

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Даниил Алексеевич Саченок^{1,3}, Алексей Иванович Саченок², Игорь Викторович Цирин³

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва, Россия,

² Государственная корпорация по космической активности «Роскосмос», Москва, Россия,

³ «Всероссийский научно-исследовательский институт труда» Министерства труда и социальной
защиты России, Москва, Россия,

¹ Ave.daniil@yandex.ru, ² alexey_124@mail.ru, ³ tsirini@vcot.info

Аннотация. В данной статье рассматриваются задачи экологического мониторинга, которые можно решать при помощи систем спутникового зондирования. Особое внимание уделяется вопросам мониторинга особо охраняемых природных территорий и возможностям современных спутниковых систем России и мира. В статье содержатся материалы спутниковых снимков, показывающие область применения космических аппаратов в вопросах природоохранной деятельности и выводы, позволяющие судить о возможностях изучения территорий при помощи возможностей спутниковых группировок при перекрытии их зон наблюдения. Спутниковые системы являются передовой технологией в области науки и применимы для решения различного спектра задач, зависящего от аппаратуры, устанавливаемой на космических аппаратах. Вопросы экологического мониторинга и охраны особо охраняемых территорий все чаще решаются посредством использования не только спутников, но и спутниковых группировок, что значительно повышает эффективность наблюдения. Основной целью представленной статьи является анализ возможностей применения современных космических аппаратов в области решения природоохранных задач и рассмотрение основных вопросов, решаемых посредством использования спутниковых снимков и вегетационных индексов, получаемых в процессе изучения снимков.

Ключевые слова: спутниковый мониторинг, дистанционное спутниковое зондирование, экология, охрана окружающей среды, особо охраняемые природные территории, вегетационные индексы

Для цитирования: Саченок Д. А., Саченок А. И., Цирин И. В. Анализ возможностей спутниковых систем в области экологического мониторинга особо охраняемых природных территорий // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2025. Выпуск 2025-3(173) Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. С. 23–35. doi: 10.71536/vd.2025.3c173.3. edn: zvzwzx.

Original article

ANALYSIS OF THE CAPABILITIES OF SATELLITE SYSTEMS IN THE FIELD OF ECOLOGICAL MONITORING OF SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS

Daniil A. Sachenok^{1,3}, Alexey I. Sachenok², Igor V. Tsirin³

¹ National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia, ² State Corporation for Space Activities «Roscosmos», Moscow, Russia, ³ All-Russian Scientific Research Institute of Labor of the Ministry of Labour and Social Protection of the Russian Federation, Moscow, Russia,

¹ Ave.daniil@yandex.ru, ² alexey_124@mail.ru, ³ tsirini@vcot.info

Abstract. This article examines the environmental monitoring challenges that can be addressed by satellite sensing systems. Particular attention is paid to the monitoring of specially protected natural territories and the

© Саченок Д. А., Саченок А. И., Цирин И. В., 2025



capabilities of modern satellite systems of Russia and the world. The article contains satellite imagery materials showing the scope of spacecraft applications in environmental issues and conclusions that allow us to assess the possibilities of exploring territories using the capabilities of satellite groupings when their observation zones are blocked. Satellite systems are an advanced technology in the field of science and can be used to solve a wide range of tasks, depending on the equipment installed on spacecraft. Environmental monitoring and protection of specially protected areas are increasingly being addressed through the use of not only satellites, but also satellite groupings, which significantly increases the effectiveness of surveillance. The main purpose of this article is to analyze the possibilities of using spacecraft to solve environmental problems and to consider the main issues solved through the use of satellite images and vegetation indices obtained in the process of studying images.

Keywords: satellite monitoring, remote sensing by satellite, ecology, environmental protection, specially protected natural areas, vegetation indices

For citation: Sachenok D. A., Sachenok A. I., Tsirin I. V. Analysis of the capabilities of satellite systems in the field of ecological monitoring of specially protected natural areas. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Buildings and structures using new materials and technologies.* 2025;3(173):23–35. (In Russ.). doi: 10.71536/vd.2025.3c173.3. edn: zvzwzx.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Создание и применение мониторинговых систем постепенно становится значимым трендом современной науки и техники. В структуру мониторинговых систем включается все более широкий спектр методов, позволяющий достигать требуемых целей и задач. Совершенствование мониторинговых процессов развивается и благодаря наличию передовых технологий, в том числе в области спутникового наблюдения.

Спутниковое наблюдение позволяет решать задачи в интересах различных отраслей, в основном сельского хозяйства, добычи полезных ископаемых, природоохранной деятельности, экологии, решения оборонных и правоохранительных задач. При этом методы спутникового мониторинга могут применяться, как инструменты прямого наблюдения, так и как инструменты получения данных для дальнейшей аналитической и вычислительной работы.

Благодаря развитию науки и техники постепенно происходит насыщение орбиты Земли специализированными искусственными спутниками, и, как следствие, все большая территория планеты может быть изучена при помощи дистанционного зондирования. Особо следует отметить возможности спутникового мониторинга в экологических вопросах. Экологический мониторинг при помощи спутниковых аппаратов полезен, как при сборе данных о вопросах воздействия на окружающую среду со стороны производства, так и при анализе последствий природных и техногенных катастроф.

Отдельно следует выделить задачи, связанные с мониторингом территорий Особо Охраняемых Природных Территорий (ООПТ). Данные задачи могут решаться, как методами прямого наблюдения, так и расчетными методами, стоит учитывать и то, что ввиду специфики ООПТ, спектр задач является особенно широким.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Исследования в области мониторинга спутниковыми группировками является важной составляющей ряда исследований, как в России, так и в мире. Возможности спутниковых группировок можно оценить по публикациям О. И. Яковлева, А. Г. Павельева, С. С. Матюгова, М. И. Митягина, О. Ю. Лаврова, Т. Ю. Бочарова, А. И. Захарова, О. И. Яковлева, В. М. Смирнова [1–3]. В их работах рассматриваются возможности мониторинга атмосферы Земли, промышленных загрязнений. Применяются методы радиолокационной съемки. В этих работах подробно рассматривается инструментарий, находящийся в распоряжении исследователей, использующих спутниковые системы.

Методам расчетов и использования вегетационных индексов посвящаются научные статьи А. А. Ткачева, А. И. Алексанина, А. Н. Тимофеева [4–5]. Что в свою очередь расширяет представление об использовании вегетационных индексов при решении различного рода задач в области спутникового мониторинга.

Основной целью представленного исследования является анализ текущих возможностей спутниковых систем в области мониторинга ООПТ и обозначение перспектив развития данного метода сбора данных для задач по сохранению ООПТ.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Тренд на сохранение природы и экосистем стал особенно актуальным в последнее время. В настоящее время для оценки экологической обстановки применяется многообразие передовых научных методов, основным из которых является спутниковое зондирование территории.

Для ряда задач в вопросах мониторинга иногда достаточно спутникового снимка нужного качества и разрешения, однако задачи, касающиеся изменения состояния окружающей среды, требуют дополнительного применения вегетационных индексов на основе анализа множества снимков. Вегетационные индексы – это числовые показатели, которые используются для анализа состояния растительного покрова на основе данных дистанционного зондирования Земли. Вегетационные индексы получают путем анализа и дальнейших вычислений при работе со спутниковыми снимками, самыми популярными вегетационными индексами являются: NDVI, NDWI, EVI. Эти индексы отличаются учетом разных вводных параметров, таких, как влияние атмосферы, воды и почвы на качество спутниковых снимков в условиях определенного региона, где производились научные изыскания. Наиболее широко эти индексы применяются в сельском хозяйстве. Вегетационные индексы в целях мониторинга состояния природы регулярно применяются исследователями из Китая [6; 7] и Индии [8], ввиду наличия у этих стран собственных космических программ спутникового мониторинга.

В таблице 1 представлены основные задачи, решаемые с использованием спутников.

Таблица 1. Задачи экологического мониторинга и их решение с применением систем спутникового зондирования и вегетационных индексов

Задача экологического мониторинга	Функции спутниковых систем при решении данной задачи
Оценка состояния экосистем	Отслеживание изменений в растительном покрове, водных ресурсах, почвах, в том числе при помощи вегетационных индексов
Контроль антропогенного воздействия	Выявление незаконной вырубки лесов, строительства, браконьерства, разливов загрязняющих жидкостей, загрязнение отходами водных ресурсов
Мониторинг климатических изменений	Мониторинг льдов Арктики и Антарктики, слежение за движением циклонов и антициклонов, контроль площадей пустыней
Пожарный мониторинг	Обнаружение очагов возгорания и оценка последствий лесных пожаров
Биоразнообразие	Наблюдение за местами обитания редких видов животных и растений

Представленные задачи в России могут решаться, как с использованием отечественных спутниковых снимков, так и с использованием снимков иностранных космических агентств. Стоит отметить, что в последние годы ведется активное увеличение российской спутниковой группировки [9], увеличивающей возможности отечественных мониторинговых систем. На рисунке 1 приведен космический снимок лесного пожара в Амурской области, сделанный при помощи космического аппарата «Канопус-В». Территории под угрозой обозначены красной штриховкой, очаги пожара обозначены красными кругами, синим выделен водный объект в виде реки Амур.

Информация со снимка позволяет оценить масштаб происшествия и спрогнозировать дальнейшее развитие ситуации, что в свою очередь способствует планированию действий по минимизации ущерба и локализации возгорания. В случае представленного пожара можно оценить: площадь возгорания, его очаги, территорию под угрозой и наличие удобных водных объектов для тушения пожара.

В качестве примера оценки последствий экологической катастрофы рассмотрим рисунок 2, на котором представлен снимок разлива нефти в Черном море, в районе Керченского пролива после кораблекрушений судов «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239». Места кораблекрушений обозначены зеленым маркером, темные зоны показывают разливы нефтепродуктов. Снимок сделан при помощи радиолокационного спутника европейского космического агентства Sentinel-1 [10]. При помощи снимка возможно оценить масштаб загрязнения и площадь территории, которые будут подвергаться загрязнению в близлежащей перспективе.

Для экологического мониторинга поверхности Земли активно применяются космические снимки аппаратов российского производства, Россия обладает широким спектром спутников для выполнения различных целей и решения разного рода задач. Спутниковые системы, применяемые для экологического мониторинга [11] представлены в таблице 2.

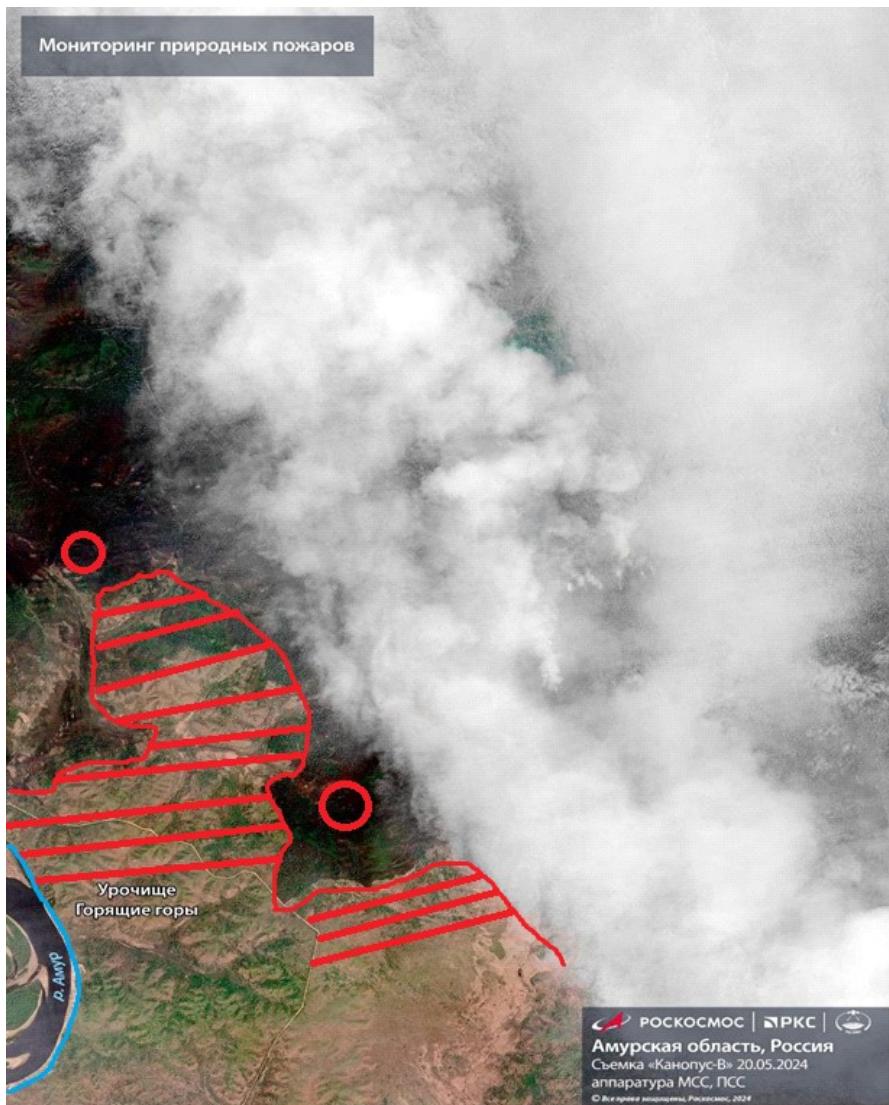


Рисунок 1 – Мониторинг природных пожаров в Амурской области при помощи космических снимков аппарата «Канопус-В».

Следует добавить, что на орбитах от 470 до 900 километров, спутники совершают один виток в диапазоне от 2 до 6 часов. Геостационарные спутниковые аппараты совершают полный виток раз в 24 часа. Эта информация позволяет определить частоту съемки изучаемой локации.

На основе данных таблицы можно сделать следующие выводы о состоянии и перспективах российской спутниковой группировки в области решения задач, связанных с экологическим мониторингом:

1) Ввиду разных орбит и покрытий территорий различными спутниковыми группировками, возможно подробное изучение регионов покрытия несколькими космическими аппаратами. В указанной точке перекрытия снимков различных спутников возможно производить исследования, направленные на прогнозирование и моделирование различных ситуаций в области экологии, в том числе моделирование природных катастроф.

2) За счет различных назначений оборудования спутников, при перекрытии определенной территории, является возможным использование более широкого инструментария для проведения исследований, чем при использовании только одного спутника.

3) На ближайшие годы запланировано значительное увеличение космических аппаратов мониторинга поверхности Земли, с построением из них целевых орбитальных группировок, что значительно повышает качество наблюдения.

4) Ввиду расширения Российской систем спутникового мониторинга, возможно постепенное сокращение использования данных с зарубежных источников.

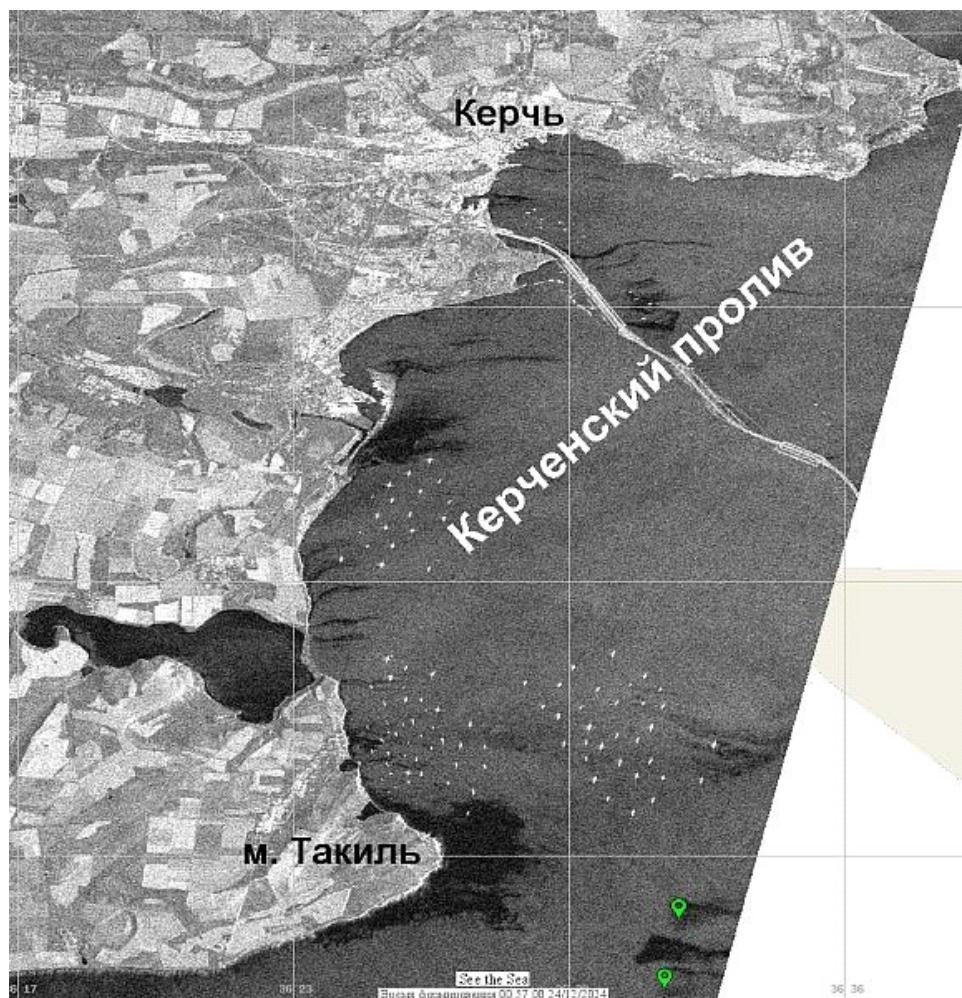


Рисунок 2 – Снимок Керченского пролива после кораблекрушения судов с нефтью, выполненный спутником Sentinel-1.

5) Таким образом, в настоящее время следует отметить активное развитие российских космических систем с задачами дистанционного зондирования поверхности Земли, экологического мониторинга и охраны окружающей среды.

Задачи общего экологического мониторинга, выполняемые космическими аппаратами, актуальны и в условиях особо охраняемых природных территорий, но зачастую имеют различные ответвления и узкую направленность. Однако эти ответвления ограничиваются задачами улучшения качества снимков и большим их разрешением, что позволяет использовать возможности большинства существующих спутников дистанционного зондирования России и мира.

Рассмотрим дополнительный ряд задач, которые можно решать при помощи систем спутникового мониторинга в рамках мониторинга ООПТ в таблице 3.

В случае ООПТ, как и в случае классического экологического мониторинга, не требуется специальных возможностей у космических аппаратов, достаточно требуемого разрешения и качества изображения. В случае стандартной космической съемки возможно зафиксировать на территории заповедников технику, связанную с незаконным промыслом. К примеру, на рисунке 3 представлен космический снимок браконьерского рыбного промысла в водах, входящих в состав территории ООПТ [13]. Данный снимок получен благодаря радиолокационной съемке и обработан для большой наглядности.

Учитывая способность производить несколько снимков при прохождении спутника над территорией, возможным представляется расчет параметров наблюдаемых судов за счет радиолокационного оборудования и аппаратуры для съемок в высоком разрешении. Такие возможности позволяют понять размерные характеристики наблюдаемого объекта, корабля в данных условиях, рассчитать его скорость и маршрут, что в дальнейшем позволяет идентифицировать само судно, при сравнении этих данных с маршрутом и

Таблица 2. Российские спутниковые системы, их применение и перспективы развития

Спутниковая система	Высота орбиты, км	Задачи комплекса	Перспективы развития
Серия «Арктика-М» 2 космических аппарата	Высокие эллиптические орбиты. От 1 036 до 39 425	Гидрометеорологические исследования. Основная цель исследований – наблюдение за Арктикой	Планируется увеличение группировки с 2 до 6 аппаратов до 2031 года
Серия «Ионосфера-М» 2 космических аппарата	820	Геофизические исследования ионосферы и атмосферы Земли. Исследования околосземного космического пространства.	Планируется создание комплекса аппаратов «Ионозонд», в состав которого войдут 5 космических аппаратов «Ионосфера-М» [12]
«Канопус-В-ИК» 1 космический аппарат	500	Мониторинг техногенных и природных чрезвычайных ситуаций, выявление очагов лесных пожаров, обнаружение очагов крупных выбросов загрязняющих веществ в природную среду, анализ сельскохозяйственной деятельности и наблюдение за состоянием природных ресурсов, картографирование. Использование инфракрасной съемки	Совершенствование инфракрасной съемки на других космических аппаратах
Серия «Канопус-В» 4 космических аппарата	500	Мониторинг стихийных гидрометеорологических явлений и природных чрезвычайных ситуаций; обнаружение и контроль очагов лесных пожаров; обнаружение и контроль крупных выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду; мониторинг сельскохозяйственной и водоохранной деятельности; мониторинг ледовой обстановки на реках, озерах и водохранилищах, а также в прибрежных зонах замерзающих морей России; оперативное наблюдение заданных районов земной поверхности	Планируется увеличение спутниковой группировки еще тремя аппаратами совместного производства с Ираном
Серия «Метеор-М» 3 космических аппарата	900	Мониторинг окружающей среды, мониторинг гидрогеологических явлений, радиолокационный анализ, океанографические исследования	Планируется увеличение группировки до 5 аппаратов
Серия «Электро-Л» 4 космических аппарата	Геостационарная орбита. 36 000	Мониторинг изменения климата, контроль за чрезвычайными ситуациями, в том числе техногенного характера, экологические исследования	В 2025 году планируется запустить еще один аппарат «Электро-Л». После 2030 года планируется запуск усовершенствованной версии «Электро-М»

окончание табл. 2

Спутниковая система	Высота орбиты, км	Задачи комплекса	Перспективы развития
Серия «Ресурс-П» 2 космических аппарата	470	Обеспечение хозяйственной деятельности МПР России, МЧС России, Росрыболовства, Росгидромета, мониторинг состояния окружающей среды, контроль водоохранных и заповедных районов, контроль загрязнения и деградации окружающей среды, экологический контроль в районах геологоразведочных работ и добычи полезных ископаемых, выявление и изучение загрязнений окружающей среды	С 2026 года планируется постепенное развертывание системы «Ресурс-ПМ», орбитальная группировка которой в перспективе будет состоять 5 космических аппаратов, являющейся дальнейшим развитием серии аппаратов «Ресурс-П»
Серия «Обзор-Р», перспективная разработка	680	Мониторинг природных и техногенных ЧС, обеспечение безопасности мореплавания, картографирование, мониторинг геологических процессов, решение задач в области сельского хозяйства, недропользования, природопользования	Система высокотехнологичных радиолокационных космических аппаратов высоким разрешением снимков

Таблица 3. Задачи экологического мониторинга ООПТ и их решение с применением систем спутникового зондирования и вегетационных индексов

Задача экологического мониторинга в условиях особо охраняемых природных территорий	Функции спутниковых систем при решении данной задачи
Контроль незаконной вырубки лесов на территории ООПТ	Непосредственное фотографирование территории. Сбор данных для дальнейшего вычисления вегетационных индексов
Контроль браконьерства	Фиксация браконьерских судов в районах, находящихся под запретом хозяйственной деятельности
Мониторинг популяций видов определенных животных	Непосредственное фотографирование территории с животными выполнимо при условии наличия камер высокого разрешения, отсутствия препятствий для съемки и своевременного пролета спутника
Контроль водных ресурсов	Сбор данных для дальнейшего вычисления вегетационных индексов. Контроль площади загрязнений в случае экологических катастроф
Контроль площадей зеленой растительности	Сбор данных для дальнейшего вычисления вегетационных индексов
Создание карт наблюдаемой территории	Непосредственное фотографирование территории

характеристиками предполагаемого нарушителя. За счет подобных исследований, спутниковый мониторинг способен обеспечить дополнительную возможность по борьбе с незаконным промыслом в водах, находящихся под охраной.

Контроль площадей зеленой растительности, а также качества водных ресурсов осуществляется путем применения к спутниковым снимкам инструментов расчета вегетационных индексов. При регулярном наблюдении за заповедными территориями можно зафиксировать вегетационные индексы в разные времена года и на протяжении нескольких лет. Далее следует сравнивать вегетационные индексы, между годами с целью выявления аномальных отклонений от нормы. Причинами подобного отклонения могут

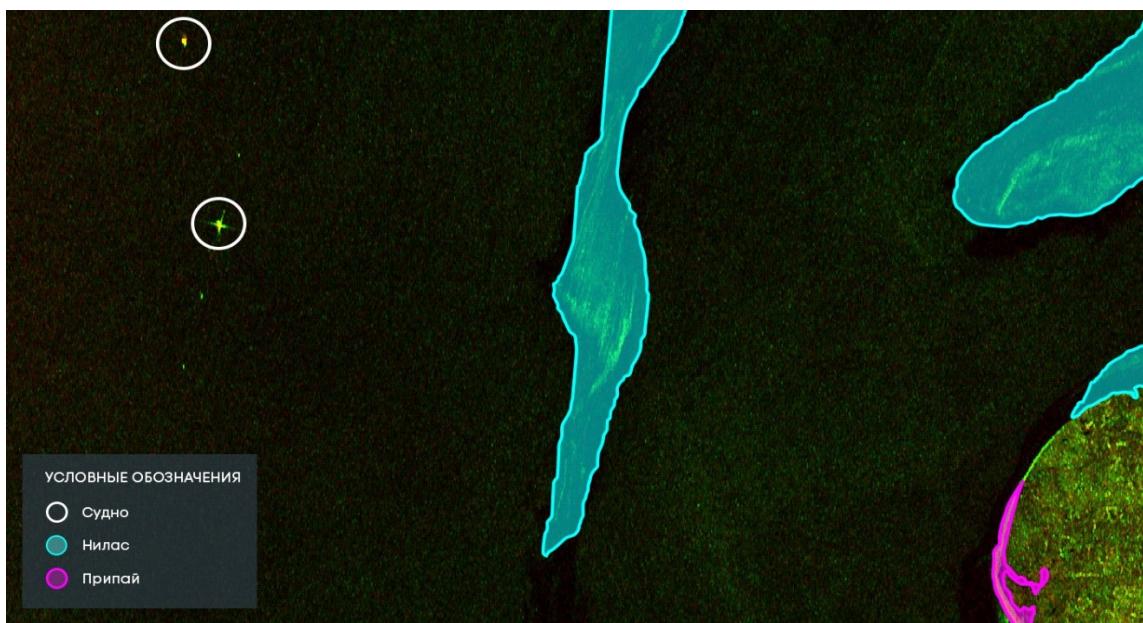


Рисунок 3 – Фиксация браконьерских судов на территории ООПТ при помощи спутникового снимка.

выступать: деградация экосистем в связи с антропогенным воздействием или природными катастрофами, незаконная вырубка лесов, аномальная температура воздуха. В случае мониторинга водных ресурсов также будут применимы вегетативные индексы, рассчитанные непосредственно для определенных условий.

Наиболее специфической задачей в условиях экологического мониторинга заповедных территорий при помощи спутниковых систем является мониторинг популяций. Существующие спутники обладают достаточно высоким качеством и разрешением снимков, что позволяет фиксировать на снимках представителей популяций крупных животных.

Подобная форма спутникового мониторинга будет эффективно работать для стадных животных. К примеру, в Африке проводится спутниковый мониторинг популяции слонов, ввиду простоты их выявления на спутниковых снимках. На рисунке 4 представлен спутниковый снимок популяции моржей, вид которых относится к категории уязвимых и нуждается в подсчетах численности [14]. При перекрытии регионов обитания подобных животных различными аппаратами, подсчет численности может быть упрощен при помощи технологий инфракрасных снимков [15].

Таким образом, следует сделать вывод о том, что применение спутникового зондирования в рамках исследований и мониторинга ООПТ может приносить такой же эффективный результат, как и в условиях решения задач обыкновенного экологического мониторинга [16].

В предыдущих материалах статьи рассматривались задачи, решаемые посредством спутникового мониторинга, опираясь на текущие возможности мировых и российских спутниковых группировок [17]. Специфика спутникового зондирования не позволяет проводить постоянные наблюдения за территориями в силу законов физики, однако регулярные пролеты аппаратов над изучаемыми объектами являются действующей практикой. Спутники могут использоваться на орбитах, позволяющих сфокусировать мощности на изучение конкретного региона, к примеру, Арктического, как в случае использования спутников серии «Арктика-М».

Текущими трендами в области применения спутниковых систем для экологического мониторинга являются:

1) Повышение качества новых аппаратов, в том числе параметров получаемых снимков, что позволяет проводить более значимые исследования в области экологии.

2) Увеличение количества спутников в составах группировок с целью покрытия больших территорий и проведения более широких исследований [18]. Особо стоит отметить возможности покрытия одних территорий разными космическими аппаратами или космическими группировками, что позволяет производить исследования по прогнозированию ряда происшествий в области охраны окружающей среды.

3) Создание спутниковых группировок, позволяющих оптимизировать наблюдаемость территорий, а также повысить регулярность прохождения маршрутов слежения смежными космическими аппаратами.



Рисунок 4 – Спутниковый снимок лежбища моржей.

4) Выбор орбит для орбитальных группировок, позволяющих наиболее эффективно выполнять целевые задачи зондирования Земной поверхности.

Согласно этим трендам можно сделать вывод о том, что ресурсы спутниковых снимков на нужды экологического мониторинга будут увеличиваться, не только за счет общего роста спутников, но и эффективности их применения. Стоит отметить и повышение качества съемки, что в свою очередь улучшает выполнения задач в части получения вегетационных индексов и фиксации различного рода нарушений. В случае мониторинга территорий ООПТ, повышение качества спутниковых снимков оказывает еще более значительное воздействие на точность наблюдений.

С ростом числа получаемых снимков, уменьшатся и затраты на их закупку заинтересованными лицами и компаниями, что позволит более широко проводить научные изыскания в области экологии и охраны окружающей среды. Однако запуски космических аппаратов являются высокозатратными процессами для государств и частного бизнеса, следовательно, снижение стоимости закупки спутниковых снимков будет наблюдаться только при значительном росте аппаратов в спутниковых группировках, дешевизны их изготовления и выведения на целевые орбиты (в т. ч. уменьшения массово-габаритных характеристик).

Следует особо подчеркнуть потенциал применения получаемых данных спутникового зондирования при перекрытии региона наблюдения разными спутниками одной группировки и спутниками разных группировок.

В первом случае, при использовании съемки одного участка несколькими аппаратами одной группировки, возможен сбор данных о регионе исследования с течением времени. Такая методология наиболее применима для наблюдений за происшествиями в реальном времени, к примеру, за разливами нефти.

Отдельно выделяется возможность сбора данных различными спутниковыми группировками. За счет разной аппаратуры в спутниковых комплексах, при проведении изысканий различными группировками, возможно производить прогнозирование и моделирование разного рода ситуаций. К примеру, одновременно применение съемки с высоким разрешением и инфракрасной съемки, позволяют моделировать возможные сценарии природных катастроф, в том числе прогнозировать их последствия в отсутствии необходимых мер предотвращения. Такое перекрытие съемок будет актуально и при использовании дополнительного оборудования, например, устройств, позволяющих распознавать состав атмосферы, что позволяет проводить более точные расчеты вегетационных индексов в условиях факторов среды. На основе подобного моделирования открывается возможность подготовки ответственными службами планов действия в данной ситуации.

Потенциал более значительного применения спутниковых систем в природоохранной практике можно считать достаточно высоким, ввиду широкого спектра задач, для решения которых требуются спутниковые снимки [19]. К тому же, ряд научных задач затруднительно выполнить каким-либо другим методом, кроме спутникового мониторинга. Использование беспилотных летательных аппаратов и исследовательской авиации не позволяют получить сопоставимые по масштабу и качеству снимки, особенно в вопросах съемки больших территорий с целью расчета вегетационных индексов. Таким образом, спутниковый мониторинг вопросов экологии и сохранения ООПТ является актуальным методом сбора информации и научный интерес к нему всегда востребован.

ВЫВОДЫ

В представленной статье рассмотрены актуальные вопросы, связанные с экологическим мониторингом, мониторингом ООПТ и охраной окружающей среды, решаемые посредством использования данных спутникового зондирования Земной поверхности. Представлен состав существующих и перспективных Российских спутниковых группировок народно-хозяйственного назначения, использующейся для решения задач в области экологии, и связанных с мониторинговыми данными. Из этого следует вывод о наличии широких возможностей по развитию систем спутникового мониторинга за экологии России.

Приведены особенности применения спутниковых снимков при изучении ООПТ и возможности их использования в зависимости от постановки задачи. Согласно данным из в открытых источников выявлены современные тренды в области развития Российских спутниковых систем и их роли в вопросах охраны окружающей среды. Потенциал развития представленных технологий считается высоким и перспективным, в том числе и в вопросах частного применения.

Совершенствование систем спутникового мониторинга мира и Российской Федерации позволяет расширить возможности в области взаимодействия системы человек-природа, улучшить процессы, связанные с ликвидацией экологических аварий и усовершенствовать аспекты защиты ООПТ и редких видов животных.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ.

1. Яковлев О. И., Павельев А. Г., Матюгов С. С. Спутниковый мониторинг Земли. Радиозатменный мониторинг атмосферы и ионосферы: монография. М.: URSS: Либроком, 2014. 208 с. ISBN 978-5-397-01227-0, 978-5-397-04369-4.
2. Митягина М. И., Лаврова О. Ю., Бочарова Т. Ю. Спутниковый мониторинг нефтяных загрязнений морской поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12, N 5. С. 130-149.
3. Захаров А. И., Яковлев О. И., Смирнов В. М. Спутниковый мониторинг Земли: Радиолокационное зондирование поверхности: монография. М.: Красанд, 2012. 245 с.
4. Ткачёв А. А. Вегетационные индексы по спутниковым снимкам // 75-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов: тезисы докладов (Минск, 22-27 апреля 2024 г.): в 4 ч. Минск: БГТУ, 2024. Ч. 4. С. 118.
5. Алексанин А. И., Тимофеев А. Н. Влияние условий наблюдения на точность расчёта вегетационного индекса растительности NDVI по данным дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20, N 1. С. 133-143. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=tgoexj> (дата обращения: 09.02.2024). DOI 10.21046/2070-7401-2023-20-1-133-143. EDN TGOEXJ.
6. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing / S. Huang [et al.]. // Journal of Forestry Research. 2021. Vol. 32, N 5. P. 1-6. DOI 10.1007/s11676-020-01155-1.
7. LSTM Time Series NDVI Prediction Method Incorporating Climate Elements: A Case Study of Yellow River Basin, China / Y. Guo [et al.]. // Journal of Hydrology. 2024. Vol. 629, issue 4. P. 130518. DOI 10.1016/j.jhydrol.2023.130518.
8. Geospatial Evaluation of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Urban Heat Island: a spatio-Temporal Study of Gandhinagar City, Gujarat, India / T. Modi [et al.]. // Geomatics, Natural Hazards and Risk. 2024. Vol. 15, N 1. P. 1-18. DOI 10.1080/19475705.2024.2356214.
9. Плотников Л. А. Перспективы реализации спутниковой группировки "сфера" для обеспечения достижений научно-технических целей развития Российской Федерации // Экономика и качество систем связи. 2024. N 1(31). С. 122-128.
10. GMES Sentinel-1 Mission / R. Torres [et al.]. // Remote Sensing of Environment. 2012. Vol. 120. P. 9-24. ISSN 0034-4257. DOI 10.1016/j.rse.2011.05.028.
11. Роскосмос [Электронный ресурс] // Госкорпорация "Роскосмос": [официальный сайт]. URL: <https://www.roscosmos.ru> (дата обращения: 17.03.2025).
12. Заповедники Таймыра [Электронный ресурс] // Федеральное государственное бюджетное учреждение "Объединенная дирекция заповедников Таймыра": [официальный сайт]. 2016-2025. URL: <http://zapovedsever.ru> (дата обращения: 17.03.2025).

13. Морж (лаптевский п/вид) *Odobenus rosmarus laptevi* [Электронный ресурс] // Красная книга России: [сайт]. 2025. URL: <https://redbookrf.ru/morzh-laptevskiy-pvid-odobenus-rosmarus-laptevi> (дата обращения: 17.03.2025).
14. Груммо Д., Коробушин Д., Малащенко Е. Мониторинг особо охраняемых природных территорий // Наука и инновации. 2018. N 188. С. 63-69. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-osobo-ohranyaemyh-prirodnyh-territoriy> (дата обращения: 16.03.2025).
15. Елсаков В. В., Щанов В. М., Поликарпова Н. В. Технологии спутникового мониторинга в анализе состояния ООПТ европейского Севера // Современное состояние и перспективы развития сети особо охраняемых природных территорий европейского Севера и Урала (к 20-летию образования объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО "Девственные леса Коми", 85-летию организации Печоро-Илычского заповедника): материалы докл. Всероссийской научно-практ. конф. (Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 23-27 ноября 2015 года). Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2015. С. 293-297. ISBN 978-5-9905700-7-8.
16. Курбатова И. Е., Верещака Т. В., Иванова А. А. Спутниковый мониторинг экологического состояния особо охраняемых территорий Северного Каспия на примере биосферного резервата ЮНЕСКО "Кизлярский залив" // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2022. Т. 19, N 4. С. 249-264. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49442878> (дата обращения: 17.03.2025). ISSN 2070-7401. eISSN 2411-0280. DOI 10.21046/2070-7401-2022-19-4-249-264. EDN SRBAB.
17. Спутниковый сервис SEE THE SEA [Электронный ресурс] // Sea the Sea Спутниковый сервис мониторинга Мирового океана: [официальный сайт]. 2011-2014. URL: <http://ocean.smislab.ru/static/index.sht> (дата обращения: 17.03.2025).
18. О компании [Электронный ресурс] // АО "НПО Лавочкина": [официальный сайт]. 2025. URL: <https://www.laspace.ru> (дата обращения: 17.03.2025).
19. Шагарова Ю. О., Кулагина Л. В. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в России // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2022. N 2. С. 709-711. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sputnikovyy-monitoring-lesnyh-po-zharov-v-rossii> (дата обращения: 17.03.2025).

REFERENCES

1. Yakovlev, O.I., Pavel'ev, A.G. and Matyugov, S.S. (2014), *Sputnikovyy monitoring Zemli. Radiozatmennyj monitoring atmosfery i ionosfery: monografiya* [Satellite monitoring of the Earth. Radio occultation monitoring of the atmosphere and ionosphere]: monograph, URSS: Librokom, Moscow, Russia.
2. Mityagina, M.I., Lavrova, O.Yu. and Bocharova, T.Yu. (2015), "Satellite Monitoring of Oil Pollution of the Sea Surface", *Modern Problems of Remote Sensing of the Earth From Space*, vol. 12, no. 5, pp. 130-149.
3. Zakharov, A.I., Yakovlev, O.I. and Smirnov, V.M. (2012), *Sputnikovyy monitoring Zemli: Radiolokacionnoe zondirovaniye poverkhnosti* [Satellite Monitoring of the Earth: Radar Sounding of the Surface]: monograph, Krasand, Moscow, Russia.
4. Tkachev, A.A. (2024), "Vegetation Indices Based on Satellite Images", *75-ya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya uchashchixsya, studentov i magistrantov* [75th Scientific and Technical Conference of Pupils, Students and Masters]: abstracts of reports, Minsk, Belarus, April 22-27 2024, in 4 parts, parts 4, pp. 118.
5. Aleksanin, A.I. and Timofeev, A.N. (2023), "Influence of Observation Conditions on the Accuracy of NDVI Vegetation Index Calculation from Earth Remote Sensing Data", *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, vol. 20, no. 1, pp. 133-143, available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=tgoexj> (Accessed 9 February 2025). DOI 10.21046/2070-7401-2023-20-1-133-143. EDN TGOEXJ.
6. Huang, S., Tang, L., Hupy, Joseph P., Wang, Ya. and Shao, G. (2021), "A Commentary Review on the Use of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the Era of Popular Remote Sensing", *Journal of Forestry Research*, vol. 32, no. 5, pp. 1-6. DOI 10.1007/s11676-020-01155-1.
7. Guo, Y., Zhang, L., He, Y., Cao, Sh., Li, H., Ran, L., Ding, Yu. and Filionchyk, M. (2024), "LSTM Time Series NDVI Prediction Method Incorporating Climate Elements: A Case Study of Yellow River Basin, China", *Journal of Hydrology*, vol. 629, issue 4, pp. 130518. DOI 10.1016/j.jhydrol.2023.130518.
8. Modi, T., Ghosh, T., Ali, D., Alarifi, S., Choudhary, N., Kumar, P., Patel, A., Gupta, N., Niazi, P. and Yadav, V.K. (2024), "Geospatial Evaluation of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Urban Heat Island: a Spatio-Temporal Study of Gandhinagar City, Gujarat, India", *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, vol. 15, no. 1, pp. 1-18. DOI 10.1080/19475705.2024.2356214.
9. Plotnikov, L.A. (2024), "Prospects for the Implementation of the Satellite Constellation "Sphere" to Ensure the Achievement of Scientific and Technical Goals for the Development of the Russian Federation", *Ekonomika i Kachestvo Sistem Svyazi*, no. 1(31), pp. 122-128.
10. Torres, R., Snoeij, P., Geudtner, D., Bibby, D., Davidson, M., Attema, E., Potin, P., Rommen, B., Flouri, N., Brown, M., Traver, I.N., Deghaye, P., Duesmann, B., Rosich, B., Miranda, N., Bruno, C., L'Abbate, M., Croci, R., Pietropaolo, A., Huchler, M. and Rostan, F. (2012), "GMES Sentinel-1 Mission", *Remote Sensing of Environment*, vol. 120, pp. 9-24. ISSN 0034-4257. DOI 10.1016/j.rse.2011.05.028.
11. Roscosmos State Corporation (2025), "Roscosmos", available at: <https://www.roscosmos.ru> (Accessed 17 March 2025).
12. Federal State Budgetary Institution "United Directorate of Taimyr Nature Reserves" (2016, 2025), "Taimyr Nature Reserves", available at: <http://zapovedsever.ru> (Accessed 17 March 2025).

13. Red Book of Russia (2025), "Walrus (Laptev p/species) Odobenus rosmarus laptevi", available at: <https://redbookrf.ru/morzh-laptevskiy-pvid-odobenus-rosmarus-laptevi> (Accessed 16 March 2025).
14. Grummo, D., Korobushin, D. and Malashenkova, E. (2018), "Monitoring of Specially Protected Natural Areas", *Nauka i Innovacii*, no. 188, pp. 63-69, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-osobo-ohranyaemyh-prirodnih-territoriy> (Accessed 16 March 2025).
15. Elsakov, V.V., Shchanov, V.M. and Polikarpova, N.V. (2015), "Satellite Monitoring Technologies in the Analysis of the State of Protected Areas of the European North", *materialy dokl. Vserossijskoj nauchno-prakt. konf.* [Proceedings of the report of the All-Russian scientific and practical conf.], *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya seti osobo ohranyaemyx prirodnyx territorij evropejskogo Severa i Urala (k 20-letiyu obrazovaniya ob"ekta Vsemirnogo naslediya YuNESKO "Devstvennye lesa Komi", 85-letiyu organizacii Pechora-Ily'chskogo zapovednika)* [Current state and development prospects of the network of specially protected natural areas of the European North and the Urals (to the 20th anniversary of the formation of the UNESCO World Heritage Site "Virgin Komi Forests", the 85th anniversary of the organization of the Pechora-Ilych Nature Reserve)], Komi Republic, Syktyvkar, Russia, 23-27 November 2015, pp. 293-297. ISBN 978-5-9905700-7-8.
16. Kurbatova, I.E., Vereshchaka, T.V. and Ivanova, A.A. (2022), "Satellite Monitoring of the Ecological State of Specially Protected Areas of the Northern Caspian on the Example of the UNESCO Biosphere Reserve "Kizlyar Bay"", *Sovremennye Problemy Distantsionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, vol. 19, no. 4, pp. 249-264, available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49442878> (Accessed 17 March 2025). ISSN 2070-7401. eISSN 2411-0280. DOI 10.21046/2070-7401-2022-19-4-249-264. EDN SRBABB.
17. Sea the Sea Satellite service for monitoring the World Ocean (2011, 2014), "Satellite service SEE THE SEA", available at: <http://ocean.smislab.ru/static/index.sht> (Accessed 17 March 2025).
18. JSC NPO Lavochkin (2025), "About the company", available at: <https://www.laspace.ru> (Accessed 17 March 2025).
19. Shagarova, Yu.O. and Kulagina, L.V. (2022), "Satellite Monitoring of Forest Fires in Russia", *Aktual'nye Problemy Aviacii i Kosmonavtiki*, no. 2, pp. 709-711, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sputnikovyy-monitoring-lesnyh-pozharov-v-rossii> (Accessed 17 March 2025).

Информация об авторах

Саченок Даниил Алексеевич – аспирант кафедры безопасности и экологии горного производства Национального исследовательского технологического университета МИСИС, Москва, Россия. Специалист центра исследований охраны труда «Всероссийского научно-исследовательского института труда» Министерства труда и социальной защиты, Москва, Россия. Научные интересы: экология, устойчивое развитие, экологический мониторинг, природоохранные технологии, сохранение экосистем, охрана труда, мониторинговые платформы.

Саченок Алексей Иванович – начальник отдела Государственной корпорации по космической активности «Роскосмос», Москва, Россия. Научные интересы: баллистика космических аппаратов, мониторинговые платформы, дистанционное спутниковое зондирование.

Цирин Игорь Викторович – кандидат технических наук, доцент; ведущий научный сотрудник центра исследований охраны труда «Всероссийского научно-исследовательского института труда» Министерства труда и социальной защиты, Москва, Россия. Научные интересы: радиотехника, охрана труда, промышленная безопасность, мониторинговые платформы, производственный травматизм, систематизация данных.

Information about the authors

Sachenok Daniil A. – postgraduate student, Department of Safety and Ecology of Mining at the National Research Technological University «MISIS», Moscow, Russia. Specialist of the Labor Protection Research Department of the «All-Russian Scientific Research Institute of Labor» of the Ministry of Labour and Social Protection of the Russian Federation, Moscow, Russia. Scientific interests: ecology, sustainable development, environmental monitoring, environmental technologies, ecosystem conservation.

Sachenok Alexey I. – Head of the Department of the State Corporation for Space Activities «Roscosmos», Moscow, Russia. Scientific interests: ballistics of spacecraft, monitoring platforms, remote satellite sensing.

Tsirin Igor V. – Ph. D. (Eng.), Associate Professor; Leading Researcher at the Labor Protection Research Department of the «All-Russian Scientific Research Institute of Labor» of the Ministry of Labour and Social Protection of the Russian Federation, Moscow, Russia. Scientific interests: radio engineering, occupational safety, industrial safety, monitoring platforms, occupational injuries, data systematization.

Вклад авторов:

Саченок Д. А. – концепция исследования; развитие методологии; написание исходного текста, подбор графического материала, итоговые выводы.

Саченок А. И. – доработка технического раздела статьи; обоснование применения методик; доработка текста.
Цирин И. В. – обоснование применения методик; доработка текста; итоговые выводы.

Contribution of the authors:

Sachenok D. A. – research concept; methodology development; writing the original text, selection of graphic material, final conclusions.

Sachenok A. I. – revision of the technical section of the article; justification of the application of methods; revision of the text.

Tsirin I. V. – justification of the application of methods; text revision; final conclusions.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 28.03.2025; одобрена после рецензирования 18.04.2025; принята к публикации 25.04.2025.

The article was submitted 28.03.2025; approved after reviewing 18.04.2025; accepted for publication 25.04.2025.