

Издается
Московским
государственным
университетом
геодезии
и картографии
(МИИГАиК)
с 2008 года

e-ISSN 2782-6678

Published by
MIIGAIK since 2008

Пространственные данные: наука и технологии

Spatial Data: Science, Research and Technology

16 | 01 | 2025

Научное издание
Московского государственного университета
геодезии и картографии (МИИГАиК)

Пространственные данные: наука и технологии

Scientific peer-reviewed journal
"Spatial Data: Science, Research and Technology"

16 | 01 | 2025

Москва, Россия
Moscow, Russia

О журнале

ПОЛНОЕ НАЗВАНИЕ

Научный журнал «Пространственные данные: наука и технологии»

СОКРАЩЕННОЕ НАЗВАНИЕ

«Пространственные данные: наука и технологии»

МЕЖДУНАРОДНОЕ НАЗВАНИЕ

Spatial Data: Science, Research and Technology

СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ

геодезия, геоинформатика, картография, землеустройство, кадастр, мониторинг земель, геоэкология, геофизика, маркшейдерское дело, горнопромышленная и нефтегазопромышленная геология, системный анализ, машинное обучение, искусственный интеллект

УЧРЕДИТЕЛЬ, ИЗДАТЕЛЬ

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК)

ЛИЦЕНЗИЯ

материалы журнала распространяются в открытом доступе по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

СТРАНА, ГОРОД

Россия, Москва

ДАТА ОСНОВАНИЯ

2008 год

ПЕРИОДИЧНОСТЬ

4 выпуска в год

ЯЗЫКИ

русский язык
(полнотекстовая версия),
английский язык (метаданные)

e-ISSN

2782-6678

ВЕБ-САЙТ

www.miigaik.ru/journal

СВИДЕТЕЛЬСТВО О СМИ

серия Эл № ФС77-85558
(сетевое СМИ)

ИНДЕКСИРОВАНИЕ

РИНЦ
(НЭБ eLIBRARY.RU)

About the journal

INTERNATIONAL TITLE

Spatial Data: Science, Research and Technology

SUBJECT AREAS

Geodesy, geoinformatics, cartography,
land management, cadastre, land monitoring,
geoecology, geophysics, mining
and oil and gas geology, system analysis,
machine learning, artificial intelligence

FOUNDED AND PUBLISHED BY

Moscow State University of Geodesy
and Cartography (MIIGAiK)

LICENSE

The material is published on the basis of Creative
Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

INDEXING

Russian Science Citation Index
(Scientific Electronic Library eLIBRARY.RU)

LOCATION

Moscow, Russia

ESTABLISHED IN

2008

FREQUENCY

quarterly scientific journal

LANGUAGES

Russian (main text),
English (metadata)

e-ISSN

2782-6678

WEBSITE

www.miigaik.ru/journal

Редакционная коллегия

Редакция

Служба редакционно-издательской деятельности и наукометрии

Выпускающий редактор:

Фомина Н.В.

Научный редактор:

Шишкина М.В.

Технический редактор:

Журавлева Е.Д.

Компьютерная верстка:

Журавлева Е.Д.

Дизайн-макет:

Леднёва С.В.

Учредитель и издатель

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»

Адрес

105064, Москва, Гороховский пер., 4

е-mail:

info@spacejournal.ru

Подписано в печать

27.06.2025

Гарнитура Ubuntu.

© МИИГАиК

Главный редактор

Камынина Надежда Ростиславовна

д-р экон. наук (Москва, Россия)

Заместитель главного редактора

Матерухин Андрей Викторович

д-р техн. наук (Москва, Россия)

Атаманов Сергей Александрович д-р техн. наук (Москва, Россия)

Ашихмина Тамара Яковлевна д-р техн. наук (Киров, Россия)

Братков Виталий Викторович д-р геогр. наук (Москва, Россия)

Булаева Нуржаган Маисовна д-р техн. наук (Махачкала, Россия)

Воробьёв Андрей Владимирович д-р техн. наук (Уфа, Россия)

Воробьёва Гульнара Равилевна д-р техн. наук (Уфа, Россия)

Вшивкова Ольга Владимировна д-р техн. наук (Москва, Россия)

Гайрабеков Ибрагим Гиланиевич д-р техн. наук (Грозный, Россия)

Гарбук Сергей Владимирович канд. техн. наук (Москва, Россия)

Григорьев Сергей Александрович д-р техн. наук (Москва, Россия)

Гусев Владимир Николаевич д-р техн. наук (С.-Петербург, Россия)

Кашников Юрий Александрович д-р техн. наук (Пермь, Россия)

Колоденкова Анна Евгеньевна д-р техн. наук (Самара, Россия)

Кулагин Владимир Петрович д-р техн. наук (Москва, Россия)

Малинников Василий Александрович д-р техн. наук (Москва, Россия)

Пененко Алексей Владимирович д-р техн. наук (Новосибирск, Россия)

Розенберг Игорь Наумович д-р техн. наук (Москва, Россия)

Сугаипова Лейла Супьяновна д-р техн. наук (Москва, Россия)

Темкин Игорь Олегович д-р техн. наук (Москва, Россия)

Сученко Владимир Николаевич д-р техн. наук (Москва, Россия)

Ульянов Сергей Викторович д-р физ.-мат. наук (Дубна, Россия)

Editorial Board

Editorial Office

Department of Editorial
and Publishing Activities
and Scientometrics

Project Management by:

Nina V. Fomina

Edited by:

Mariya V. Shishkina

Illustrations by:

Ekaterina D. Zhuravlyova

Layout design by:

Svetlana V. Ledneva

Computer layout by:

Ekaterina D. Zhuravlyova

Cover design by:

Svetlana V. Ledneva

Founded and published by

Moscow State University
of Geodesy and Cartography

Address

4, Gorokhovskiy pereulok,
Moscow, Russia, 105064

e-mail:

info@spacejournal.ru

Published:

27.06.2025

Font family: Ubuntu

© MIIGAIK

Editor-in-Chief

Nadezhda R. Kamynina

DSc (Moscow, Russia)

Deputy Editor-in-Chief

Andrei V. Materukhin

DSc (Moscow, Russia)

Tamara Ya. Ashikhmina DSc (Kirov, Russia)

Sergey A. Atamanov DSc (Moscow, Russia)

Vitaly V. Bratkov DSc (Moscow, Russia)

Nurzhagan M. Bulaeva DSc (Makhachkala, Russia)

Ibragim G. Gairabekov DSc (Grozny, Russia)

Sergey V. Garbuk PhD (Moscow, Russia)

Sergey A. Grigoriev DSc (Moscow, Russia)

Vladimir N. Gusev DSc (Saint-Petersburg, Russia)

Yuriy A. Kashnikov DSc (Perm, Russia)

Anna E. Kolodenkova DSc (Samara, Russia)

Vladimir P. Kulagin DSc (Moscow, Russia)

Vasiliy A. Malinnikov DSc (Moscow, Russia)

Alexey V. Penenko DSc (Novosibirsk, Russia)

Igor N. Rozenberg DSc (Moscow, Russia)

Vladimir N. Suchenko DSc (Moscow, Russia)

Leyla S. Sugaipova DSc (Moscow, Russia)

Igor O. Temkin DSc (Moscow, Russia)

Sergey V. Ulyanov DSc (Dubna, Russia)

Andrei V. Vorobev DSc (Ufa, Russia)

Gulnara R. Vorobeva DSc (Ufa, Russia)

Olga V. Vshivkova DSc (Moscow, Russia)

Содержание

ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

- Беленко В.В., Новочадова А.В.** **8**
Обзор дистанционных методов обнаружения нефтяных загрязнений водных объектов в Российской Федерации

ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

- Павлова В.А., Шпаков А.А.** **27**
Мониторинг использования сенокосов на основе NDVI

ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ

- Титов А.А., Биктимирова Н.М.** **40**
Генерация картографических изображений с помощью анимации для отображения динамики климатических показателей (на примере термического режима)

ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ

- Петросян М.К., Маргарян А.В., Товмасын С.В.** **56**
Методология стандартизации и трансформации гидрографических баз данных

ГЕОЭКОЛОГИЯ

- Непеина К.С.** **77**
Межсезонные колебания температуры и влажности почвы в 2024 году на мини-полигоне Кентор (Северный Тянь-Шань) по данным дистанционного зондирования Земли

Contents

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING

- Belenko V.V., Novochadova A.V.** **8**
Review of Remote Methods of Detection and Investigation of Oil Pollution of Water Bodies in the Russian Federation

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING

- Pavlova V.A., Shpakov A.A.** **27**
NDVI-Based Monitoring of Hayfields Use

GEOINFORMATICS, CARTOGRAPHY

- Titov A.A., Biktimirova N.M.** **40**
Generation of Cartographic Representation Using Animation to Display the Dynamics of Climate Parameters (Using the Example of Thermal Conditions)

GEOINFORMATICS, CARTOGRAPHY

- Petrosyan M.K., Margaryan A.A., Tovmasyan S.V.** **56**
Methodology for Standardization and Transformation of Hydrographic Databases

GEOECOLOGY

- Nepeina K.S.** **77**
Interseasonal Variations in Soil Temperature and Moisture in 2024 at the Kentor Minipolygon Test Site (Northern Tien Shan) Based on Remote Sensing Data



Обзор дистанционных методов обнаружения нефтяных загрязнений водных объектов в Российской Федерации

В.В. Беленко¹✉, А.В. Новочадова¹

АФФИЛИАЦИИ

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

✉ belenko.v.v@yandex.ru

ЦИТИРОВАНИЕ

Беленко В.В., Новочадова А.В. Обзор дистанционных методов обнаружения нефтяных загрязнений водных объектов в Российской Федерации // Пространственные данные: наука и технологии. 2025. Т. 16, № 1. С. 8–26. DOI:10.30533/scidata-2025-16-01.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

нефтяные загрязнения, мониторинг водных объектов, дистанционные методы, радиолокационная съемка, оптико-электронная съемка

АННОТАЦИЯ

В настоящее время мониторинг водных объектов, направленный на своевременное выявление и предотвращение загрязнений, является особенно актуальным. Его необходимость отмечена рядом нормативно-правовых актов Российской Федерации. Одним из самых опасных видов загрязнений является загрязнение нефтепродуктами, поскольку оно наносит значительный экологический ущерб водным экосистемам, биоразнообразию и качеству водных ресурсов. Данная статья посвящена анализу современной ситуации в обнаружении и исследовании дистанционными методами нефтяных загрязнений водных объектов. Преимущество дистанционных методов в сравнении с традиционными выражается в скорости обнаружения загрязнений и меньших финансовых затратах, связанных с поддержанием оборудования и оплатой труда. В статье особое внимание

уделено современным дистанционным технологиям, включая спутниковый мониторинг и использование беспилотных воздушных судов, которые позволяют оперативно выявлять загрязнения как на больших, так и на локальных территориях. Проведен анализ особенностей, преимуществ и ограничений радиолокационной и оптико-электронной съемки. Рассмотрены возможности интеграции данных методов для повышения точности и оперативности мониторинга. Результаты исследования могут быть использованы для разработки стратегий по минимизации экологического ущерба, для повышения эффективности экологического контроля и управления водными ресурсами.

1 Введение

Загрязнение водных объектов нефтепродуктами представляет собой одну из наиболее острых экологических проблем, приводящую к разрушению водных экосистем и нарушению гидрологического режима. К нефтепродуктам относятся готовые продукты, полученные при переработке нефти, газоконденсатного, углеводородного и химического сырья¹. Загрязнение поверхностных водоемов нефтепродуктами происходит преимущественно в результате эксплуатационных и аварийных потерь (при авариях танкеров, разрывах трубопроводов, утечках при заправке судов и т. д.), приводящих к формированию нефтяных пленок, образованию стойкой эмульсии и осадка, оседающего на дно и водные растения [1].

На территории России проводится регулярный государственный мониторинг водных объектов, который «представляет собой систему наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния водных объектов, находящихся в федеральной собственности, собственности субъектов Российской Федерации, собственности муниципальных образований, собственности физических лиц, юридических лиц»². Однако, несмотря на существующую систему наблюдений, проблема обнаружения и ликвидации нефтяных загрязнений остается острой, особенно в условиях роста промышленной активности и увеличения объемов транспортировки нефти.

Актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена масштабами ее воздействия на окружающую среду. В связи с этим совершенствование методов обнаружения нефтяных загрязнений становится важной задачей в рамках государственного мониторинга водных объектов. Современные методы позволяют не только оперативно выявлять источники загрязнений, но и оценивать их масштабы, что становится ключевым фактором для принятия эффективных управленческих решений.

¹ ГОСТ 26098-84. Нефтепродукты. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2010. 12 с.

² Водный кодекс Российской Федерации: принят Государственной думой 12 апреля 2006 г.: одобрен Советом Федерации 26 мая 2006 г. (ред. от 8 августа 2024 г.) // Официальный интернет-портал правовой информации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102107048> (дата обращения: 23.03.2025).

Целью данного исследования является систематизация получивших активное развитие в последние годы, но пока не имеющих единых стандартов применения в российской практике дистанционных методов обнаружения нефтяных загрязнений водных объектов. Несмотря на растущую популярность технологий дистанционного мониторинга, их внедрение в систему экологического контроля остается фрагментарным и требует научного обоснования. Исследование направлено на создание методической основы применения дистанционных технологий обнаружения нефтепродуктов в поверхностных водоемах с перспективой ее использования природоохранными организациями Российской Федерации.

2 Материалы и методы

Для обзора дистанционных методов обнаружения и исследования нефтяных загрязнений водных объектов были использованы общие научные методы исследования. Проведен анализ научных статей, посвященных современным дистанционным методам обнаружения нефтяных загрязнений, включая спутниковый мониторинг и применение пилотируемых или беспилотных воздушных судов. Представлена классификация некоторых организаций Российской Федерации по направлениям их исследований в области дистанционных методов мониторинга и частных случаев обнаружения нефтяных загрязнений. Приведено сравнение эффективности методов радиолокационной и оптико-электронной съемки в зависимости от задач.

В качестве материалов исследования были использованы труды как зарубежных ученых (Национальная академия наук Азербайджана), так и российских специалистов из передовых образовательных учреждений, научно-исследовательских и инженерно-технологических организаций (**табл. 1**).

Для анализа законодательных требований к мониторингу и ликвидации нефтяных загрязнений использовались подзаконные акты и нормативные документы, устанавливающие применяемые в науке, технике и производстве термины и определения понятий, относящихся к нефтепродуктам и их свойствам (ГОСТ 26098-84 «Нефтепродукты. Термины и определения»), а также регулирующие деятельность в области предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов (Водный кодекс Российской Федерации, Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации).

Ниже представлено описание дистанционных методов обнаружения и исследования нефтяных загрязнений водных объектов — радиолокационной и оптико-электронной съемки.

Таблица 1 Исследования российских организаций в области методов обнаружения нефтяных загрязнений

Table 1 Research from Russian organizations in the field of oil spill detection methods

Предмет исследования		Организация РФ
Системы дистанционного зондирования Земли		Иркутский государственный университет (Иркутск)
		Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I (Воронеж)
Качественные и количественные лабораторные методы		Севастопольский государственный университет совместно с ООО «Генезис Таврида» (Севастополь)
Радиолокационная съемка	Теоретическая основа	Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры (Москва)
		Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург)
	Теоретическая основа и практическое применение	Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН совместно с АО «Концернрадиостроения “Вега”» (Москва)
		Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (Фрязино) совместно с АО «Российские космические системы» (Москва)
Оптико-электронная съемка	Теоретическая основа	Университет науки и технологий МИСИС (Москва)
	Практическое применение	Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (Санкт-Петербург)
		Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского (Владивосток)
		Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (Москва)
Комплексное практическое использование радиолокационной и оптико-электронной съемки		Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН совместно с Инженерно-технологическим центром «СКАНЭКС» (Москва)
		Сибирский государственный университет геосистем и технологий (Новосибирск)

2.1 Радиолокационная съемка

Основным инструментом для мониторинга нефтяных загрязнений являются радиолокационные спутники с синтезированной апертурой (РСА). Радиолокационную съемку на различных частотных диапазонах поддерживают или поддерживали при работе следующие космические аппараты: Capella X-SAR — X-диапазон (США), Envisat — С-диапазон (Европа), KOMPSAT-5 — X-диапазон (Южная Корея) и пр. (рис. 1³). Ряд из них уже не эксплуатируется, однако для анализа разновременных снимков используются архивные данные. Среди российских разработок стоит выделить серию малых спутников

Рис. 1 Радиолокационные спутники

Fig. 1 Radar satellites



ALOS-2

Частотный диапазон: L
Япония



«Кондор-ФКА» № 2

Частотный диапазон: S
Российская Федерация



RADARSAT-2

Частотный диапазон: C
Канада

³ Радарные спутники // Геопространственное агентство «Иннотер». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://innoter.com/radar-satellites/> (дата обращения: 12.03.2025).

дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) «Кондор». Последним на данный момент запуском стал «Кондор-ФКА» № 2, который был успешно выведен на орбиту 30 ноября 2024 года⁴.

В радиолокационных системах ДЗЗ из космоса информация формируется в виде радиолокационных изображений (РЛИ), параметры которых зависят от условий съемки, характеристик аппаратуры, физико-геометрических свойств наблюдаемой поверхности (рельефа, влажности, растительности и др.), а также состояния атмосферы. По характеру и интенсивности отражения радиоизлучения, фиксируемых на РЛИ, осуществляется дешифрирование элементов на снимке (почва, водные поверхности и другие объекты). Однако при интерпретации данных необходимо учитывать особенности формирования РЛИ, включая геометрию бокового обзора (углы падения 20–60°), съемку на одной длине волны при когерентном излучении, а также возможные искажения (радиолокационная тень, смещение движущихся объектов) и наличие спекл-шума [2].

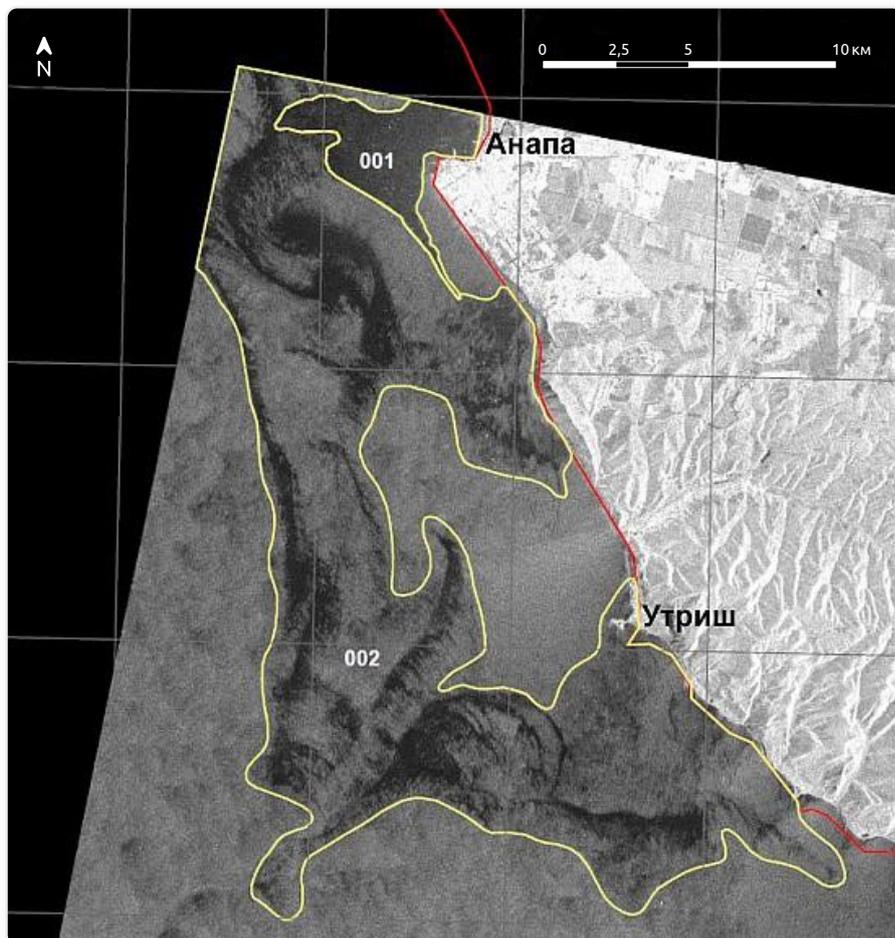
На радиолокационных изображениях нефтяные загрязнения отображаются в виде темных пятен из-за подавления мелкомасштабного ветрового волнения. Этот эффект связан с изменением поверхностного натяжения и вязкости водной поверхности, что снижает энергию коротковолнового рассеяния радиосигнала. Преимуществами такой съемки являются широкое покрытие поверхности Земли, высокое пространственное разрешение, предоставление информации о положении разливов, возможность картографирования разлива и судна (с учетом отличия нефтяных пятен от прочих сликов с помощью мультиполяризационных РСА). К ограничениям можно отнести работу в узком диапазоне скоростей ветра (3–10 м/с), высокую зависимость от характеристик самой нефти, неспособность различить тип и измерить толщину пленок нефти и нефтепродуктов [3, 4].

Таким способом по РЛИ спутников ERS-1, ERS-2, Envisat IM и Envisat WSM с помощью геоинформационных систем (ГИС) ArcGIS и ERDAS Imagine были обнаружены нефтяные пленки в районах о. Сахалин, в Каспийском море и в Сиамском заливе в 1991–2004 годах [4]. В настоящее время данный метод также активно применяется. Для оперативного мониторинга последствий аварии танкеров у побережья Анапы (Черное море) в декабре 2024 года были использованы радиолокационные снимки спутников Sentinel-1A и RADARSAT. Обработка данных выполнялась в системе See the Sea. Данные, полученные 15–23 декабря 2024 года, позволили отследить динамику распространения нефтяного загрязнения под воздействием изменяющихся ветровых условий. Радиолокационная

⁴ С Восточного запущен второй радиолокационный спутник «Кондор-ФКА» // ЦЭНКИ. Космодромы России. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.russian.space/press-tsentr/novosti/s-vostochnogo-zapushchen-vtoroy-radiolokatsionnyy-sputnik-kondor-fka.html> (дата обращения: 23.03.2025).

Рис. 2 Радиолокационное изображение со спутника RADARSAT в районе Анапы в 2024 г.

Fig. 2 RADARSAT radar image near Анапа, 2024



съемка четко визуализировала границы загрязнения, на **рис. 2** желтая линия оконтуривает нефтяное загрязнение⁵.

Таким образом, радиолокационная съемка представляет собой надежный инструмент для обнаружения крупных нефтяных пленок на поверхности морей. Перспективы развития метода связаны с интеграцией радиолокационных данных с информацией из других источников дистанционного зондирования, что позволит преодолеть существующие ограничения и создать более надежную систему мониторинга.

⁵ Спутниковый мониторинг мазутного разлива в районе Керченского пролива 15 декабря 2024 г. // Институт космических исследований РАН. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://iki.cosmos.ru/news/sputnikovyy-monitoring-mazutnogo-razliva-v-rayone-kerchenskogo-proлива-15-dekabrya-2024-g> (дата обращения: 12.04.2025).

2.2 Оптико-электронная съемка

Другим методом является использование многозональных и гиперспектральных изображений. В отличие от многозональных, гиперспектральные снимки характеризуются значительно большим количеством спектральных каналов (сотни против десятков) и более высоким спектральным разрешением (единицы нм против десятков нм) [5]. Такие данные могут быть получены с использованием как беспилотных или пилотируемых воздушных судов, оснащенных специализированным оборудованием, так и космических аппаратов.

В основе многозональной и гиперспектральной съемки лежит регистрация отраженного электромагнитного излучения объектов земной поверхности в широком спектральном диапазоне. Для интерпретации этих данных в основном применяются алгоритмы контролируемой или неконтролируемой классификации, которые обеспечивают распознавание и идентификацию объектов на основе спектральных характеристик. Ключевой задачей является дешифрирование данных ДЗЗ, основанное на распределении пикселей изображения по классам на основе заданных спектральных или пространственных признаков. Однако при использовании снимков необходимо учитывать условия проведения съемки (солнечный угол, облачность), спектральный диапазон съемки и разрешающую способность оптики [6].

Что касается космического мониторинга, современные спутники ДЗЗ часто оснащены различными типами сенсоров (например, панхроматическими, спектральными или гиперспектральными, тепловыми), что позволяет комбинировать их для различных типов задач. Яркими примерами выступают Sentinel-2A — 12 каналов (RGB + NIR + SWIR) (Франция), Pixxel — 250 каналов (VNIR + SWIR) (Индия) и пр. (рис. 3⁶).

Так, в работе [7] с помощью авиационной и спутниковой гиперспектральной съемки были исследованы спектральные характеристики морской поверхности для идентификации типовых загрязнений, таких как нефтепродукты и минеральные взвеси. На основе теоретических и экспериментальных данных автором разработана система устойчивых спектральных признаков, позволяющая автоматизировать процесс обнаружения и классификации загрязнений. Предложенные методы апробированы на акваториях Финского залива, Баренцева и Черного морей.

6 Оптико-электронные спутники // Геопространственное агентство «Иннотер». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://innoter.com/opto-elect-satellites> (дата обращения: 14.03.2025); PRISMA. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.asi.it/scienze-della-terra/prisma> (дата обращения: 14.03.2025).

Рис. 3 Оптико-электронные спутники

Fig. 3 Optoelectronic satellites



Landsat-8

Набор каналов: 11 шт.
PAN + RGB + NIR + SWIR + TIR
США



«Ресурс-П» № 1

Набор каналов: 5 шт.
PAN + RGB + NIR
Российская Федерация



PRISMA

Набор каналов: 250 шт.
PAN + VNIR + SWIR
Италия

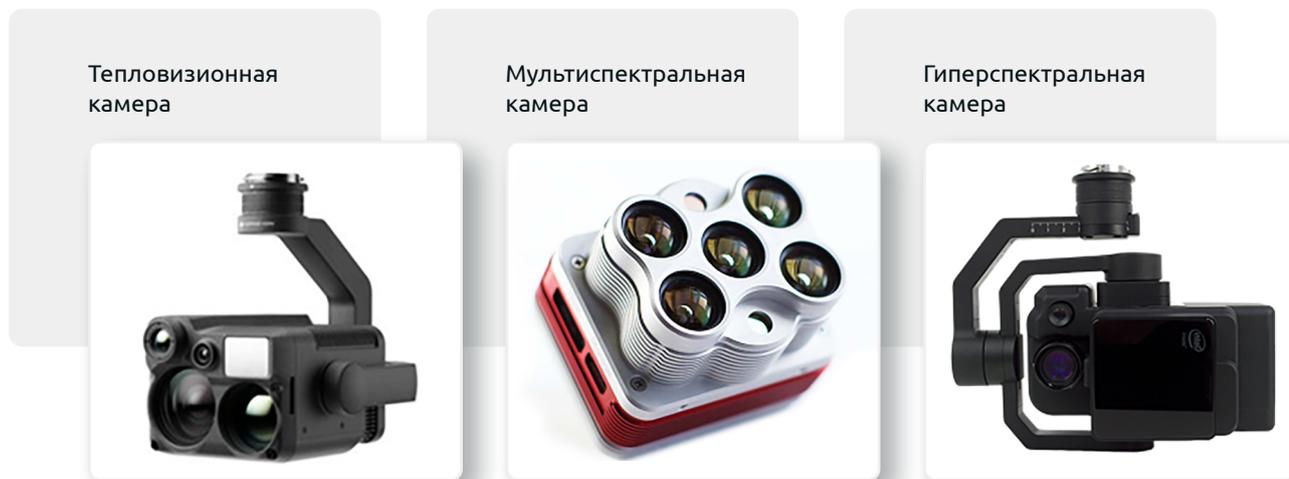
Для оперативного мониторинга локального масштаба также используют беспилотные воздушные судна, оснащенные в основном тепловизионной, мультиспектральной или гиперспектральной камерой (рис. 4⁷).

Применение тепловизора и флуориметра на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) для мониторинга загрязнений нефтепродуктами прибрежных вод

7 Zenmuse H20N. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dji-rus.ru/professionalnoe-oborudovanie-dlya-dronov/zenmuse-h20n> (дата обращения: 14.03.2025); Мультиспектральная камера MicaSense Altum. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://aeromotus.ru/product/multispektralnaya-kamera-micasense-altum-ustanovochnyj-komplekt-dji-skyport> (дата обращения: 14.03.2025); Hyperspectral Camera FigSpec. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.figspec.com/en/h-col-180.html> (дата обращения: 14.03.2025).

Рис. 4 Оборудование для беспилотных воздушных судов

Fig. 4 Equipment for unmanned aircraft



и береговой полосы было описано в патенте RU2720050C1⁸. Комбинация инфракрасной съемки и лазерно-индуцированной флуоресценции позволила достичь высокой точности детектирования нефтяных пленок толщиной до 100 мкм и минимизировать ложные срабатывания. Ключевым преимуществом метода является синхронизация измерений флуоресценции с моментом нормального падения лазерного луча на водную поверхность, что снижает влияние волнения и обеспечивает надежность данных даже в сложных условиях. Разработанная система успешно апробирована на БПЛА октокоптерного типа.

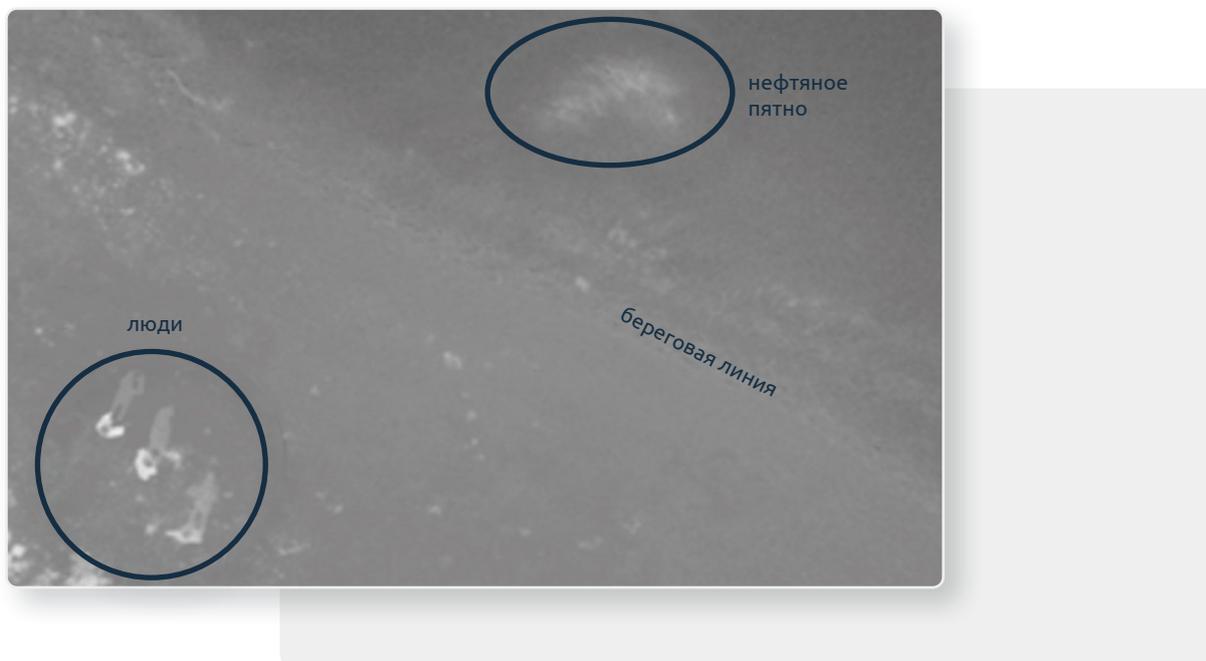
Авторами была разработана методика, основанная на спектральном анализе объектов мониторинга [8]. В результате были выведены специализированные аналитические выражения — индексы коэффициентов спектральной яркости. С помощью ГИС «Нева» на водной поверхности были обнаружены нефтепродукты, включая тонкие пленки нефти, дизельного топлива и лодочного масла. Полевые испытания на водных полигонах в Анапе и Астрахани, проведенные с помощью мультиспектральной камеры, установленной на БПЛА, подтвердили возможность обнаружения пятен размером от 10 см. На снимках из Астрахани удалось идентифицировать нефтяное пятно, береговую линию и людей (рис. 5). В работе также дополнительно рассматривались варианты применения машинного обучения для автоматизированной сегментации загрязнений.

Таким образом, оптико-электронная съемка представляет собой мощный инструмент для экологического мониторинга, сочетающий глобальный охват спутниковых данных с высокой детализацией авиационных и беспилотных систем.

⁸ Патент № 2720050 Российская Федерация, МПК G01N 21/64, G01N 21/35. Способ обнаружения загрязнений прибрежных вод и береговой полосы нефтью или нефтепродуктами с использованием беспилотного летательного аппарата: № 2019100236: заявл. 09.01.2019; опубл. 23.04.2020 / Коровецкий Д.А., Букин О.А., Проценко Д.Ю., Матецкий В.Т.; заявитель МГУ им. адм. Г.И. Невельского. 9 с.

Рис. 5 Обработанное изображение с мультиспектральной камеры (Астрахань)

Fig. 5 Processed image from a multispectral camera (Astrakhan)



3 Результаты

Проведенный обзор позволил раскрыть преимущества и ограничения радиолокационной и оптико-электронной съемки в рамках обнаружения и исследования загрязнений водных объектов нефтепродуктами, а также рассмотреть практические способы применения данных методов.

В ряде изученных работ одним из инструментов интерпретации результатов являются геоинформационные системы (ГИС), которые позволяют интегрировать данные, полученные различными методами, и создать комплексные карты загрязнений. Однако важно помнить, что для данных, полученных с космических аппаратов и пилотируемых или беспилотных воздушных судов, необходима первичная обработка. В калибровке и коррекции нуждаются данные как радиолокационной [9, 10], так и оптико-электронной [11] съемки. При непосредственной обработке материалов важно учитывать разрешающую способность используемых систем дистанционного зондирования: спектральное, радиометрическое, временное, пространственное разрешение⁹.

Спутниковый мониторинг и мониторинг пилотируемыми воздушными судами доказали свою эффективность при обнаружении нефтяных пленок на поверхности

⁹ Сутырина Е.Н. Дистанционное зондирование Земли: учеб. пособие. Иркутск: ИГУ, 2013. 165 с.

крупных водных акваторий: Каспийского, Баренцева и Черного морей, Сиамского и Финского заливов. Беспилотные воздушные судна продемонстрировали высокую точность для оперативного мониторинга в локальных масштабах (озера, малые реки, побережья морей) даже при низких концентрациях нефтепродуктов — нефтяных пленок толщиной до 100 мкм и размером от 10 см.

Нельзя однозначно утверждать, какой метод лучше: радиолокационный или оптико-электронный, поскольку их эффективность определяется конкретными условиями применения и требованиями к данным. Для повышения точности исследований целесообразно использовать гибриды методов.

Комплексное применение многозональных и радиолокационных изображений помогает устранить неоднородность и немонотонность спектрального фона, вызванные слабо выраженными морскими процессами, повышает эффективность существующих алгоритмов для выявления искусственных пленок и естественных нефтяных разливов. Одним из примеров успешного применения данной технологии является мониторинг восточной части Черного моря в 2011 и 2012 годах, когда по спутниковым данным с радиолокационных спутников Envisat, RADARSAT-1 и RADARSAT-2 и оптико-электронных спутников Terra и Aqua были выявлены случаи мойки танков в российском секторе моря, которые привели к образованию обширных нефтяных пленок [3]. Аналогичный подход был применен при выявлении мест нефтезагрязнений шельфовой зоны в акватории Нефтяных Камней (Каспийское море). В этом случае были использованы многозональные космические снимки со спутника Sentinel-2A и радиолокационные снимки со спутника Sentinel-1A, обработанные в ГИС ERDAS Imagine [12].

4 Обсуждение

Несмотря на описанные выше преимущества дистанционных методов, качественные и количественные лабораторные методы анализа нефтепродуктов в объектах окружающей среды все еще являются незаменимыми для экологического мониторинга и контроля загрязнений. Они обладают высокой точностью и возможностью определения широкого спектра компонентов. Указанные методы поддерживаются нормативно-технической документацией, хорошо разработаны и стандартизированы, имеют подробное описание методики и ПДК веществ. Однако эти методы требуют значительных временных и ресурсных затрат, их проблематично применять в труднодоступных районах или при сложных погодных условиях [13]. Комбинирование полевых, лабораторных и дистанционных методов повысит точность и достоверность результатов, что особенно важно для оперативного реагирования на разливы нефти.

Дистанционные методы обнаружения нефтяных загрязнений водных объектов играют ключевую роль в оперативном мониторинге, быстром реагировании на аварийные разливы и выявлении источников загрязнения, включая умышленные сбросы нефтепродуктов. Использование таких методов способствует соблюдению требований российского законодательства в сфере охраны окружающей среды. Согласно статье 56 Водного кодекса РФ¹⁰, запрещается сброс и захоронение в водные объекты отходов производства и потребления, включая нефтепродукты и части судов. Дистанционный мониторинг позволяет выявлять такие нарушения, фиксируя несанкционированные разливы и их источники. Кодекс внутреннего водного транспорта РФ¹¹ в статье 39 обязывает судовладельцев разрабатывать планы по предотвращению разливов нефти и по ликвидации их последствий. Под термином «нефть» в данном контексте понимаются все виды стойких углеводородных жидкостей, такие как сырая нефть, мазут, дизельное топливо и смазочные масла, как в виде груза, так и в виде бункерного топлива, используемого на судне.

Дистанционные методы помогают контролировать соблюдение указанных требований, оперативно выявляя загрязнения и даже суда-нарушители. Несоблюдение природоохранных норм, выявленное в том числе с помощью дистанционного мониторинга, может повлечь административную или уголовную ответственность. Данные, полученные с помощью таких методов, могут служить доказательной базой при расследовании экологических правонарушений.

5 Выводы

Загрязнение водных объектов нефтепродуктами остается одной из наиболее серьезных экологических проблем, требующей эффективных методов мониторинга и оперативного реагирования. В России существует большое количество научных групп, которые занимаются теоретическими и практическими исследованиями в области дистанционных методов мониторинга нефтяных загрязнений на водных объектах. В связи с интенсивным развитием технологий ежегодно разрабатываются новые алгоритмы обработки данных, совершенствуются существующие подходы, внедряются инновационные технические

10 Водный кодекс Российской Федерации: принят Государственной думой 12 апреля 2006 г.: одобрен Советом Федерации 26 мая 2006 г. (ред. от 8 августа 2024 г.) // Официальный интернет-портал правовой информации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102107048> (дата обращения: 23.03.2025).

11 Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации: принят Государственной думой 7 февраля 2001 г.: одобрен Советом Федерации 22 февраля 2001 г. (ред. от 8 августа 2024 г.) // Официальный интернет-портал правовой информации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102069974> (дата обращения: 23.03.2025).

решения, что способствует повышению точности, оперативности и эффективности мониторинга. Это обусловлено прогрессом в области ДЗЗ, машинного обучения и обработки больших массивов данных.

Проведенный анализ современных дистанционных методов мониторинга нефтяных загрязнений водных объектов показал, что у радиолокационной и оптико-электронной съемки есть большой потенциал для оперативного выявления разливов нефтепродуктов. Радиолокационные системы эффективно обнаруживают нефтяные пленки за счет подавления ветрового волнения. Оптико-электронные методы обеспечивают высокую детализацию, что позволяет не только выявлять загрязнения, но и определять их тип. Сочетание дистанционных методов является наиболее эффективным подходом для обнаружения и мониторинга нефтяных загрязнений. Перспективным направлением исследований является развитие технологий искусственного интеллекта для автоматической обработки данных различных видов съемки.

В настоящее время качественные и количественные лабораторные методы анализа все еще остаются незаменимыми для точного анализа химического состава загрязнений, но требуют дальнейшей автоматизации для повышения оперативности.

Таким образом, проблема нефтяных загрязнений требует комплексного подхода, основанного на междисциплинарных исследованиях и использовании передовых технологий. Результаты данного исследования могут быть полезны для совершенствования системы государственного мониторинга водных объектов, а также для разработки стратегий по минимизации экологического ущерба от нефтяных загрязнений.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Молочников Д.Е., Мустякимов Р.Н., Лисин А.В. и др. Виды и источники потерь нефтепродуктов // Теория и практика современной аграрной науки: сборник IV Национальной (Всероссийской) научной конференции с международным участием. Новосибирск: Золотой колос, 2021. С. 360–363.
2. Коберниченко В.Г., Сосновский А.В. Космические радиолокационные системы с синтезированной апертурой антенны // Всероссийские открытые Армандовские чтения: молодежная школа «Проблемы дистанционного зондирования, распространения и дифракции радиоволн». Муром: Издательско-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2022. № 1. С. 5–20.
3. Иванов А.Ю., Кучейко А.А., Филимонова Н.А. и др. Использование космической радиолокационной съемки и данных автоматических систем идентификации судов для выявления судовых разливов в Черном море // Исследование Земли из космоса. 2013. № 5. С. 84–98. DOI:10.7868/s0205961413050011.
4. Иванов А.Ю., Зятыгалова В.В. Картографирование пленочных загрязнений моря с использованием космической радиолокации и географических

- информационных систем // Исследование Земли из космоса. 2007. № 6. С. 46–63.
5. Гусейнов А.Р. Некоторые аспекты отличия гиперспектральных данных от многозональных // Перспективы развития информационных технологий. 2015. № 23. С. 16–18.
 6. Хвостов Д.В., Макаренко С.А. Спутниковые навигационные системы // Актуальные проблемы землеустройства, кадастра и природообустройства: материалы IV Международной научно-практической конференции факультета землеустройства и кадастров ВГАУ. Воронеж: Воронежский ГАУ, 2022. С. 210–222.
 7. Жуков Д.В. Спектральные признаки для идентификации типовых загрязнений акваторий морей по данным авиационной и космической съемки // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 7. С. 560–565. DOI:10.15372/AOO20160705.
 8. Вытовтов К.А., Барабанова Е.А., Новочадова А.В. и др. Идентификация нефтяных загрязнений водной поверхности с использованием БПЛА // Автоматизация в промышленности. 2024. № 6. С. 52–56. DOI:10.25728/avtprom.2024.06.07.
 9. Калинкевич А.А., Кутуза Б.Г., Плющев В.А. Влияние первичной обработки голографических данных РСА на результаты интерпретации радиолокационных изображений // Всероссийские открытые Армандовские чтения: материалы Всероссийской открытой научной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн». Муром: МИ ВлГУ, 2023. С. 210–216.
 10. Костюк Е.А., Захаров А.И. Радиометрическая калибровка радиолокационных изображений // Материалы 22-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М.: ИКИ РАН, 2024. С. 42. DOI:10.21046/22DZZconf-2024a.
 11. Богомоллов В.Ю. Обзор методов обработки и анализа мультиспектральных изображений полей с помощью глубоких нейронных сетей // Облачные и распределенные вычислительные системы в электронном управлении (ОРВСЭУ-2022) в рамках Национального суперкомпьютерного форума (НСКФ-2022): сборник трудов 3-й Международной научно-технической конференции. Переславль-Залесский: Институт программных систем им. А.К. Айламазяна РАН, 2022. С. 86–91.
 12. Гулиев А.Ш.О., Хлебникова Т.А. Выявление мест нефтезагрязнений шельфовой зоны по материалам космических съемок (на примере акватории нефтяных камней (Каспий)) // Вестник СГУГиТ. 2019. Т. 24. № 3. С. 52–64. DOI:10.33764/2411-1759-2019-24-3-52-64.
 13. Широков И.Б., Марончук И.И. Методы определения водосодержания в нефти и нефтепродуктах, остаточного содержания нефтепродуктов в воде // Энергетические установки и технологии. 2017. Т. 3. № 4. С. 130–145.

АВТОРЫ

Беленко Виктор Владимирович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»

(МИИГАиК), Москва, Россия

кафедра космического мониторинга и экологии, картографический факультет

д-р техн. наук, профессор

 0000-0002-7159-7428

Новочадова Арина Валерьевна

 arinanova@gambler.ru

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»

(МИИГАиК), Москва, Россия

кафедра картографии, картографический факультет

Поступила 28.04.2025. Принята к публикации 23.06.2025. Опубликовано 27.06.2025.

UDC 528.8

DOI:10.30533/scidata-2025-16-01



Review of Remote Methods of Detection and Investigation of Oil Pollution of Water Bodies in the Russian Federation

Victor V. Belenko¹✉, Arina V. Novochadova¹

AFFILIATIONS

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
✉ belenko.v.v@yandex.ru

CITATION

Belenko VV, Novochadova AV. Review of Remote Methods of Detection and Investigation of Oil Pollution of Water Bodies in the Russian Federation. *Spatial Data: Science, Research and Technology*. 2025;16(1): 8–26. DOI:10.30533/scidata-2025-16-01.

KEYWORDS

oil pollution, monitoring of water bodies, remote methods, radar imaging, optical-electronic imaging

ABSTRACT

At present, monitoring of water bodies aimed at timely detection and prevention of pollution is topical and its necessity is noted by a number of regulatory legal acts of the Russian Federation. One of the most dangerous types of pollution is oil pollution, as it causes significant environmental damage to aquatic ecosystems, biodiversity and quality of water resources. This article is devoted to the analysis of the current state of detection and investigation of oil pollution of water bodies on the basis of remote sensing methods. The advantage of remote methods in comparison with traditional methods is expressed in the speed of pollution detection and lower financial costs associated with the maintenance of equipment and labour. In the paper special attention is paid to modern remote technologies, including satellite monitoring and the use of unmanned aircrafts,

which allow to promptly detect pollution both in large and localised areas. The features of radar and optoelectronic imaging are considered. The advantages and limitations of each method are analysed, and the possibilities of their integration to improve the accuracy and efficiency of monitoring are considered. The results of the study can be used to develop strategies to minimise environmental damage, improve the efficiency of environmental control and water resources management.

REFERENCES

1. Molochnikov DE, Mustjakimov RN, Lisin AV, et al. Vidy i istochniki poter' nefteproduktov [Types and sources of petroleum product losses]. *Collection of IV National (All-Russian) scientific conference with international participation "Theory and Practice of Modern Agrarian Science"*. Novosibirsk: Zolotoj kolos; 2021: 360–363. (In Russian).
2. Kobernichenko VG, Sosnovsky AV. Kosmicheskie radiolokacionnye sistemy s sintezirovannoj aperturoj anteny [Space radar systems with synthesized antenna aperture]. *Materials of the All-russian open Armandov readings: youth school "Problems of remote sensing, propagation and diffraction of radio waves"*. 2022;1: 5–20. (In Russian).
3. Ivanov AYu, Kucheiko AA, Filimonova NA, et al. Ispol'zovanie kosmicheskoy radiolokacionnoj s'emki i dannyh avtomaticheskikh sistem identifikacii sudov dlja vyjavlenija sudovyh razlivov v Chernom more [Using satellite SAR imagery and automated identification system data for identification of shipmade oil spills in the Black sea]. *Earth research from space*. 2013;5: 84–98. (In Russian). DOI:10.7868/s0205961413050011.
4. Ivanov AYu, Zatyagalova VV. Kartografirovanie plenochnyh zagrjaznenij morja s ispol'zovaniem kosmicheskoy radiolokacii i geograficheskikh informacionnyh sistem [Mapping oil spills in the marine environment using satellite radar imagery and geographic information systems]. *Earth research from space*. 2007;6: 46–63. (In Russian).
5. Gusejnov AR. Nekotorye aspekty otlichija giperspektral'nyh dannyh ot mnogozonal'nyh [Some aspects of the difference between hyperspectral data and multispectral data]. *Prospects for the development of information technologies*. 2015;6: 16–18. (In Russian).
6. Khvostov DV, Makarenko SA. Sputnikovye navigacionnye sistemy [Satellite navigation system]. *Materials of the IV International Scientific and Practical Conference of the Faculty of Land Management and Cadastre of VSAU "Actual Problems of Land Management, Cadastre and Nature Management"*. Voronezh: Voronezh SAU; 2022: 210–222. (In Russian).
7. Zhukov DV. Spektral'nye priznaki dlja identifikacii tipovyh zagrjaznenij akvatorij morej po dannyh aviacionnoj i kosmicheskoy s'emki [Spectral features for identification of the typical pollution of sea waters from aviation and space imageries]. *Atmospheric and Ocean Optics*. 2016;29(7): 560–565. (In Russian). DOI:10.15372/AOO20160705.

8. Vytovtov KA, Barabanova EA, Novochadova AV, et al. Identification of oil pollutions of water surface with the help of UAV. *Automation in Industry*. 2024;6: 52–56. (In Russian). DOI:10.25728/avtprom.2024.06.07.
9. Kalinkevich AA, Kutuza BG, Plyushev VA. Vlijanie pervichnoj obrabotki golograficheskikh dannyh RSA na rezul'taty interpretacii radiolokacionnyh izobrazhenij [The influence of primary processing of holographic data from SAR on the results of radar images interpretation]. *All-Russian open Armandov readings: Proceedings of the Russian Open Scientific Conference "Modern problems of remote sensing, radar, wave propagation and diffraction"*. Murom: MI VLGU; 2023: 210–216. (In Russian).
10. Kostjuk EA, Zaharov AI. Radiometricheskaja kalibrovka radiolokacionnyh izobrazhenij [Radiometric calibration of radar images]. *Proceedings of the 22nd International Conference "Modern Problems of the Earth Remote Sensing"*. Moscow: Space Research Institute of the RAS; 2024: 42. (In Russian). DOI:10.21046/22DZZconf-2024a.
11. Bogomolov VJu. Obzor metodov obrabotki i analiza mul'tispektral'nyh izobrazhenij polej s pomoshh'ju glubokih nejronnyh setej [Review of methods for processing and analysing multispectral field images using deep neural networks]. *Proceedings of the 3rd International Scientific and Technical Conference Cloud and Distributed Computing Systems in Electronic Governance (ORVSEU-2022) in the framework of the National Supercomputing Forum (NSCF-2022)*. Pereslavl-Zalessky: A.K. Ailamazyan Program Systems Institute of the RAS; 2022: 86–91. (In Russian).
12. Guliev ASHO, Khlebnikova TA. Revealing oil pollution spots on shelf zone with help of space survey (on the example of oil stones water area, Caspian sea). *Vestnik SSUGT*. 2019;24(3): 52–64. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2019-24-3-52-64.
13. Shirokov LB, Maronchuk LL. Metody opredelenija vodosoderzhaniya v nefti i nefteproduktah, ostatochnogo sodержaniya nefteproduktov v vode [Methods for determining water content in oil and petroleum products, residual content of oil products in water]. *Power plants and technologies*. 2017;3(4): 130–145. (In Russian).

AUTHORS

Victor V. Belenko

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Space Monitoring and Ecology, Faculty of Cartography
Dr. of Sci. (Engineering), Professor

 0000-0002-7159-7428

Arina V. Novochadova

 arinanova@rambler.ru

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Cartography, Faculty of Cartography

Submitted: April 28, 2025. Accepted: June 23, 2025. Published: June 27, 2025.



Мониторинг использования сенокосов на основе NDVI

В.А. Павлова¹✉, А.А. Шпаков¹

АФФИЛИАЦИИ

¹ Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия
✉ vikalpav@mail.ru

ЦИТИРОВАНИЕ

Павлова В.А., Шпаков А.А. Мониторинг использования сенокосов на основе NDVI // Пространственные данные: наука и технологии. 2025. Т. 16, № 1. С. 27–39. DOI:10.30533/scidata-2025-16-05.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

мониторинг, NDVI, сенокос, земли сельскохозяйственного назначения

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрен вопрос применения NDVI для мониторинга использования сельскохозяйственных угодий в составе земель сельскохозяйственного назначения — сенокосов. По двум тестовым участкам, расположенным в Калининградской области на взаимном удалении в 12 км, были отобраны данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) за 2024 год, полученные с использованием спектрорадиометра MODIS. При помощи Python и ГИС QGIS отрисованы маски двух земельных участков и сформированы наборы данных, характеризующие динамику NDVI по диапазонам с шагом 0,1. В качестве вспомогательных данных выступает информация об использовании земельных участков в течение сезона 2024 года — о датах технологических операций по заготовке сена и зеленых кормов. Сформированы таблицы по каждому из двух участков, и рассмотрена динамика изменения индекса. По результатам работы сделаны выводы о недостаточности использования NDVI как единственного индикатора для определения сенокосов по данным ДЗЗ. В то же время применение индекса совместно со сведениями об отнесении участка к сенокосам позволяет осуществлять мониторинг при наличии набора данных ДЗЗ с низким

процентом перекрытия облаками или в случае разработки механизма корректировки перекрывающихся областей.

1 Введение

Мониторинг сельскохозяйственных земель в Российской Федерации имеет особое значение для обеспечения продовольственной безопасности страны и является источником информации для множества институтов государственного управления земельными ресурсами. Наполнение системы управления земельными ресурсами и агропромышленным комплексом всесторонними и достоверными сведениями об использовании и состоянии земель сельскохозяйственного назначения (ЗСХН) важно для планирования и реализации государственной политики в аграрном и иных секторах экономики [1, 2].

Специфика объекта мониторинга, выражающаяся в первую очередь в его размерах, обуславливает необходимость применения современных технологий для получения специальных (тематических) сведений о количественных и качественных характеристиках.

По мнению авторов, доля автоматизации сбора сведений о ЗСХН может быть существенно увеличена. В настоящей статье ставится цель по формированию предложений по совершенствованию сбора сведений о сельскохозяйственных угодьях в составе ЗСХН — сенокосах — в части их использования. Сенокос — это сельскохозяйственное угодье, используемое для сенокосшения¹ (скашивания и заготовки надпочвенной части зеленых растений).

В связи с вышеизложенным необходимо предложить автоматизированный способ сбора на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) информации об использовании сенокосов. Представляется целесообразным применять NDVI, характеризующий отражающую способность поверхности листьев растений, а следовательно, и объем зеленой массы.

Вопросы применения NDVI в различных отраслях экономики и сельском хозяйстве уже рассматривались отечественными учеными. Индекс используется для оценки качественных и количественных характеристик лесов [3], идентификации сельскохозяйственных культур [4, 5] и анализа их состояния [6], широко применяется в современных геоинформационных системах [7, 8], в том числе для моделей классификации объектов в машинном обучении [9].

Известно, что спектры отражения растений на сенокосах, измеренные при помощи наземной спектрометрии, имеют схожую с данными ДЗЗ динамику [10], а следовательно, могут применяться для массового сбора сведений об изменениях объема зеленой массы растений в течение сезона.

¹ ГОСТ Р 58595-2019. Почвы. Отбор проб. М.: Стандартинформ, 2019. С. 1.

2 Материалы и методы

Для достижения поставленной цели были выбраны земельные участки из состава ЗСХН, расположенные на территории Калининградской области, для которых известны фактические даты скашивания сельскохозяйственных растений в 2024 году. Расстояние между ближайшими точками участков составляет 12 км. Важным условием является неоднократное выполнение соответствующей технологической операции.

Для участков сформировано геометрическое представление в векторном формате (.shp) при помощи ГИС QGIS. Для сельскохозяйственного сезона подобрали изображения спутника Landsat 8, покрывающие изучаемые области.

Работа с графическими и текстовыми данными, извлекаемыми из изображений, выполнена с использованием языка программирования Python и специализированных библиотек. Характеристики участков представлены в **табл. 1**.

Таблица 1 Характеристики изучаемых участков

Table 1 Parameters of the studied sites

Категория, вид угодья	Площадь, га	Графическое представление	Даты снимков (NDVI)
ЗСХН, сенокос	110		28.04.2024 08.05.2024 16.05.2024 21.05.2024 28.05.2024 05.06.2024 15.06.2024 25.06.2024 30.06.2024 05.07.2024 10.07.2024
	75		28.04.2024 08.05.2024 13.05.2024 16.05.2024 26.05.2024 12.06.2024 15.06.2024 27.06.2024 10.07.2024 20.07.2024 27.07.2024 06.08.2024

Примечание. Жирным шрифтом в таблице выделены даты сенокосения.

3 Результаты

После подготовки данных — векторных контуров полей и расчета NDVI — для каждого снимка были выполнены обрезка изображений по маске, расчет общего показателя индекса вегетации и анализ изменения индекса после скашивания растений.

Обрезка изображений по маске выполнена на Python с использованием библиотеки GDAL² (рис. 1).

Рис. 1 Пример полученного изображения

Fig. 1 Image example



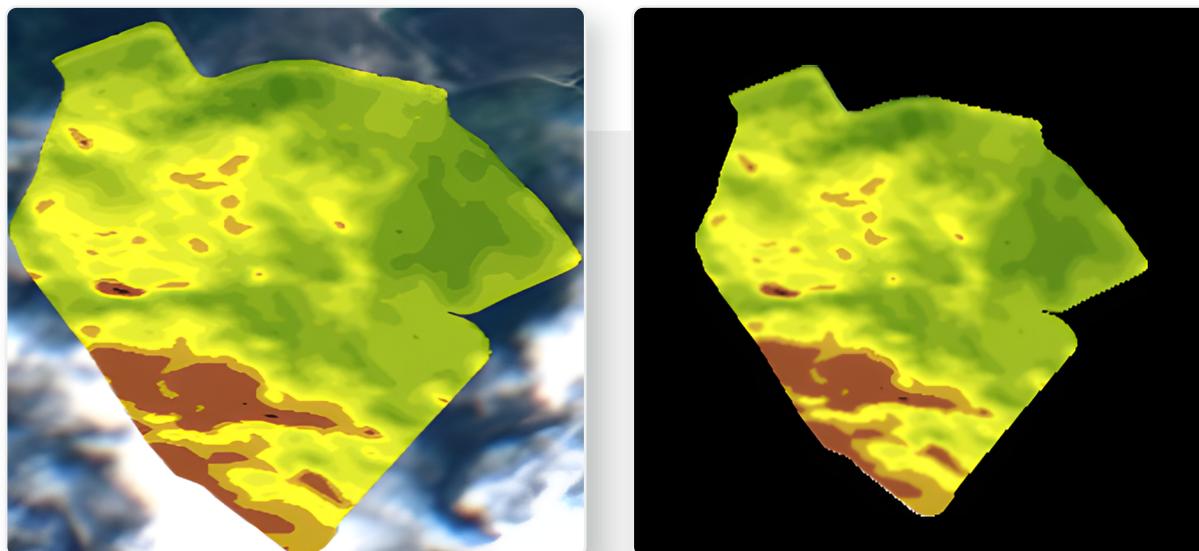
Следующим шагом является исключение снимков, содержащих аномалии. В рассматриваемом случае такими аномалиями стали перекрывающие растительность облака. Для данных снимков NDVI был рассчитан неверно (пример представлен на **рис. 2**).

Согласно указанному условию, из рассматриваемой выборки могли быть исключены снимки от 21.05.2024 и 05.06.2024 (участок 1), 12.06.2024 (участок 2). Было принято решение при дальнейших отсчетах в случае отсутствия значений за предшествующую и последующие даты приравнять значения NDVI перекрывшейся облаками площади к среднему значению индекса для снимка.

² GDAL/OGR contributors. GDAL/OGR Geospatial Data Abstraction library. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gdal.org> (дата обращения: 24.04.2025).

Рис. 2 Пример исключенного из расчетов снимка с аномалиями

Fig. 2 Example of an image with anomalies excluded from calculations



Далее необходимо было выполнить оценку зеленой массы, описываемой NDVI. Для этого используется Python с библиотеками GDAL и NumPy³. В результате были вычислены площади для заданного диапазона значений (**табл. 2, 3**).

Таблица 2 Значения площадей NDVI в зависимости от диапазона и даты изображения (участок 1)

Table 2 NDVI area values depending on the range and date of the image (site 1)

Изображение	NDVI									
	0,00–0,10	0,10–0,20	0,20–0,30	0,30–0,40	0,40–0,50	0,50–0,60	0,60–0,70	0,70–0,80	0,80–0,90	0,90–1,00
	Площадь, га									
1-28042024m.tif	0	0	0	0	0,06	0,33	1,4	22,88	85,33	0
2-08052024m.tif	0	0	0	0	0,8	1,6	2,54	6,64	98,42	0
3-16052024m.tif	0	0	0	0	0,03	0,16	0,5	1,65	107,66	0
4-21052024m.tif	0	0	0	0,02	0,05	0,66	25,15	15,88	68,24	0
5-28052024m.tif	0	0	0	0	0	0	0,09	0,18	109,73	0
6-05062024m.tif	0	0,47	7,66	12,36	22,53	29,9	29,3	7,03	0,75	0

Примечание. Жирным шрифтом выделен снимок в дату сенокосения, коричневым цветом — площади, NDVI которых снижен в связи с перекрытием поверхности облаками.

³ NumPy developers. NumPy. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://numpy.org> (дата обращения: 24.04.2025).

Изображение	NDVI									
	0,00– 0,10	0,10– 0,20	0,20– 0,30	0,30– 0,40	0,40– 0,50	0,50– 0,60	0,60– 0,70	0,70– 0,80	0,80– 0,90	0,90– 1,00
	Площадь, га									
7-15062024m.tif	0	0	0	20,67	45,68	35,99	5,9	1,72	0,04	0
8-25062024m.tif	0	0	0	0,01	0,07	0,49	3,6	85,03	20,8	0
9-30062024m.tif	0	0	0	0	0,15	0,79	50,44	58,62	0	0
10-05072024m.tif	0	0	0	0,09	0,73	1,78	5,21	31,82	70,37	0
11-10072024m.tif	0	0	39,37	15,02	15,6	17,77	18,79	3,4	0,05	0

Примечание. Жирным шрифтом выделен снимок в дату сенокосения.

Таблица 3 Значения площадей NDVI в зависимости от диапазона и даты изображения (участок 2)

Table 3 NDVI area values depending on the range and date of the image (site 2)

Изображение	NDVI									
	0,00– 0,10	0,10– 0,20	0,20– 0,30	0,30– 0,40	0,40– 0,50	0,50– 0,60	0,60– 0,70	0,70– 0,80	0,80– 0,90	0,90– 1,00
	Площадь, га									
1-280424m2.tif	0	0	0	0	0,07	0,21	0,98	4,47	69,27	0
2-080524m2.tif	0	0	0	0	0,03	0,11	0,28	1,4	73,18	0
3-130524m2.tif	0	0	0	0	0	0,07	0,5	1,04	73,39	0
4-160524m2.tif	0	0	0	0,03	2,24	22,14	49,43	1,14	0,02	0
5-260524m2.tif	0	0	0	0	0,67	1,78	59,42	13,12	0,01	0
6-120624m2.tif	0	0,13	5,47	14,23	15,44	16,24	18,72	4,77	0	0
7-150624m2.tif	0	0	0	0	4,83	67,78	2,13	0,25	0,01	0
8-270624m2.tif	0	0	0	0	0,08	7,97	65,83	1,11	0,01	0
9-100724m2.tif	0	0	0	0	0,03	0,19	4,74	69,47	0,57	0
10-200724m2.tif	0	0	0	0	0,03	2,39	4,69	41,19	26,7	0
11-270724m2.tif	0	0	0	0	0,02	1,38	18,75	54,51	0,34	0
12-060824m2.tif	0	0	0	51,69	20,64	1,27	1,06	0,34	0	0

Примечание. Жирным шрифтом выделен снимок в дату сенокосения, коричневым цветом — площади, NDVI которых снижен в связи с перекрытием поверхности облаками.

4 Обсуждение

Как можно видеть из **табл. 2**, до первого укоса растительность развивалась линейно, происходило увеличение зеленой массы растений. Об этом свидетельствует рост доли площадей, NDVI для которых находится в диапазоне от 0,8 до 0,9. На снимке, датированном 16.05.2024, наблюдается облачность, что существенно меняет распределение площадей по диапазонам индекса, однако общий вывод об увеличении зеленой массы сделать возможно. По достижении показателя NDVI, находящегося в интервале от 0,8 до 0,9, на площади свыше 99 % выполнено скашивание зеленой массы. При этом, поскольку данные за 05.06.2024 были исключены в связи с высокой облачностью, необходимо ориентироваться на данные NDVI от 15.06.2024. Как можно видеть, после сенокоса индекс распределяется неравномерно, при этом **самые значительные доли площадей находятся в трех диапазонах:**

- 0,3–0,4 (20,67 га, 19 %);
- 0,4–0,5 (45,68 га, 42 %);
- 0,5–0,6 (35,99 га, 33 %).

Важно отметить, что падение индекса в относительном выражении составило от 34 до 55 %.

Второй интервал наблюдений (с 15.06.2024 по 10.07.2024) не может быть однозначно охарактеризован в части роста количества зеленой массы и, соответственно, NDVI. Как можно видеть, объем зеленой массы по состоянию на 25.06.2024 был достаточно велик, площадь NDVI в укрупненном диапазоне 0,7–0,9 составила 105,83 га, после чего по состоянию на 30.06.2024 она резко уменьшилась до 58,62 га (–45 %). Объяснить такое существенное снижение индекса без дополнительной информации затруднительно. Наиболее вероятной причиной снижения индекса выступает влияние погодных явлений. Важно отметить, что на следующую наблюдаемую дату (05.07.2024) в том же диапазоне значений площадь составила 102,19 га (–3 % от 25.06.2024). Вместе с тем, несмотря на сопоставимость соотношения падения площадей NDVI для случая, когда был проведен укос, и уменьшения количества зеленой массы без сенокоса, распределение площадей по диапазонам индекса разное. При сенокосе преобладающий укрупненный диапазон NDVI — 0,4–0,6, при иных факторах (наиболее вероятно, неблагоприятных погодных явлениях) преобладающий укрупненный диапазон — 0,6–0,8.

Значения NDVI для участка 2 представляют интерес с точки зрения описания следующих закономерностей, справедливых и для участка 1: растительность с начала наблюдений до первого укоса развивалась линейно, зеленая масса растений увеличивалась. После первого укоса можно выделить две наиболее крупные группы NDVI, находящиеся в диапазонах 0,5–0,6 (22,14 га, 30 %)

и 0,6–0,7 (49,43 га, 66 %). Падение индекса в относительном выражении не превысило 50 %. Наименьшие значения диапазонов NDVI для участка 2 после второго укоса соответствуют участку 1.

5 Выводы

Проведенное исследование в части возможности применения NDVI для автоматизации определения сенокосов с использованием данных ДЗЗ показало, что для формирования исчерпывающей программной логики необходимы дополнительные сведения. Первый интервал наблюдений для участков 1 и 2 был наиболее простым для определения операции сенокосения: зеленая масса увеличивалась, росла площадь участка с NDVI 0,8–0,9. После укоса большая площадь участка характеризовалась индексом 0,3–0,6 для участка 1 и 0,4–0,6 — для участка 2. Второй интервал наблюдений для участка 1 был сложнее ввиду отсутствия устойчивой положительной тенденции увеличения площадей с NDVI 0,8–0,9. Несмотря на такое положение дел, фактором, четко указывающим на отсутствие сенокосения, является распределение площадей по укрупненной группе 0,3–0,6. Важно отметить, что для участка 2 подобная ситуация не воспроизведена: рост растений и увеличение зеленой массы происходили линейно. После второго укоса на участке 1 распределение площадей похоже на предшествующий период, однако нижняя граница распределения индекса составила 0,2. Это связано с тем, что последний снимок в рассматриваемом наборе сделан не сразу после укоса. На нем площадь порядка 40 га вспахана, чем и вызвано снижение NDVI до 0,2–0,3.

После второго укоса на участке 2 граница распределения индекса не изменилась. Важно отметить, что после третьего укоса минимальные значения NDVI уменьшились и находились в диапазоне 0,3–0,4.

Помимо вопросов оценки NDVI немаловажно обратить внимание на то, что существенной проблемой при обращении к ДЗЗ для расчета индекса вегетации является облачность. Это сужает наборы данных, использование которых возможно для целей мониторинга сенокосов. Такой мониторинг с применением NDVI, по мнению авторов, возможен только с дополнительными данными, например информацией об отнесении земельных участков (их частей) из состава земель сельскохозяйственного назначения к соответствующему виду угодий — сенокосам, как это было представлено в настоящем исследовании. Определение сенокосов без сведений об отнесении к соответствующему виду сельскохозяйственных угодий и дополнительных сведений затруднительно.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Сулин М.А. Современные проблемы землеустройства: монография. 3-е изд., стер. СПб.: Лань, 2023. 172 с.
2. Беленко В.В., Ассех К.Ф. Проблемные вопросы обнаружения изменений состава земель методами дистанционного зондирования Земли из космоса для целей рационального использования на примере Республики Кот-д'Ивуар // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2022. Т. 66. № 4. С. 86–100. DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-4-86-100.
3. Чинь Л.Х., Мельникова Е.Б. Мониторинг динамики растительного покрова по данным разновременных изображений индекса NDVI (на примере провинции Лам Донг — центральные нагорья Вьетнама) // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2016. № 1. С. 69–74.
4. Вилюнов С.Д., Чернышов М.М., Потаракин С.В. и др. Проверка алгоритма дистанционной идентификации сельскохозяйственных культур по спутниковым цифровым данным вегетационного индекса NDVI // Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 4(48). С. 140–150. DOI:10.24412/2309-348X-2023-4-140-150.
5. Мартынов М.А., Вилюнов С.Д., Захарова Н.И. и др. Выявление корреляционных закономерностей по данным структурного анализа и в динамике индексов отражения на сое // Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 4(48). С. 57–64. DOI:10.24412/2309-348X-2023-4-57-64.
6. Трошко К.А., Денисов П.В., Дунаева Е.А. и др. Развитие озимых сельскохозяйственных культур на юге европейской части России весной 2024 года на основе данных дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 2. С. 357–362. DOI:10.21046/2070-7401-2024-21-2-357-362.
7. Денисов П.В., Трошко К.А., Лупян Е.А. и др. Возможности и опыт использования информационной системы Вега-PRO для мониторинга сельскохозяйственных земель // Вычислительные технологии. 2022. Т. 27. № 3. С. 66–83. DOI:10.25743/ICT.2022.27.3.006.
8. Трошко К.А., Денисов П.В., Лупян Е.А. и др. Особенности состояния зерновых культур в регионах европейской части России и Сибири в июне 2021 г. по данным дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 3. С. 325–331. DOI:10.21046/2070-7401-2021-18-3-325-331.
9. Денисов П.В., Кашницкий А.В., Колбудаев П.А. и др. Реализация на базе возможностей системы Вега-PRO технологии классификации сельскохозяйственных культур на полях по данным спутников Sentinel-2 // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы XI Международной научной конференции, Красноярск, 10–13 сентября 2024 г. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2024. С. 40–46.

10. Ларько А.А., Ботвич И.Ю., Емельянов Д.В. и др. Оценка состояния сенокосных угодий на основе наземной и спутниковой спектрометрии // Вестник КрасГАУ. 2020. № 2(155). С. 11–17. DOI:10.36718/1819-4036-2020-2-11-17.

АВТОРЫ

Павлова Виктория Александровна

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» (СПбГАУ),
Санкт-Петербург, Россия
кафедра землеустройства, Институт строительства, природообустройства
и ландшафтной архитектуры
д-р экон. наук, доцент

Шпаков Андрей Андрианович

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» (СПбГАУ),
Санкт-Петербург, Россия
кафедра землеустройства, Институт строительства, природообустройства
и ландшафтной архитектуры

Поступила 27.05.2025. Принята к публикации 23.06.2025. Опубликовано 27.06.2025.

UDC 528.77

DOI:10.30533/scidata-2025-16-05



NDVI-Based Monitoring of Hayfields Use

Victoria A. Pavlova¹✉, Andrew A. Shpakov¹

AFFILIATIONS

¹ St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russia
✉ vikalpav@mail.ru

CITATION

Pavlova VA, Shpakov AA. NDVI-Based Monitoring of Hayfields Use. *Spatial Data: Science, Research and Technology*. 2025;16(1): 27–39. DOI:10.30533/scidata-2025-16-05.

KEYWORDS

monitoring, NDVI, hayfield, agricultural lands

ABSTRACT

The article considers the issue of using NDVI to monitor the use of agricultural land as part of agricultural land – hayfields. For two test sites located in the Kaliningrad region at a mutual distance of 12 km, the Earth's remote sensing data for 2024, obtained using the MODIS spectroradiometer, was selected. Using Python and QGIS GIS, the masks of two land plots were drawn and data sets were generated that characterize the dynamics of NDVI in ranges with increments of 0.1. As auxiliary data, information on the use of land plots during the 2024 season was used – on the dates of technological operations for harvesting hay and green fodder. Tables for each of the two sections are formed and the dynamics of the index changes are considered. Based on the results of the work, conclusions were drawn about the insufficiency of using NDVI as the only indicator that can be used to determine hayfields based on remote sensing data. At the same time, using the index together with information on the assignment of the site to hayfields allows monitoring in the presence of a set of remote sensing data with a low percentage of cloud cover or in the case of developing a mechanism for correcting overlapping areas.

REFERENCES

1. Sulin MA. *Sovremennye problemy zemleustrojstva* [Modern problems of land management] [monograph]. 3rd ed., ster. St. Petersburg: Lan', 2023. 172 p.
2. Belenko VV. Problemnye voprosy obnaruzhenija izmenenij sostava zemel' metodami distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa dlja celej racional'nogo ispol'zovanija na primere Respubliki Kot-d'Ivuar [Problematic issues of detecting changes in land composition by means of Earth remote sensing from space for the purposes of rational use on the example of the Republic of Côte d'Ivoire]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2022;66(4): 86–100. DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-4-86-100.
3. Chinh LH, Melnikova EB. Monitoring dinamiki rastitel'nogo pokrova po dannym raznovremennyh izobrazhenij indeksa NDVI (na primere provincii Lam Dong – central'nye nagor'ja V'etnama) [Monitoring the dynamics of vegetation cover based on multi-temporal images of the NDVI index (on the example of Lam Dong province – central highlands of Vietnam)]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2016;1: 69–74.
4. Vilyunov SD, Chernyshov MM, Potarakin SV, et al. Proverka algoritma distancionnoj identifikacii sel'skhozajstvennyh kul'tur po sputnikovym cifrovym dannym vegetacionnogo indeksa NDVI [Verification of the algorithm for remote identification of agricultural crops based on satellite digital data of the NDVI vegetation index]. *Legumes and Groat Crops*. 2023;4(48): 140–150. DOI:10.24412/2309-348X-2023-4-140-150.
5. Martynov MA, Vilyunov SD, Zakharova NI, et al. Vyjavlenie korreljacionnyh zakonornostej po dannym strukturnogo analiza i v dinamike indeksov otrazhenija na soe [Identification of correlation patterns based on structural analysis data and in the dynamics of reflection indices on soybeans]. *Legumes and Groat Crops*. 2023;4(48): 57–64. DOI:10.24412/2309-348X-2023-4-57-64.
6. Troshko KA, Denisov PV, Dunaeva EA, et al. Razvitie ozimyh sel'skhozajstvennyh kul'tur na juge evropejskoj chasti Rossii vesnoj 2024 goda na osnove dannyh distancionnogo monitoringa [Development of winter crops in the south of the European part of Russia in the spring of 2024 based on remote sensing data]. *Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space*. 2024;21(2): 357–362. DOI:10.21046/2070-7401-2024-21-2-357-362.
7. Denisov PV, Troshko KA, Lupyan EA, et al. Vozmozhnosti i opyt ispol'zovanija informacionnoj sistemy Vega-PRO dlja monitoringa sel'skhozajstvennyh zemel' [Opportunities and experience of using the Vega-PRO information system for monitoring agricultural lands]. *Computational Technologies*. 2022;27(3): 66–83. DOI:10.25743/ICT.2022.27.3.006.
8. Troshko KA, Denisov PV, Lupyan EA, et al. Osobennosti sostojanija zernovyh kul'tur v regionah evropejskoj chasti Rossii i Sibiri v ijune 2021 g. po dannym distancionnogo monitoringa [Features of the state of grain crops in the regions of the European

part of Russia and Siberia in June 2021 according to remote monitoring data].

Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space. 2021;18(3): 325–331.

DOI:10.21046/2070-7401-2021-18-3-325-331.

9. Denisov PV, Kashnitsky AV, Kolbudaev PA, et al. Realizacija na baze vozmozhnostej sistemy Vega-PRO tehnologii klassifikacii sel'skhozajstvennyh kul'tur na poljah po dannym sputnikov Sentinel-2 [Implementation based on the capabilities of the Vega-PRO system of technology for classifying agricultural crops in fields based on data from Sentinel-2 satellites]. *Regional Problems of Remote Sensing of the Earth: materials of the XI International Scientific Conference*, Krasnoyarsk, September 10–13, 2024. Krasnoyarsk: Siberian Federal University; 2024: 40–46.
10. Larko AA, Botvich IYu, Emelyanov DV, et al. Ocenka sostojanija senokosnyh ugodij na osnove nazemnoj i sputnikovoj spektrometrii [Assessment of the state of hayfields based on ground and satellite spectrometry]. *The Bulletin of KrasGAU*. 2020;2(155): 11–17. DOI:10.36718/1819-4036-2020-2-11-17.

AUTHORS

Victoria A. Pavlova

St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russia

Department of Land Management, Institute of Construction, Environmental Management and Landscape Architecture

Dr. of Sci. (Economics), Associate Professor

Andrew A. Shpakov

St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russia

Department of Land Management, Institute of Construction, Environmental Management and Landscape Architecture

Submitted: May 27, 2025. Accepted: June 23, 2025. Published: June 27, 2025.



Генерация картографических изображений с помощью анимации для отображения динамики климатических показателей (на примере термического режима)

А.А. Титов¹✉, Н.М. Биктимирова¹

АФФИЛИАЦИИ

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия
✉ altitks@yandex.ru

ЦИТИРОВАНИЕ

Титов А.А., Биктимирова Н.М. Генерация картографических изображений с помощью анимации для отображения динамики климатических показателей (на примере термического режима) // Пространственные данные: наука и технологии. 2025. Т. 16, № 1. С. 40–55. DOI:10.30533/scidata-2025-16-06.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

картография, климат, изменение климата, картографическая анимация, климатические карты

АННОТАЦИЯ

В настоящее время все большее распространение получают мультимедийные картографические произведения. В статье раскрываются особенности создания картографической анимации, визуализирующей климатические данные в профессиональной программе Adobe Animate. Достоинствами данного программного обеспечения являются удобный интерфейс, специально разработанный для создания анимаций различных типов, и возможность детальной настройки трансформирования элементов анимации,

что необходимо при отображении динамических показателей климатических карт. Отмечены преимущества картографических анимаций по сравнению с аналоговыми картами для визуализации динамики изменения климатических условий во времени и пространстве. Описана методика анимации изолиний (включая псевдоизолинии). Например, рассматривается преобразование типа «Анимация формы» с использованием функции создания узловых точек для более корректной картографической визуализации анимированных элементов тематического содержания. Рассматриваются режимы ускорения (замедления) анимации: «Без замедления», при котором трансформирование происходит с одинаковой скоростью для визуализации общего характера изменения климатических условий; «По синусоиде» группы «Плавный вход-выход» — для более наглядного отображения особенностей климатических условий за различные временные периоды.

1 Введение

Внедрение мультимедийных технологий в процесс создания картографических изображений является эффективным средством, повышающим информативность, позволяющим достичь наилучшего восприятия отображаемого содержания, и, безусловно, играет большую роль в совершенствовании форм представления данного содержания. Применение актуального программного обеспечения позволяет картографам создавать не только статичные, но и мультимедийные картографические продукты, объединяющие графическую, текстовую и видеoinформацию, а также анимацию. В свою очередь, это способствует значительному расширению возможности удобного и наглядного представления информации на картах, увеличению объема отображаемых геоданных. Значительное внимание следует уделять наглядному картографическому представлению информации, визуализирующей динамику климатических изменений, вопрос изучения которых актуализируется в последние годы. Следовательно, имеются значительные изменения, связанные с содержательной характеристикой отображаемого содержания [1].

Известно, что картографическая анимация представляет собой динамическую последовательность картографических кадров, которая при воспроизведении создает эффект движения картографического изображения на экране устройства [2]. Картографическая анимация сочетает в себе традиционные способы картографического изображения и анимации, позволяющие передавать динамику отображаемых показателей, а также наглядно представлять временные и пространственные изменения.

При создании анимированной климатической карты необходимо не только владеть специальными знаниями в области картографии и компьютерной графики, но и понимать сущность динамики климатических явлений. Специалист,

занимающийся созданием картографических анимаций, должен определить подходящие временные интервалы и способы картографического изображения, а также цветовые схемы для того, чтобы анимация была не только информативной, но и максимально читаемой.

Важным преимуществом картографической анимации является возможность демонстрации изменений климатических данных в доступной и понятной форме. Например, визуализация термического режима картографируемой территории способом изолиний позволяет отобразить многолетние данные в динамической форме, в отличие от статичной карты [1, 3].

Вопрос использования анимации при разработке климатических карт нельзя назвать решенным, несмотря на то что методики создания картографических анимаций разрабатываются на протяжении многих лет [4]. Компьютерные технологии совершенствуются, соответственно, происходят изменения в процессах создания климатических карт. Стоит отметить, что при работе с климатом, как правило, используются данные за большой временной период (30–60 лет и более). Кроме того, одной из задач, решаемых при создании климатических карт, является анализ динамики климатических показателей во времени и пространстве. Наконец, способы картографического изображения, традиционно используемые на климатических картах, такие как способ изолиний, псевдоизолиний, идеально подходят для наглядных и зрелищных картографических анимаций. В связи с этим видится актуальной разработка методики создания картографических анимаций, наглядно визуализирующих изменения климатических показателей за определенный временной отрезок [5–7].

2 Материалы и методы

Технические возможности для создания анимаций предоставляют графические редакторы и геоинформационные системы (ГИС). Например, в растровых графических редакторах, таких как Adobe Photoshop (**рис. 1**) или GIMP (**рис. 2**), существует возможность создания покадровой анимации с последующим сохранением в формате *.gif.

Подобные приемы предполагают создание каждого кадра вручную, после чего картограф настраивает скорость смены кадров в анимации. Такая технология оптимальна только для простейших анимаций, поскольку каждый кадр создается пользователем индивидуально.

Рис. 1 Панель «Временная шкала» в Adobe Photoshop, предназначенная для создания покадровой анимации

Fig. 1 The “Timeline” panel in Adobe Photoshop, intended for creating frame-by-frame animation

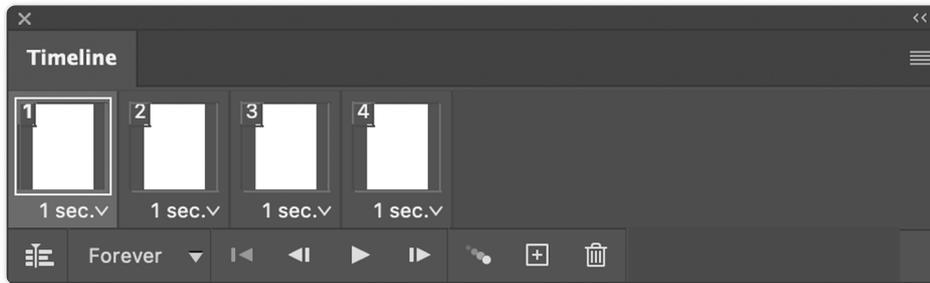
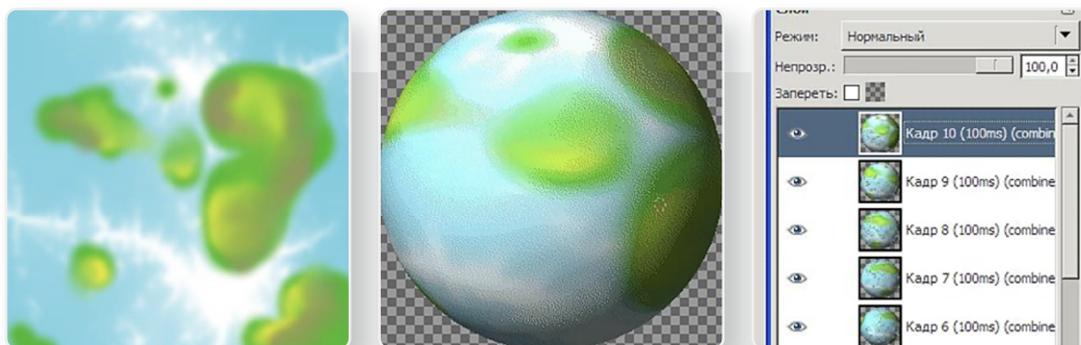


Рис. 2 Создание покадровой анимации в GIMP

Fig. 2 Creating frame-by-frame animation in GIMP

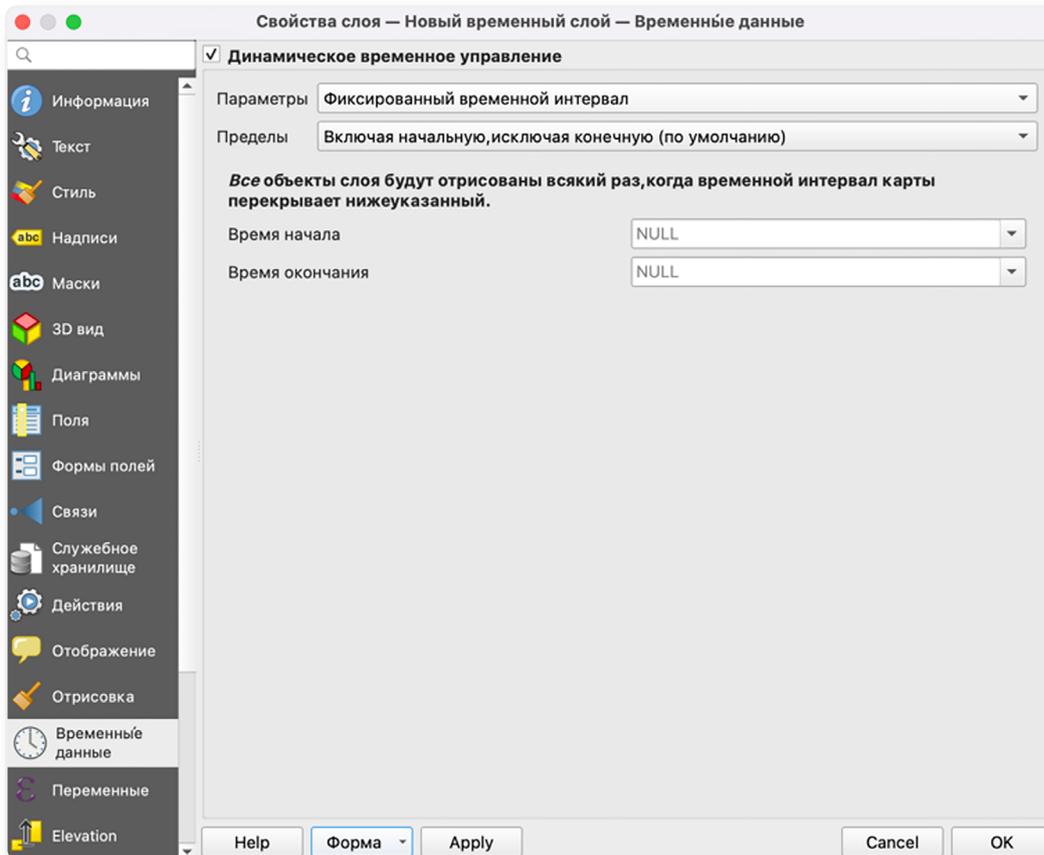


Возможности создания картографических анимаций существуют и в современных ГИС, таких как ArcGIS или QGIS, однако функционал последних не позволяет точно настроить параметры анимации, добиться плавности и эстетичности, которые желательны при создании картографических анимаций, посвященных картографированию климата (**рис. 3**).

Для создания более сложных анимаций, в том числе картографических, требуется использование программ, функции которых специально разработаны для быстрого и эффективного анимирования сложных, преимущественно векторных, изображений. Одной из таких программ является Adobe Animate. В отличие от растровых графических редакторов и ГИС, Adobe Animate позволяет быстро и эффективно анимировать сложные по форме векторные изображения. При применении анимации для отображения климатических данных появилась возможность настройки геометрии трансформирования изолиний, что крайне важно для создания анимации, а также возможность выбора режима скорости анимации в зависимости от назначения карты.

Рис. 3 Функция «Временные данные» для создания простейших картографических анимаций в QGIS

Fig. 3 The “Temporal Controller” function for creating simple cartographic animations in QGIS



3 Результаты и обсуждение

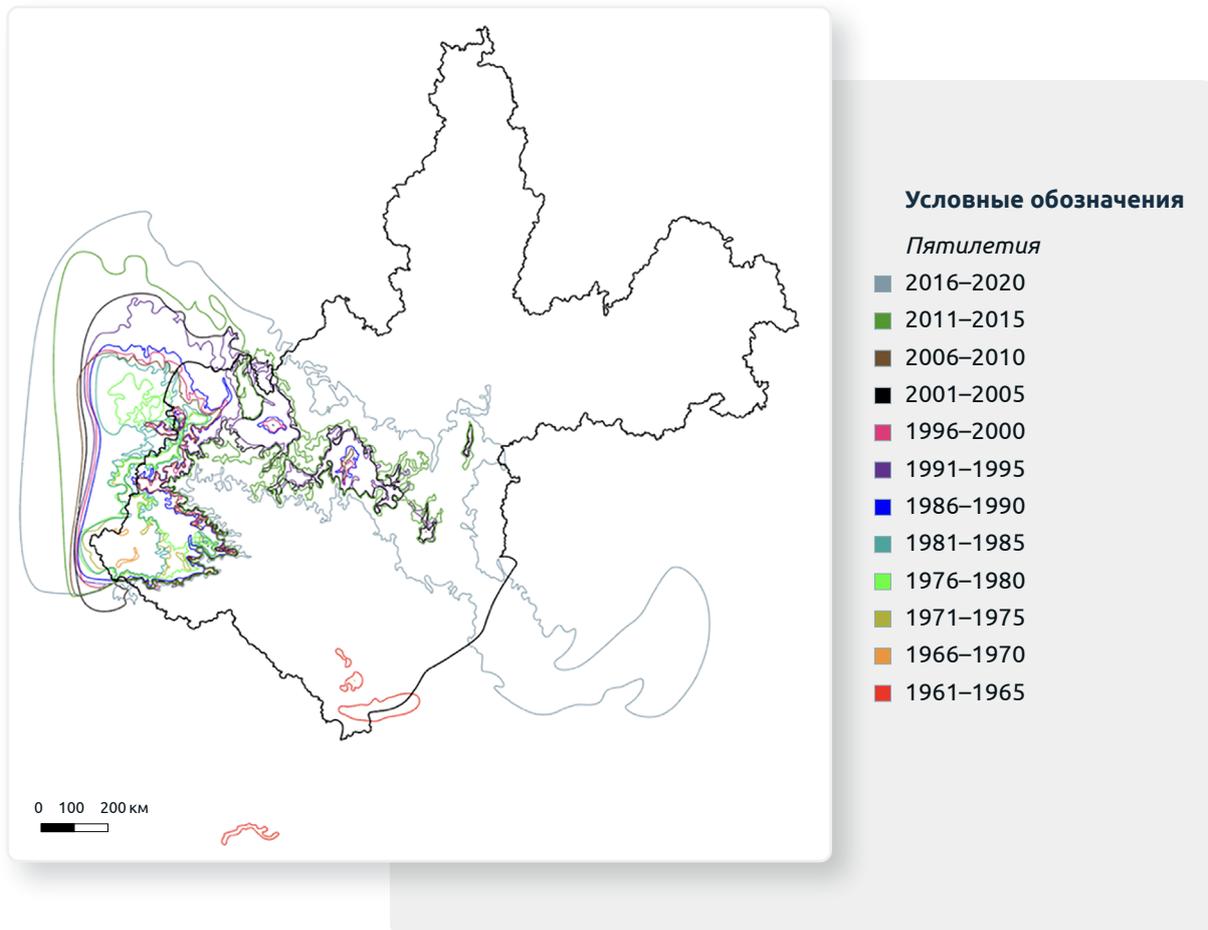
Одним из основных способов картографического изображения на климатических картах является способ изолиний (псевдоизолиний). Он хорошо подходит для анимации, поскольку позволяет наглядно показать изменение конфигурации изолиний в пространстве за различные временные периоды. Процесс создания изолиний для последующей анимации принципиально не отличается от стандартного построения изолиний.

Однако к самим изолиниям предъявляются особые требования. Это объясняется спецификой самого процесса анимирования и работой программы Adobe Animate. Из-за особенностей функционирования программы предполагается, что все изолинии должны быть замкнутыми кривыми. Это обусловлено необходимостью исключить возможное появление разрывов в процессе

трансформирования одного положения изолинии в другое в ходе анимации. На **рис. 4** хорошо видно, что замыкание изолиний происходит за пределами картографируемой территории, т. е. их не будет видно читателю, тем самым не нарушается географическая достоверность.

Рис. 4 Годовые нулевые изотермы Иркутской области, окрашенные в цвета по пятилетиям, и граница Иркутской области

Fig. 4 Annual zero isotherms of the Irkutsk region, colored by five years, and the border of the Irkutsk region



Создание климатических изолиний возможно посредством инструментов ГИС. Для примера были взяты растровые данные термического режима ежемесячного глобального мониторинга низкого пространственного разрешения (в 1 пикселе 21 км²) с портала Worldclim¹ [8]. На основе данных посредством ГИС были построены годовые изотермы 0°C для 12 пятилетий с 1961 по 2020 год,

¹ WorldClim database of global meteorological and climatic data with high spatial resolution. [Электронный ресурс].
Режим доступа: <https://worldclim.org/data/monthlywth.html> (дата обращения: 11.05.2025).

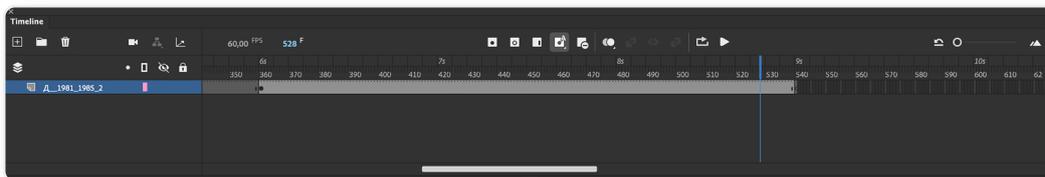
сглаженные после этого с помощью генератора геометрии [9]. Для дальнейшего анимирования изолинии необходимо экспортировать в формат векторной графики (например, *.svg).

Непосредственно анимация изолиний осуществляется в Adobe Animate с помощью панели «Временная шкала». Необходимо отметить, что время трансформирования изолиний из одной позиции в другую может быть любым, однако мы предлагаем использовать период, равный 3–5 секундам, поскольку это оптимальный временной промежуток для наглядной и динамичной демонстрации изменения конфигурации климатических изолиний.

Для создания анимации изолиний в Animate необходимо создать пустой ключевой кадр в рабочем слое с изолинией на панели «Временная шкала» через интервал, равный выбранному для данной анимации временному промежутку (в данном случае равный 3–5 секундам). Далее в пустой ключевой кадр нужно вставить кривые климатических изолиний, визуализирующих картографируемый показатель за хронологически последующий временной период. В результате между ключевыми кадрами образуется статический диапазон (рис. 5).

Рис. 5 Созданный статический диапазон на панели «Временная шкала»

Fig. 5 Created static range on the “Timeline” panel

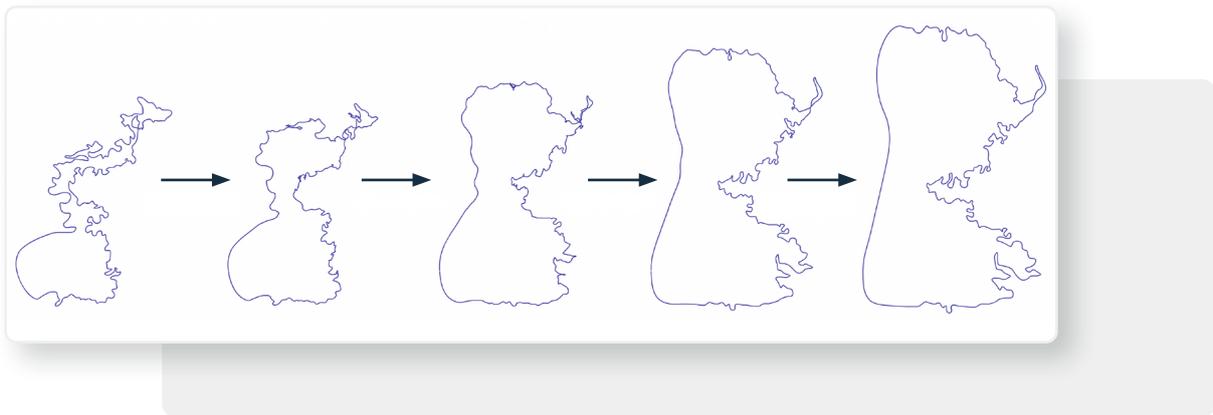


Однако задачей динамических изолиний является визуализация плавного перехода от одной конфигурации изолинии к другой. Для реализации данной задачи статический диапазон изолиний необходимо преобразовать в динамический, используя функцию «Анимация формы», которая позволяет осуществить плавное преобразование одной формы в другую. В результате статический диапазон становится динамическим и изменяет свой цвет с серого на оранжевый. При преобразовании типа «Анимация формы» происходит преобразование координат кривых на плоскости. Кривые параметризуются по времени. Animate изменяет временной параметр с заданной частотой (например, 60 раз в секунду при соответствующей частоте кадров). В результате данных преобразований при просмотре созданной анимации контур, находящийся в первом ключевом кадре, будет плавно перетекать в контур, находящийся во втором ключевом кадре, за выбранный отрезок времени. За счет того, что все контуры изолиний замкнутые, трансформирование осуществляется без разрывов, что необходимо при данном способе картографического изображения.

Тем не менее преобразование в Adobe Animate осуществляется по кратчайшему пути, без учета географических и геометрических особенностей. Однако конфигурация изолиний одного и того же климатического показателя за разные временные промежутки (например, пятилетия) изменяется не критично и имеет определенную графическую преемственность, которая не учитывается Animate при стандартном трансформировании «Анимация формы». Кроме того, в процессе такого трансформирования возможно самопересечение изолиний или их излишнее сближение, что недопустимо при визуализации способом изолиний (псевдоизолиний) в классической картографии. Так, на **рис. 6** видно, что в некоторых местах наблюдается самопересечение изолинии, также не учитывается преемственность рисунка изолинии.

Рис. 6 Пример трансформирования изолинии в Adobe Animate без дополнительных настроек

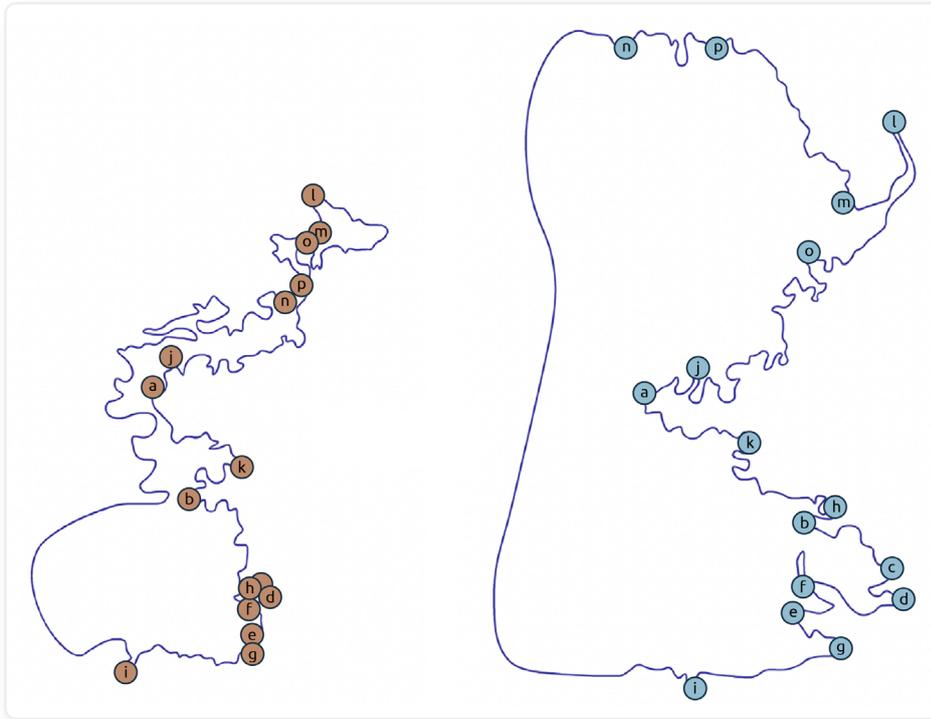
Fig. 6 An example of transforming an isoline in Adobe Animate without additional settings



Для того чтобы решить данную проблему, в Animate необходимо использовать функцию «Узловые точки», которая позволяет установить подсказки для контроля изменения формы при трансформировании. Подсказки представляют собой точки, которые должны совпадать на начальном и конечном ключевых кадрах. Каждая новая добавленная точка обозначается строчной латинской буквой. Точки устанавливаются в характерных местах изгибов, выступов и т. д. (**рис. 7**).

Рис. 7 Узловые точки — совпадающие точки в начале (слева) и конце (справа) трансформирования

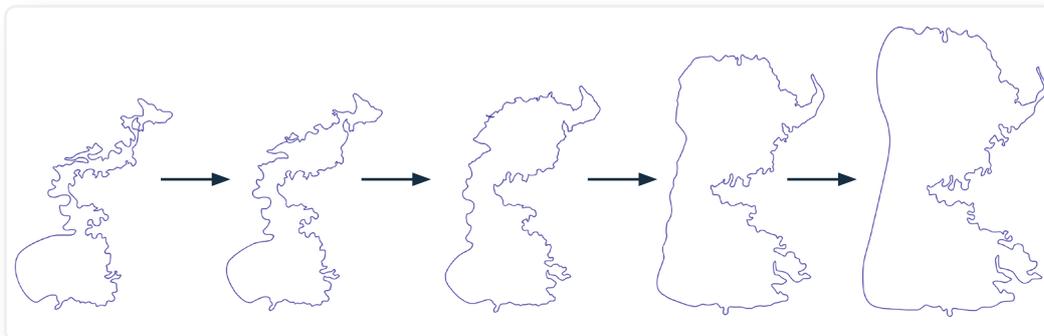
Fig. 7 “Shape Hints” indicating matching points at the beginning (left) and end (right) of the transformation



Грамотный выбор данных точек при анимировании позволяет избежать самопересечений и сближений частей изолинии, а также сохранить преимственность формы климатической изолинии при переходе от одной формы к другой (**рис. 8**).

Рис. 8 Пример трансформирования изолинии в Adobe Animate с дополнительными настройками узловых точек

Fig. 8 Example of transforming an isoline in Adobe Animate with additional shape hints settings



В Adobe Animate есть возможность настройки замедления (ускорения) анимации при трансформировании типа «Анимация формы». Настройки осуществляются на панели «Свойства» во вкладке «Кадр». Настройка замедления (ускорения) трансформирования называется Ease и настраивается в меню «Эффект» (рис. 9).

Для изменения настроек замедления (ускорения) трансформирования необходимо выделить все динамические диапазоны рабочих слоев с изолиниями и выбрать режим ускорения и замедления трансформирования, показанный на графике. График представляет собой символическое представление о движении точек внутри динамического диапазона (рис. 10). По горизонтальной оси показано время трансформирования, по вертикальной — стадии трансформирования (0 — исходное положение анимируемого объекта, 100 — финальное положение).

Рис. 10 График режима трансформирования в Animate в режиме «Без замедления»

Fig. 10 Graph of the transform mode in Animate in the “No Ease” mode

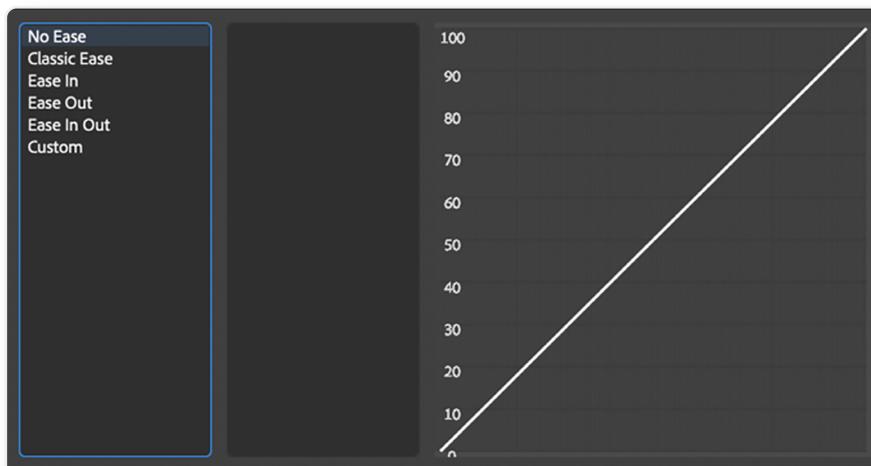
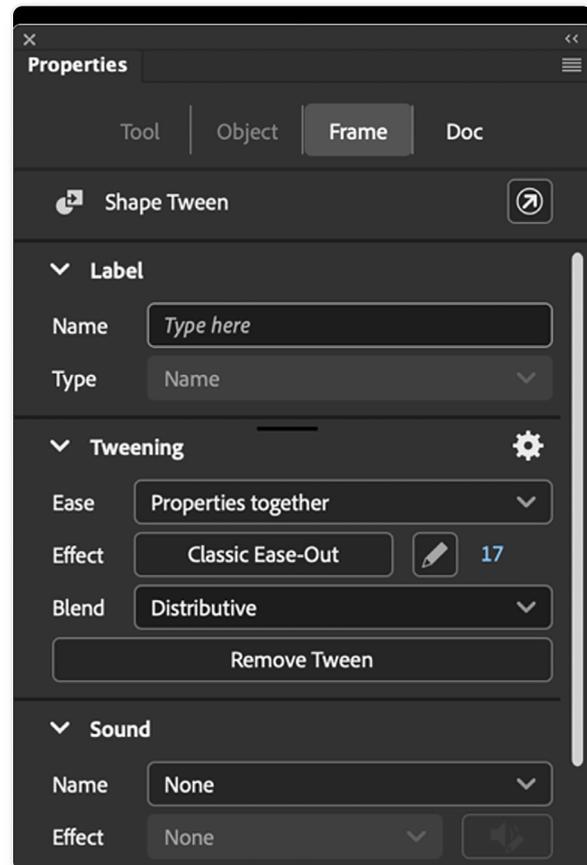


Рис. 9 Панель «Свойства» / “Properties”, открытая на вкладке «Кадр» / “Frame”. Меню «Эффект» / “Effect”

Fig. 9 The “Properties” panel opened on the “Frame” tab. The “Effect” menu

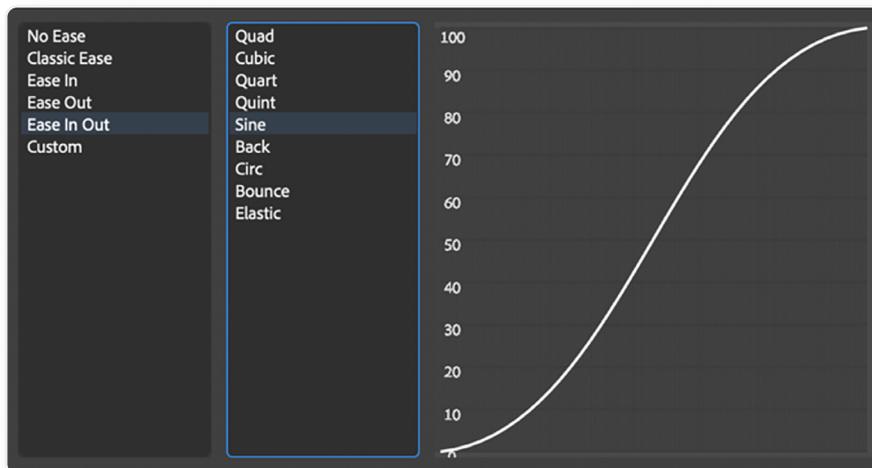


По умолчанию при создании анимации используется режим «Без замедления», при котором трансформирование происходит с одинаковой скоростью. На графике это показано прямой линией. Использование данного режима для создания анимированных климатических карт позволяет визуализировать общий характер изменения климатических условий.

Для более наглядной визуализации особенностей климатических условий за различные временные периоды рекомендуется использовать режим «По синусоиде» группы «Плавный вход-выход». При данном режиме трансформирование вначале происходит медленно, затем плавно ускоряется, а затем также плавно замедляется, что характерно для всех режимов группы «Плавный вход-выход». Однако именно в режиме «По синусоиде» изменение скорости происходит плавно, что способствует наилучшей визуализации динамических климатических изолиний. На графике это изображается плавной кривой (рис. 11).

Рис. 11 График скорости трансформирования в Animate в режиме «По синусоиде»

Fig. 11 Graph of transform speed in Animate in the “Sine” mode



4 Выводы

Разработанную по рассматриваемой методике картографическую анимацию, визуализирующую климатические данные, оптимально экспортировать как в формате видеофайла (например, *.mp4), так и в устаревшем формате *.swf; альтернатива в виде GIF-анимации будет слишком долго обрабатываться в Animate. Кроме того, конечный файл будет иметь большой вес и его воспроизведение потребует очень высокой производительности устройства.

Созданная по данному методу картографическая анимация существенно улучшает наглядность и информативность климатических карт, а использование программного обеспечения пакета Adobe Creative Cloud повышает скорость работы в силу интуитивности интерфейса и удобства функционала программы [10].

При использовании разработанного метода появляется возможность выбора режима анимирования в зависимости от назначения карты, а также акцентируется внимание читателя как на характере изменений, так и на особенностях климатических условий.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Картавцева Е.Н., Малолетко Е.А. Динамическое картографирование в мультимедийных картографических произведениях // Избранные доклады 68-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 19–23 апреля 2022 г. Томск: ТГАСУ, 2022. С. 789–792.
2. Берлянт А.М., Ушакова Л.А. Картографические анимации. М.: Научный мир, 2000. 108 с.
3. Фисич Б.А., Новоселов Д.И., Малеван А.Ю. Анализ подходов к образно-знаковому моделированию обстановки для решения специальных задач // Геодезия и картография. 2023. Т. 84. № 5. С. 34–42.
[DOI:10.22389/0016-7126-2023-995-5-34-42](https://doi.org/10.22389/0016-7126-2023-995-5-34-42).
4. Радаман С.К. Методика создания телевизионных картографических анимаций для информационно-аналитических программ телевидения // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2017. № 1. С. 81–87.
5. Fish C.S. Cartographic content analysis of compelling climate change communication // Cartography and Geographic Information Science. 2020. Vol. 47. No. 6. P. 492–507. [DOI:10.1080/15230406.2020.1774421](https://doi.org/10.1080/15230406.2020.1774421).
6. Klasen V., Bogucka E.P., Meng L., et al. How we see time – the evolution and current state of visualizations of temporal data // International Journal of Cartography. 2023. Vol. 9. No. 2. P. 392–409. [DOI:10.1080/23729333.2022.2156316](https://doi.org/10.1080/23729333.2022.2156316).
7. Roth R.E. Cartographic design as visual storytelling: synthesis and review of map-based narratives, genres, and tropes // The Cartographic Journal. 2021. Vol. 58. No. 1. P. 83–114. [DOI:10.1080/00087041.2019.1633103](https://doi.org/10.1080/00087041.2019.1633103).
8. Абдуллин Р.К., Шихов А.Н. Картографирование современных изменений климата на территории Урала // Геодезия и картография. 2019. Т. 80. № 1. С. 3–12. [DOI:10.22389/0016-7126-2019-943-1-3-12](https://doi.org/10.22389/0016-7126-2019-943-1-3-12).
9. Титов А.А., Биктимирова Н.М. Оценка подходов к картографической визуализации климатических данных (на примере картографирования осадков) // Вестник СГУГиТ. 2025. Т. 30. № 3. С. 103–110.
[DOI:10.33764/2411-1759-2025-30-3-103-110](https://doi.org/10.33764/2411-1759-2025-30-3-103-110).
10. Габриелян Т.О. Влияние Adobe Creative Cloud на художественно-проектную деятельность дизайнера-графика // Векторы развития информационных

технологий: перспективы и направления: сборник тезисов научных статей
I Региональной научно-практической конференции, Гурзуф, 3–5 марта 2017 г.
Гурзуф: Лавриненко Е.В., 2017. С. 18–21.

АВТОРЫ

Титов Алексей Андреевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»
(МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра визуализации геоданных и картографического дизайна,
картографический факультет

 0009-0001-5051-6430

Биктимирова Наиля Манияновна

 biktimirovanm@mail.ru

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»
(МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра визуализации геоданных и картографического дизайна,
картографический факультет

канд. техн. наук

 0000-0002-1002-9806

Поступила 24.05.2025. Принята к публикации 23.06.2025. Опубликовано 27.06.2025.

UDC 528.9

DOI:10.30533/scidata-2025-16-06



Generation of Cartographic Representation Using Animation to Display the Dynamics of Climate Parameters (Using the Example of Thermal Conditions)

Aleksei A. Titov¹✉, Nailya M. Biktimirova¹

AFFILIATIONS

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

✉ altitks@yandex.ru

CITATION

Titov AA, Biktimirova NM. Generation of Cartographic Representation Using Animation to Display the Dynamics of Climate Parameters (Using the Example of Thermal Conditions). *Spatial Data: Science, Research and Technology*. 2025;16(1): 40–55. DOI:10.30533/scidata-2025-16-06.

KEYWORDS

cartography, climate, climate change, cartographic animation, climate maps

ABSTRACT

Multimedia cartographic works are becoming increasingly widespread. This paper reveals the features of creating cartographic animations that visualize climate data in the software Adobe Animate. The advantage of this application is its user-friendly interface, specially designed for creating various types of animations, as well as the ability to customize the transformation of animation elements, which is necessary when displaying dynamic parameters of climate maps. The advantages of cartographic animations over analog maps for visualizing the dynamics of climate change over time and space are noted. The method of animating isolines (including pseudo-isolines) is described. For example, the “Shape Tween” transformation type is considered, using

the function of creating “Shape Hints” for more accurate cartographic visualization of animated elements of thematic content. Animation acceleration (deceleration) modes are considered, such as: “No Ease” in which the transformation occurs at the same speed to visualize the general nature of changes in climatic conditions; “Sine” from the “Ease In Out” group for a more vivid display of the characteristics of climatic conditions over different time periods.

REFERENCES

1. Kartavtseva EN, Maloletko EA. Dinamicheskoe kartografirovaniye v mul'timediinykh kartograficheskikh proizvedeniyakh [Dynamic mapping in multimedia cartographic works]. *Selected Papers of the 68th University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists, Tomsk, April 19–23, 2022*. Tomsk: TSUAB; 2022: 789–792. (In Russian).
2. Berlyant AM, Ushakova LA. *Kartograficheskie animatsii* [Cartographic animations]. Moscow: Nauchnyi mir; 2000. 108 p. (In Russian).
3. Fisich BA, Novoselov DI, Malevan AYU. Analiz podkhodov k obrazno-znakovomu modelirovaniyu obstanovki dlya resheniya spetsial'nykh zadach [Analysis of approaches to symbolic modeling of the environment for solving special tasks]. *Geodesy and Cartography*. 2023;84(5): 34–42. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2023-995-5-34-42.
4. Radaman SK. Metodika sozdaniya televizionnykh kartograficheskikh animatsii dlya informatsionno-analiticheskikh programm televideniya [Methodology for creating television cartographic animations for information and analytical television programs]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2017;1: 81–87. (In Russian).
5. Fish CS. Cartographic content analysis of compelling climate change communication. *Cartography and Geographic Information Science*. 2020;47(6): 492–507. DOI:10.1080/15230406.2020.1774421.
6. Klasen V, Bogucka EP, Meng L, et al. How we see time – the evolution and current state of visualizations of temporal data. *International Journal of Cartography*. 2023;9(2): 392–409. DOI:10.1080/23729333.2022.2156316.
7. Roth RE. Cartographic design as visual storytelling: synthesis and review of map-based narratives, genres, and tropes. *The Cartographic Journal*. 2021;58(1): 83–114. DOI:10.1080/00087041.2019.1633103.
8. Abdullin RK, Shikhov AN. Kartografirovaniye sovremennykh izmenenii klimata na territorii Urala [Mapping of modern climate changes in the Urals]. *Geodesy and Cartography*. 2019;80(1): 3–12. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2019-943-1-3-12.
9. Titov AA, Biktimirova NM. Otsenka podkhodov k kartograficheskoi vizualizatsii klimaticheskikh dannyykh (na primere kartografirovaniya osadkov) [Evaluation of approaches to cartographic visualization of climate data (based on the example

of mapping precipitation)]. *Vestnik SSUGT*. 2025;30(3): 103–110. (In Russian).
DOI:10.33764/2411-1759-2025-30-3-103-110.

10. Gabrielyan TO. Vliyanie Adobe Creative Cloud na khudozhestvenno-proektnuyu deyatel'nost' dizainera-grafika [The influence of Adobe Creative Cloud on the artistic and design activities of a graphic designer]. *Vectors of Information Technology Development: Prospects and Directions: collection of abstracts of scientific articles from the First Regional Scientific and Practical Conference, Gurzuf, March 3–5, 2017*. Gurzuf: Lavrinenko E.V.; 2017: 18–21. (In Russian).

AUTHORS

Aleksei A. Titov

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Geodata Visualization and Cartographic Design, Faculty of Cartography
 0009-0001-5051-6430

Nailya M. Biktimirova

 biktimirovanm@mail.ru
Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Geodata Visualization and Cartographic Design, Faculty of Cartography
PhD in Engineering
 0000-0002-1002-9806

Submitted: May 24, 2025. Accepted: June 23, 2025. Published: June 27, 2025.



Методология стандартизации и трансформации гидрографических баз данных

М.К. Петросян¹✉, А.А. Маргарян¹, С.В. Товмасын¹

АФФИЛИАЦИИ

¹ Национальный университет архитектуры и строительства Армении, Ереван, Армения

✉ mariam__petrosyan@nuasa.am

ЦИТИРОВАНИЕ

Петросян М.К., Маргарян А.А., Товмасын С.В. Методология стандартизации и трансформации гидрографических баз данных // Пространственные данные: наука и технологии. 2025. Т. 16, № 1. С. 56–76. DOI:10.30533/scidata-2025-16-02.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

гидрографические данные, INSPIRE, инфраструктура пространственных данных, трансформация данных

АННОТАЦИЯ

В данной статье представлена методология преобразования гидрографических баз данных в соответствии с требованиями европейской директивы INSPIRE (англ. Infrastructure for Spatial Information in the European Community), которая выбрана в качестве эталона как наиболее детально разработанная спецификация данных гидрографии, комплексно охватывающая все критически важные элементы структуры гидрографических баз данных. Исследование фокусируется на технических аспектах применения трансформационного инструментария для приведения данных в соответствие с моделью «Гидрография» (англ. Hydrography) директивы INSPIRE, в частности с компонентом «Физические воды» (англ. Physical Waters). Детально описаны этапы процесса трансформации, технические задачи и их решения. Результаты исследования показывают, что предлагаемая методология позволяет эффективно адаптировать структуру гидрографических данных к европейским

стандартам с минимальной потерей информации и оптимальным использованием ресурсов. Последовательность методических шагов, представленная в данной работе, может быть использована не только для стандартизации баз данных, существующих в различных странах, в соответствии с требованиями INSPIRE, но и для общей стандартизации гидрографических данных на основе международных стандартов.

1 Введение

Развитие национальной инфраструктуры пространственных данных имеет критически важное значение для Республики Армения в контексте эффективного территориального управления, управления природными ресурсами и экологического мониторинга. Европейская директива INSPIRE (англ. Infrastructure for Spatial Information in the European Community), принятая в 2007 году, представляет собой комплексную основу для гармонизации пространственных данных и является передовой международной практикой в этой области¹. Выбор директивы INSPIRE в качестве эталона для трансформации гидрографических данных обусловлен тем, что это наиболее детально разработанная и всеобъемлющая спецификация в области гидрографических данных.

Тема гидрографических данных INSPIRE (англ. Hydrography) охватывает описание озер, рек и других водных объектов, а также связанных с ними явлений и всех гидрографических элементов [1]. Она имеет особое значение для управления водными ресурсами, рисками природных бедствий, а также для экологического планирования. Тема гидрографии INSPIRE разделена на три основных компонента: «Базовый» (англ. Core), «Сетевой» (англ. Network) и «Физические воды» (англ. Physical Waters). Настоящее исследование фокусируется на компоненте «Физические воды», который особенно важен для Армении, учитывая значимость водных ресурсов для развития страны.

Стоит отметить, что директива INSPIRE основана на серии международных стандартов ISO 19100 в области географической информации, разработанных техническим комитетом ISO/TC 211. Эти стандарты устанавливают структурированный набор требований для информации, касающейся объектов или явлений, которые прямо или косвенно связаны с местоположением относительно Земли². Стандарты ISO 19100 охватывают различные аспекты географической информации, включая модели данных, метаданные, качество данных, системы координат, сервисы и кодирование. Директива INSPIRE использует эти стандарты

¹ Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE) // Official Journal of the European Union. 2007. L 108. P. 1–14.

² ISO 19115-1:2014. Geographic information – Metadata. International Organization for Standardization, 2014. 167 p.

в качестве базовой основы для разработки технических спецификаций и руководств по реализации.

Следует учитывать, что INSPIRE представляет собой не только технический, но и управленческий проект. Как показывают современные исследования [2], ключевыми факторами успешной реализации инфраструктуры пространственных данных (ИПД, англ. Spatial Data Infrastructure, SDI) являются устойчивое управление, распределение ресурсов и адаптивные механизмы координации.

В Армении существует множество наборов гидрографических данных, хранящихся в различных ведомствах и организациях, однако их структуры, форматы и метаданные часто не соответствуют международным стандартам, что ограничивает обмен и интеграцию данных. Следует отметить, что в Армении уже разработан национальный стандарт на основе INSPIRE.

Целью настоящего исследования является разработка и тестирование технической методологии для приведения гидрографических данных Армении в соответствие с моделью «Физические воды» INSPIRE с помощью современных инструментов трансформации данных. Особое внимание уделяется согласованию моделей данных, обеспечению качества данных и методам автоматизированной трансформации для гидрографических объектов (водотоки, водные объекты и т.д.). Как отмечается в работе [3], эффективная реализация INSPIRE имеет решающее значение для современной инфраструктуры пространственных данных в области экологической политики.

Развитие национальных инфраструктур пространственных данных рассматривается как стратегическая необходимость для эффективного управления и устойчивого развития. В ряде исследований подчеркивается, что ИПД формирует основу для интеграции данных и принятия решений на разных уровнях управления [4]. При этом концепция ИПД продолжает эволюционировать, расширяясь от традиционных наружных геопространственных данных к интеграции с системами позиционирования внутри помещений, что создает новые возможности для комплексного управления пространственной информацией [5–7].

Важно отметить, что современное развитие ИПД в Европе выходит за рамки исключительно инфраструктурных задач и все чаще рассматривается в контексте формирования общеевропейских пространственных данных. Как подчеркивают исследователи [8], новые технологические тренды, включая участие частного сектора и гражданских инициатив, формируют основу для перехода от традиционных инфраструктур пространственных данных к более широким экосистемам данных.

2 Материалы и методы

Директива INSPIRE определяет 34 тематических слоя пространственных данных, сгруппированных в трех приложениях (Annexes I, II, III)³. Гидрография включена в приложение I и состоит из трех основных компонентов: «Базовый», «Сетевой» и «Физические воды». Компонент «Физические воды» описывает физическое представление гидрографических объектов, включая естественные и искусственные гидрографические элементы, такие как водотоки, стоячие воды, водно-болотные угодья и гидротехнические сооружения [1].

Технические спецификации INSPIRE для гидрографических данных основаны на ряде стандартов серии ISO 19100, которые обеспечивают базовую методологическую основу для организации пространственных данных. **Особенно важными для реализации модели гидрографических данных являются следующие стандарты:**

- ISO 19107 «Географическая информация. Пространственная схема» — определяет концептуальные схемы для описания пространственных характеристик географических объектов;
- ISO 19108 «Географическая информация. Временная схема» — определяет концепции для описания временных характеристик географической информации;
- ISO 19109 «Географическая информация. Правила для прикладной схемы» — устанавливает правила для создания и документирования схем приложений;
- ISO 19111 «Географическая информация. Привязка по координатам» — определяет концептуальную схему для описания пространственной привязки координат;
- ISO 19115 «Географическая информация. Метаданные» — устанавливает схему для описания географической информации и связанных с ней услуг;
- ISO 19136 «Географическая информация. Географический язык разметки (GML)» — определяет XML-схему для транспортировки и хранения географической информации.

Модель «Физические воды» INSPIRE определяет следующие основные классы объектов⁴:

- «Водоток» (англ. Watercourse) — естественный или искусственный водоток (река, ручей, канал);

³ Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE) // Official Journal of the European Union. 2007. L 108. P. 1–14.

⁴ D2.8.1.8. INSPIRE Data Specification on Hydrography – Technical Guidelines / INSPIRE Thematic Working Group Hydrography, 2014. Ver. 3.1.

- «Стоячая вода» (англ. StandingWater) — водный объект, окруженный сушей (озеро, водохранилище);
- «Водно-болотные угодья» (англ. Wetland) — низинная территория, часто покрытая водой;
- «Граница суша — вода» (англ. LandWaterBoundary) — граница между сушей и водным объектом;
- «Плотина или водослив» (англ. DamOrWeir) — преграда, построенная на водотоке для накопления воды;
- «Переход» (англ. Crossing) — конструкция, проходящая над водотоком (мост, акведук);
- «Брод» (англ. Ford) — мелкий участок водотока, который можно пересечь;
- «Шлюз» (англ. Lock) — участок канала, где уровень судов поднимается или опускается.

Для каждого класса объектов определены обязательные и необязательные атрибуты, геометрические представления и взаимосвязи в соответствии со стандартами ISO 19107 и ISO 19109. INSPIRE также требует соответствия метаданных стандартам ISO 19115/19119⁵ и предоставления сетевых сервисов в соответствии со стандартами Открытого геопространственного консорциума (англ. Open Geospatial Consortium, OGC): WMS (англ. Web Map Service), WFS (англ. Web Feature Service).

В процессе трансформации данных использовался инструментарий с открытым исходным кодом HALE (HUMBOLDT Alignment Editor), специально разработанный для приведения данных в соответствие с INSPIRE [9, 10]. Он позволяет осуществлять сопоставление схем (англ. schema mapping) и трансформацию данных в формат GML согласно ISO 19136. Инструментарий предоставляет графический интерфейс для создания соответствий между исходной и целевой схемами, а также может автоматизировать процесс преобразования данных согласно установленным соответствиям.

Как отмечают исследователи [9], HALE был разработан в рамках проекта HUMBOLDT для преодоления гетерогенности на синтаксическом, схематическом и семантическом уровнях: он обеспечивает инструменты для экспертов в предметной области. В некоторых работах [10] подчеркивается, что HALE формирует среду для концептуальной гармонизации геопространственных схем и данных, позволяя визуально анализировать данные и определять сложные трансформации.

Работа инструментария HALE состоит из следующих основных этапов:

- 1) загрузка исходной и целевой схем (XSD, GML);
- 2) автоматические и полуавтоматические предложения соответствий;
- 3) ручное уточнение соответствий;

⁵ D2.8.1.8. INSPIRE Data Specification on Hydrography – Technical Guidelines / INSPIRE Thematic Working Group Hydrography, 2014. Ver. 3.1.

- 4) создание и редактирование правил преобразования;
- 5) выполнение процесса преобразования;
- 6) валидация результатов и генерация отчетов.

Наше исследование включало следующие этапы:

- 1) инвентаризацию и анализ существующих гидрографических данных (изучение наборов гидрографических данных, анализ их структуры и атрибутов);
- 2) изучение модели «Физические воды» INSPIRE и соответствующих стандартов ISO (детальное изучение и анализ тематического слоя «Гидрография — Физические воды» INSPIRE и связанных стандартов ISO 19100);
- 3) определение соответствий (детальное определение соответствий между гидрографическими данными и моделью INSPIRE в среде HALE);
- 4) разработку правил трансформации (разработку алгоритмов и функций для сложных преобразований гидрографических объектов);
- 5) экспериментальную трансформацию (экспериментальное преобразование гидрографических данных выбранного речного бассейна);
- 6) валидацию результатов (проверку соответствия трансформированных данных с помощью инструментария валидации INSPIRE);
- 7) оценку эффективности (оценку качества, скорости трансформации и использования ресурсов).

3 Результаты

В исследовании процесс стандартизации гидрографических данных демонстрируется на примере Армении, где с 2022 года правовым регулированием была определена структура базы данных, в соответствии с которой осуществлялся сбор данных. **Эта структура включала три основных элемента:**

- «Реки» (англ. Rivers) — линейный или полигональный вид;
- «Озера» (англ. Lakes) — полигональный вид;
- «Водохранилища» (англ. Reservoirs) — полигональный вид.

Каждый пространственный слой имеет свои атрибуты.

Атрибуты рек:

- внешний идентификатор (Id);
- название реки (Name);
- длина реки (Length);
- месяц и дата (Date).

Атрибуты озер:

- внешний идентификатор (Id);
- название озера (Name);
- высота (Elevation);
- площадь (Area);

- средняя глубина (Average_Depth);
- максимальная глубина (Max_Depth).

Атрибуты водохранилищ:

- внешний идентификатор (Id);
- название водохранилища (Name);
- дата эксплуатации (Start_Date);
- площадь (Area);
- объем (Volume);
- дата вывода из эксплуатации (End_Date).

Компонент INSPIRE «Физические воды» является более сложной объектной моделью. На **рис. 1** представлено сравнение структуры данных существующей базы данных и модели INSPIRE «Физические воды», демонстрирующее различия в организации и сложности обеих моделей.

Анализ показывает, что существуют определенные несоответствия, в частности INSPIRE требует более расширенные атрибуты (например, inspireId, beginLifespanVersion, endLifespanVersion, hydrographicalPersistence, origin и др.); имеет более сложную иерархию гидрографических объектов; содержит обязательные атрибуты, которые отсутствуют в армянской модели; выдвигает более строгие топологические требования.

В процессе трансформации были применены следующие основные функции и алгоритмы:

- генерация InspireID (генерация соответствующих INSPIRE inspireId на основе армянских уникальных идентификаторов);
- создание объектов GeographicalName (названия, написанные на армянском языке, преобразуются в тип INSPIRE GeographicalName);
- преобразование геометрий (преобразование линейных и полигональных геометрий в формат GML в соответствии с требованиями INSPIRE);
- топологическая коррекция (топологические коррекции для рек с учетом направления потока воды и соединения узлов);
- преобразование кодовых значений (преобразование значений в соответствующие значения кодовых списков INSPIRE);
- генерация обязательных атрибутов (генерация отсутствующих обязательных атрибутов по предварительно определенным правилам; например, генерация атрибута levelOfDetail основана на масштабе данных);
- генерация LandWaterBoundary (создание из границ водотоков и водных объектов);
- создание метаданных (генерация метаданных стандарта ISO 19115/19119 согласно требованиям INSPIRE для всех трансформированных слоев).

Для наглядного представления процесса трансформации на **рис. 2** показана последовательность этапов преобразования экспериментальной базы данных, созданной на основе правового регулирования, в модель INSPIRE.

Рис. 1 Сравнительная структура гидрографических данных: существующая база данных и модель INSPIRE

Fig. 1 Comparative structure of hydrographic data: existing database and INSPIRE model

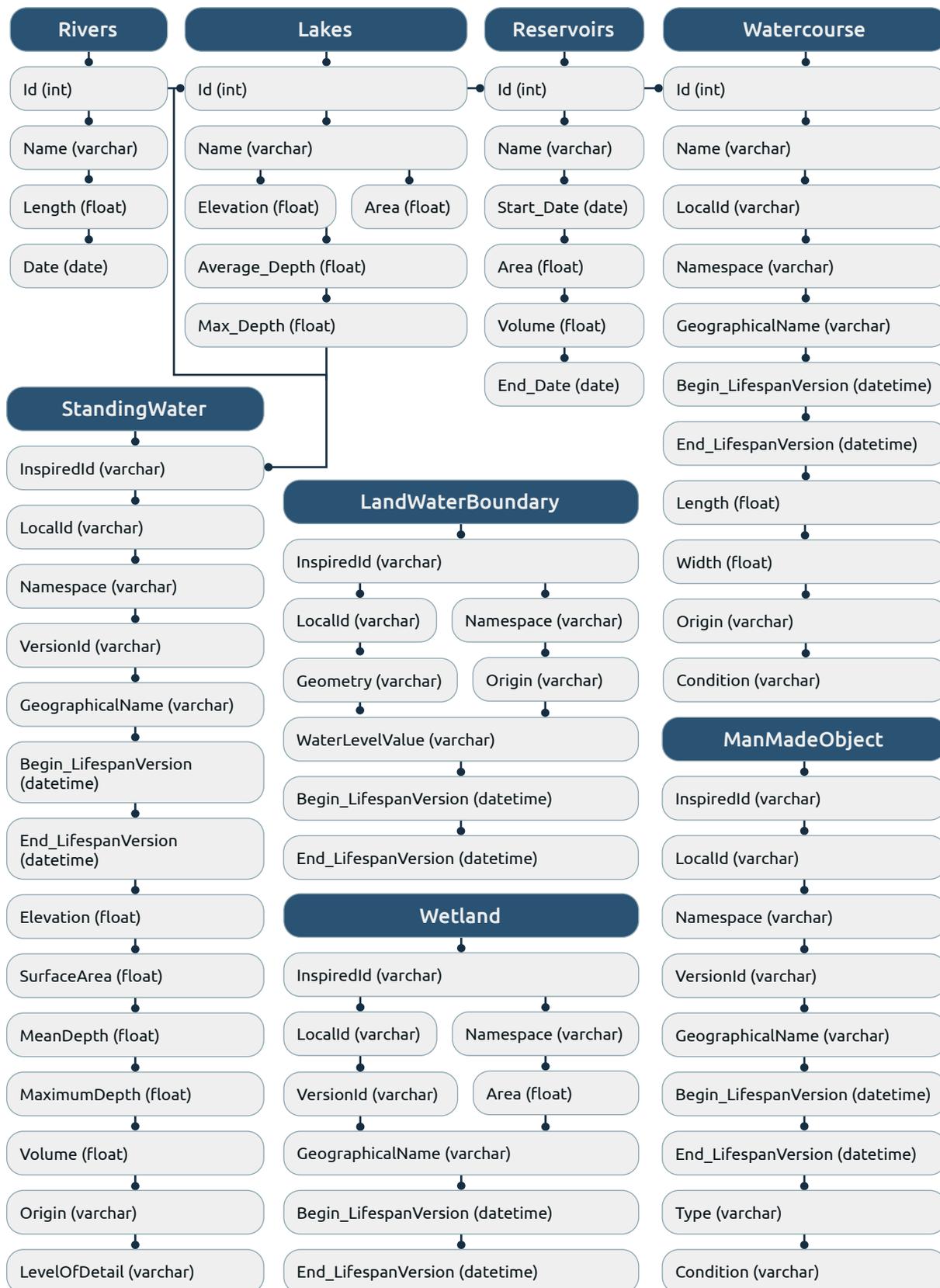


Рис. 2 Процесс трансформации экспериментальной гидрографической базы данных в модель INSPIRE

Fig. 2 Transformation process of experimental hydrographic database to INSPIRE model



Представленная схема иллюстрирует поэтапный процесс трансформации данных, начиная от исходной экспериментальной базы гидрографических данных, созданной на основе правового регулирования, через серию последовательных преобразований в конечную модель INSPIRE. Каждый этап трансформации решает определенную задачу приведения данных в соответствие с требованиями директивы INSPIRE. Критически важными этапами являются генерация уникальных идентификаторов в формате INSPIRE, создание структурированных географических названий и обеспечение топологической целостности данных. Пошаговый подход позволяет контролировать качество трансформации на каждом этапе и обеспечивает полное соответствие конечных данных спецификациям INSPIRE.

Для экспериментальной проверки был выбран бассейн озера Севан, который включает озеро, впадающие в него реки и водохранилища. Этот выбор обусловлен тем, что бассейн озера Севан представляет все элементы гидрографической сети Армении и имеет большое экологическое значение.

Поскольку доступ к официальным гидрографическим данным Армении ограничен, для создания экспериментальной базы данных были использованы открытые данные из проекта OpenStreetMap (OSM). Эти данные были структурированы в соответствии с требованиями правовых актов Армении, регулирующих структуру гидрографических данных. Такой подход позволил создать репрезентативную базу данных, удовлетворяющую национальным стандартам, для последующего сравнения с моделью INSPIRE и трансформации в нее.

Данные были импортированы в базу данных PostgreSQL/PostGIS и организованы в следующие слои:

- полигон озера Севан — извлечен из OSM с добавлением необходимых атрибутов согласно национальной структуре данных;
- линейный слой рек бассейна озера Севан — получен из OSM с последующей структуризацией;
- полигональный слой водохранилищ бассейна озера Севан — создан на основе данных OSM в соответствии с требуемой структурой.

Перед трансформацией была проведена предварительная очистка и проверка данных, выявлены и исправлены следующие проблемы:

- геометрические ошибки (например, самопересечения, перевернутые контуры), особенно характерные для данных из открытых источников;
- отсутствующие обязательные атрибуты (некоторые атрибуты, требуемые национальным стандартом, были созданы и заполнены на основе доступной информации);
- несоответствия кодовых значений (стандартизация кодов в соответствии с национальными требованиями);
- проблемы, связанные с направлением потока рек (коррекция направления потока на основе цифровой модели рельефа для обеспечения правильной топологии).

Использование открытых данных OSM и их структуризация в соответствии с национальными требованиями позволили создать экспериментальную базу данных, пригодную для тестирования методологии трансформации в модель INSPIRE. Этот подход демонстрирует возможность использования открытых данных для соответствия национальным и международным стандартам при отсутствии доступа к официальным базам данных.

Процесс трансформации был реализован с помощью инструментария HALE Studio и состоял из следующих этапов:

- 1) загрузки исходных данных (структурированные гидрографические данные бассейна озера Севан, созданные на основе OSM и организованные в соответствии с правовыми актами Армении, были загружены в инструментарий HALE);
- 2) загрузки схемы «Физические воды» INSPIRE (файл XML-схемы INSPIRE Hydrography был загружен в качестве целевой схемы);
- 3) определения соответствий (были определены линейные картографические соответствия между экспериментальной базой данных и моделью INSPIRE: реки → Watercourse; озера → StandingWater [natural origin]; водохранилища → StandingWater [manMade origin]);
- 4) создания функций (для сложных атрибутов [inspireId, geographicalName и т. д.] были созданы специальные функции; особое внимание было уделено корректному преобразованию армянских географических названий, полученных из OSM, в структуру GeographicalName INSPIRE с сохранением языковой информации);
- 5) трансформации (была выполнена трансформация данных в соответствии с форматом INSPIRE GML; процесс включал трансформацию как атрибутивных данных, так и геометрических представлений объектов);
- 6) проверки результатов (полученные GML-файлы были проверены валидатором INSPIRE для подтверждения соответствия требованиям директивы).

Процесс преобразования потребовал около трех часов для определения соответствий и 25 минут для самой трансформации. Использование данных из открытых источников, структурированных согласно национальным требованиям, позволило продемонстрировать эффективность методологии трансформации в реальных условиях и выявить особенности преобразования различных типов гидрографических объектов.

Полученные GML-файлы, соответствующие INSPIRE, были проверены валидатором INSPIRE, который показал следующие результаты:

- соответствие схеме — 98,5 %;
- топологическая корректность — 96,2 %;
- целостность атрибутов — 97,8 %;
- соответствие кодовым спискам — 95,3 %;
- соответствие метаданных — 100 %.

Основные проблемы были связаны:

- 1) с направлениями потока некоторых рек, которые присутствовали также в исходных данных;
- 2) топологическими связями (реки, которые должны быть соединены с озером Севан);
- 3) отсутствующими атрибутами (некоторые реки не имели значений длины).

4 Обсуждение

В процессе трансформации были выявлены важные технические задачи, требующие методологического решения для успешной гармонизации данных с моделью INSPIRE. Управление сложными атрибутами INSPIRE представляло значительную сложность из-за их иерархической структуры и строгих требований к форматированию. Эта задача была решена путем создания специальных функций преобразования в HALE на основе рекомендаций, представленных в работе [7]. Топологические аспекты преобразования потребовали применения специализированных алгоритмов топологической коррекции для обеспечения правильных соединений между водотоками и водными объектами, особенно в случаях, когда необходимо было сохранить направление потока и связи между элементами гидрографической сети бассейна озера Севан. Различия в представлении данных между исходной моделью и спецификацией INSPIRE потребовали разработки методов для корректного преобразования между разными геометрическими представлениями, включая трансформацию между линейными и полигональными объектами, что особенно важно для рек, которые могут быть представлены как линиями, так и полигонами в зависимости от своей ширины и масштаба. Проблема отсутствия обязательных атрибутов в экспериментальной базе данных, созданной на основе OSM, была решена через внедрение стратегий для автоматического заполнения отсутствующих атрибутов на основе существующих данных и предварительно определенных правил вывода. Это позволило соблюсти требования INSPIRE к полноте данных. Языковые различия и специфика армянского языка потребовали создания специальных механизмов для правильной обработки географических названий в структуре GeographicalName INSPIRE. Это обеспечивает корректное представление национальных символов и сохранение лингвистической информации. Идентифицированные технические задачи и разработанные решения имеют значительное сходство с проблемами, описанными в исследовании Д. Марковиновича (D. Marković) и его соавторов [3], где выявлены основные вызовы доступности и совместимости гидрографических и гидрогеологических данных в контексте внедрения INSPIRE в европейских странах, что подтверждает актуальность и универсальность разработанной методологии для различных региональных контекстов.

Наглядно различия между исходной моделью данных и моделью INSPIRE представлены в **табл. 1, 2**, а процесс трансформации — на **рис. 3**.

Рис. 3 Концептуальная модель трансформации данных

Fig. 3 Conceptual model of data transformation



Таблица 1 Сравнение структур атрибутов для водотоков

Table 1 Comparison of attribute structures for watercourses

Атрибут согласно существующей базе данных	Атрибут INSPIRE	Тип трансформации	Комментарий
Id	inspireId	Сложное преобразование	Необходимо создать структуру Identifier
Name	geographicalName	Сложное преобразование	Необходимо создать структуру GeographicalName
Length	length	Прямое соответствие	Единицы измерения должны быть в метрах
Date	beginLifespanVersion	Прямое соответствие	Для обеспечения однозначности и стандартизации формат даты следует выбирать в соответствии с ISO 8601
—	endLifespanVersion	Генерация	Может быть оставлен пустым
—	width	Генерация	Может быть заполнен приблизительными значениями
—	origin	Генерация	Устанавливается как natural для рек
—	level	Генерация	Определяется по расположению
—	condition	Генерация	По умолчанию functional

Таблица 2 Сравнение структур атрибутов для озер и водохранилищ

Table 2 Comparison of attribute structures for lakes and reservoirs

Атрибут согласно существующей базе данных	Атрибут INSPIRE	Тип трансформации	Комментарий
Id	inspireId	Сложное преобразование	Необходимо создать структуру Identifier
Name	geographicalName	Сложное преобразование	Необходимо создать структуру GeographicalName
Elevation	elevation	Прямое соответствие	Единицы измерения должны быть в метрах
Area	surfaceArea	Прямое соответствие	Единицы измерения должны быть в квадратных метрах
Average_Depth (озера)	meanDepth	Прямое соответствие	Единицы измерения должны быть в метрах
Max_Depth (озера)	maximumDepth	Прямое соответствие	Единицы измерения должны быть в метрах
Volume (водохранилища)	volume	Прямое соответствие	Единицы измерения должны быть в кубических метрах
Start_Date (водохранилища)	beginLifespanVersion	Прямое соответствие	Для обеспечения однозначности и стандартизации формат даты следует выбирать в соответствии с ISO 8601
End_Date (водохранилища)	endLifespanVersion	Прямое соответствие	Для обеспечения однозначности и стандартизации формат даты следует выбирать в соответствии с ISO 8601
—	origin	Генерация	natural — для озер, manMade — для водохранилищ
—	levelOfDetail	Генерация	Определяется на основе масштаба данных

На основе результатов исследования предлагается методологический подход к стандартизации гидрографических данных, который может служить основой для разработки национальных руководств по структурированию пространственных данных. Необходимо внедрение единой модели данных в организациях, работающих с гидрографическими данными, с учетом как международных стандартов, так и национальных особенностей. Предлагаемая модель должна сохранять все характеристики, специфичные для региональных гидрографических объектов, и одновременно обеспечивать соответствие общим принципам пространственной организации данных. Важным компонентом является создание универсальных кодовых списков для классификации гидрографических объектов с учетом региональных особенностей, таких как малые горные реки и родники,

характерные для горного рельефа. Следует обеспечить включение в структуру данных всех необходимых атрибутов, позволяющих однозначно идентифицировать и характеризовать гидрографические объекты, с разработкой правил заполнения и поддержания актуальности таких атрибутов. В целях оптимизации процесса стандартизации рекомендуется разработка централизованных веб-сервисов трансформации для автоматического преобразования существующих гидрографических данных в соответствии с единым стандартом, что позволит организациям без специализированных технических навыков эффективно гармонизировать свои данные. Необходимо создание детальных методических руководств по трансформации гидрографических данных, адаптированных к местной специфике, в том числе особенностям национальной топонимики и многоязычных наименований. Важным аспектом является разработка и внедрение строгих процедур проверки качества данных, включая топологические проверки и валидацию атрибутов. Для обеспечения интероперабельности с различными информационными системами следует создать стандартизированные сервисы визуализации и загрузки гидрографических данных.

Разработанные в рамках INSPIRE технические спецификации и созданные на их основе национальные руководства представляют собой ценный источник методического опыта, который может быть адаптирован для подготовки национальных стандартов в области пространственных данных. Важно, что данный опыт позволяет избежать дублирования усилий и использовать уже проверенные подходы к организации данных с учетом национальных приоритетов и особенностей.

Разработанная методология трансформации данных с использованием инструментария HALE демонстрирует высокий потенциал для применения не только к гидрографическим данным, но и к другим тематическим слоям пространственных данных. Предложенный подход может служить методическим руководством для стандартизации и гармонизации различных типов геопространственной информации, обеспечивая единообразие структуры данных и методов их обработки. Так, методология может быть адаптирована для стандартизации данных по землепользованию, транспортной инфраструктуре, административным границам, охраняемым территориям и другим тематическим категориям пространственных данных. Как отмечают исследователи [4], единообразие в структуре тематических слоев пространственных данных обеспечивает возможности для комплексного анализа и использования этих данных при решении различных прикладных задач.

При адаптации методологии к другим типам пространственных данных необходимо учитывать следующее. Для каждой тематической категории данных требуется определение соответствующей модели данных, отражающей особенности представляемых объектов и явлений. Важно принимать во внимание специфические атрибуты и взаимосвязи, характерные для разных типов пространственных объектов. Необходимо разрабатывать специальные правила

трансформации, учитывающие особенности геометрического представления и топологических отношений для различных категорий данных. Многие тематические слои имеют собственные системы классификации и кодирования, которые требуют специфических подходов к стандартизации.

5 Выводы

В настоящем исследовании была разработана и экспериментально проверена методология трансформации гидрографических данных с использованием инструментария HALE, могущая служить методическим руководством для стандартизации структуры пространственных данных. Анализ технических требований и спецификаций позволил выявить ключевые аспекты организации гидрографических данных, включая особенности атрибутивного состава, геометрического представления и топологических отношений. На основе этого анализа разработана последовательная методология трансформации, включающая определение соответствий между классами объектов, создание функций преобразования сложных атрибутов, топологическую коррекцию и генерацию метаданных.

Методология была успешно апробирована на экспериментальной базе данных, созданной для бассейна озера Севан с использованием открытых данных OSM, структурированных в соответствии с установленным правовым регулированием. Этот подход демонстрирует возможность применения общедоступных данных для создания стандартизированных наборов пространственных данных.

Результаты валидации трансформированных данных показали высокий уровень качества: соответствие схеме — 98,5 %, топологическая корректность — 96,2 %, целостность атрибутов — 97,8 %, соответствие кодовым спискам — 95,3 %, соответствие метаданных — 100 %. Выявленные в процессе валидации проблемы, связанные с направлением потока рек, топологическими связями и отсутствующими атрибутами, могут быть устранены путем дополнительной обработки исходных данных и совершенствования функций трансформации.

Предложены конкретные рекомендации для стандартизации гидрографических данных, включая разработку единой модели данных, создание универсальных кодовых списков, внедрение комплексных атрибутов и разработку сервисов трансформации. Была оценена применимость разработанной методологии для других типов пространственных данных, в результате выявлен потенциал этой методологии как общего подхода к стандартизации различных тематических слоев геопространственной информации.

Разработанная методология имеет практическую значимость как методическое руководство для стандартизации структуры пространственных данных различной тематической направленности. Дальнейшие исследования могут быть

направлены на автоматизацию процессов трансформации данных, оптимизацию топологической коррекции и развитие методологий для других тематических категорий пространственных данных.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Fichtinger A, Rix J, Schäffler U, et al. Data Harmonisation Put into Practice by the HUMBOLDT Project // International Journal of Spatial Data Infrastructures Research. 2011. Vol. 6. P. 234–260.
2. Sjoukema J.W., Samia J., Bregt A.K., et al. The Governance of INSPIRE: Evaluating and Exploring Governance Scenarios for the European Spatial Data Infrastructure // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2022. Vol. 11. No. 2. P. 141. DOI:10.3390/ijgi11020141.
3. Markovinović D., Cetl V., Šamanović S., et al. Availability and Accessibility of Hydrography and Hydrogeology Spatial Data in Europe through INSPIRE // Water. 2022. Vol. 14. No. 9. P. 1499. DOI:10.3390/w14091499.
4. Annoni A., Craglia M. Towards a European Spatial Data Infrastructure: Recommendations for Action from the GINIE project // Proceedings of the 6th Global Spatial Data Infrastructure Conference. Budapest, Hungary, 16–19 September 2002. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/228456920> (Accessed 12 May 2025).
5. Coleman D.J., Rajabifard A., Kolodziej K.W. Expanding the SDI environment: comparing current spatial data infrastructure with emerging indoor location-based services // International Journal of Digital Earth. 2016. Vol. 9. No. 6. P. 629–647. DOI:10.1080/17538947.2015.1119207.
6. Craglia M., Annoni A. INSPIRE: An innovative approach to the development of spatial data infrastructures in Europe // Research and Theory in Advancing Spatial Data Infrastructure Concepts. Redlands: ESRI Press, 2007. P. 93–105.
7. Vandenbroucke D., Biliouris D. Spatial Data Infrastructures in Europe: State of Play 2011. Leuven: K.U. Leuven Research & Development, 2011. 71 p.
8. Kotsev A., Minghini M., Tomas R., et al. From Spatial Data Infrastructures to Data Spaces – A Technological Perspective on the Evolution of European SDIs // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2020. Vol. 9. No. 3. P. 176. DOI:10.3390/ijgi9030176.
9. Reitz T., Templer S. An Environment for the Conceptual Harmonisation of Geospatial Schemas and Data // Proceedings of the AGILE'2012 International Conference on Geographic Information Science. Berlin – Heidelberg: Springer Verlag, 2012. P. 63–68.
10. Athanasiou S., Pirovolakis N., Androulidakis K., et al. Towards the Greek INSPIRE implementation: Challenges and next steps // International Journal of Spatial Data Infrastructures Research. 2021. Vol. 16. P. 1–25.

АВТОРЫ

Петросян Мариам Кимиковна

Национальный университет архитектуры и строительства Армении, Ереван, Армения
кафедра инженерной геодезии, факультет городского хозяйства и экологии

 0000-0002-2170-4715

Маргарян Ануш Ашотовна

 a_margaryan@nuasa.am

Национальный университет архитектуры и строительства Армении, Ереван, Армения
кафедра инженерной геодезии, факультет городского хозяйства и экологии
канд. техн. наук

 0000-0002-4754-4609

Товмасын Сурен Владимирович

 s.tovmasyan@nuasa.am

Национальный университет архитектуры и строительства Армении, Ереван, Армения
кафедра инженерной геодезии, факультет городского хозяйства и экологии
канд. техн. наук

 0000-0001-6939-9951

Поступила 14.05.2025. Принята к публикации 23.06.2025. Опубликовано 27.06.2025.

UDC 528.94

DOI:10.30533/scidata-2025-16-02



Methodology for Standardization and Transformation of Hydrographic Databases

Mariam K. Petrosyan¹✉, Anush A. Margaryan¹,
Suren V. Tovmasyan¹

AFFILIATIONS

¹ National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, Armenia

✉ mariam__petrosyan@nuaca.am

CITATION

Petrosyan MK, Margaryan AA, Tovmasyan SV. Methodology for Standardization and Transformation of Hydrographic Databases. *Spatial Data: Science, Research and Technology*. 2025;16(1): 56–76. DOI:10.30533/scidata-2025-16-02.

KEYWORDS

hydrographic data, INSPIRE, spatial data infrastructure, data transformation

ABSTRACT

This paper presents a methodology for transforming hydrographic databases to comply with the European INSPIRE Directive. The INSPIRE Directive has been selected as a reference standard because it represents the most detailed and comprehensive hydrographic data specification that covers all critical elements of hydrographic database structures. The research focuses on technical aspects of applying transformation tools to align data with the INSPIRE “Hydrography” model, particularly its “Physical Waters” component. The process stages, technical challenges, and their solutions are described in detail. The methodology was tested on an experimental database created for Lake Sevan basin using open data from OpenStreetMap (OSM), structured according to regulatory requirements. The results show that the proposed methodology effectively adapts

hydrographic data structures to European standards with minimal information loss and optimal resource utilization. This research can serve as a methodological guide for standardizing existing databases in various countries, not only in accordance with INSPIRE requirements but also for general standardization of hydrographic data based on international standards.

REFERENCES

1. Fichtinger A, Rix J, Schäffler U, et al. Data Harmonisation Put into Practice by the HUMBOLDT Project. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*. 2011;6: 234–260.
2. Sjoukema J-W, Samia J, Bregt AK, et al. The Governance of INSPIRE: Evaluating and Exploring Governance Scenarios for the European Spatial Data Infrastructure. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2022;11(2): 141. DOI:10.3390/ijgi11020141.
3. Markovinović D, Cetl V, Šamanović S, et al. Availability and Accessibility of Hydrography and Hydrogeology Spatial Data in Europe through INSPIRE. *Water*. 2022;14(9): 1499. DOI:10.3390/w14091499.
4. Annoni A, Craglia M. Towards a European Spatial Data Infrastructure: Recommendations for Action from the GINIE project. *Proceedings of the 6th Global Spatial Data Infrastructure Conference. Budapest, Hungary, 16–19 September 2002*. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/228456920> (Accessed 12 May 2025).
5. Coleman DJ, Rajabifard A, Kolodziej KW. Expanding the SDI environment: comparing current spatial data infrastructure with emerging indoor location-based services. *International Journal of Digital Earth*. 2016;9(6): 629–647. DOI:10.1080/17538947.2015.1119207.
6. Craglia M, Annoni A. INSPIRE: An innovative approach to the development of spatial data infrastructures in Europe. *Research and Theory in Advancing Spatial Data Infrastructure Concepts*. Redlands: ESRI Press; 2007: 93–105.
7. Vandenbroucke D, Biliouris D. *Spatial Data Infrastructures in Europe: State of Play 2011*. Leuven: K.U. Leuven Research & Development; 2011. 71 p.
8. Kotsev A, Minghini M, Tomas R, et al. From Spatial Data Infrastructures to Data Spaces – A Technological Perspective on the Evolution of European SDIs. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2020;9(3): 176. DOI:10.3390/ijgi9030176.
9. Reitz T, Templer S. An Environment for the Conceptual Harmonisation of Geospatial Schemas and Data. *Proceedings of the AGILE'2012 International Conference on Geographic Information Science*. Berlin – Heidelberg: Springer Verlag; 2012: 63–68.
10. Athanasiou S, Pirovolakis N, Androulidakis K, et al. Towards the Greek INSPIRE implementation: Challenges and next steps. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*. 2021;16: 1–25.

AUTHORS

Mariam K. Petrosyan

National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, Armenia

Department of Engineering Geodesy, Faculty of Urban Economy and Ecology

 0000-0002-2170-4715

Anush A. Margaryan

 a_margaryan@nuaca.am

National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, Armenia

Department of Engineering Geodesy, Faculty of Urban Economy and Ecology

PhD in Engineering

 0000-0002-4754-4609

Suren V. Tovmasyan

 s.tovmasyan@nuaca.am

National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, Armenia

Department of Engineering Geodesy, Faculty of Urban Economy and Ecology

PhD in Engineering

 0000-0001-6939-9951

Submitted: May 14, 2025. Accepted: June 23, 2025. Published: June 27, 2025.



Межсезонные колебания температуры и влажности почвы в 2024 году на мини-полигоне Кентор (Северный Тянь-Шань) по данным дистанционного зондирования Земли

К.С. Непейна¹✉

АФФИЛИАЦИИ

¹ Научная станция РАН в г. Бишкеке, Бишкек, Кыргызстан
✉ nepeina.k@mail.ru

ЦИТИРОВАНИЕ

Непейна К.С. Межсезонные колебания температуры и влажности почвы в 2024 году на мини-полигоне Кентор (Северный Тянь-Шань) по данным дистанционного зондирования Земли // Пространственные данные: наука и технологии. 2025. Т. 16, № 1. С. 77–92. DOI:10.30533/scidata-2025-16-03.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

температура, почвы, сезонные вариации, электросопротивление, влажность, TIRS, Sentinel, Landsat

АННОТАЦИЯ

В работе исследуются возможности дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для восстановления почвенных метеорологических условий при проведении магнитотеллурического мониторинга мини-полигона Кентор (Иссык-Атинский район, Чуйская область, Кыргызстан), где регулярные измерения проводятся с 2014 г., и связь с межсессионными вариациями влажности и температуры. С помощью спектрального анализа данных ДЗЗ

определены характеристики поверхностного слоя Земли в одном из центральных пунктов магнитотеллурического зондирования. Для изучения параметров земной поверхности выбран период наблюдений с марта до октября 2024 г. На примере календарного интервала (март–октябрь 2024 г.) выявлены различия метеорологических условий весной и осенью: в мае наблюдалась более влажная погода, тогда как к сентябрю повышалась температура поверхности и уменьшалась влажность почвы. Построены графики изменения параметра влажности (англ. Normalized Difference Moisture Index, NDMI) по данным спутника Sentinel-2 и температурных колебаний по данным спутника Landsat-9 (Thermal InfraRed Sensor) за полугодовой период при условии 50 %-ной облачности. Сделан вывод о разных состояниях почвенного слоя в межсезонье. Сопоставление данных NDMI и тепловых измерений подтвердило сезонные вариации, влияющие на достоверность интерпретации электромагнитных параметров. Показано, что использование ДЗЗ является перспективным инструментом для восстановления метеоусловий и учета сезонных факторов при расчетах электрического сопротивления почв, что повышает точность геофизического мониторинга и проектирования заземляющих устройств.

1 Введение

Актуальным направлением в настоящее время является изучение параметров почв и грунтов, влияющих как на условия проведения научных исследований, так и на эколого-аграрные показатели. Полученные данные позволяют выявить физические свойства почвы с целью ее дальнейшего окультуривания и предупреждения эрозии [1–4].

Для выполнения магнитотеллурических зондирований (МТЗ) с аппаратурой Phoenix MTU-5 необходимо следовать определенному алгоритму установки датчиков и электродов. Для установки приемных неполяризуемых электродов требуется заземлить их на небольшую глубину в соответствии с выбранной схемой измерений. Расстояние между электродами должно соответствовать требованиям используемой методики измерений.

На электросопротивление почв влияют различные факторы, включая влажность и структуру почвы, температуру, содержание солей и минералов и др.¹. Исследователи отмечают: «Сопротивление заземляющего устройства зависит от удельного сопротивления грунта, поэтому при расчетах проектирования и реконструкции по усилению заземляющих устройств необходимо учитывать структуру и слоистости грунтов, климатические условия региона» [5, с. 70]. Чаще всего используются экспериментально-расчетные результаты влияния свойств грунтов на величину их удельных сопротивлений [6]. Метеорологические условия, такие как количество осадков, температура и влажность воздуха, могут значительно влиять на электросопротивление почв. Изменения температуры

¹ IEEE Std 80-2013. IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding / IEEE Standards Association, 2015.

и содержание солей в почве также могут оказывать влияние на электросопротивление [7–11]. Вода является отличным проводником электричества. Эти колебания могут быть значительными в течение дня, сезона и года, что необходимо учитывать при интерпретации результатов измерений электросопротивления. Удельное сопротивление грунта также сильно варьируется в течение года из-за изменения количества влаги в почве и промерзания в зимний период. Наличие влаги в грунте существенно снижает удельное сопротивление грунта. **На основе вышеперечисленных факторов, от которых зависит электрическое сопротивление почв, были поставлены следующие задачи:**

- выбрать пример рабочего участка мониторинговых наблюдений;
- определить временной отрезок наблюдений;
- узнать тип поверхности, где ведутся наблюдения;
- изучить поведение параметров влажности и температуры по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Целями данного исследования являются восстановление метеорологических условий для приповерхностного (почвенного) слоя участка рассмотрения и установление закономерностей и обобщенных факторов при измерениях электрического сопротивления за полугодовой период 2024 года.

Для проверки возможности использования методов ДЗЗ для оценки метеорологических параметров предлагается выбрать тестовый пример в Чуйской области Кыргызской Республики (**рис. 1**). Чуйская область Кыргызстана характеризуется аридным типом ландшафтов. В основном на рассматриваемом участке преобладают сероземы — почвы, характерные для Чуйской долины Кыргызстана и формирующиеся в условиях засушливого климата с жарким летом². Преимущество использования температурных показателей по ДЗЗ — это значение температуры не воздуха, а именно поверхности Земли [12]. Недостатки использования метода — определенные даты фиксирования, ограничение по степени облачности и пространственное разрешение.

Рис. 1 Карта-схема расположения области исследований (Чуйская область, Кыргызстан)

Fig. 1 Schematic map of the research area (Chu region, Kyrgyzstan)



² Ильясов Ш., Забенко О., Гайдамак Н. и др. Климатический профиль Кыргызской Республики. Бишкек, 2013. 99 с.

2 Материалы и методы

Изучаемая в данном исследовании область — мини-полигон Кентор — это относительно ровная площадка, расположенная в предгорьях Киргизского хребта вблизи с. Норус (Иссык-Атинский район, Чуйская область, Кыргызстан) на высоте ~1800 м ниже уровня моря. С 2014 года полевой отряд глубинных магнитотеллурических зондирований Научной станции РАН в г. Бишкеке ежегодно проводит весеннюю и осеннюю сессии магнитотеллурического мониторинга на мини-полигоне Кентор по профилям «Центральный» (С1-С11) и «Восточный» (Е1-Е11, Е13-Е22, Е24, Е26) (**рис. 2**): «...локальные профили МТЗ пересекают предгорную Байтикскую впадину в субмеридиональном направлении, их протяженность составляет от 1,1 км (“Кентор-Центральный”) до 4,7 км (“Кентор-Восточный”), шаг зондирований от 100 до 200 м» [13, с. 135]. Примерная длительность измерений составляет около 10–20 ч. в каждом пункте наблюдения.

Данные геоэлектрические модели пересекают зоны активных разломов — Шамси-Тундукского и Байтикского. Началу работ всегда предшествует проведение калибровок регистраторов и датчиков с последующей тестовой записью. Мониторинг проводится по стандартной методике МТЗ с использованием аппаратуры Phoenix MTU-5 в наборе с электрическими диполями длиной 50 м и индукционными датчиками МТС-50 и неполяризуемыми электродами. Ориентации измерительных установок и их расположение полностью повторяли предшествующие полевые работы [14] (**рис. 3**). Обработку записей проводили в программе SSMT-2000 и в программе EPI-KIT геофизической компании ООО «Северо-Запад»³. В предыдущих работах были построены геоэлектрические разрезы для этой зоны до глубин ~3–4 км [15–16].

Обычно весенняя сессия приходится на май, а осенняя — на октябрь. Поэтому для демонстрации разницы метеорологических условий при проведении зондирований выберем отрезок наблюдений между мартом и октябрём 2024 года. Иногда работы осложняются неблагоприятными погодными условиями: ливнями, порывистым ветром.

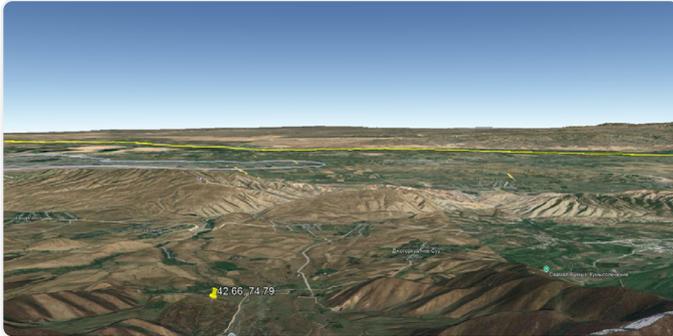
В результате режимных наблюдений был накоплен ряд геоэлектрических разрезов с характерными сезонными вариациями электромагнитных параметров по исследуемым профилям, что дало веские основания для обнаружения эффекта «размытия» границ геоэлектрических тел.

Вариации параметров геологической среды приводят к численным изменениям при расчете электрического сопротивления. Как следствие, наблюдаются незначительные трансформации основных геоэлектрических объектов, полученных при инверсии электромагнитных данных.

³ Северо-Запад: сервисная геофизическая компания: официальный сайт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nw-geo.ru> (дата обращения: 05.06.2025).

Рис. 2 Цифровые изображения из сервиса Google Earth⁴ для мини-полигона Кентор

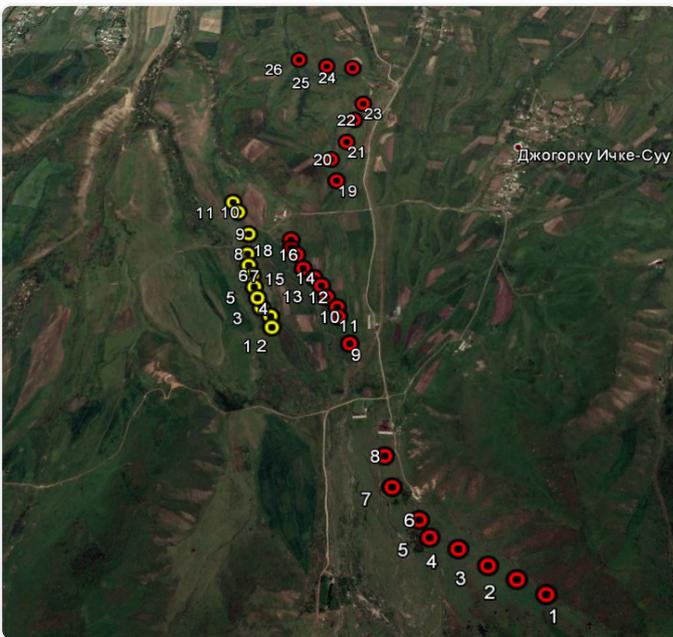
Fig. 2 Digital images from the service Google Earth⁴ for the Kentor mini test polygon



Общий вид с основными объектами инфраструктуры
(желтым маркером отмечен центр мини-полигона с координатами 42,66° с. ш., 74,49° в. д.)



Карта с основными объектами инфраструктуры жизнедеятельности



Расположение пунктов на профилях «Восточный» и «Центральный»
«Восточный» — желтые точки
«Центральный» — красные точки
(источник снимка — сайт НС РАН⁵)

⁴ Google Earth. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://earth.google.com> (дата обращения: 05.06.2025).

⁵ Научная станция РАН в г. Бишкеке: официальный сайт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gdirc.ru> (дата обращения: 05.06.2025).

Рис. 3 Типичный вид пункта наблюдений (источник фотографии — сайт ИС РАН⁶)

Fig. 3 Typical view of an observation point (photo from the website RS RAS⁶)



3 Результаты и обсуждение

Для того чтобы понять, какой тип (состав) грунтов находится на поверхности земли, где ведется мониторинг, в первую очередь изучаются полевые условия, материалы и цифровые фотографии, в том числе и спутниковые (например, Google Earth). Затем для уточнения обращаются к данным ДЗЗ и выбирают доступные инструменты. В данном случае, оценивая спектральные характеристики по данным Sentinel-2⁷ (рис. 4), можно судить о том, что получаемая кривая для центра мини-полигона (англ. point of interest) (светло-коричневая линия) ближе всего к голубой и коричневой кривым, отвечающим классам «трава» (англ. grass) и «почвы, коричневые пески» (англ. soil, brown sand) соответственно, по данным USGS Spectral Library, ECOSTRESS Spectral Library (NASA) [17]. Это на самом деле соотносится с почвами вперемешку с валунно-галечным

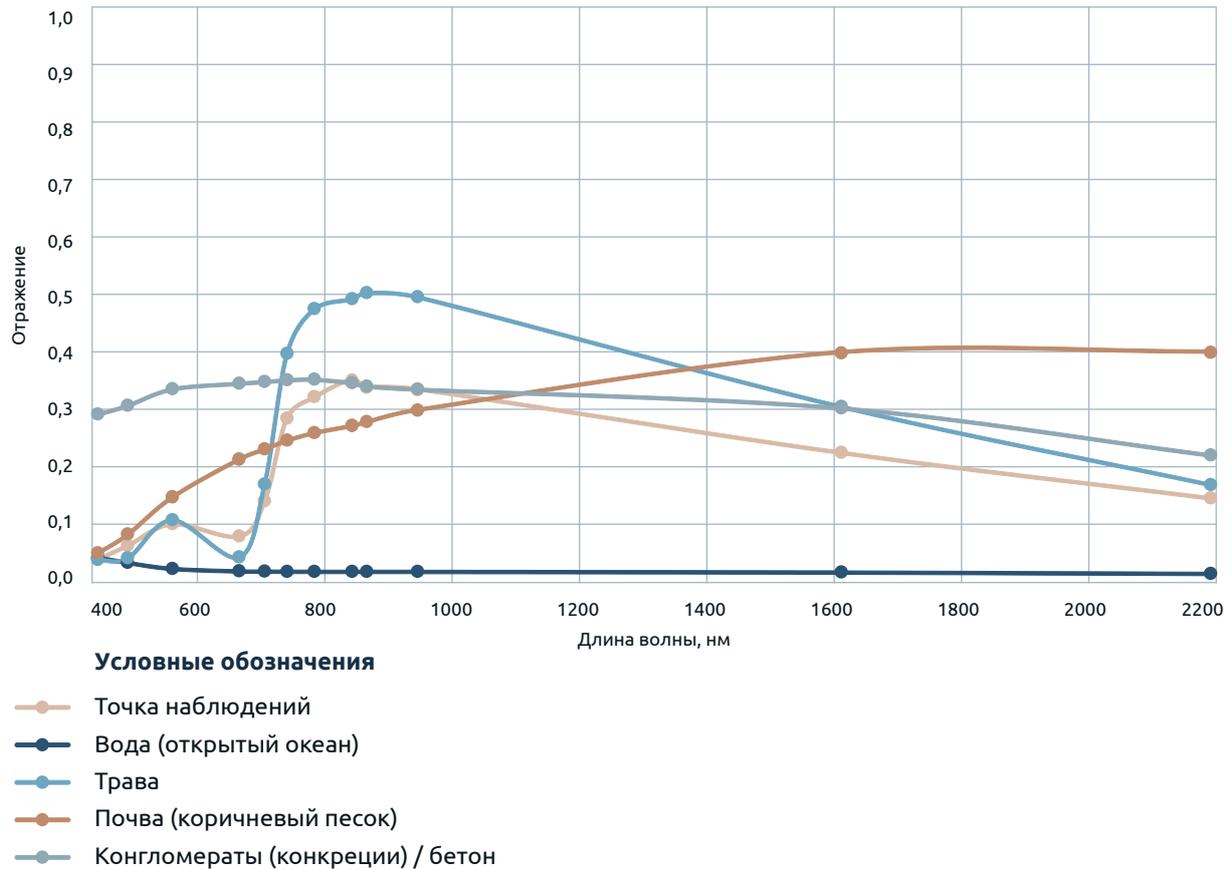
⁶ Научная станция РАН в г. Бишкеке: официальный сайт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gdirc.ru> (дата обращения: 05.06.2025).

⁷ Sentinel-2 Portal. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://apps.sentinel-hub.com> (дата обращения: 05.06.2025).

материалом, покрытым травой, судя по **рис. 3**, тем более что при проведении МТЗ необходим рыхлый грунт для заземления неполяризующихся электродов и прикапывания индукционных датчиков.

Рис. 4 Спектральные характеристики отражательной способности по спутниковым данным Sentinel-2, USGS Spectral Library, ECOSTRESS Spectral Library (NASA) для центра мини-полигона Кентор

Fig. 4 Spectral signatures based on satellite data from Sentinel-2, USGS Spectral Library, ECOSTRESS Spectral Library (NASA) for the center of the Kentor mini test site polygon



Согласно общепризнанной практике, для анализа влажности стоит выбрать нормализованный разностный индекс влажности (англ. Normalized Difference Moisture Index, NDMI / MI), который определяет уровень содержания влаги в растениях, используя комбинацию спектральных диапазонов в ближнем инфракрасном (NIR) и коротковолновом инфракрасном (SWIR) диапазонах, и является надежным индикатором дефицита влаги в почве. $MI > 0$ свидетельствует о влажных условиях: осадков больше, чем испаряется влаги (синий цвет). Если $MI < 0$, наблюдаются засушливые условия: испарение превышает количество осадков (красный цвет). Этот индекс получают по данным спутника Sentinel-2.

Для анализа температурных колебаний следует обратиться к каналам спутника Landsat 9. Один из сенсоров — Thermal InfraRed Sensor (TIRS) — работает в длинноволновом инфракрасном диапазоне, регистрирует поток теплового

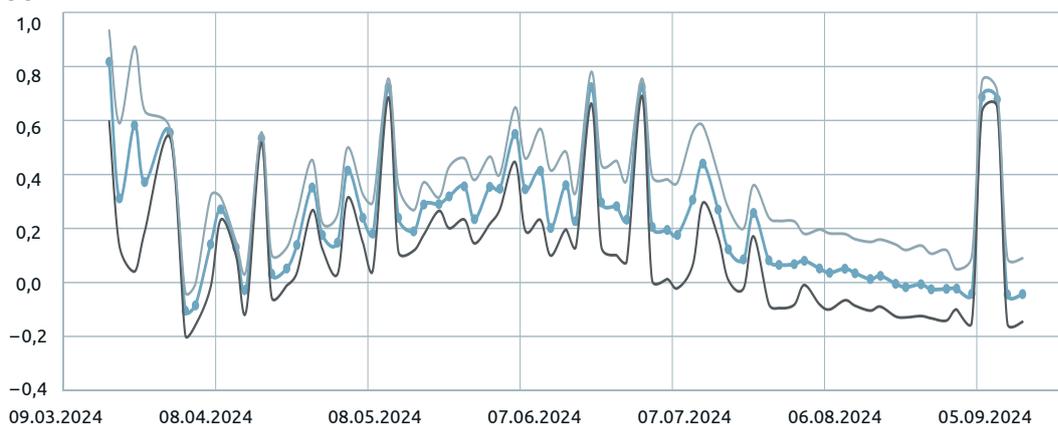
излучения и способен измерять колебания температуры земной поверхности (не атмосферы)⁸ [18]. Каналы Landsat 8 и 9 получают изображения с умеренным разрешением: от 15 до 100 м на пиксель. В данном случае сосредоточимся на обобщенной оценке для уточнения размаха температурных колебаний в зависимости от сезона.

Основные пороговые ограничения, которые были приняты для корректности выводов, — порог облачности на уровне не более 50% и перекрытие тайлов (снимков) не менее 70% для выбранной площади. На **рис. 5** показан график NDMI за полгода между сессиями магнитотеллурического мониторинга. Видно, что в мае была более влажная погода по сравнению с концом августа — началом сентября. На **рис. 6** показан разностный индекс NDMI на исследуемой площади. Из этого следует, что разные участки площади отличаются друг от друга по индексу влажности.

Рис. 5 График изменения индекса влажности (NDMI) мини-полигона Кентор за 6 месяцев по спутнику Sentinel-2 (показатель облачности 50%)

Fig. 5 Graph of the change in the Normalized Difference Moisture Index (NDMI) of the Kentor mini test polygon for 6 months according to the Sentinel-2 (cloudness 50%)

Для всей площади



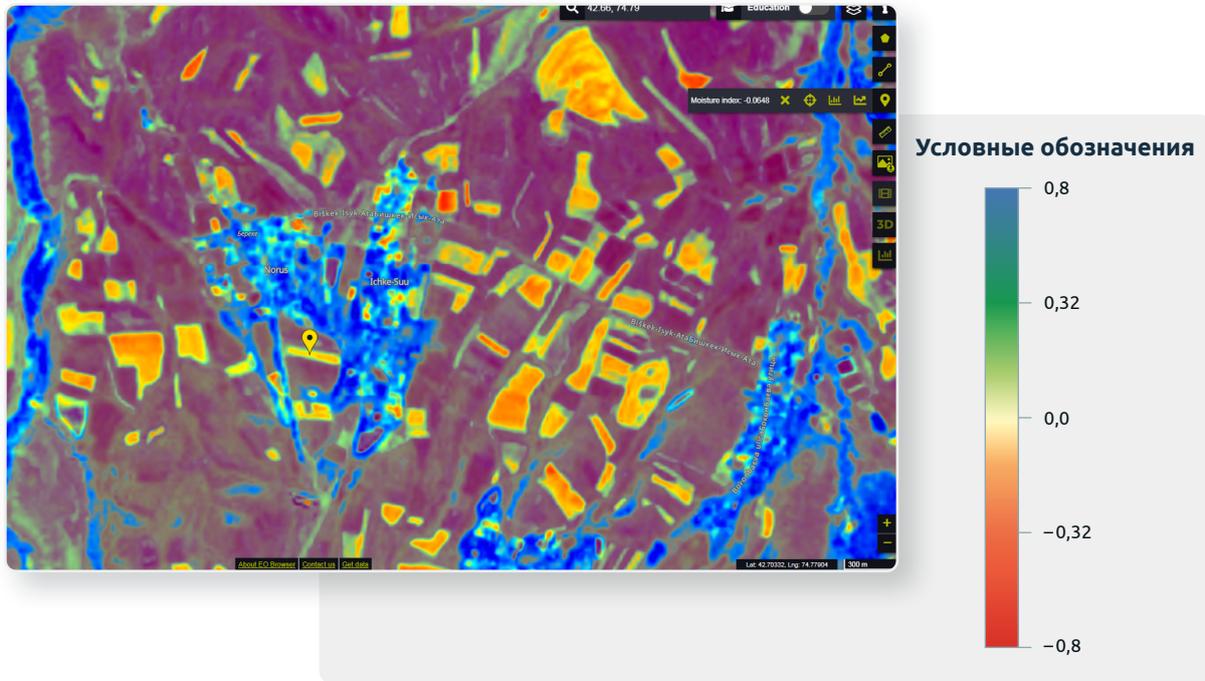
Для центра мини-полигона



⁸ EOS Landsat-8. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eos.com/ru/blog/kombinatsii-kanalov-landsat-8> (дата обращения: 05.06.2025).

Рис. 6 Разностный индекс NDMI между маем и сентябрем для села Норус (Иссык-Атинский район, Чуйская область, Кыргызстан)

Fig. 6 NDMI difference between May and September for the village of Norus (Issyk-Ata district, Chu region, Kyrgyzstan)



Теперь рассмотрим значения температуры поверхности, поскольку известно, что удельное сопротивление проводника зависит от температуры, согласно следующей формуле [19]:

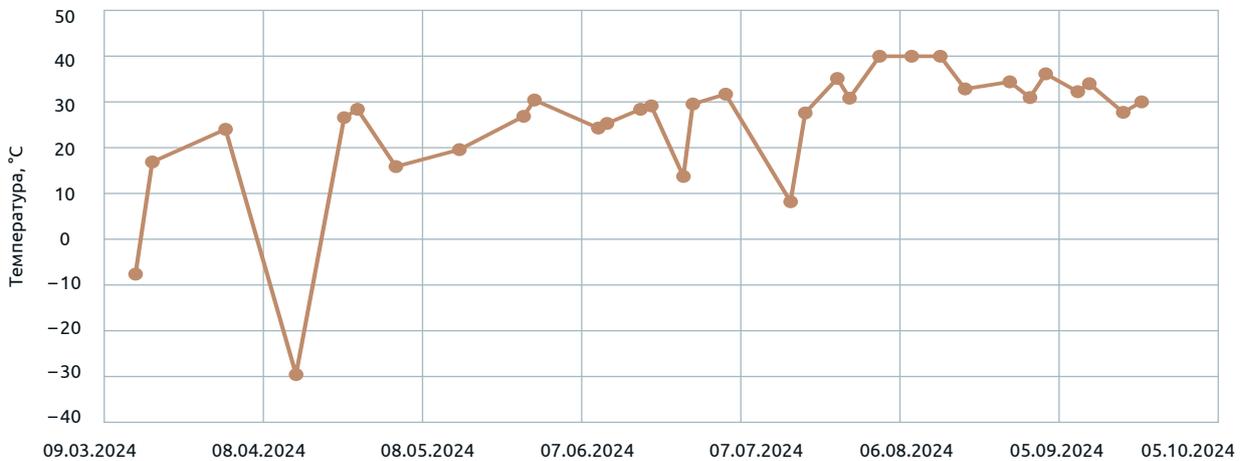
$$1 \quad \rho = \rho_0 \times (1 + at),$$

где ρ_0 — удельное сопротивление при 0°C , Ом \times м;
 a — температурный коэффициент сопротивления, град $^{-1}$ (т. е. относительное изменение удельного сопротивления проводника при его нагревании на один градус);
 t — температура, $^\circ\text{C}$.

Поведение (март–октябрь 2024 года) вариаций температуры, по данным ДЗЗ TIRS, показано на **рис. 7**. Заметно, что одно из значений (четвертое измерение слева) ошибочно: показывает сильно отрицательное значение (менее -30°C). Скорее всего, это связано с искажениями в результате облачности (параметр облачности выборки задан достаточно высоким: 50%). В остальном тепловой показатель ведет себя объяснимым образом, повышаясь от весны к осени, что соответствует климатическим условиям региона [20].

Рис. 7 Температура земной поверхности в марте–октябре по данным Landsat 8-9 (показатель облачности 50%)⁹

Fig. 7 Earth's surface temperature in March–October according to Landsat 8-9 (cloudness 50%)⁹



4 Выводы

Наглядно показано, что условия проведения магнитотеллурического мониторинга различны в соответствующие сезоны весны и осени, судя по данным ДЗЗ о состоянии почвенного слоя рассматриваемого мини-полигона Кентор. Сезонные вариации подстилающей поверхности в аридных условиях и их влияние на параметры электричества могут давать искажения в измерениях. Общая тенденция свидетельствует в пользу того, что со сменой сезона от весны к осени повышается температура земной поверхности и снижается ее влажность. Для продолжения работы следует проанализировать стандартизованный индекс осадков (англ. Standardized Precipitation Index, SPI) в целях сравнения результатов измерений электрического сопротивления от года к году в зависимости от метеоусловий. Недостатком данного метода является дискретность полученных данных: пролет спутника над заданной площадью осуществляется раз в 5 дней, а ограничение на параметр облачности уменьшает выборку показаний.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит проект DEvision¹⁰ за ознакомление с сервисами ДЗЗ и сотрудников кафедры геодезии и геоинформатики Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова за образовательный доступ к ArcGIS. Работа подготовлена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Научной станции Российской академии наук в г. Бишкеке (№ 1021052806445-4-1.5.1).

⁹ EOS Landsat-8. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eos.com/ru/blog/kombinatsii-kanalov-landsat-8> (дата обращения: 05.06.2025).

¹⁰ DEvision. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.devision.cloud> (дата обращения: 05.06.2025).

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Смагин А.В. Термодинамическая концепция физического качества почв // Почвоведение. 2021. Т. 55. № 9. С. 1033–1050. DOI:10.31857/S0032180X21090094.
2. Ivanova I. Soil moisture forecasting from sensors-based soil moisture, weather and irrigation observations: A systematic review // Smart Agricultural Technology. 2025. Vol. 10. 100692. DOI:10.1016/j.atech.2024.100692.
3. Lin W., Yang B., Han B., et al. A review of subsurface electrical conductivity anomalies in magnetotelluric imaging // Sensors. 2023. Vol. 23. 1803. DOI:10.3390/s23041803.
4. Afa J.T., Anaele C.M. Seasonal Variation of Soil Resistivity and Soil Temperature in Bayelsa State // American Journal of Engineering and Applied Sciences. 2010. Vol. 3. No. 4. P. 704–709. DOI:10.3844/ajeassp.2010.704.709.
5. Асанов А.К., Джолдошбеков Б.Ж., Джусупбекова Н.К. и др. Исследование влияния сопротивления грунта на сопротивление заземляющих устройств (на примере Нарынской области) // Проблемы автоматизации и управления. 2022. Т. 2. № 44. С. 70–76.
6. Дещеревский А.В., Модин И.Н., Сидорин А.Я. Сезонные вариации удельного электрического сопротивления в верхних слоях земной коры // Вопросы инженерной сейсмологии. 2018. Т. 45. № 3. С. 68–83. DOI:10.21455/VIS2018.3-6.
7. Непейна К.С., Юнусов А.И., Валуйский А.Ю. Количественные оценки корреляции суточных вариаций кажущегося сопротивления верхней части разреза по данным комплекса «Скала-48» // Проблемы геодинамики и геозкологии внутриконтинентальных орогенов: тезисы докладов IX Международного симпозиума, Бишкек, 24–29 июня 2024 г. Бишкек: Научная станция РАН в г. Бишкеке, 2024. С. 299.
8. Баталева Е.А., Рыбин А.К., Баталев В.Ю. Вариации кажущегося сопротивления горных пород как индикатор напряженно-деформированного состояния среды // Геофизические исследования. 2014. Т. 15. № 4. С. 54–63.
9. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Баталев В.Ю. и др. Вариации электросопротивления земной коры по результатам магнитотеллурического мониторинга сейсмоактивных зон Тянь-Шаня // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2011. Т. 11. № 4. С. 29–40.
10. Кириченко А.В., Кондрашкин Б.Е., Егоров Ю.В. и др. Изучение почвенно-грунтовой толщи с помощью новой технологии электроразведки // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2010. № 4. С. 36–40.
11. Мучкинова Л.И. Метод оценки электрического потенциала влажных почвогрунтов // Вестник Учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования. 2014. № 6. С. 235–247.
12. Abdulraheem M.I., Zhang W., Li S., et al. Advancement of Remote Sensing for soil measurements and applications: a comprehensive review // Sustainability. 2023. Vol. 15. No. 21. 15444. DOI:10.3390/su152115444.

13. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Матюков В.Е. Детализация геоэлектрической структуры зоны сочленения Чуйской впадины и Киргизского хребта (Миниполигон Кентор) // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2018. Т. 18. № 12. С. 134–140.
14. Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Баталева Е.А. и др. Особенности применения методов магнитотеллурического и магнитовариационного зондирования в горах Тянь-Шаня // Наука и технологические разработки. 2023. Т. 102. № 2-3. С. 4–39.
[DOI:10.21455/std2023.2-3-1](https://doi.org/10.21455/std2023.2-3-1).
15. Matiukov VE, Bataleva EA. Analysis of synchronous magnetotelluric and magnetovariational regime observations for the Kentor mini test polygon // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 929. 012023.
[DOI:10.1088/1755-1315/929/1/012023](https://doi.org/10.1088/1755-1315/929/1/012023).
16. Матюков В.Е., Баталева Е.А. Анализ синхронных магнитотеллурических и магнитовариационных данных для миниполигона «Кентор» // Проблемы геодинамики и геозкологии внутриконтинентальных орогенов: тезисы докладов VIII Международного симпозиума, Бишкек, 28 июня–2 июля 2021 г. Бишкек: Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, 2021. С. 231–233.
17. Fisher J.B., Lee B., Purdy A.J., et al. ECOSTRESS: NASA's Next Generation Mission to measure evapotranspiration from the International Space Station // Water Resources Research. 2020. Vol. 56. No. 4. e2019WR026058.
[DOI:10.1029/2019WR026058](https://doi.org/10.1029/2019WR026058).
18. Жантаев Ж.Ш., Ахмеджанов А.Х., Каипов И.В. Определение температурных полей земной поверхности по данным спутникового зондирования // Гидрометеорология и экология. 2010. № 2(57). С. 17–23.
19. Samouëlian A., Cousin I., Tabbagh A., et al. Electrical resistivity survey in soil science: a review // Soil and Tillage Research. 2005. Vol. 83. No. 2. P. 173–193. [DOI:10.1016/j.still.2004.10.004](https://doi.org/10.1016/j.still.2004.10.004).
20. Li Y., Song Y., Orozbaev R., et al. Moisture evolution in Central Asia since 26 ka: Insights from a Kyrgyz loess section, Western Tian Shan // Quaternary Science Reviews. 2020. Vol. 249. 106604. [DOI:10.1016/j.quascirev.2020.106604](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106604).

АВТОРЫ

Непеина Ксения Сергеевна

ФГБУН «Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке» (НС РАН),
Бишкек, Кыргызстан
лаборатория глубинных магнитотеллурических исследований
канд. геол.-минерал. наук

 0000-0003-0725-8023

Поступила 11.06.2025. Принята к публикации 23.06.2025. Опубликовано 27.06.2025.

UDC 528.8

DOI:10.30533/scidata-2025-16-03



Interseasonal Variations in Soil Temperature and Moisture in 2024 at the Kentor Minipolygon Test Site (Northern Tien Shan) Based on Remote Sensing Data

Kseniia S. Nepeina¹✉

AFFILIATIONS

¹ Research Station of the Russian Academy of Sciences in Bishkek, Bishkek, Kyrgyzstan
✉ nepeina.k@mail.ru

CITATION

Nepeina KS. Interseasonal Variations in Soil Temperature and Moisture in 2024 at the Kentor Minipolygon Test Site (Northern Tien Shan) Based on Remote Sensing Data. *Spatial Data: Science, Research and Technology*. 2025;16(1): 77–92. DOI:10.30533/scidata-2025-16-03.

KEYWORDS

temperature, soils, seasonal variations, electrical resistivity, moisture, TIRS, Sentinel, Landsat

ABSTRACT

The paper examines the capabilities of Remote Sensing of Environment (RSE) to reconstruct soil meteorological conditions during magnetotelluric monitoring of the Kentor minipolygon test site (Issyk -Ata district, Chu region, Kyrgyzstan), where regular measurements have been carried out since 2014, and its relationship with intersessional variations in moisture and temperature. Using spectral analysis of RSE data, the characteristics of the surface layer were determined at one of the central points of magnetotelluric sounding. On the example of a calendar interval (March–October 2024), differences in meteorological conditions in spring and autumn were revealed: humid weather was observed in May, while by September the surface temperature

increased and soil moisture decreased. The graphs of changes in the Normalized Difference Moisture Index (NDMI) were constructed based on Sentinel-2 satellite data and temperature fluctuations based on Landsat-9 Thermal InfraRed Sensor (TIRS) satellite data for a six-month period under 50% cloudiness. This comparison confirms seasonal variations affecting the reliability of the interpretation of electromagnetic parameters. It was shown that the RSE application is a promising tool for restoring meteorological conditions and taking into account seasonal factors when calculating the electrical resistivity of soils, which increases the accuracy of geophysical monitoring and design of grounding devices.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author thanks the DEvision project¹¹ for introducing remote sensing services and the staff of the Department of Geodesy and Geoinformatics of KSTU named after I. Razzakov for educational access to ArcGIS. The work is prepared on the topic state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the Russian Academy of Sciences number of the 1021052806445-4-1.5.1.

REFERENCES

1. Smagin AV. Termodinamicheskaja koncepcija fizicheskogo kachestva pochv [Thermodynamic concept of the physical quality of soils]. *Soil organic matter*. 2021;55(9): 1033–1050. (In Russian). DOI:10.31857/S0032180X21090094.
2. Ivanova I. Soil moisture forecasting from sensors-based soil moisture, weather and irrigation observations: A systematic review. *Smart Agricultural Technology*. 2025;10: 100692. DOI:10.1016/j.atech.2024.100692.
3. Lin W, Yang B, Han B, et al. A review of subsurface electrical conductivity anomalies in magnetotelluric imaging. *Sensors*. 2023;23: 1803. DOI:10.3390/s23041803.
4. Afa JT, Anaele CM. Seasonal variation of soil resistivity and soil temperature in Bayelsa State. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2010;3(4): 704–709. DOI:10.3844/ajeassp.2010.704.709.
5. Asanov AK, Joldoshbekov BJ, Dzhusupbekova NKI, et al. Issledovanie vlijanija soprotivlenija grunta na soprotivlenie zazemljajushhijh ustrojstv (na primere Narynskoj oblasti) [Study of the influence of ground resistivity on the resistance of grounding devices (by the example of the Naryn region)]. *Problemy avtomatiki i upravlenija*. 2022;2(44): 70–76. (In Russian).
6. Deshcherevskii AV, Modin IN, Sidorin AY. Sezonnnye variacii udel'nogo jelektricheskogo soprotivlenija v verhnij slozh zemnoj kory [Seasonal variations of specific electric resistivity in upper layers of the Earth crust]. *Problems of engineering seismology*. 2018;45(3): 68–83. (In Russian). DOI:10.21455/VIS2018.3-6.
7. Nepeina KS, Yunusov AI, Valuyskiy A.Yu. Kolichestvennyye otsenki korrelyatsii sutochnykh variatsiy kazhushchegosya soprotivleniya verkhney chasti razreza

¹¹ DEvision. Available from: <https://www.devision.cloud> (Accessed 5 June 2025).

- po dannym kompleksa "Skala-48" [Quantitative assessments of the correlation of daily variations in the apparent resistivity of the near-surface layer based on Skala-48 data]. *Abstracts of the IX International Symposium "Problems of geodynamics and geoecology of intracontinental orogens", Bishkek, June 24–29, 2024*. Bishkek: Research Station of the RAS in Bishkek; 2024: 299. (In Russian).
8. Bataleva EA, Rybin AK, Batalev VY. Variacii kazhushhegosja soprotivlenija gornyh porod kak indikator naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija sredy [Variations of rocks apparent resistivity as an indicator of stress-deformed state of the medium]. *Geophysical research*. 2014;15(4): 54–63. (In Russian).
 9. Rybin AK, Bataleva EA, Batalev VYu, et al. Variatsii elektrosoprotivleniya zemnoj kory po rezul'tatam magnitotelluricheskogo monitoringa seysmoaktivnykh zon Tyan-Shanya [Variations in the electrical resistivity of the Earth's crust based on the results of magnetotelluric monitoring of seismically active zones of the Tien Shan]. *Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University*. 2011;11(4): 29–40. (In Russian).
 10. Kirichenko AV, Kondrachkin BE, Egorov YV, et al. Izuchenie pochvenno-gruntovoj tolshhi s pomoshh'ju novoj tehnologii jelektrozvedki [Studying of soil-ground thickness by means of new technology of electroinvestigation]. *Lomonosov Soil Science Journal*. 2010;4: 36–40. (In Russian).
 11. Muchkinova LI. Metod ocenki jelektricheskogo potentsiala vlazhnyh pochvogruntoov [Method for assessing the electrical potential of wet soils]. *Bulletin of the Educational and Methodological Association for Education in the Field of Nature Management and Water Use*. 2014;6: 235–247. (In Russian).
 12. Abdulraheem MI, Zhang W, Li S, et al. Advancement of Remote Sensing for soil measurements and applications: a comprehensive review. *Sustainability*. 2023;15(21): 15444. DOI:10.3390/su152115444.
 13. Rybin AK, Bataleva EA, Matyukov VE. Detalizacija geoelektricheskoy struktury zony sochlenenija Chujskoj vpadiny i Kirgizskogo hrebta (Minipoligon Kentor) [Detailing the geoelectric structure of the junction zone of the Chu Basin and the Kyrgyz Ridge (Minipolygon Kentor)]. *Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University*. 2018;18(12): 134–140. (In Russian).
 14. Rybin AK, Batalev VYu, Bataleva EA, et al. Osobennosti primenenija metodov magnitotelluricheskogo i magnitovariacionnogo zondirovanija v gorah Tjan'-Shanja [Application features of magnetotelluric and magnetic-variation sounding methods in the Tien Shan mountains]. *Science and technological developments*. 2023;102(2–3): 4–39. (In Russian). DOI:10.21455/std2023.2-3-1.
 15. Matiukov VE, Bataleva EA. Analysis of synchronous magnetotelluric and magnetovariational regime observations for the Kentor mini test polygon. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;929: 012023. DOI:10.1088/1755-1315/929/1/012023.
 16. Matyukov VE, Bataleva EA. Analiz sinkhronnykh magnitotelluricheskikh i magnitovariatsionnykh dannyx dlya minipoligona "Kentor" [Analysis of synchronous and magnetovariational data for the Kentor mini polygon].

- magnetotelluric and magnetovariational data for the Kentor minipolygon test site]. *Abstracts of the VIII International Symposium "Problems of geodynamics and geocology of intracontinental orogens", Bishkek, June 28 – July 2, 2021*. Bishkek: Research Station of the RAS in Bishkek, 2021: 231–233. (In Russian).
17. Fisher JB, Lee B, Purdy AJ, et al. ECOSTRESS: NASA's Next Generation Mission to measure evapotranspiration from the International Space Station. *Water Resources Research*. 2020;56: e2019WR026058. DOI:10.1029/2019WR026058.
 18. Zhantayev ZhSh, Akhmedzhanov AKh, Kaipov IV. Opredelenie temperaturnyh polej zemnoj poverhnosti po dannym sputnikovogo zondirovaniya [Determination of temperature fields of the Earth's surface based on satellite sensing data]. *Hydrometeorology and Ecology*. 2010;2(57): 17–23. (In Russian).
 19. Samouëlian A, Cousin I, Tabbagh A, et al. Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil and Tillage Research*. 2005;83(2): 173–193. DOI:10.1016/j.still.2004.10.004.
 20. Li Y, Song Y, Orozbaev R, et al. Moisture evolution in Central Asia since 26 ka: Insights from a Kyrgyz loess section, Western Tian Shan. *Quaternary Science Reviews*. 2020;249: 106604. DOI:10.1016/j.quascirev.2020.106604.

AUTHORS

Kseniia S. Nepeina

Research Station of the Russian Academy of Sciences in Bishkek, Bishkek, Kyrgyzstan
Laboratory of Deep Magnetotelluric Investigations
PhD in Geology and Mineralogy

 0000-0003-0725-8023

Submitted: June 11, 2025. Accepted: June 23, 2025. Published: June 27, 2025.