спутниковые системы, имеющие пространственное разрешение 30 м на пиксель и лучше, данные которых могут быть получены безвозмездно.

Анализ данных ДЗЗ проводился по следующим критериям:

- 1) наличие спектральных каналов;
- 2) временное разрешение;
- 3) пространственное разрешение;
- 4) ширина полосы охвата;
- 5) точность привязки;
- 6) время поступления данных.

Были проанализированы системы ДЗЗ:

- 1) Программа Landsat [13, С. 8–53]: спутники Landsat 8, 9;
- 2) Миссии Sentinel: оптическое (Sentinel-2 [14, С. 34–61]) и радарное (Sentinel-1 [15, С. 15–66]) зондирование Земли;
- 3) Белорусская космическая система дистанционного зондирования (БКСДЗ): спутники БКА, Канопус-В [16].

По результатам проведенного анализа было установлено, что перспективными для контроля хозяйственной деятельности в водоохранных зонах являются данные БКСДЗ и Sentinel-2.

Преимуществом БКСДЗ является хорошее пространственное разрешение панхроматических снимков, позволяющее распознавать объекты размеров от 6*10 метров. Недостатком для использования панхроматических данных является ограниченность методов их автоматизированной обработки и интерпретации в отличие от мультиспектральных данных, а также низкая оперативность получения данных.

Преимуществом Sentinel-2 является широкий набор спектральных каналов съемки, позволяющий проводить разносторонний анализ изображений, а также частота покрытия территории съемкой. Пространственное разрешение часто может быть недостаточным для решения поставленной задачи. Размеры объектов, которые могут распознаваться, от 30*50 метров (3*5 пикселей). Это предельная величина, с которой можно для заверки производить визуальную оценку распознанного объекта на изображении. Панхроматические снимки в комплекте поставки Sentinel-2 отсутствуют.

Использование космических данных спутников Landsat 8, 9 и Sentinel-1 не представляется возможным из-за того, что их пространственное разрешение не позволит распознавать объекты, в особенности в прибрежных полосах.

Анализ возможности дешифрирования объектов предварительного состава

Определение объектов, которые можно идентифицировать с помощью данных ДЗЗ, было проведено на основе анализа состава возможных нарушений в водоохранных зонах и прибрежных полосах, определенных экологическим законодательством и природоохранными нормами на основе следующих критериев:

1) ограничение или запрет должны быть явно прописаны в нормативном правовом акте (кодекс, закон, постановление, экологические нормы и правила (ЭкоНиП) или технический кодекс устоявшейся практики);

2) объект нарушения должен быть достаточно крупным, чтобы была возможность его дешифрировать на доступных данных ДЗЗ;

3) объект нарушения может быть локализован с необходимой степенью точности относительно границ водоохранной зоны (или прибрежной полосы, или береговой линии, в зависимости от сформулированного в нормативном акте ограничения).

4) объект нарушения должен сохраняться достаточно долгое время, чтобы нарушение могло быть подтверждено на месте по истечении как минимум нескольких недель после съёмки (так как сами по себе данные ДЗЗ не имеют юридической значимости);

5) объект нарушения должен иметь явные признаки, позволяющие его идентифицировать на поканальных или синтезированных изображениях;

6) нарушение должны быть регулярными (должна быть возможность выявить большое количество объектов данного типа нарушений на исторических данных ДЗЗ), или нарушения могут происходить вблизи небольшого количества точечных источников загрязнения, которые могут быть подвергнуты постоянному мониторингу.

По итогам анализа природоохранного законодательства было выявлено порядка 30 групп ограничений на ведение хозяйственной деятельности в водоохранных зонах и прибрежных полосах. Из них лишь 7 соответствует определенным выше критериям (таблица 1), полное соответствие критериям 5 и 6 дополнительно рассмотрено ниже. Так же из этих 7 исключим для дальнейшего анализа такие объекты, как рубки и несанкционированную добычу полезных ископаемых, так как мониторинг такого рода не должен быть ограничен только водоохранными зонами, это отдельные комплексные виды мониторинга, которые должны проводиться по всей территории страны.

Таблица 1 - Предварительный состав объектов для контроля нарушений хозяйственной деятельности на основе обработки данных ДЗЗ

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.78.1>

Номер	Тип ограничения	Нормативный акт
1	выявление золоотвалов;	Водный кодекс [7, С. 32]
2	рубки главного пользования, рубки реконструкции	Водный кодекс [7, С. 32]
3	несанкционированная добыча общераспространенных полезных ископаемых в пределах водоохранных зон;	Водный кодекс [7, С. 33]
4	добыча общераспространенных полезных ископаемых в границах прибрежной полосы;	ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности [17, С. 25]
5	несанкционированное размещение причалов;	Водный кодекс [7, С. 33]
6	выявление новых источников загрязнения (или объектов), требующих разработки рекомендуемых мероприятий по охране водных ресурсов;	Постановление Минприроды №18 «О требованиях к разработке проектов водоохранных зон и прибрежных полос» [18]
7	выявление появления новых сооружений (в первую очередь предназначенных для обслуживания и эксплуатации жилых домов) в прибрежных полосах.	Водный кодекс [7, С. 33]

Анализ возможности дешифрирования объектов предварительного состава

Полученный выше предварительный список возможных нарушений был проанализирован на предмет возможности их обнаружения на основе обработки данных ДЗЗ, которые могут быть использованы для контроля нарушений. Для этого подбирались и изучались известные примеры объектов.

По результатам данного анализа можно отметить, что каждый из объектов обладает явными дешифровочными признаками при их просмотре на панхроматических снимках или изображениях видимого спектра, при использовании разновременных композитов или спектральных индексов, за одним исключением. Что касается золоотвалов, распознавание их на мультиспектральных снимках с пространственным разрешением 10 м (Sentinel-2) не эффективно для промышленного использования. Это связано с ограничениями существующих методов и недостаточной точностью определения этих объектов. Кроме того, золоотвалы имеют низкую спектральную яркость, что делает их трудно выявляемыми на панхроматических снимках и разновременных композитах.

Таким образом, на данном шаге из предварительного списка возможных нарушений был исключен такой объект как золоотвалы.

Практическая оценка мониторинга объектов предварительного состава

Для дальнейшего формирования состава контролируемых объектов по данным ДЗЗ необходимо было оценить регулярность возникновения предполагаемых нарушений на реальных примерах. Это необходимо для оценки актуальности задачи поиска нарушений определенного типа, ведь если такого рода нарушения очень редки, то нет смысла и организовывать систему их мониторинга. Также важно оценить перспективность использования космических снимков БКСДЗ и Sentinel-2 для их поиска.

В целях определения регулярности появления случаев нарушения экологического законодательства было проведено визуальное дешифрирование территории водоохранных зон и прибрежных полос 8-ми районов Минской области с целью обнаружения объектов из первичного списка возможных нарушений.

Дешифрирование проводилось в два этапа, каждый из которых имел свою цель.

На первом этапе выполнялось распознавание объектов на снимках сверхвысокого разрешения, синтезированных в каналах видимого спектра.

На первом этапе использовались:

- изображения космических снимков картографического сервиса Google Maps [19];
- изображения аэрофотоснимков на Геоинформационном ресурсе данных ДЗЗ Белорусского предприятия сельскохозяйственных аэрофотогеодезических изысканий [20].

На втором этапе выполнялось распознавание обнаруженных объектов на панхроматических снимках БКА и снимках Sentinel-2.

Использованные изображения снимков имели дату съемки от 2017 года и позже.

Для уточнения принадлежности обнаруженного объекта к виду хозяйственной деятельности и землепользователю использовались следующие информационные ресурсы:

- информация слоя «Земельные участки» Публичной кадастровой карты Национального кадастрового агентства Республики Беларусь [21];
- информация слоя «Виды земель» Геопортала открытых данных земельно-информационной системы Республики Беларусь [22].

Количественные результаты распознавания объектов представлены в таблице 2. Данные, отраженные в таблице 2 показывают актуальность задачи поиска нарушений определенного типа с использованием данных ДЗЗ с учетом регулярности их появления.

Таблица 2 - Количество распознанных объектов на различных типах данных ДЗЗ

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.78.2>

Объект	Найдено Google, АФС (Сверхвысокое разрешение)	Распознано Панхроматические снимки БКСДЗ	Распознано Мультиспектральные снимки Sentinel- 2
Сооружения в прибрежных полосах	61	2	0
Источники загрязнений	86	76	17
Размещение причалов	70	2	0

Итоговый выбор объектов мониторинга

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что распознать появление сооружений, которые в реальности появляются в прибрежных полосах, на доступных данных ДЗЗ фактически невозможно. Эти сооружения не являются капитальными и имеют малые линейные размеры. Было выявлено лишь два случая из 61, и только на снимках БКСДЗ. Дополнительное обследование территорий городов Гомель, Могилев, Брест, Полоцк и их районов в пределах прибрежных полос подтвердило выявление только единичных случаев. Следовательно, проведение отдельного мониторинга нецелесообразно, поскольку пространственного разрешения доступных спутниковых систем недостаточно. Также задача строительства тесно перекликается с задачей выявления новых источников загрязнения. Аналогичный вывод можно сделать и в отношении причалов: размеры реальных причалов не позволяет распознать их появление, даже на панхроматических снимках БКСДЗ с разрешением в 2.1 м на пиксель.

Таким образом ни один из существующих жестких нормативных запретов не может стать объектом мониторинга на основе бесплатных данных ДЗЗ.

В то же время актуальной и решаемой представляется задача определения новых источников загрязнения: 86 объектов являются потенциальными неучтенными источниками загрязнения, и с помощью снимков БКСДЗ было дешифрировано 76 из них. При этом пространственного разрешения Sentinel-2 недостаточно для решения данной задачи, всего 17 объектов из 86 было распознано на снимках Sentinel-2.

Объектами загрязнения являются достаточно крупные объекты из сфер сельского хозяйства (фермы, машинные дворы и т.д.), ЖКХ, туризма и других. Строительство этих объектов не запрещается в границах водоохранных зон, однако их функционирование требует выполнения ряда рекомендуемых мероприятий, разрабатываемых для каждого отдельного объекта загрязнения при проектировании водоохранной зоны. Соответственно, выявление новых объектов загрязнения или модернизации существующих будет сигнализировать о необходимости корректировки проекта водоохранной зоны и прибрежной полосы.

Заключение

В рамках данного исследования представлена методика поиска объектов экологического мониторинга в водоохранных зонах на основе данных ДЗЗ, определен объект мониторинга — появление новых и модернизация старых объектов загрязнения в границах водоохранных зон, определены используемые материалы ДЗЗ — панхроматические снимки Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли.

Результаты данного исследования позволяют осуществить четкую постановку задачи на разработку автоматизированной системы экологического мониторинга в водоохранных зонах. Это важная задача, которая позволит оптимизировать процесс разработки необходимых природоохранных мероприятий на существующих и новых объектах загрязнения: можно будет контролировать необходимость корректировки проектов водоохранных зон и прибрежных полос, оценивать объем и порядок выполнения предстоящих работ.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. О Национальной стратегии управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года : Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 91 от 22.02.2022. — URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=C22200091> (дата обращения: 08.10.2024).
2. Повестка дня на XXI век: принята Конференцией ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 3-14 июня 1992 г.). — URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/agenda21_ch18c.shtml (дата обращения: 08.10.2024).
3. Зайчук Г.И. Водное право Республики Беларусь. Учебно-методическое пособие для студентов по специальности 1-24 01 02 «Правоведение» / Г.И. Зайчук. — Брест: БрГУ имени А.С. Пушкина, 2021. — 149 с. — URL: <https://rep.brsu.by/bitstream/handle/123456789/7719/1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (дата обращения: 15.06.25).
4. OECD. К водной безопасности Беларуси: Сводный отчет. — Paris: OECD Publishing, 2020. — DOI: 10.1787/cbabdc86-ru
5. Европейское агентство по окружающей среде. Водные ресурсы, качество поверхностных вод и водопотребление в странах «Восточного партнерства»: доклад на основе показателей. — № 14/2020. — DOI: 10.2800/088732. — ISBN 978-92-9480-289-7.
6. Гертман Л.Н. Совершенствование методических подходов, технических решений и обеспечение доступности информации при установлении водоохранных зон водных объектов. / Л.Н. Гертман, Е.В. Левачёв, А.Н. Глинская и др. // Вестник Брестского государственного технического университета. — 2021. — 1(124). — С. 84–89. — DOI: 10.36773/1818-1212-2021-124-1-84-89

7. Водный кодекс Республики Беларусь от 30.04.2014 № 149-З. — Принят Палатой представителей 02.04.2014, одобрен Советом Республики 11.04.2014.
8. Березкин М.Д. «Цифровая Земля»: масштабирование проекта на всю Россию / М.Д. Березкин, К.С. Сушенцова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: матер. 21-й Междунар. конф. — Москва: ИКИ РАН, 2023. — С. 65. — DOI: 10.21046/21DZZconf-2023a.
9. Кочергин Г.А. Автоматизированная информационная система мониторинга изменений на основе космических снимков. / Г.А. Кочергин, А.С. Зыков, А.Л. Царегородцев и др. // Известия Алтайского государственного университета. — 2017. — 1(93). — С. 95–99. — URL: <https://izvestiya.asu.ru/article/view/%282017%291-18/1612> (дата обращения: 10.02.25). — DOI: 10.14258/izvasu(2017)1-18
10. Шабалин Н.В. Цифровая платформа комплексного мониторинга антропогенного воздействия / Н.В. Шабалин. — Москва: МГУ, 2024. — URL: <https://nti.chem.msu.ru/digitalplatform> (дата обращения: 10.12.2024).
11. Drost S. Automated earth observation data processing within an event-driven architecture for water monitoring [Electronic source] / S. Drost, A. Vogt, C. Danowski-Buhren // Computers and Geosciences. — 2022. — №159. — URL: <https://arxiv.org/abs/2112.14680>. (accessed: 13.04.25) doi: 10.48550/arXiv.2112.14680
12. Goldberg H.R. Automated global-scale detection and characterization of anthropogenic activity using multi-source satellite-based remote sensing imagery / H.R. Goldberg, C.R. Ratto, A. Banerjee [et al.] // Proceedings SPIE. Geospatial Informatics XIII. — 2023. — Vol. 12525. — DOI: 10.1117/12.2663071. — URL: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/12525/1252502> (accessed: 14.02.2025).
13. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. — Version 5.0. — U.S. Geological Survey, 2019. — URL: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-data-users-handbook> (accessed: 08.10.2024).
14. Sentinel-2 User Handbook. — European Space Agency, 2015. — Issue 1, Rev 2. — URL: https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook (accessed: 08.10.2024).
15. Sentinel-1: ESA's Radar Observatory Mission for GMES Operational Services. — ESA SP-1322/1, 2012. — URL: https://sentinel.esa.int/documents/247904/349449/S1_SP-1322_1.pdf (accessed: 08.10.2024).
16. Макриденко Л.А. КА «КАНОПУС-В» № 1 – первый российский малый космический аппарат высокоточного дистанционного зондирования Земли нового поколения / Л.А. Макриденко, С.Н. Волков, А.В. Горбунов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. — 2017. — Т. 156. — С. 10-20. — URL: <https://jurnal.vniiem.ru/en/text/156/10-20.pdf> (дата обращения: 15.06.2025).
17. Экологические нормы и правила 17.01.06-001-2017 «Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности»: Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 23.11.2022 № 23-Т. — URL: <https://www.ecoinfo.by/wp-content/uploads/2023/03/Z-novaja-redakcija-JeKoNiP-17.01.06-001-2017.pdf> (дата обращения: 08.10.2024).
18. О требованиях к разработке проектов водоохранных зон и прибрежных полос : Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 04.05.2015 № 18.
19. Google Maps. — URL: <https://www.google.by/maps> (accessed: 03.09.2024)
20. Геоинформационный ресурс данных ДЗЗ Белорусского предприятия сельскохозяйственных аэрофотогеодезических изысканий. — URL: www.dzz.by/izuchdzz/ (дата обращения: 03.09.2024).
21. Публичная кадастровая карта Национального кадастрового агентства Республики Беларусь. — URL: <https://map.pca.by/> (дата обращения: 15.09.2024).
22. Геопортал открытых данных земельно-информационной системы Республики Беларусь. — URL: <https://gismap.by/> (дата обращения: 15.09.2024).

Список литературы на английском языке / References in English

1. O Nacional'noj strategii upravljenja vodnymi resursami v uslovijah izmenenija klimata na period do 2030 goda [Belarus. On the National Strategy for Water Resources Management in the Context of Climate Change until 2030] : Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus No 91: [approved by the Council of Ministers of the Republic of Belarus 2022-02-22]. — URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=C22200091> [in Russian]
2. Povestka dnja na XXI vek: prinjata Konferenciej OON po okružhajushhej srede i razvitiju (Rio-de-Zhanejro, 3-14 ijunja 1992 g.) [Agenda 21: adopted by the UN Conference on Environment and Development (Rio de Janeiro, 3-14 June 1992)]. — URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/agenda21_ch18c.shtml (accessed: 08.10.2024). [in Russian]
3. Zajchuk G.I. Vodnoe pravo Respubliki Belarus'. Uchebno-metodicheskoe posobie dlya studentov po special'nosti 1-24 01 02 «Pravovedenie» [Water Law of the Republic of Belarus. Textbook for students of speciality 1-24 01 02 'Jurisprudence'] / G.I. Zajchuk. — Brest: BrGU imeni A.S. Pushkina, 2021. — 149 p. — URL: <https://rep.brsu.by/bitstream/handle/123456789/7719/1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (accessed: 15.06.25). [in Russian]
4. OECD. K vodnoj bezopasnosti Belarusi: Svodnyj otchet [Towards Water Security in Belarus: Synthesis Report]. — Paris: OECD Publishing, 2020. — DOI: 10.1787/cbabdc86-ru [in Russian]
5. Evropejskoe agentstvo po okružhajushhej srede. Vodnye resursy, kachestvo poverhnostnyh vod i vodopotreblenie v stranah «Vostochnogo partnerstva»: doklad na osnove pokazatelej [Water resources, surface water quality and water use in Eastern Partnership countries: indicator-based report]. — No. 14/2020. — DOI: 10.2800/088732. — ISBN 978-92-9480-289-7. [in Russian]
6. Gertman L.N. Sovershenstvovanie metodicheskix podxodov, texnicheskix reshenij i obespechenie dostupnosti informacii pri ustanovlenii vodooxranny'x zon vodny'x ob"ektov [Improvement of methodological approaches, technical solutions and ensuring accessibility of information when establishing water protection zones of water bod]. / L.N. Gertman, E.V. Levachyov, A.N. Glinskaya et al. // Bulletin of Brest State Technical University. — 2021. — 1(124). — P. 84–89. — DOI: 10.36773/1818-1212-2021-124-1-84-89 [in Russian]

7. Vodnyj kodeks Respubliki Belarus' ot 30.04.2014 № 149-Z [Water Code of the Republic of Belarus dated 30.04.2014 No. 149-Z]. — Adopted by the House of Representatives 02.04.2014, approved by the Council of the Republic 11.04.2014. [in Russian]
8. Berezkin M.D. «Cifrovaja Zemlja»: masshtabirovanie proekta na vsju Rossiju ["Digital Earth": scaling the project to all of Russia] / M.D. Berezkin, K.S. Sushencova // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa: mater. 21-j Mezhdunar. konf.* — Moscow: IKI RAN, 2023. — P. 65. — DOI: 10.21046/21DZZconf-2023a. [in Russian]
9. Kochergin G.A. Avtomatizirovannaya informacionnaya sistema monitoringa izmenenij na osnove kosmicheskix snimkov [Automated Information System for Monitoring Changes Based on Satellite Images]. / G.A. Kochergin, A.S. Zy'kov, A.L. Czaregorodcev et al. // *Proceedings of Altai State University.* — 2017. — 1(93). — P. 95–99. — URL: <https://izvestiya.asu.ru/article/view/%282017%291-18/1612> (accessed: 10.02.25). — DOI: 10.14258/izvasu(2017)1-18 [in Russian]
10. Shabalin N.V. Cifrovaja platforma kompleksnogo monitoringa antropogennogo vozdejstviya [Digital platform for comprehensive monitoring of anthropogenic impact] / N.V. Shabalin. — Moscow: MSU, 2024. — URL: <https://nti.chem.msu.ru/digitalplatform> (accessed: 10.12.2024). [in Russian]
11. Drost S. Automated earth observation data processing within an event-driven architecture for water monitoring [Electronic source] / S. Drost, A. Vogt, C. Danowski-Buhren // *Computers and Geosciences.* — 2022. — №159. — URL: <https://arxiv.org/abs/2112.14680>. (accessed: 13.04.25) doi: 10.48550/arXiv.2112.14680
12. Goldberg H.R. Automated global-scale detection and characterization of anthropogenic activity using multi-source satellite-based remote sensing imagery / H.R. Goldberg, C.R. Ratto, A. Banerjee [et al.] // *Proceedings SPIE. Geospatial Informatics XIII.* — 2023. — Vol. 12525. — DOI: 10.1117/12.2663071. — URL: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/12525/1252502> (accessed: 14.02.2025).
13. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. — Version 5.0. — U.S. Geological Survey, 2019. — URL: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-data-users-handbook> (accessed: 08.10.2024).
14. Sentinel-2 User Handbook. — European Space Agency, 2015. — Issue 1, Rev 2. — URL: https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook (accessed: 08.10.2024).
15. Sentinel-1: ESA's Radar Observatory Mission for GMES Operational Services. — ESA SP-1322/1, 2012. — URL: https://sentinel.esa.int/documents/247904/349449/S1_SP-1322_1.pdf (accessed: 08.10.2024).
16. Makridenko L.A. KA «KANOPUS-V» № 1 – pervyj rossijskij malyj kosmicheskij apparat vysokodetal'nogo distancionnogo zondirovanija Zemli novogo pokolenija [SC "KANOPUS-V" No. 1 - the first Russian small spacecraft for high-resolution Earth remote sensing of new generation] / L.A. Makridenko, S.N. Volkov, A.V. Gorbunov [et al.] // *Voprosy jelektromehaniki. Trudy VNIIEJem.* — 2017. — Vol. 156. — P. 10-20. — URL: <https://jurnal.vniiem.ru/en/text/156/10-20.pdf> (accessed: 15.06.2025). [in Russian]
17. Jekologicheskie normy i pravila 17.01.06-001-2017 «Ohrana okruzhajushhej sredy i prirodnopol'zovanie. Trebovanija jekologicheskij bezopasnosti»: Postanovlenie Ministerstva prirodnyh resursov i ohrany okruzhajushhej sredy Respubliki Belarus' ot 23.11.2022 № 23-T [Environmental norms and rules 17.01.06-001-2017 "Environmental protection and nature management. Environmental safety requirements": Resolution of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus dated 23.11.2022 No. 23-T]. — URL: <https://www.ecoinfo.by/wp-content/uploads/2023/03/Z-novaja-redakcija-JeKoNiP-17.01.06-001-2017.pdf> (accessed: 08.10.2024). [in Russian]
18. O trebovanijah k razrabotke proektov vodohrannyh zon i pribrezhnyh polos: Postanovlenie Ministerstva prirodnyh resursov i ohrany okruzhajushhej sredy Respubliki Belarus' ot 04.05.2015 № 18 [On requirements for the development of water protection zones and coastal strips projects : Resolution of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus dated 04.05.2015 No. 18]. [in Russian]
19. Google Maps. — URL: <https://www.google.by/maps> (accessed: 03.09.2024)
20. Geoinformacionnyj resurs dannyh DZZ Belorusskogo predpriyatija sel'skohozjajstvennyh aerofotogeodezicheskix izyskanij [Geoinformation resource of remote sensing data of the Belarusian enterprise of agricultural aerophotogeodetic surveys]. — URL: www.dzz.by/izuchdzz/ (accessed: 03.09.2024). [in Russian]
21. Publichnaja kadaastrovaja karta Nacional'nogo kadaastrovogo agentstva Respubliki Belarus' [Public cadastral map of the National Cadastral Agency of the Republic of Belarus]. — URL: <https://map.nca.by/> (accessed: 15.09.2024). [in Russian]
22. Geoportal otkrytyh dannyh zemel'no-informacionnoj sistemy Respubliki Belarus' [Geoportal of open data of the land information system of the Republic of Belarus]. — URL: <https://gismap.by/> (accessed: 15.09.2024). [in Russian]