



ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ШКОЛА-СЕМИНАР

СПУТНИКОВЫЕ МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ

**25 мая – 1 июня 2026 года
ИКИ РАН, Таруса**

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

**МОСКВА
ИКИ РАН
2026**

ISBN 978-5-00015-083-2

DOI: 10.21046/2070-7401-14Tarusa2026

**Четырнадцатая международная Школа-семинар
«Спутниковые методы и системы исследования Земли»**

ИКИ РАН, Таруса, 25 мая – 1 июня 2026 г.

Сборник материалов

Четырнадцатая международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» проходила в Тарусе, в представительстве «Интеркосмос» Института космических исследований РАН 25 мая – 1 июня 2026 г. Основная тематика в 2026 г. была посвящена различным аспектам спутниковых методов исследования атмосферы, водных объектов и наземных экосистем. Состоялось одиннадцать научных заседаний, в рамках которых было прочитано двенадцать лекций и сделано 20 докладов. В работе Школы-семинара приняли участие учёные, аспиранты и студенты из 14 научных организаций и высших учебных заведений.

С информацией о программе прошедшей Школы-семинара, включая ссылки на презентации и сборник материалов, можно ознакомиться по адресу http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026.html

**14th International School-Seminar
“Satellite Methods and Systems for Earth Exploration”**

IKI RAS, Tarusa, 25 May – 1 June 2026

Proceedings

The 14th International School-Seminar “Satellite Methods and Systems for Earth Exploration” took place in the town of Tarusa, at the Intercosmos representative office of Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences on May 25 – June 1, 2026.

The main topics in 2026 were devoted to various aspects of satellite methods of atmospheric, water and terrestrial ecosystems objects studies. Eleven scientific sessions were held, during which twelve lectures were delivered and 20 reports were made. Researchers, postgraduates and students from 14 scientific organizations and higher educational institutions took part in the School-Conference.

Information about the program of the School-Seminar, including links to the presentations and the collection of materials, can be found at http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026.html.

Электронная версия сборника размещена на сайтах ИКИ РАН

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026.html

и Российской научной электронной библиотеки <http://elibrary.ru/>

Сессия 1

ОТКРЫТИЕ ШКОЛЫ-СЕМИНАРА «СПУТНИКОВЫЕ МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ»

О. Ю. Лаврова

Институт космических исследований РАН, Москва, olavrova@cosmos.ru

Ключевые слова: международная Школа-семинар, дистанционное зондирование Земли, спутниковые методы исследования атмосферы, водных объектов, наземные экосистемы, нейронные сети, информационные сервисы

Во вступительном слове, посвящённом открытию Четырнадцатой международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли», обсуждались организационные вопросы, представлены участники и слушатели, была уточнена программа лекций и докладов, а также культурная программа. Отмечалось, что в работе Четырнадцатой международной Школы-семинара зарегистрировано 39 очных участников из следующих институтов РАН: Института космических исследований, Института океанологии им. П. П. Ширшова, Геофизического центра, Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов, Морского гидрофизического института, Фрязинского филиала Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова, Тихоокеанского института океанологии ДВО РАН; а также высших учебных заведений: Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники, Тверской государственный университет.

Школа-семинар проводится в рамках государственного задания ИКИ РАН (тема «Мониторинг», госрегистрация № 126031818938-6).

ВВЕДЕНИЕ В ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

С. А. Лебедев

Геофизический центр РАН, Москва, sergey_a_lebedev@mail.ru
Майкопский государственный технологический университет, Майкоп
Национальный исследовательский университет «Московский институт
электронной техники», Зеленоград, Москва

Ключевые слова: история развития, основные понятия, основные характеристики спутниковых программ, обработка данных ДЗЗ.

В лекции рассматриваются основы методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса. Дается определение дистанционному зондированию (*англ.* remote sensing), принятое на Генеральной Ассамблее ООН 3 декабря 1986 г. Подробно излагается хронология основополагающих научных открытий, возникновения и развития аэросъемки и космической съемки Земли. Рассматриваются Основные преимущества использования ДЗЗ (объективность, актуальность, масштабность, экстерриториальность, доступность). Анализируется электромагнитный спектр и использование различных его диапазонов в ДЗЗ исходя из взаимодействия их с атмосферой. Подробно рассматриваются классификация, характеристики (спектральное, пространственное, радиометрическое, временное разрешения) и предварительная обработка (геометрическая, радиометрическая, атмосферная коррекции, ортотрансформирование и т.д.) космических снимков, а также Международная классификация уровней обработки и представления данных ДЗЗ.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s01-26_Lebedev.pdf

Сессия 2

СПУТНИКОВАЯ АЛЬТИМЕТРИЯ — ОСНОВЫ МЕТОДА И ПРИЛОЖЕНИЯ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ

С. А. Лебедев

Геофизический центр РАН, Россия, Москва, sergey_a_lebedev@mail.ru
Майкопский государственный технологический университет, Майкоп
Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Москва

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, основы метода спутниковой альтиметрии, обработка данных, базы данных, приложения в науках о Земле

Лекция посвящена одному из активных методов дистанционного зондирования Земли из космоса — спутниковой альтиметрии. Кратко излагается этапы развития данного метода от исследования потенциальной возможности использования спутниковой альтиметрии в решении задач геодезии до современного этапа мониторинга состояния Мирового океана, внутренних и окраинных морей, крупных водоёмов и рек суши и создания принципиально новых типов альтиметров (лазерного, альтиметра с синтезированной апертурой, сканирующего альтиметра). Рассматривается геометрия классического метода зондирования в надири и синтезирования апертуры.

Излагаются алгоритмы ретрекинга (анализ форм отражённых импульсов), которые разделяются на эмпирические или параметрические, аналитические, статистические, региональные. Подробно рассматривается модель Брауна, которая является основой всех алгоритмических алгоритмов ретрекинга. Анализируются все необходимые поправки для уточнения высоты водной поверхности: «сухая» тропосферная поправка, поправка на влажность и ионосферная поправка, обусловленные рассеянием радиоимпульса молекулами газов, входящих в состав воздуха; поглощением электромагнитного излучения водяным паром и рассеянием радиоимпульса альтиметра свободными электронами и ионами ионосферы; поправка на состояние подстилающей поверхности (поправка на электромагнитное смещение). Подробно рассказывается о геофизических поправках (приливные поправки и поправка обратного барометра), учёт которых зависит от поставленной задачи.

Рассматриваются основные базы данных спутниковой альтиметрии в открытом доступе.

Кратко излагаются приложения данных спутниковой альтиметрии в геодезии и гравиметрии, батиметрии Мирового океана, геологии, океанологии, гляциологии, гидрологии суши и ландшафтоведении.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s02-26_Lebedev.pdf

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОЭНКОДЕРА И ПЛОТНОСТНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ФОРМ ОТРАЖЁННЫХ ИМПУЛЬСОВ АЛЬТИМЕТРА (НА ПРИМЕРЕ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)

В. Бордюжа¹, М. Н. Назаров¹, С. А. Лебедев^{1,2,3}

¹ Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Москва

² Геофизический центра РАН, Москва

³ Майкопский технологический университет, Майкоп

Ключевые слова: спутниковая альтиметрия, форма отражённого импульса альтиметра, автоэнкодер, латентное пространство, HDB-SCAN, кластеризация

Классификация форм отражённого импульса альтиметра (ФОИА) — один из важнейших этапов обработки данных спутниковой альтиметрии. В зависимости от её результатов выбирается соответствующий классу алгоритм ретрекинга (обработки формы отражённого импульса) (Yang et al., 2012).

В исследовании использовались ФОИА альтиметрических измерений спутников Jason-1/2/3 в частотных диапазонах Ku и C с акватории Рыбинского водохранилища за период с 17 января 2002 по 30 ноября 2020 г. Каждая ФОИА содержит 104 отсчёта, поэтому после объединения каналов одно наблюдение описывается 208 признаками. Обработано 3350 файлов, образующих 1675 пар Ku+C. Цель работы состояла в автоматическом выделении групп наблюдений со сходной формой сигнала без предварительной классификации.

Прямая плотностная кластеризация исходных данных затруднена высокой размерностью, случайными колебаниями амплитуды, смещениями пика и локальными искажениями. Для построения более устойчивого пространства признаков использован одномерный свёрточный автоэнкодер (Hinton, Salakhutdinov, 2006). Перед обучением сигналы Ku и C нормировались по максимуму независимо друг от друга и подавались в сеть как тензор размера (2, 104). Энкодер содержал свёрточные слои с 16-м, 32-м и 64-м каналами, функции активации ReLU (Nair, Hinton, 2010) и два слоя пулинга. Декодер выполнял обратное преобразование с помощью линейного слоя и транспонированных одномерных свёрток.

Модель обучалась по функции потерь SmoothL1Loss с параметром $\beta = 0,05$ (<https://docs.pytorch.org/docs/stable/generated/torch.nn.SmoothL1Loss.html>); для оптимизации применялся метод Adam (Kingma, Ba, 2015) с шагом 0,001. Данные 2020 г. использовались для валидации, остальные годы — для обучения. Сравнение латентных пространств размерности 8 и 32 показало, что 32-компонентное представление несколько точнее восстанавливает исходный сигнал, однако 8-компонентное представление лучше подавляет нестабильные детали и форми-

рует более компактную структуру для кластеризации. В итоговой схеме каждый исходный вектор из 208 значений заменялся 8 латентными признаками. После обработки всей выборки получена матрица размером (294340, 8).

Кластеризация латентных векторов выполнялась алгоритмом HDBSCAN (Campello et al., 2013), который не требует заранее задавать число групп и относит нетипичные наблюдения к шуму. Анализ проводился для всей выборки, сезонов и отдельных месяцев. Зимой выделено 5 кластеров при доле шума 3,87 %, летом — 4 кластера при 19,46 %. Весной и осенью доля шумовых точек возросла соответственно до 44,86 и 43,84 %, что указывает на повышенную неоднородность отражённого сигнала в переходные сезоны.

Месячный анализ подтвердил сезонную изменчивость. В январе—апреле доля шума составляла около 2–7 %, а большинство наблюдений входило в один крупный кластер. В мае—сентябре выделялось 5–6 кластеров, доля шума достигала 15–33 %. Максимальная неоднородность отмечена в октябре и ноябре: 45,63 и 47,43 % шумовых точек соответственно. Для каждого периода сформированы средние волновые формы в каналах Ku и C со стандартными отклонениями, а также таблицы координат и меток кластеров.

Предложенная схема объединяет нормировку волновых форм, нелинейное сжатие признаков свёрточным автоэнкодером и плотностную кластеризацию. Сильное сжатие действует как регуляризация: сохраняет устойчивые характеристики формы сигнала и уменьшает влияние локального шума. Полученные кластеры могут использоваться для пространственного и сезонного анализа типов отражённого сигнала, а ошибка реконструкции — для поиска редких и аномальных наблюдений.

По полученным результатам была сформирована база данных значимых высот волн для акватории Рыбинского водохранилища, которая будет полезна для исследования волнового режима водоёма.

Литература

- Campello R. J. G. B., Moulavi D., Sander J. Density-Based Clustering Based on Hierarchical Density Estimates // *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*. LNCS 7819. Springer, 2013. P. 160–172. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37456-2_14.
- Hinton G. E., Salakhutdinov R. R. Reducing the dimensionality of data with neural networks // *Science*. 2006. V. 313. P. 504–507. <https://doi.org/10.1126/science.1127647>.
- Kingma D. P., Ba J. Adam: A Method for Stochastic Optimization // *Proc. 3rd Intern. Conf. Learning Representations*. 2015. 13 p. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1412.6980>.
- Nair V., Hinton G. E. Rectified linear units improve restricted Boltzmann machines // *Proc. 27th Intern. Conf. on Machine Learning*. 2010. P. 807–814. <https://proceedings.mlr.press/v9/nair10a/nair10a.pdf>

Yang L., Lin M., Liu Q. et al. A coastal altimetry retracking strategy based on waveform classification and sub-waveform extraction // Intern. J. Remote Sensing. 2012. V. 33. No. 24. P. 7806–7819. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.701350>.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s02-26-Bordujia.pdf

СОПОСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ LANDSAT И СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ СВЯЗИ ПЛОЩАДИ И УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

А. В. Бочаров^{1,2,3}, А. Г. Костяной^{2,3,4}, С. А. Лебедев^{3,5,6}, С. И. Биденко⁷

¹ Тверской государственный университет, Тверь, bochalex@bk.ru

² Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва

³ Майкопский государственный технологический университет, Майкоп

⁴ Московский университет им. С. Ю. Витте, Москва

⁵ Геофизический центр РАН, Москва

⁶ Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Москва

⁷ АО «НПО «Импульс»

Ключевые слова: Каспийское море, площадь водного зеркала, уровень моря, Landsat

Для научно обоснованного прогноза возможных изменений уровня Каспийского моря требуется точный расчёт водного баланса. Одним из его важнейших компонентов является испарение, для оценки которого требуется знать площадь водного зеркала. Для определения площади Каспийского моря при расчёте водного баланса сначала использовались данные Д. М. Кудрицкого (1941), впоследствии данные, уточнённые Б. А. Аполловым (1956), и Р. В. Николаевой (1971). В пределах современных колебаний уровня моря, зависимость площади от уровня моря (гипсометрическая кривая) оказалась близка к линейной. З. К. Абузаровым (2006) было предложено линейное уравнение для расчёта площади Каспийского моря по его уровню. В видеоизменённом виде оно содержится в научно-методическом пособии под редакцией Е. С. Нестерова (Водный..., 2016), в котором содержатся ошибки. Также имеются оценки зависимости площади и уровня Каспийского моря, полученные более современными методами. В Институте водных проблем РАН была использована цифровая модель рельефа DEM Caspy-30, которая была получена ручной оцифровкой бумажных карт.

Целью данной работы является попытка оценки площади Каспийского моря по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и получение уравнений регрессии, показывающих, как площадь зеркала изменяется в зависимости от уровня воды Каспийского моря и залива Кара-Богаз-Гол.

Для оценки площади использовались данные сенсоров спутников Landsat-5, -7 и -8 высокого пространственного разрешения. Для минимизации влияния облачности использовались мозаики снимков за три летних месяца каждого года. Границы Каспийского моря и залива Кара-Богаз-Гол выделялись с использованием методики, основанной на разделении пикселей ближнего инфракрасного канала по пороговому зна-

чению (Бочаров и др., 2021). При этом пороговое значение было адаптировано под используемые продукты Landsat.

В исследовании рассматривается период с 1993 по 2025 г., который характеризуется снижением уровня моря на 2,6 м, начавшимся с 1995 г. На каждый год по усреднённым за три летних месяца данным Landsat были получены площади акватории Каспийского моря и залива Кара-Богаз-Гол. Площадь акватории соотносилась со средним уровнем воды за аналогичный период. В данной работе информация об уровне Каспийского моря получена из базы данных спутниковой альтиметрии HydroWEB. При сравнении данных HydroWEB с фактическими измерениями было установлено, что на постах бывшего СССР уровень в среднем ниже, чем по данным HydroWEB на 0,43 м, на иранских выше на 0,49 м. Данные альтиметрии были скорректированы на 0,43 м, чтобы приблизить их к средним значениям постов в Балтийской системе высот.

В результате были предложены уравнения регрессии (таблица), позволяющие рассчитывать площадь Каспийского моря и залива Кара-Богаз-Гол по уровню воды. Все полученные уравнения регрессии характеризуются очень высокой статистической связью между уровнем водоёмов и их площадью с коэффициентами детерминации 0,95–0,99. Авторы рекомендуют использовать полученные уравнения регрессии для расчёта площади Каспийского моря при уровнях от –26 до –29 м и для залива Кара-Богаз-Гол при уровнях от –27,1 до –31 м. В пределах исследованных колебаний уровня площади Каспийского моря и залива Кара-Богаз-Гол, полученные по данным ДЗЗ, оказались несколько ниже ранее опубликованных оценок других исследователей.

Зависимость площади Каспийского моря
и залива Кара-Богаз-Гол от уровня воды

Водный объект	Уравнение регрессии для расчёта площади	R^2
Каспийское море	$y = 11,139x + 680,24$	0,95
Кара-Богаз-Гол	$y = -0,2101x - 11,493x - 138,55$	0,99

Исследования по получению уравнений регрессии для расчёта площади Каспийского моря и залива Кара-Богаз-Гол выполнены при поддержке гранта Роррийского научного фонда № 23-77-00027 «Исследование климатической изменчивости термогидродинамического режима Каспийского моря по данным дистанционного зондирования», <https://rscf.ru/project/23-77-00027/>. Часть работы, связанная с установлением отклонений в измерении уровня моря на различных постах Каспийского моря и внесением поправки для альтиметрических данных выполнена в рамках темы Госбюджета FMWE-2026-0004 «Моделирование компонентов водного баланса Каспийского моря на перспективу до конца

XXI в. для оценки сценариев будущих изменений водного баланса. Разработка рекомендаций по адаптации населения и хозяйствующих субъектов к изменениям уровня Каспия».

Литература

- Абузаров З. К.* Роль составляющих водного баланса Каспийского моря в месячных и годовых приращениях его уровня // Тр. Гидрометцентра России. 2006. № 341. С. 3–27.
- Аполлов Б. А.* Колебания уровня Каспийского моря // Тр. ИОАН. 1956. Т. 15. С. 27–31.
- Бочаров А. В., Межеумов И. Н., Пахомов П. М. и др.* Территориальная дифференциация водных и наземных геосистем с использованием данных космических сенсоров // Гидрометеорология и экология. 2021. № 65. С. 726–737. DOI: 10.33933/2713-3001-2021-65-726-737.
- Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз / ред. Нестеров Е. С. М: Триада лтд, 2016. 378 с.
- Кудрицкий Д. М.* Площадь поверхности Каспийского моря // Тр. НИУ ГУГМС. 1941. № 1. С. 67–70.
- Николаева Р. В.* Новые морфометрические характеристики Каспийского моря // Бюл. МОИП. Отд. геолог. 1971. № 1. С. 143.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s02-26_Bocharov.pdf

Сессия 3

КАЛИБРОВКА РАДИОМЕТРА МТВЗА-ГЯ ПРИ ОТСУТСТВИИ ОПОРНОГО ГОРЯЧЕГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ

Д. С. Сазонов, И. Н. Садовский

Институт космических исследований РАН, sazonov_33m7@mail.ru

Ключевые слова: радиометрическая калибровка, МТВЗА, моделирование, перенос излучения

Одним из важных этапов предобработки данных, поступающих со спутника, считается внутренняя (антенная) и внешняя (радиометрическая) калибровка. Методика внутренней и внешней калибровки для прибора МТВЗА-ГЯ (модуль температурного и влажностного зондирования атмосферы) заключается в определении поправочных коэффициентов, связывающих сигнал прибора с радиояркостной температурой восходящего излучения системы «подстилающая поверхность – атмосфера» с помощью построения калибровочной прямой между известными «горячими» и «холодными» опорными источниками излучения.

В качестве холодных участков выбираются области, где значения радиояркостной температуры минимальны, такие области отмечаются над районами океана с температурой поверхности воды менее 12 °С, слабым ветром (менее 2–3 м/с), отсутствием облаков и низкими значениями паросодержания атмосферы. Для получения горячей калибровочной точки, выбираются области, где значения радиояркостной температуры максимальны, это дождевые широколиственные леса бассейна Амазонки.

В указанной методике для расчёта радиояркостной температуры для горячей опорной области, например, для лесов Амазонки, используются коэффициенты излучения, такие же, как для прибора SSMIS (*англ.* Special Sensor Microwave Imager/Sounder), предполагая, что излучение практически не зависит от угла наблюдения. В идеальном случае необходимо провести натурные многочастотные измерения коэффициента излучения суши на угле в 65°, однако таких измерений нет. Таким образом, в настоящее время нет достаточно точного способа внешней калибровки прибора МТВЗА-ГЯ.

В настоящей работе для построения калибровочной зависимости предлагается выполнить расчёт радиояркостной температуры для всех участков поверхности океана, в которых малая скорость ветра и свободная атмосфера. Предполагается, что корреляция между значениями рассчитанной по уравнению переноса излучения и измеренной радиояркостью будет линейной и перекроет практически половину диапазона возможных значений, тем самым обеспечит получение калибровочной прямой. Опорная горячая точка в данной методике может быть использована для оценки ошибок, которые могут возникнуть при продлении

калибровочной прямой в область высоких значений температур поверхности суши.

Для проверки работоспособности методики были проведены расчёты на калиброванных данных радиояркостной температуры прибора SSMIS. Набор данных был взят с ресурса AIRS (*англ.* Archive Information Request System) (<https://www.ncei.noaa.gov/has/HAS.DsSelect>). Расчёт выполнен только для частот 19,35; 22,235; 37,0 и 91,655 ГГц, так как только для этих частот есть значения излучательной способности лесов Амазонки. Для всех проанализированных частотных каналов величина корреляции более 0,99, а набор сравниваемых значений выстраивается в прямую линию (с небольшим отличием для частоты 91,65 ГГц) вдоль диагонали диаграммы рассеяния. Это значит, что модельные расчёты точно повторяют результаты измерений.

Предложенная методика построения калибровочной прямой на основе моделирования излучения системы «океан – атмосфера» при различных метеоусловиях пригодна для выполнения калибровки прибора SSMIS с приемлемым уровнем ошибок. Таким образом, предлагается использовать предложенную методику для калибровки прибора МТВЗА-ГЯ.

Также остаются вопросы, связанные с излучательной способностью земных покровов на угле визирования 65° . В настоящее время натурных измерений данного параметра нет, есть только модельные предположения. Поэтому стоит задуматься о проведении подобных подспутниковых измерений.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИКИ РАН (тема «Мониторинг», госрегистрация № 126031818938-6).

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s03-26_Sazonov.pdf

СИНТЕЗИРОВАНИЕ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ ГЕОРАДАРНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОСЕТИ С ЦЕЛЬЮ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ОБЪЕКТОВ

М. Е. Челядинов¹, В. Ю. Цепелев²

¹ Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Москва
matveichelyadinov@gmail.com

² Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Долгопрудный, Московская область

Ключевые слова: обучающая выборка, георадарные данные, нейросети, подповерхностные объекты

Обнаружение подповерхностных объектов с помощью георадара и нейронных сетей требует обширную обучающую выборку, получение которой в реальных условиях связано с огромными временными затратами и не охватывает всё разнообразие грунтов, форм и ориентаций объектов. Кроме того, полевые измерения ограничены сезонными условиями, а главное — для точной разметки данных (глубины, формы и материала цели) практически всегда требуется вскрытие грунта, что крайне трудоёмко, дорого и зачастую невозможно для опасных объектов. Существующие открытые датасеты слишком малы или получены в специфических условиях и не покрывают нужного многообразия.

Работа георадара основана на излучении короткого электромагнитного импульса в грунт и регистрации сигналов, отражённых от подповерхностных неоднородностей. Глубина объекта определяется по времени задержки отражённого сигнала. Скорость распространения волны в среде зависит от диэлектрической проницаемости ϵ : $v = c/\sqrt{\epsilon}$, где c — скорость света в вакууме. При движении антенны вдоль профиля расстояние до объекта меняется, и время пробега сигнала сначала сокращается, а затем увеличивается. Если антенна движется по оси x на высоте h над объектом, находящимся на глубине d , то время прихода отражённого сигнала описывается гиперболой: $t(x) = \frac{2}{v} \sqrt{(x - x_0)^2 + (d + h)^2}$, где x_0 — положение объекта по горизонтали. Именно эта зависимость даёт на радарограмме характерную дугу — гиперболу. Распознать в таких гиперболах конкретный предмет, его форму и материал крайне сложно как для человека, так и для традиционных алгоритмов. Картина дополнительно осложняется многочисленными переотражениями от границ слоёв, наложением сигналов от нескольких объектов и высоким уровнем шумов, что делает ручной анализ ненадёжным и неэффективным. Поэтому всё чаще применяют глубокие нейросети, но их обучение требует тысяч точно размеченных примеров.

В работе рассматривается синтезирование радарограмм с помощью пакета с открытым исходным кодом `grgMax`, который реализует конечно-разностный метод FDM (*англ.* Finite Difference Method) решения уравнений Максвелла во временной области и позволяет воспроизводить физику распространения электромагнитных волн в средах с различными диэлектрическими свойствами. Моделирование ведётся на частоте 1,1 ГГц с временным окном 50–80 нс и пространственным шагом сетки 5 мм, что обеспечивает достаточное разрешение для целей размером от нескольких сантиметров. Для массового создания сценариев разработан программный конвейер: параметрическое описание сцены через веб-интерфейс (FastAPI) поступает в очередь задач (Redis), параллельные исполнители (Celery Worker) с помощью шаблонов (Jinja2) автоматически формируют входной `.in`-файл для `grgMax`, запускают расчёт и сохраняют результаты в формате HDF5 (или `.out`). Полные метаданные каждого сценария регистрируются в базе данных PostgreSQL, что обеспечивает воспроизводимость и удобный поиск.

Сформирована база данных из нескольких тысяч сценариев, включающая металлические, каменные и пластиковые объекты в песке, глине и льде при разной влажности. База данных охватывает три вида влажности для песка и глины (0, 40 и 80 %), две базовые формы объектов (диск/прямоугольный брусок) различных размеров, глубины залегания 0 и 50 см, а также различные ориентации объектов.

Однако текущая модель содержит ряд осознанных упрощений: грунт считается однородным полупространством без слоистости и включений, поверхность идеально ровная, модель антенны упрощённая, отсутствует шум, а движение георадара — только линейное вдоль одного профиля. Эти ограничения пока не позволяют полностью воспроизвести всё многообразие реальных условий, но они будут последовательно сниматься в дальнейших этапах работы.

Первые испытания показали, что синтезированные радарограммы физически достоверно воспроизводят ключевые волновые эффекты: дифракционные гиперболы, переотражения, затухание в средах с потерями. Качественный анализ подтверждает, что синтетические радарограммы обладают теми же визуальными признаками, что и полевые данные.

Созданная база данных позволяет обучать нейронные сети и дополнить полевые измерения, снижая зависимость от дорогостоящих исследовательских работ на местности на ранних этапах разработки алгоритмов обнаружения. Дальнейшее использование базы данных включает предварительное обучение моделей на синтезированных данных с последующим дообучением на полевых, что позволит существенно сократить объём необходимых полевых экспериментов и количества затраченного времени.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s03-26_chelyadinov.pdf

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ДАННЫХ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

А. Е. Сорокин

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Москва, eugeneunknow78@gmail.com

Ключевые слова: температура поверхности моря, обычный кригинг, универсальный кригинг, метод обратных взвешенных расстояний, спутниковые данные, Чёрное море, Азовское море, Мраморное море

Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) — основные источники информации о температуре поверхности моря (ТПМ) для акваторий Чёрного, Азовского и Мраморного морей. Однако спутниковые данные, получаемые с радиометров MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) (Terra, Aqua) и VIIRS (*англ.* Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) (SNPP, *англ.* Suomi National Polar-orbiting Partnership), содержат пространственные пропуски, обусловленные облачностью, атмосферными помехами и сбоями аппаратуры. Наличие пропусков ограничивает прямое использование спутниковых наблюдений в численных моделях гидротермодинамики и системах ассимиляции данных.

Цель работы — сравнительный анализ точности обычного кригинга ОК (*англ.* Ordinary Kriging), универсального кригинга UK (*англ.* Universal Kriging) (Демьянов, Савельева, 2010; Chiles, Delfiner, 1999) и метода обратных взвешенных расстояний IDW (*англ.* Inverse Distance Weighted) (Shepard, 1968) при восстановлении пропусков в полях ТПМ. В задачи исследования входило: реализация алгоритмов интерполяции; проведение твин-экспериментов на реальных спутниковых данных; оценка влияния размера и геометрии пропусков; определение областей предпочтительного применения каждого метода.

В первом эксперименте температура удалена и восстановлена для 5 квадратных областей размером 50×50 узлов сетки. Вычислена средняя квадратичная ошибка MSE (*англ.* Mean Squared Error) и средняя абсолютная ошибка MAE (*англ.* Mean Absolute Error) за 50 экспериментов со случайно расположенными областями. По результатам эксперимента наилучшую точность показал метод IDW ($MSE = 0,1137$ (°C)², $MAE = 0,2339$ °C). Разница между обычным и универсальным кригингом не превысила 0,04 °C.

Целью второго эксперимента было определение максимального размера квадратной области, в которой температура восстанавливается с относительной погрешностью не более 1,5 % ($\delta = MAE/AVG(T) \leq 1,5\%$),

где $AVG(T)$ — средняя температура поля (*англ.* average); $MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N MAE_i$,

где MAE_i — средняя абсолютная ошибка i -го эксперимента; N — число экспериментов. Проведено 20 экспериментов с исключением квадратной области различных размеров. В данном эксперименте сравнивались только метод универсального кригинга и IDW, поскольку обычный кригинг превышает заданное δ при стороне области 75 узлов сетки. Установлено, что универсальный кригинг обеспечивает требуемую точность для квадрата со стороной 165 узлов сетки, тогда как IDW не более чем для 155 узлов.

В данных наблюдений, встречающихся на практике, пропуски могут иметь произвольную форму, отличную от квадратной, например, в случае облачности, поэтому третий эксперимент направлен на оценку влияния геометрии области восстановления на точность интерполяции. Метод обратных взвешенных расстояний показал лучшие результаты для геометрически сложных пропусков. На простых формах различия между методами незначительны.

В эксперименте 4 выполнено восстановление реальных пропусков данных. При пропуске небольшого числа точек (<100 000 из 524 590) универсальный кригинг позволяет восстанавливать температуру с достаточно хорошей точностью. Также стоит отметить, что для реальных пропусков невозможно определить, какой из методов точнее, поскольку IDW не имеет статистической оценки интерполяции.

По результатам экспериментов можно сделать следующие выводы. IDW предпочтителен для восстановления небольших и геометрически сложных пропусков. Универсальный кригинг лучше подходит для крупных областей пропусков и позволяет получить статистическую оценку точности восстановления.

Литература

Демьянов В. В., Савельева Е. А. Геоestatистика: теория и практика. М.: Наука, 2010. 327 с.

Chiles J. P., Delfiner P. Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty. N. Y.: Wiley-Interscience, 1999. 720 p.

Shepard D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data // Proc. 1968 23rd ACM National Conference. N. Y.: ACM, 1968. P. 517–524.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s03-26-Sorokin.pdf

Сессия 4

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБРАЗОВ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В СПУТНИКОВЫХ РАДИОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ

Д. М. Ермаков

**Институт космических исследований РАН, Москва
d.m.ermakov@cosmos.ru**

Ключевые слова: спутниковые радиофизические наблюдения; атмосферные процессы; полярные циклоны; моделирование; совместный анализ данных

Рассмотрены некоторые особенности формирования образов атмосферных процессов при наблюдении их со спутников в микроволновом диапазоне волн с использованием пассивных и активных приборов дистанционного зондирования Земли.

Во вводной части приведены сведения о способах классификации атмосферных процессов по масштабам, физические механизмы формирования образов этих процессов (рассеяние, поглощение, излучение электромагнитных волн) в микроволновом (СВЧ, сверхвысокочастотном) диапазоне спектра. Особое внимание уделено радиотепловым (пассивным) наблюдениям, поскольку их интерпретация часто может противоречить интуитивным ожиданиям исследователя, привыкшего работать с образами объектов, формирующимися в результате рассеяния естественного солнечного или радарного излучения.

В основной части доклада внимание сосредоточено на конкретном классе атмосферных процессов — полярных циклонов. Проведён обзор актуальных работ, описывающих полярные циклоны, как объект исследования комплексными средствами — контактными и дистанционными (корабельными, спутниковыми) наблюдениями в видимом, инфракрасном и микроволновом диапазонах, результатами усвоения этих данных в различных моделях (реанализа разного масштаба, модели отдельного полярного циклона). Приведены статистические данные по характерным значениям размера полярного циклона, величины минимального давления, максимальной скорости ветра, скорости дрейфа, аномалий температуры нижнего слоя атмосферы и поверхности океана, значимой высоты волн, времени существования, частоты образования в разные сезоны и над различными акваториями Северного ледовитого океана. Проиллюстрированы примерами и проанализированы основные особенности проявлений полярных циклонов в микроволновом диапазоне электромагнитных волн за счёт градиентов в полях интегрального влагосодержания атмосферы, приводного ветра, значимой высоты волн, интенсивности осадков и общего содержания гидрометеоров.

Подчёркнуто следующее:

- 1) радиофизические, в частности, СВЧ-радиометрические, наблюдения, несмотря на низкое пространственное разрешение, крайне полезны и востребованы при исследовании различных атмосферных процессов, в том числе — полярных циклонов;
- 2) в силу особых механизмов формирования, получаемые в таких наблюдениях «изображения» не всегда позволяют интуитивно понятную трактовку и требуют понимания основных закономерностей генерации и распространения микроволнового излучения в природных средах;
- 3) ИК- и СВЧ-«изображения», полученные синхронно, могут отражать «смещённые» фазы развития одного и того же процесса в силу инерции системы «океан — атмосфера» и чувствительности измерений к разным геофизическим параметрам;
- 4) атмосферные модели усвоения данных ДЗЗ пока не вполне удовлетворительно воспроизводят мезомасштабные атмосферные процессы, в связи с чем актуальность построения их климатологии на базе прямых спутниковых наблюдений не снижается.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 26-17-00386 «Система детектирования и определения характеристик полярных циклонов на основе средств дистанционного зондирования Земли и искусственного интеллекта».

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s04-26_Ermakov.pdf

ПОЛЯРНЫЕ ЦИКЛОНЫ В АРКТИКЕ. ЦИКЛОН НАД ЗАЛИВОМ АЛЯСКА В МАРТЕ 2026 ГОДА: СТРУКТУРА И ПАРАМЕТРЫ ПО МУЛЬТИСЕНСОРНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ ИЗ КОСМОСА

Л. М. Митник, А. В. Баранюк

Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН
Владивосток, lm_mitnik@mail.ru

Полярные циклоны (ПЦ) — это мощные мезомасштабные конвективные циклоны, которые образуются над арктическими морями вблизи от континентов или у кромки морского льда. Горизонтальный размер ПЦ составляет от 150 до 1000 км, а обусловленный ими приземный ветер может достигать 25–30 м, и даже превышать эти пределы. Облачность циклонов имеет форму запятой или спирали. Паросодержание атмосферы и водозапас облаков в области ПЦ невелики и, как правило, ниже 8–10 и 0,3–0,4 кг/м², соответственно. Отмечаются как жидкие, так и твёрдые осадки. Типичная продолжительность существования ПЦ составляет от 12 до 32 ч. Указанные характеристики полярных циклонов имеют непосредственное отношение к выбору типов спутниковых сенсоров. Прежде всего, к возможности восстановления по данным дистанционного зондирования содержания в атмосфере парообразной и капельной влаги и скорости приводного ветра как в области ПЦ, так и вокруг него, а также положения кромки и сплочённости ледяного покрова и структуры облачности независимо от времени суток с требуемым пространственным и временным разрешением. В последние десятилетия в связи с появлением новых сенсоров, совершенствованием моделирования переноса микроволнового излучения в системе «атмосфера — океан», расширением судоходства в Северном Ледовитом океане и арктических морях и новыми возможностями использования ИИ для практического применения исследования полярных циклонов активизировались. В докладе кратко рассмотрено развитие спутниковых сенсоров, используемых для обнаружения и оценки параметров ПЦ, приведены примеры применения преимущественно микроволновых пассивных и активных приборов при изучении жизненного цикла конкретных циклонов. С большей детальностью обсуждаются результаты зондирования спирального полярного циклона в заливе Аляска 17–19 марта 2026 г.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 26-17-00386 «Система детектирования и определения характеристик полярных циклонов на основе средств дистанционного зондирования Земли и искусственного интеллекта».

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s04-26_Mitnik.pdf

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ, ЛОКАЛИЗАЦИИ И ДИАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРОВ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ ПО ДАННЫМ МЕТЕОСПУТНИКА HIMAWARI

А. Н. Якушева

Институт космических исследований РАН, Москва
annayakusheva99@mail.ru

Ключевые слова: тропические циклоны, дистанционное зондирование, Himawari, инфракрасные изображения, глубокое обучение, ансамбль моделей, YOLO, RT-DETR, локализация центра, восстановление интенсивности

Оперативный мониторинг тропических циклонов (ТЦ) по спутниковым данным критически важен для прогноза, однако существующие подходы либо требуют участия оператора, либо разрознены. Цель работы заключается в создании единой автоматической системы по данным геостационарного спутника Himawari (инфракрасный канал, 10,3–11,2 мкм). Сформирована база более 47 тыс. изображений ТЦ четырёх океанических акваторий.

Модуль детектирования построен как ансамбль трёх моделей — бинарного свёрточного классификатора со скользящим окном, YOLO (*англ.* You Only Look Once) и RT-DETR (*англ.* Real-Time Detection Transformer) — с консенсусной логикой. Модуль локализации центра на основе свёрточной сети с пропуском соединений на тестовой выборке из 3593 изображений достиг средней абсолютной ошибки $0,27^\circ$ (29,77 км) при медиане $0,10^\circ$. Модуль восстановления интенсивности на выборке свыше 5000 изображений показал СКО (среднеквадратическое отклонение) 11,3 узла; выявлена систематическая регрессия к среднему. Дополнительно реализован алгоритм анализа формы глаза ТЦ методами компьютерного зрения.

Работа выполнена в рамках госзадания, тема «Мониторинг», госрегистрация № 126031818938-6.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s04-26_Yakusheva.pdf

Сессия 5

СПУТНИКОВОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ ПОГОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ЭКСТРЕМУМОВ: ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

М. К. Пичугин

Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН
Владивосток, pichugin.mk@gmail.com

Ключевые слова: мультисенсорное спутниковое зондирование, опасные погодные явления, тропические циклоны, внетропические циклоны, морские волны тепла, полярные мезоциклоны, прогноз погоды

Мониторинг и прогноз опасных погодных явлений и климатических экстремумов становятся одной из ключевых задач современной науки о Земле, поскольку эти явления наносят серьёзный ущерб инфраструктуре, создают риски для населения и приводят к деградации экосистем и морской среды. Доклад посвящён возможностям спутникового зондирования этих процессов в глобальном и региональном масштабах, в том числе для труднодоступных районов Арктики. Рассматриваются современные спутниковые измерения, используемые для мониторинга температуры поверхности океана, морских волн тепла, экстремальных ветров в тропических и внетропических циклонах, а также полярных мезоциклонов.

На примерах северной части Тихого океана и тихоокеанской Арктики показано, как мультисенсорные спутниковые данные позволяют выявлять экстремальные события, оценивать их интенсивность и анализировать пространственно-временные закономерности. В частности, данные спутника SMAP (*англ.* Soil Moisture Active Passive) применяются для выявления внетропических циклонов с ураганным ветром, а также для оценки качества воспроизведения характеристик тропических циклонов в современных реанализах.

Отдельно обсуждаются перспективы развития мультисенсорных подходов и внедрения методов искусственного интеллекта в задачах прогноза опасных погодных явлений. Модели Data-driven, такие как GraphCast, Pangu-Weather и FourCastNet, демонстрируют высокую точность прогноза ряда метеорологических полей на среднесрочных горизонтах, сопоставимую с ведущими численными моделями прогноза погоды. Однако для надёжного мониторинга и прогноза опасных явлений необходима согласованная интеграция спутниковых наблюдений, физически обоснованных численных моделей и реанализов, а также экспертной интерпретации результатов.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s05-26_Pichugin.pdf

Сессия 6

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНЕНИЯ ПОТОКОВ ВОДЯНОГО ПАРА И ИХ КОМПОНЕНТ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВОГО ПРОДУКТА SSMIS И РЕАНАЛИЗА ERA5

Я. О. Бахрамхан, Д. М. Ермаков, Е. В. Пашинов, С. А. Втюрин

Институт космических исследований РАН, Москва
ybahramhan@gmail.com

Ключевые слова: потоки водяного пара, интегральное влагосодержание атмосферы, ИВА, зональная/меридиональная компоненты переноса, спутниковое радиотепловидение, SSMIS, ERA5

Водяной пар — один из самых распространённых парниковых газов в земной атмосфере. Он играет заметную роль в процессе глобального потепления. Водяной пар вовлекается в атмосферные потоки, что приводит к перераспределению энергии в климатической системе Земли, вызывает смену погоды и влияет на водный баланс территории. Однако оценки потоков водяного пара, полученные методом реанализа, обладают систематическими смещениями. Альтернативные подходы к анализу данных дистанционного зондирования способны обеспечить независимую проверку реанализа на неточности.

В настоящей работе проведён анализ сопоставления потоков водяного пара и их компонент — интегрального влагосодержания атмосферы (ИВА) и зональной/меридиональной компоненты переноса, полученных на основе спутникового аппарата SSMIS (*англ.* Special Sensor Microwave Imager/Sounder) и реанализа ERA5 (*англ.* European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis Fifth Generation). Сравнение охватывает всю Землю за 2013–2020 гг. Для сопоставления переменных были рассчитаны карты средней невязки и среднеквадратического отклонения разницы, а также карты коэффициента корреляции Пирсона между рядами данных SSMIS и ERA5 для каждого узла сетки. На основе карт статистических характеристик выбраны четыре наиболее репрезентативные точки. Для них были построены графики временного хода и точечные диаграммы зонального потока пара, ИВА и зональной компоненты переноса.

Показано, что интегральное влагосодержание атмосферы на основе SSMIS подобно аналогичной переменной из ERA5. Практически для всего региона исследования и для четырёх отобранных точек коэффициент корреляции по ИВА достигает единицы, а средняя невязка и среднеквадратическое отклонение (СКО) разницы приближаются к околонулевым значениям. Таким образом, основные расхождения оценок зональной и меридиональной компонент потоков водяного пара обусловлены расхождениями оценок скорости его горизонтального переноса. В докладе выделены и рассмотрены особо случаи наибольших расхождений.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИКИ РАН
(тема «Эмиссия», госрегистрация № 125111112878-8).

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s06-26_Bakhramkhan.pdf

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИДАРНОГО ЭХО-СИГНАЛА МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

М. Н. Сидорова^{1,2}, С. В. Шеберстов², Д. И. Глуховец²

¹ Московский физико-технический институт, Москва
Sidorova.mn@phystech.edu

² Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва

Ключевые слова: морской радиометрический лидар, дистанционное зондирование, эхо-сигнал, оптические характеристики морской воды

Определение гидрооптических характеристик — немаловажная задача для различных приложений океанологии. Одной из основных является показатель ослабления света морской водой, который традиционно измеряют на станциях и вдоль маршрута судна проточными системами. При этом лидарное зондирование позволяет объединить достоинства этих методов: возможность получения информации о вертикальном распределении гидрооптических характеристик и высокое пространственное разрешение. Лидарный эхо-сигнал, приходящий на детектор, представляет собой совокупность характеристик морской воды и самого прибора. Для корректной интерпретации возникает необходимость в численном моделировании для нахождения точного решения нестационарного уравнения переноса, что для морской воды представляет собой нетривиальную задачу в связи с сильной вытянутостью индикатрисы рассеяния. Наиболее подходящим для этого является метод Монте-Карло.

В работе выполнен расчёт лидарных эхо-сигналов для случаев отсутствия стратификации гидрооптических характеристик при вариации значений показателей поглощения и рассеяния. Результаты расчёта сравнивались с данными, полученными с использованием лидара ПЛД-1 (532 нм, ко-поляризация) в 89-м рейсе Научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» в Карском море в сентябре 2022 г. Сравнение показало хорошее соответствие (значения показателя ослабления лидарного эхо-сигнала для расчётов и измерений составили 0,200 и 0,235 1/м соответственно). Данный подход позволяет определять значения показателя ослабления света морской водой.

Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда № 25-77-10065.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s06-26_Sidorova.pdf

НОВЫЙ ВАРИАНТ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИБОРОВ СЕРИИ МТВЗА-ГЯ

А. В. Клитная, И. Н. Садовский

Институт космических исследований РАН, Москва, Kl.va2002@mail.ru

Ключевые слова: дистанционное зондирование, СВЧ-радиометрия, МТВЗА-ГЯ, «Метеор-М» № 2-4, характеристики антенной системы, ориентация оптических лучей визирования, наблюдения солнечного диска

Работа посвящена улучшению алгоритма географической привязки измерений приборов серии МТВЗА-ГЯ (модуль температурного и влажностного зондирования атмосферы). В современном мире с улучшением технического прогресса возросло количество получаемой информации о внешней среде. Также возросло и качество получаемых данных. Поэтому стало необходимо корректировать и пересматривать старые методы обработки и хранения информации. Особенно это касается методов, помогающих изучать нашу планету.

Это относится и к спутниковым методам дистанционного зондирования Земли, которые приобрели широкое распространение. Поскольку они обладают высокой информативностью и возможностью проведения непрерывного глобального мониторинга. Среди них микроволновая радиометрия занимает особое место, поскольку обладает рядом особенностей, среди которых ключевыми являются всепогодность, независимость от освещённости, высокая чувствительность к вариациям физико-химических параметров исследуемых объектов. Помимо перечисленного, микроволновые радиометры имеют малое энергопотребление, что позволяет вести непрерывное наблюдение поверхности Земли и атмосферы.

Радиометр МТВЗА-ГЯ — единственный российский микроволновый радиометр, функционирующий на борту спутника-носителя «Метеор-М» № 2-4, находящегося на орбите Земли. Антенные системы прибора представляют собой однозеркальные параболические антенны с боковым облучателем рефлектора. Прибор МТВЗА-ГЯ обладает широким диапазоном частот, который требует использование нескольких физически разделённых облучателей, каждый из них оптимизирован в своей полосе. Этот подход неизбежно приводит к разделению ориентации максимумов излучения отдельных групп частотных каналов. Подобная реализация в идеале характеризуется одинаковым углом раскрыва конуса сканирования с угловым смещением в азимутальной плоскости, которое обусловлено физическим разнесением облучателей. Для устранения этого эффекта разработчики ввели операцию аппаратного смещения лучей, основанную на введении временных задержек для каждого из них.

На практике добиться идеального совпадения направлений для всех частотных каналов невозможно, что приводит к систематическим угловым расхождениям между ними. Поэтому расхождение в полученных данных необходимо будет устранять искусственно при дальнейшей обработке. Одним из первичных алгоритмов становится алгоритм географической привязки данных. Существующий алгоритм геопривязки для измерений приборов серии МТВЗА-ГЯ основан на предположении, основанном на идее о том, что введенные для прибора алгоритмы обеспечивают сонаправленность лучей визирования частотных каналов. При этом проблема разнонаправленности в алгоритме решается искусственным введением в процедуру географической привязки корректирующих углов крена, тангажа и рыскания прибора. При этом для получения лучшего результата необходимо вводить различные значения для каждой из групп частотных каналов. Но данный подход указывает на то, что для каждой группы частот должна быть своя ориентация в пространстве, что физически невозможно.

При этом если предположить, что указанная проблема не является критичной и использовать полученные результаты лишь из-за получаемой точности, то мы приходим к ряду проблем при расчёте дополнительных параметров, таких как угол встречи с Землёй и отклонение плоскости поляризации. Данные проблемы усугубляются при отклонении спутника от штатной ориентации.

Таким образом, возникает необходимость разработки нового варианта географической привязки измерений приборов серии МТВЗА-ГЯ, учитывающего различную ориентацию частотных каналов. Данный подход поможет избавиться от ошибок, указанных выше.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (тема «Мониторинг», госрегистрация № 126031818938-6).

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s06-26_Klitnaia.pdf

РАЗВИТИЕ МНОГОЛЕТНЕЙ БАЗЫ ДАННЫХ ИНТЕГРАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ И ПОТОКОВ ВОДЯНОГО ПАРА В АТМОСФЕРЕ

Е. В. Пашинов, С. А. Втюрин, Д. М. Ермаков

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия
pashinove@mail.ru

Ключевые слова: радиотепловидение, водяной пар, адвекция, скрытое тепло, поток, нейронные сети, длинные ряды

Водяной пар — основной парниковый газ на планете, переносчик энергии при интенсификации тропических циклонов, он может формировать атмосферные реки и приводить к катастрофическим осадкам. Все эти и многие другие сведения о водяном паре показывают актуальность исследования его содержания и динамики в глобальных масштабах атмосферы. В ИКИ РАН сформирована и поддерживается многолетняя база данных интегрального содержания и потоков водяного пара в атмосфере, основанная на радиотепловых спутниковых наблюдениях. База данных содержит глобальные поля интегрального влагосодержания (ИВС) и скорости его горизонтального переноса на глобальной сетке с разрешением $0,25 \times 0,25^\circ$ и временным разрешением в 3 ч. На сегодняшний день база данных покрывает период времени с 2012 по 2025 г.

В докладе подробно рассматриваются основные этапы обработки данных в процессе формирования базы. Схема обработки делится на два больших блока — радиометрический и динамический. Входными данными в радиометрический блок служат данные антенной температуры трёх спутников SSMIS (*англ.* Special Sensor Microwave Imager/Sounder) F16, F17, F18. Восстановление ИВС над всеми типами поверхности происходит с помощью полносвязной нейросети. Входом в динамический блок становятся глобальные поля ИВС на регулярной сетке с временным разрешением 12 ч, полученные на предыдущем этапе схемы. Далее они обрабатываются алгоритмом оценки оптического потока DIS (*англ.* Dense inverse search, opensv) и на выходе получаются плотные поля векторов динамики ИВС в каждом пикселе. Зная параметры динамики ИВС, проводится интерполяция глобальных полей ИВС по времени в линейном приближении динамики. Погрешность восстановления ИВС по всему земному шару оценивается в 2,4 мм. Также в докладе рассматриваются проблемы и перспективы дальнейшего развития базы данных.

Разработанная база данных является ценным научным инструментом и уже стала основой для 5 магистерских диссертаций и порядка 10 научных работ.

Работа выполнена при поддержке темы «Эмиссия» (госрегистрация № 125111112878-8).

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s06-26_Pashinov.pdf

Сессия 7

МОРСКОЙ ЛЁД И АТМОСФЕРНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ В РАЙОНЕ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ НА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ БОРТОВОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА СО СПУТНИКА «МЕТЕОР-М» № 2-4

Л. М. Митник¹, А. Л. Шлаферов²

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева
ДВО РАН, Владивосток, lm_mitnik@mail.ru

² Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи,
Ростов-на Дону

Ключевые слова: морской лёд, атмосферные образования, Северный морской путь, бортовой радиолокационный комплекс

Ключевыми условиями функционирования Северного морского пути (СМП) в суровых условиях Арктики имеют данные спутникового радиолокационного (РЛ) зондирования, их оперативное поступление и анализ в службе, обеспечивающей проводку судов. Запуск океанографического спутника «Космос-1500» 29 сентября 1983 г., положил начало функционированию оперативной системы всепогодных РЛ-наблюдений (спутников серии «Океан»). Бортовой радиофизический комплекс (РФА) спутников «Океан» включал радиолокатор бокового обзора (РЛС БО) X-диапазона с длиной волны 3,2 см, разрешением 1,5–2,0 км, микроволновый радиометр (РМ08) с длиной волны 0,8 см, разрешением 15 км и четырёхканальный (0,5–0,6; 0,6–0,7; 0,7–0,8; 0,8–1,1 мкм) оптический сканер малого разрешения (МСУ-М) с разрешением 1,5 км.

Комплекс РФА позволял проводить синхронную съёмку всеми дистанционными приборами (МСУ-М 0,8–1,1 мкм) в совмещённой полосе шириной 470 км. Всего за период 1983–2000 гг. на орбите функционировало 10 спутников серии «Океан».

Создание российского бортового радиолокационного комплекса (БРЛК) МетеоСАР космического аппарата (КА) «Метеор-М» № 2-4, запущенного 29.02.2024, стало продолжением работ по развитию радиолокаторов, установленных на спутниках серии «Океан». За 40 лет между КА «Космос-1500» и БРЛК МетеоСАР «Метеор-М» № 2-4 космическая техника значительно изменилась. Поэтому разработка всех функциональных узлов БРЛК МетеоСАР проводилась с учётом новейших технологий. БРЛК МетеоСАР предназначен для всепогодного мониторинга ледяного покрова в районе трассы СМП.

Основные технические характеристики МетеоСАР: РЛ-съёмка осуществляется на длине волны 3 см (X-диапазон), на вертикальной (V, *англ. vertical*) поляризации при передаче и приёме сигналов (VV). Пространственное разрешение 1000 м в режиме съёмки низкого разрешения (СНР) и 500 м в режиме съёмки среднего разрешения (ССР), ширина полосы обзора — 600 км. Для мониторинга ледяного покрова

используется режим ССР-О, реальное значение которого составляет 400 м.

В БРЛК МетеоСАР реализовано два вида модуляции зондирующего сигнала: линейно-частотная (ЛЧМ) и фазово-кодированная (ФКМ). Использование ЛЧМ-сигналов обеспечивает выполнение заданных требований к динамическому диапазону измеряемых значений удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР), а использование ФКМ-сигналов позволяет улучшить пространственное разрешение БРЛК. Для мониторинга трассы СМП использовалась ЛЧМ модуляция.

Изменчивость яркости РЛ изображений БРЛК обусловлена вариациями шероховатости (УЭПР) подстилающей поверхности. Вариации шероховатости, в свою очередь вызваны изменением сплочённости, типов и состояния снежно-ледяного покрова, скорости и направления приводного ветра. При просмотре РЛ-изображений СМП за 2014–2016 гг. для последующего анализа были отобраны ситуации, на которых были зарегистрированы вариации, вызванные пространственными изменениями характеристик ледяного покрова и поля приводного ветра. В докладе это было подтверждено сопоставлением РЛ-изображений с измерениями иных дистанционных приборов (AMSR2 (*англ.* Advanced Microwave Scanning Radiometer 2), MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), OSCAT3 (*англ.* OceanSat-3 scatterometer) и др.) и контактных (радиозондовые профили, картами приземного синоптического анализа и пр.), а также результатами моделирования РЛ-изображений морской поверхности при холодных вторжениях (валиковая и ячейковая мезомасштабная конвекция).

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s07-26_Mitnik.pdf

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА АНТИЦИКЛОНИЧЕСКОГО ВИХРЯ В ПРИКРОМОЧНОЙ ЛЕДОВОЙ ЗОНЕ КАРСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ МУЛЬТИСЕНСОРНЫХ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

В. А. Добродий, И. Е. Козлов, Е. В. Плотников

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь
dobrodii.v@mhi-ras.ru

Ключевые слова: океанские вихри, прикромочная ледовая зона, Карское море, Sentinel-1/2, Landsat, дистанционное зондирование.

Введение

Океанские вихри в прикромочной ледовой зоне (ПЛЗ) влияют на таяние морского льда через механическое воздействие и вертикальный перенос тепла. Из-за малых масштабов эти процессы часто не учитываются в климатических моделях. Цель работы — анализ пространственно-временной изменчивости антициклонического вихря (АВ) в северо-восточной части Карского моря.

Данные и методы

Использованы мультисенсорные спутниковые данные высокого разрешения за 25 июля — 6 августа 2024 г. в районе жёлоба Воронина: радиолокационные данные Sentinel-1A (радиолокатор с синтезированной апертурой (PCA), режим EW (*англ.* Extra-Wide Swath), 40 м), оптические снимки Sentinel-2A/B и Landsat-8/9 (10–30 м), концентрация льда AMSR-2 (*англ.* Advanced Microwave Scanning Radiometer 2) (~3 км), реанализ ERA5 (*англ.* European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis Fifth Generation) для оценки ветра. Параметры вихря определены методом эллиптической аппроксимации на радиолокационных изображениях, скорость дрейфа льда — методом максимальной кросс-корреляции по оптическим снимкам, температура поверхности моря (ТПМ) восстановлена по инфракрасным каналам Landsat.

Результаты

В конце июля 2024 г. под воздействием северных ветров (5–10 м/с) сформировался АВ. Диаметр вихря увеличился с 21 км (30 июля) до 24–28 км (6 августа), форма эволюционировала от круговой к эллиптической и затем к симметричной. Средняя скорость перемещения центра составила 4,3 км/сут: сначала на север (6,5 см/с), затем на восток (3,5 см/с). Орбитальная скорость вращения достигала 0,1–0,2 м/с в центре и 0,3–0,4 м/с на периферии. Горизонтальный градиент ТПМ между ПЛЗ и открытой водой достигал 1 °С/км (общий перепад до 4 °С). Вихрь выносил мелкобитый лёд на расстояние до 40 км в сторону тёплых

вод, вызывая интенсивное таяние. Показано, что продукты AMSR-2 малопригодны для мониторинга мелкомасштабной динамики ПЛЗ ($<5-10$ км), тогда как данные высокого разрешения позволяют выявлять вихри на ранних стадиях.

Заключение

Комплексный анализ подтвердил высокую активность субмезомасштабных процессов в прикромочной ледовой зоне Карского моря. Антициклонические вихри выступают важным механизмом выноса и таяния льда, не учитываемым в крупномасштабных моделях. Использование спутниковых данных высокого разрешения критически важно для понимания взаимодействий «океан — лёд» в Арктике.

Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда № 25-17-00309 и государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр Морской гидрофизический институт РАН по теме № FNNN-2024-0017.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s07-26_Dobrodiy.pdf

КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВ МОРСКОГО ЛЬДА ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С БПЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Н. Д. Печеркин, В. Ю. Цепелев

Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Долгопрудный,
Московская область, n.pecherkin@mail.ru

Ключевые слова: РСА, морской лёд, БПЛА, семантическая сегментация, глубокое обучение, Swin-Unet

Мониторинг ледовой обстановки является важной задачей для обеспечения безопасности судоходства, развития Северного морского пути и эксплуатации арктической инфраструктуры. Своевременное обнаружение открытой воды, кромки льда, зон битого льда и других ледовых образований позволяет уточнять оценку ледовой обстановки и снижать риски при планировании маршрутов. Радиолокационные данные с синтезированной апертурой особенно востребованы в Арктике, поскольку позволяют получать изображения независимо от облачности, освещённости и времени суток. В то же время спутниковый мониторинг, обеспечивая обзор больших территорий, ограничен периодичностью наблюдений и не всегда достаточен для оперативного анализа быстро меняющихся ледовых условий.

Перспективным дополнением к спутниковому мониторингу являются беспилотные летательные аппараты, оснащённые компактными РСА (радиолокатор с синтезированной апертурой). В отличие от спутниковых снимков, данные БПЛА формируются при локальной съёмке по запросу оператора и имеют сверхвысокое пространственное разрешение, однако относятся к другому масштабу наблюдения и обладают иной структурой ограничений. Такие изображения часто характеризуются повышенным уровнем шума, артефактами съёмки и ограниченной поляризационной информацией. В случае однополяризационных данных Х-диапазона в VV-поляризации (вертикальной, V — *англ.* vertical) радиолокационные признаки ровного льда и спокойной водной поверхности могут частично пересекаться, поэтому традиционные пороговые методы оказываются недостаточно устойчивыми.

Цель работы состояла в разработке и апробации автоматизированного метода семантической сегментации РСА-изображений БПЛА для выделения основных классов ледовой обстановки: открытая вода, сплошной или ровный лёд, битый лёд, а также служебный класс фона, включающий сушу, артефакты и сильно зашумлённые области. В качестве исходных данных использовались снимки, полученные с БПЛА в акватории Обской губы Карского моря в районе посёлка Сабетта. Пространственное разрешение исходных изображений составляло порядка

0,75 м. Для обучения нейронной сети были отобраны сцены с умеренным уровнем шума и экспертно различимыми границами между классами; разметка выполнялась вручную на пиксельном уровне.

Ключевым этапом стала предварительная обработка изображений. Для подавления шума с сохранением границ использовалась анизотропная фильтрация Перона – Малика, которая сглаживает однородные зашумлённые области, но сохраняет резкие переходы яркости между льдом и водой. Дополнительно применялся метод CLAHE (*англ.* Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization), усиливающий локальный контраст и текстурные особенности поверхности. Совместное использование этих методов позволило уменьшить влияние шума, сохранить информативные границы и подчеркнуть текстуру, что особенно важно при близких значениях обратного рассеяния разных классов.

Для сегментации была использована модифицированная архитектура Swin-Unet, объединяющая преимущества U-Net и Transformer-подходов. Точную локализацию границ объектов U-Net обеспечивает за счёт свёрточной структуры и пропускных соединений, а Swin Transformer позволяет учитывать более широкий пространственный контекст. Это важно при анализе протяжённых ледовых полей, разводов и зон битого льда, где локальные признаки необходимо интерпретировать с учётом общей структуры сцены. Новизна и уникальность постановки заключаются в адаптации такой комбинации предварительной обработки и модифицированной Swin-Unet именно к шумным однополяризационным РСА-данным БПЛА, а не к более типичным спутниковым РСА-сценам.

Экспериментальная часть включала подбор параметров подготовки данных и обучения модели. Поскольку исходные изображения имели большой размер, использовалась обработка скользящим окном. Были протестированы разные размеры тайлов и величины их сдвига, а также варианты с предварительной обработкой и без неё. Лучшие результаты были получены при размере тайла 896×896 пикселей и сдвиге 224 пикселя. Наиболее сложным оказался класс «вода», занимающий сравнительно небольшую площадь изображения и имеющий признаки, близкие к классу «лёд». Для лучшей конфигурации F1-мера для воды составила около 0,79, а для классов льда и битого льда — более 0,90.

Полученные результаты показывают, что сочетание специализированной предварительной обработки и модифицированной Swin-Unet позволяет эффективно решать задачу автоматической сегментации ледового покрова по шумным однополяризационным РСА-данным БПЛА. В отличие от существующих пороговых подходов, предложенный метод опирается не только на яркостные различия, но и на сохранение границ, усиление локального контраста, текстурные признаки и пространственный контекст сцены. Основные ошибки связаны с зашумлёнными границами снимков, участками льда с аномально низким обратным рассеянием и переходными зонами между классами. Тем не менее предложенный подход демонстрирует применимость для оперативного локального

анализа ледовой обстановки и может использоваться как дополнение к спутниковым системам мониторинга морского льда.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s07-26-Pecherkin.pdf

БИНАРНАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ SAR-СНИМКОВ НА КЛАССЫ ЛЁД/ВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В. И. Петренко

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь
vovudge.pet@rambler.ru

Ключевые слова: дистанционное зондирование, бинарная сегментация, свёрточная нейронная сеть, радиолокационные данные, Sentinel-1

Представлены результаты бинарной сегментации радиолокационных спутниковых снимков с синтезированной апертурой (РСА) Sentinel-1 на классы лёд/вода с использованием свёрточной нейронной сети U-Net.

- Написан код на языке программирования Python для бинарной пороговой сегментации на классы лёд/вода, выполняющий предобработку исходных данных, а также формирующий первичную маску льда и три дополнительных виртуальных канала для обучения нейросети.
- Сформирован датасет для обучения свёрточной нейронной сети U-Net, состоящий из 105 репрезентативных радиолокационных сцены с пространственным разрешением 40×40 м. Снимки охватывают период с 2024 по 2025 г. в Карском и Баренцевом морях.
- Проведён сравнительный анализ опорного датасета и нашего датасета, полученного с помощью кода для пороговой бинарной сегментации и последующей ручной доработки масок. В результате сравнения выявлено, что свёрточная нейронная сеть U-Net показывает высокую точность сегментации на классы лёд/вода только на тестовой выборке того датасета, на которой была обучена.
- Принято решение о дальнейшем расширении собственного датасета и отказе от сторонних датасетов, так как разная предобработка исходных данных приводит к снижению точности работы свёрточной нейронной сети U-Net.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания FNNN-2024-0012.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s07-26_Petrenko.pdf

ОЦЕНКА СТАНОВЛЕНИЯ ЛЬДА В КАРСКОМ МОРЕ В ОКТЯБРЕ – ДЕКАБРЕ 2024 Г. ПО ДАННЫМ AMSR2

А. В. Бочаров^{1,2,3}, А. Г. Костяной^{1,2,4}, С. А. Лебедев^{2,3,5}

¹ Российский университет транспорта Россия, Москва, bochalex@bk.ru

² Геофизический центр РАН, Москва

³ Майкопский государственный технологический университет, Майкоп

⁴ Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва

⁵ Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Москва

Ключевые слова: Карское море, Sea Ice Concentration, площадь льда, AMSR-2, микроволновая радиометрия, JAXA Earth API

Согласно данным спутниковых наблюдений, полное очищение Карского моря ото льда происходит в конце июля или августе, после чего наступает период осенне-зимнего цикла замерзания. Интенсивный процесс замерзания Карского моря начинается, как правило, в начале октября и продолжается до декабря. В это время основная часть акватории покрывается льдом. На этот процесс сильно влияют речной сток, ветер и солёность воды. Цель данной работы заключается в оценке становления льда в Карском море в период с октября по декабрь на примере обстановки в 2024 г. Наиболее удобным для получения ежедневных данных о наличии льда являются данные микроволновой радиометрии. В отличие от радиолокаторов, радиометры предоставляют данные с очень низким пространственным разрешением, но удобны для оценки площади покрытия поверхности моря льдом. Наиболее популярным и широко используемым микроволновым радиометром является японский прибор AMSR-2 (*англ.* Advanced Microwave Scanning Radiometer 2), установленный на борту спутника GCOM-W1 (*англ.* Global Change Observation Mission — Water). Он позволяет формировать разнообразные данные для мониторинга гидрологического цикла Земли. Одним из наборов данных является продукт Sea Ice Concentration.

На основе сырых данных, находящихся в открытом доступе, несколько научных центров на основании своих алгоритмов предоставляют собственные продукты Sea Ice Concentration по данным AMSR-2. В том числе собственная версия этого продукта предоставляется Японским агентством аэрокосмических исследований JAXA (*англ.* Japan Aerospace Exploration Agency), являющимся оператором спутника, на котором размещён прибор AMSR-2. В нашей работе был использован продукт Sea Ice Concentration (Daily), полученный по алгоритму исследовательского центра JAXA EORC (*англ.* JAXA Earth Observation Research Center). В коллекции продуктов JAXA он имеет ID: JAXA.JASMES_GCOM-W.AMSR2_ic0.v201_north_daily. Продукт относится к данным дистанционного зондирования третьего уровня (*англ.* Level 3). Это обработанный и приведённый к единой картографической проекции гридированный

продукт. Он содержит данные о концентрации льда для Северного полушария в процентах. Ежедневные композиты получены методом усреднения всех наблюдений за сутки в каждой ячейке сетки.

Для автоматизации процесса ежедневного получения свежих данных о концентрации льда, предоставляемых JAXA по данным инструмента AMSR-2, одним из наиболее удобных источников является модуль JAXA Earth API для Python. QGIS (*англ.* Quantum GIS) имеет поддержку использования скриптов на языке Python через Консоль Python. Использование Python расширяет возможности QGIS для автоматизации повторяющихся задач и анализа пространственных данных. Поэтому с целью оптимизации получение данных о концентрации льда в Карском море было развёрнуто на базе QGIS, что позволило автоматизировать загрузку и обработку ежедневных данных. Python-скрипт в консоли QGIS отправляет запрос к API, скачивает растровые данные, меняет проекцию, преобразует растровые данные в векторный слой, а затем добавляет растровый и векторный слои на карту с настроенной стилистикой. Скрипт делает процесс полностью автоматизированным и не требует создания промежуточных файлов.

На каждый день с 01.10.2024 по 31.12.2024 были сформированы сводки ледовой обстановки в Карском море, которые предоставляли информацию о кромке льда, концентрации льда, площади льда и проценте покрытия льдами. В 2024 г. наиболее интенсивное замерзание происходило с 04.10.2024 по 17.11.2024. За эти 1,5 мес произошло увеличение покрытия льдами (с концентрацией 1–100 %) с 13 до 82 % поверхности Карского моря. К середине декабря произошло плавное увеличение площади льдов до 92 %. В период интенсивного замерзания ежедневный прирост площади льда (с концентрацией 1–100%) иногда превышал 5% от площади акватории Карского моря. В конце декабря 73 % площади Карского моря было покрыто льдами с концентрацией более 90 %, 15 % площади было покрыто льдами с концентрацией 60–90%, а открытая вода занимала 7 %.

По данным исследования хорошо видно, что образование ледовых масс в южной части Карского моря происходит быстрее, чем в более северных частях Карского моря. Это типичный ежегодный процесс. Основными причинами этого являются то, что мелководная шельфовая зона быстрее остывает, а также то, что реки (Обь, Енисей, Пясина) в октябре-ноябре несут более холодную воду, которая уже находится на температуре близкой к замерзанию.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания Российского университета транспорта № 103-00001-26-00 от 15.01.2026 «Системный анализ влияния геолого-геофизической и климатических факторов на развитие и функционирование транспортных систем в российской Арктике и на Дальнем Востоке»

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s07-26_Bocharov.pdf

Сессия 8

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНЕНИЯ НА ДИСТАНЦИОННО РЕГИСТРИРУЕМЫЙ ЦВЕТ ОКЕАНА

Д. М. Ермаков

Институт космических исследований РАН, Москва
d.m.ermakov@cosmos.ru

Ключевые слова: дистанционные характеристики цвета океана, оптические наблюдения океана, СВЧ радиометрия океана, нелинейная факторная задача, ветровое волнение

В докладе дан обзор некоторых работ, направленных на выявление роли поверхностного волнения океана как общего фактора, влияющего на радиотепловой спектр собственного излучения поверхности и воспринимаемый цвет океана.

Обоснована и математически сформулирована постановка задачи совместного анализа дистанционных оптических и пассивных микроволновых наблюдений океана для выявления эффектов, связанных с ветровым поверхностным волнением. Задача представляет собой особую разновидность проблемы нелинейного факторного анализа. Благодаря использованию ряда статистических взаимосвязей в данных, которые можно предполагать на основе физического смысла описываемых ими параметров среды, есть возможность, при наличии длинных рядов синхронных наблюдений, установить вид нелинейного вклада ветрового волнения в характеристику наблюдаемого цвета океана. В качестве последней можно рассмотреть отношение нормализованной яркости океана на разных длинах волн видимого спектра или производные величины (например, восстановленные параметры биогеохимического состава).

В докладе обсуждены математический аппарат и алгоритмическое решение полученной частной задачи нелинейного факторного анализа. Продемонстрированы результаты моделирования, убедительно показывающие возможность получения приближённого решения с высокой степенью точности. Результатом решения становится кусочно-линейная аппроксимация аддитивной добавки в характеристику собственного цвета океана, как функции скорости ветра, независимо измеряемой средствами СВЧ-радиометрии, а также скорректированные на эту аддитивную добавку оптические наблюдения океана.

В заключении приведены и обсуждены результаты пробной обработки синхронных наблюдений океана спутниковыми приборами MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) (Terra, Aqua) и AMSR-E (*англ.* Advanced Microwave Scanning Radiometer for Earth observation), функционировавшими на спутнике Aqua. Охвачен временной интервал наблюдений с 11.10.2010 по 21.10.2010. Показана достоверно ненулевая (по уровню вероятности 95 %) чувствительность

дистанционно воспринимаемого цвета океана к ветровому волнению в широком диапазоне скоростей ветра. Приведён также частный иллюстрирующий пример сеанса обработки совмещённых данных оптического сканера SeaWiFS (*англ.* Sea-viewing Wide Field-of-View Sensor) и СВЧ-радиометра (сверхвысочастотного) SSM/I (*англ.* Special Sensor Microwave/Imager).

Отмечено, что для получения надёжных количественных оценок ветрового вклада в дистанционно воспринимаемый цвет океана необходимо дополнительно сузить доверительные интервалы оценок, прежде всего, при малых значениях скорости ветра. С этой целью необходимо накопить и обработать данные совместных наблюдений за существенно более длительные интервалы времени.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИКИ РАН тема «Мониторинг», госрегистрация № 126031818938-6).

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s08-26_Ermakov.pdf

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ О КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Д. Глуховец^{1,3}, О. Курилов², А. Подосенов², И. Ханков²

¹ Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва
glukhovets@ocean.ru

² АНО ДПО «Образовательные технологии Яндекса», Москва

³ Московский физико-технический институт (национальный
исследовательский университет), Долгопрудный, Московская
область

Ключевые слова: глубокое обучение, свёрточные нейронные сети, U-Net, спутниковые данные, концентрация хлорофилла, восстановление пропусков, облачность, Карское море, Чёрное море, дистанционное зондирование Земли

Предложен метод восстановления пропусков в спутниковых данных о концентрации хлорофилла, вызванных облачностью, с использованием глубокого обучения. Использована модифицированная архитектура U-Net с механизмом внимания (учёт ближайших пространственно-временных значений). Метод протестирован на двух акваториях. Для Чёрного моря обрабатывались ежедневные данные спутникового сканера цвета MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) Aqua (4 года обучения на искусственных облаках, 1 год теста). Достигнуты метрики $R^2 = 0,87$ и $MAE = 0,036(\log_{10})$ (*англ.* Mean Absolute Error). Для Карского моря использованы среднемесячные карты концентрации хлорофилла из Атласа биооптических характеристик Лаборатории оптики океана Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, построенные по данным MODIS-Aqua для тёплого сезона. Данные разделены: обучение: 2006—2018 гг., валидация: 2019—2021 гг., тест: 2022—2024 гг. (всего 76 карт). Алгоритм не только восстанавливает пространственное распределение концентрации хлорофилла, но и оценивает ошибку восстановления, автоматически выбирая устойчивый вариант. Ошибка снижена на 48 % относительно сезонных медианных карт, построенных для каждого месяца. Разработанный подход может быть масштабирован на другие биооптические характеристики и перенесён в другие регионы.

Данные о концентрации хлорофилла в Карском море подготовлены при поддержке гранта Российского научного фонда № 25-77-10065 («Многолетняя изменчивость потока коротковолновой солнечной радиации, поглощённой водами Баренцева и Карского морей»).

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s08-26_Glukhovets-1.pdf

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МУТНОСТИ ВОДЫ В ОПТИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ВОДАХ ПО ДАННЫМ LANDSAT-8/9 И SENTINEL-2

П. Д. Жаданова

Институт космических исследований РАН, Москва
zhadanova.pd@phystech.edu

Ключевые слова: мутность воды, Landsat-8/9, Sentinel-2, региональный алгоритм, Каспийское море, река Сулак

Работа посвящена разработке регионального алгоритма определения мутности воды в оптически сложных водах по данным спутников Landsat-8/9 и Sentinel-2. Исследование выполнено для приустьевых зон рек Чёрного и Каспийского морей, характеризующихся высокой изменчивостью концентрации взвешенного вещества и сложной спектральной структурой водной поверхности. Проведён анализ применимости существующих алгоритмов Nechad и Dogliotti, а также выполнено сопоставление спутниковых и *in situ* измерений мутности воды. Показано, что универсальные алгоритмы не обеспечивают необходимой точности для исследуемых акваторий и требуют региональной адаптации.

На основе совмещённой выборки спутниковых и *in situ* данных разработан региональный алгоритм, использующий отражательную способность в красном Red и ближнем инфракрасном NIR (*англ.* Near Infra-red) каналах для приустьевой зоны р. Сулак. Для повышения устойчивости восстановления мутности предложена стратифицированная модель с разделением данных на несколько диапазонов мутности и использованием лог-линейной зависимости между спутниковым сигналом и значениями мутности воды. Полученные результаты показывают, что применение режима спектрального переключения и стратификации данных позволяет повысить точность оценки мутности и обеспечить совместное использование данных различных спутниковых систем при мониторинге прибрежных и речных вод.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 24-17-00182 «Развитие методов дистанционной диагностики распространения речных вод в прибрежной зоне морей» (<https://rscf.ru/project/24-17-00182/>) в Институте космических исследований РАН.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s08-26_Zhadanova.pdf

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА БАСЕЙНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ МНОГОЛЕТНЕГО КОМПЛЕКСНОГО СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА

В. В. Мартьянова

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Москва, vvmartianovav@mail.ru

Ключевые слова: Аральское море, водный баланс, спутниковый мониторинг, пассивная микроволновая радиометрия, дистанционное зондирование Земли

Выполнена оценка многолетнего водного баланса бассейна Аральского моря за 2012–2023 гг. по данным спутникового радиотепловидения. Для расчётов использованы данные микроволновых радиометров SSMIS (*англ.* Special Sensor Microwave Imager/Sounder), по которым восстанавливалось интегральное влагосодержание атмосферы. На основе анализа горизонтального переноса водяного пара рассчитаны значения эффективного увлажнения для водосборов Амударьи и Сырдарьи, а также испарение с поверхности Аральского моря.

Границы исследуемых водосборов определялись по стандартизированной глобальной базе данных гидрологических бассейнов HydroBASINS. Для независимой проверки результатов рассчитана динамика объёма Северного, Западного и Восточного Арала по данным спутниковой альтиметрии DART и площади водной поверхности, определённой по снимкам MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer).

Получены многолетние ряды компонентов водного баланса бассейна. Выявлена устойчивая антикорреляция между осадками в областях современного оледенения Памира и Тянь-Шаня и испарением с поверхности Аральского моря. Годы с максимальным увлажнением в районах формирования стока соответствуют годам с минимальным уменьшением объёма моря и наоборот. Полученная зависимость указывает на тесную гидроклиматическую связь между областью питания рек и конечным бессточным водоёмом.

Для оценки устойчивости методики выполнена её валидация на системе Каспийского моря и бассейна Волги. Полученные оценки демонстрируют согласованность с данными реанализа MERRA (*англ.* Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications) по межгодовой изменчивости и воспроизводят связь между осадками на водосборе, данными метеослужб о стоке Волги и испарением с поверхности моря.

Результаты подтверждают возможность применения спутниковой балансовой методики для независимого исследования гидрологического режима крупных трансграничных бессточных бассейнов.

В части вычисления и анализа балансовых оценок в работе использована база данных об атмосферной динамике, развиваемая в рамках государственного задания Института космических исследований РАН (тема «Эмиссия», госрегистрация № 125111112878-8)

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s08-26_Martianova.pdf

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ О ТИПАХ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ ОЦЕНОК ВЫБРОСОВ УГЛЕРОДА ОТ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

С. М. Мазурина, Д. А. Кобец, Д. В. Лозин

Институт космических исследований РАН, Москва
serafima_mazurina@mail.ru

Ключевые слова: лесные пожары, спутниковый мониторинг, GFAS, GFED, FRP, масса сгоревшего вещества, коэффициент бета, выбросы CO₂, выбросы CO, типы растительности

Лесные пожары являются одним из значимых источников выбросов углеродсодержащих газов и аэрозолей в атмосферу, оказывающих влияние на климатическую систему и качество воздуха. Для территории Российской Федерации данная проблема особенно актуальна в связи с большой площадью бореальных лесов, высокой пространственной неоднородностью растительного покрова и значительной межгодовой изменчивостью пожарной активности. Современные глобальные продукты оценки выбросов, такие как GFAS (*англ.* Global Fire Assimilation System) и GFED (*англ.* Global Fire Emissions Database), основаны на спутниковых наблюдениях, однако используют обобщённые параметры пересчёта, что может приводить к дополнительным неопределённостям при их региональном применении.

Целью работы заключается в повышении точности оценок выбросов от лесных пожаров на территории Российской Федерации за счёт учёта типов лесной растительности при расчёте коэффициентов пересчёта β , связывающих радиационные характеристики пожара с массой сухого сгоревшего вещества. В исследовании использовались данные GFAS о радиационной мощности пожаров с пространственным разрешением $0,1 \times 0,1^\circ$, данные GFED о массе сгоревшего вещества с разрешением $0,25 \times 0,25^\circ$, а также карты типов растительности Российской Федерации с пространственным разрешением 230×230 м. Анализ выполнен для территории Российской Федерации за 2003–2023 гг.

Для корректного сопоставления исходных данных различного пространственного разрешения было сформировано единое пространственное покрытие на основе пересечения сеток GFAS и GFED в равноплощадной проекции Альберса. Далее значения радиационной мощности пожара FRP (*англ.* Fire Radiative Power) и сухой массы сгоревшей биомассы DM (*англ.* Dry Matter) были перераспределены по типам растительности с учётом площадей пересечения и доли растительных классов. На основе полученного набора данных были рассчитаны коэффициенты β для основных типов лесной растительности.

Полученные значения β изменяются в диапазоне от 1,12 до 1,87 кг/МДж. Минимальное значение получено для лиственных

лесов — 1,12 кг/МДж, что может быть связано с меньшей долей длительного тления и меньшим вкладом органического слоя по сравнению с хвойными лесами. Для светлохвойных лесов значение β составило 1,45 кг/МДж, для тёмнохвойных — 1,72 кг/МДж, для хвойных листопадных лесов — 1,72 кг/МДж. Наибольшие значения получены для смешанных лесов с преобладанием хвойных пород — 1,87 кг/МДж и смешанных лесов — 1,79 кг/МДж. Для смешанных лесов с преобладанием лиственных пород значение β составило 1,48 кг/МДж, для редин хвойных листопадных — 1,61 кг/МДж, для хвойного кустарника — 1,38 кг/МДж, для лиственного кустарника — 1,48 кг/МДж. Обобщённое значение β для всех лесных классов составило 1,549 кг/МДж.

На основе рассчитанных коэффициентов β и факторов выбросов парникового газа EF (*англ.* Emission Factor) были получены оценки выбросов CO_2 и CO, которые затем сопоставлялись с оценками модели GFAS. Для CO_2 рассчитанные значения в целом хорошо воспроизводят межгодовую изменчивость GFAS: совпадают основные годы с повышенными выбросами, включая 2003-й, 2008-й, 2012-й и 2021-й. Среднее отклонение рассчитанных выбросов CO_2 от оценок GFAS составило 6,5 %. Для CO среднее отклонение оказалось выше и составило 8,9 %, что связано с большей зависимостью выбросов CO от условий горения, влажности топлива, соотношения полного и неполного сгорания, а также от выбора факторов выбросов EF.

Для отдельных лет были выявлены повышенные расхождения между рассчитанными оценками и моделью GFAS. Для CO_2 отклонения более 10 % наблюдались в 2005, 2012, 2016 и 2018 гг. Для CO наибольшие отрицательные отклонения отмечались в 2005 г.: около –28,8 %, в 2013 г.: около –21,1 %, в 2017 г.: около –15,8 %, а наибольшие положительные в 2018 г.: около 16,3 % и в 2021 г.: около 14,0 %. Это показывает, что для CO неопределённость выше, чем для CO_2 , поскольку CO является продуктом неполного сгорания и сильнее зависит от локальных условий пожара.

Полученные результаты подтверждают целесообразность региональной адаптации параметров спутниковых моделей оценки выбросов. Учёт типов растительности позволяет уточнить расчёт массы сгоревшего вещества и связанных с ней выбросов, а также выявить классы растительного покрова, для которых использование усреднённых параметров может приводить к повышенным ошибкам. Предложенный подход может быть использован для совершенствования оценок пирогенных выбросов на территории Российской Федерации и повышения достоверности расчётов углеродного баланса лесных экосистем.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s08-26-Mazurina.pdf

О РАБОТЕ КООРДИНАЦИОННОГО СОВЕТА ПО ДЕЛАМ МОЛОДЁЖИ В НАУЧНОЙ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СФЕРАХ СОВЕТА ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИЮ

Д. И. Глуховец

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва

glukhovets@ocean.ru

Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Долгопрудный, Московская область

Ключевые слова: Координационный совет по делам молодёжи, Совет при Президенте РФ по науке и образованию, молодые учёные, научно-образовательная политика, воспроизводство научных кадров, государственная поддержка молодёжи в науке

В апреле 2026 г. утверждён новый состав Координационного совета по делам молодёжи в научной и образовательной сферах (КорСовет) при Совете при Президенте Российской Федерации по науке и образованию. КорСовет является консультативным органом, обеспечивающим взаимодействие Совета с молодёжными научными и образовательными объединениями. Ключевые задачи совета: координация деятельности ассоциаций молодых учёных, преподавателей, аспирантов и студентов; подготовка предложений по актуальным вопросам государственной научно-технической политики и политики в области образования; содействие воспроизводству научно-педагогических кадров. В обновлённый состав КорСовета вошёл заведующий Лабораторией оптики океана, председатель Совета молодых учёных Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН Д. И. Глуховец. Включение представителя ИО РАН в состав КорСовета позволяет укрепить связь институтского молодёжного сообщества на федеральном уровне, обеспечить учёт интересов молодых океанологов при выработке мер поддержки научной молодёжи и активнее участвовать в формировании кадровой политики в области наук о Земле.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s08-26_Glukhovets-2.pdf

Сессия 9

ПОЛИГОН ПОДСПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ «МЗЫМТА»

К. Р. Назирова

Институт космических исследований РАН, Москва, knazirova@cosmos.ru

Ключевые слова: натурные измерения, валидация спутниковых алгоритмов, речной плюм, мутность морской воды, Чёрное море

Представлен обзор многолетних натурных подспутниковых измерений в районе выноса реки Мзымта в северо-восточной части Чёрного моря. В период с 2018 по 2026 г. выполнено 42 выхода в море и 865 CTD-станций (*англ.* Conductivity, Temperature, Depth). Океанологические измерения включали в себя измерения с помощью CTD-зонда RBR-concerto, портативного турбидиметра Arera и отбор морских проб в поверхностном слое для дальнейшего восстановления концентрации взвешенного вещества классическим весовым методом. В качестве основных спутниковых данных были использованы архивы оптических данных высокого пространственного разрешения Landsat-8/9 (мультиспектральный сканирующий радиометр OLI (*англ.* Operational Land Imager)) и Sentinel-2 (многоспектральный сканер высокого разрешения MSI (*англ.* Multispectral Instrument)). Отдельное внимание уделено обоснованию методики восстановления поля мутности на основе натурных и дистанционных методов измерения. В докладе представлены основные результаты, полученные за весь период исследований. Представлены оценки расчётов скорости краткосрочного смещения границ плюма под влиянием ветрового поля. Показано, что глубина интрузии речных вод стабильна и составляет 2–4 м. Горизонтальные (поверхностные) масштабы плюмов во много раз превышают вертикальные масштабы. Представлены результаты валидации стандартных спутниковых алгоритмов в программном обеспечении ACOLITE (Nechad, Dogliotti) и алгоритма C2RCC (*англ.* Case 2 Regional/Coast Colour) для восстановления поля мутности и концентрации взвешенного вещества. Исключение быстродинамичного сдвига границы плюма показало высокую связь *in situ* и спутниковых данных ($R^2 = 0,98$). Получено, что алгоритм C2RCC оптимален при низкой концентрации взвешенного вещества (10–50 г/м³). А для восстановления мутности морской воды: алгоритм Nechad эффективен для низких значений мутности, а Dogliotti — в периоды паводков (>100 NTU (*англ.* Nephelometric Turbidity Unit)). Доказана возможность использования стандартных спутниковых алгоритмов для восстановления поля мутности в рамках полученных границ их применимости.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 24-17-00182 «Развитие методов дистанционной диагностики распространения речных вод в прибрежной зоне морей» (<https://rscf.ru/project/24-17-00182/>) в Институте космических исследований РАН.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s09-26-Nazirova.pdf

ВЕБ-СЕРВИС ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ЕГО ИНТЕГРАЦИЯ В ИНФОРМАЦИОННУЮ СИСТЕМУ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА SEE THE SEA

О. Ю. Лаврова, Д. А. Елизаров, Н. А. Князев

Институт космических исследований РАН, Москва, olavrova@cosmos.ru

Ключевые слова: веб-сервис, измерения *in situ*, информационная система See the Sea, ADCP, CTD-зонд, метеоданные, портативный турбидиметр, лагранжевые дрейфтеры, вихри, выносы рек, Чёрное море, Каспийское море, Балтийское море

Представлено описание и основные возможности веб-сервиса INSAP, разработанного в Институте космических исследований РАН. Веб-сервис предназначен для хранения, обработки и анализа данных натуральных измерений, проведённых в Чёрном, Балтийском и Азовском морях, начиная с 2014 г. Всего в сервис внедрены результаты 24 экспедиций. В него загружены, обработаны и проанализированы данные следующих приборов: акустического доплеровского профилографа течений ADCP (*англ.* Acoustic Doppler Current Profiler); CTD-зонда (Conductivity, Temperature and Depth — проводимость, температура и глубина) с добавочными датчиками мутности и хлорофилла *a*; портативного турбидиметра (мутномера) судовой метеостанции, лагранжевых дрейфтеров. Основная задача веб-сервиса заключается в автоматизации работы с экспедиционными данными, полученными с помощью различных океанологических приборов, и подготовке этих данных к дальнейшему использованию в информационных системах. Веб-сервис инкорпорирован в информационную систему спутникового мониторинга See the Sea, что позволяет проводить совместный анализ натуральных данных со спутниковыми изображениями.

Комплексное использование данных океанологических приборов, метео- и спутниковых данных позволило решить ряд важных задач, например, определить трёхмерную структуру вихревых диполей и речных выносов, восстановить параметры прибрежных течений, изучить границу гидрологического фронта, образованного при распространении речных и лагунных вод в море.

Создание и наполнение веб-сервиса, а также проведение подспутниковых измерений выполнялось в рамках и при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-17-00182 «Развитие методов дистанционной диагностики распространения речных вод в прибрежной зоне морей» (<https://rscf.ru/project/24-17-00182/>) в Институте космических исследований РАН.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s09-26_Lavrova.pdf

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ MODIS НА ОСНОВЕ *IN SITU* ИЗМЕРЕНИЙ

А. В. Бочаров^{1,2,3,4}, А. Г. Костяной^{2,3,5}, С. А. Лебедев^{3,6,7}, Д. А. Гребеников^{2,8},
П. Н. Кравченко^{1,2,5}

¹ Тверской государственный университет, Тверь, bochalex@bk.ru

² Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва

³ Майкопский государственный технологический университет, Майкоп

⁴ Институт водных проблем РАН, Москва

⁵ Московский университет им. С. Ю. Витте, Москва

⁶ Геофизический центр РАН, Россия, Москва

⁷ Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Москва

⁸ Научно-технологический университет «Сириус», Сириус, Краснодарский край

Ключевые слова: MODIS, SST, температура поверхности моря, Landsat

Спутниковый мониторинг представляет собой важный инструмент для наблюдения за температурой водной поверхности, однако при его применении необходимо учитывать потенциальные источники погрешностей и ограничения. Среди ключевых факторов, влияющих на точность, следует выделить состояние атмосферы и ветровой режим в исследуемом регионе, а также региональные особенности водных масс.

Данное исследование посвящено оценке точности определения температуры поверхности Каспийского моря SST (*англ.* Sea Surface Temperature) по спутниковым данным MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Авторы использовали *in situ* измерения температуры, полученные с дрейфтеров в 2006 и 2008 гг. в рамках проекта «Мультидисциплинарный анализ экосистемы Каспийского моря» MACE (*англ.* Multidisciplinary Analysis of the Caspian Sea ecosystem) программы НАТО «Наука ради мира» SPS (*англ.* Science for Peace and Security). Для сравнения применялись ежедневные продукты MODIS LST (*англ.* Land Surface Temperature) с разрешением 1 км/пиксель, размещённые на платформе Google Earth Engine (таблица). Композиты за несколько дней и продукты MODIS более низкого пространственного разрешения не использовались.

Анализируемые продукты можно разделить на две группы: полученные с использованием алгоритма Split-Window (MOD11A1 и MYD11A1); полученные с использованием алгоритма TES (*англ.* Temperature Emissivity Separation) (MOD21A1D, MYD21A1D, MOD21A1N, MYD21A1N).

Результаты анализа показали существенную линейную связь между спутниковыми данными MODIS и измерениями на дрейфтерах для всех рассмотренных продуктов. Для продуктов на основе алгоритма

Split-Window коэффициенты корреляции составили 0,94–0,96, а коэффициенты детерминации — 0,73–0,78. Средняя ошибка для дневных данных составила –1,23...–1,52 °С, а для ночных –2,14...–2,16 °С. Отмечено, что для дневных данных продуктов MOD11A1 и MYD11A1 отклонение увеличивается с ростом температуры воды.

Продукты MODIS LST Level 3 Version 6.1 с пространственным разрешением 1 км, содержание, данные о температуре земной поверхности за сутки

Спутник Terra	Спутник Aqua
<i>День и ночь (в одном датасете)</i>	
MOD11A1.061 Terra Land Surface Temperature and Emissivity Daily Global 1km	MYD11A1.061 Aqua Land Surface Temperature and Emissivity Daily Global 1km
<i>День</i>	
MOD21A1D.061 Terra Land Surface Temperature and 3-Band Emissivity Daily Global 1km	MYD21A1D.061 Aqua Land Surface Temperature and 3-Band Emissivity Daily Global 1km
<i>Ночь</i>	
MOD21A1N.061 Terra Land Surface Temperature and 3-Band Emissivity Daily Global 1km	MYD21A1N.061 Aqua Land Surface Temperature and 3-Band Emissivity Daily Global 1km

Продукты на основе алгоритма TES показали более высокую точность. Для дневных продуктов MOD21A1D и MYD21A1D коэффициент корреляции составил 0,91–0,93, коэффициент детерминации 0,83–0,84, а средняя ошибка 0,37–0,64 °С. Для ночных продуктов MOD21A1N и MYD21A1N коэффициент корреляции составил 0,96, коэффициент детерминации 0,91–0,92, а средняя ошибка 0,03–0,25 °С.

Также было проведено сравнение данных MODIS с данными Landsat Level-2. Коэффициент детерминации составил 0,95 в обоих случаях (с использованием продуктов MODIS на основе Split-Window и TES). В среднем температура по данным Landsat оказалась выше на 0,5 °С при сравнении с продуктами MYD11A1 и MOD11A1 (дневные) и ниже на 0,85 °С при сравнении с продуктами MYD21A1D и MOD21A1D.

В целом исследование показало, что продукты MODIS демонстрируют высокую точность в воспроизведении температуры поверхности Каспийского моря, при этом продукты, использующие алгоритм TES, обладают более высокой точностью по сравнению с продуктами на основе алгоритма Split-Window.

Исследования по получению уравнений регрессии для расчёта площади Каспийского моря и залива Кара-Богаз-Гол выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-77-00027 «Исследо-

вание климатической изменчивости термогидродинамического режима Каспийского моря по данным дистанционного зондирования», <https://rscf.ru/project/23-77-00027/>. Часть работы, связанная с автоматизацией обработки больших массивов данных ДЗЗ на основе платформы Google Earth Engine с целью выделения границ водных объектов, выполнена в рамках темы № FMWZ-2025-0002 «Исследования процессов формирования качества поверхностных и подземных вод, природных и антропогенных механизмов изменения экологического состояния водных объектов, разработка методов и технологий управления водными ресурсами и качеством вод».

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s09-26_Bocharov.pdf

Сессия 10

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ГЕОАНАЛИТИКИ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ: ОПЫТ И ВОЗМОЖНОСТИ

Е. С. Подольская

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов им. А. С. Исаева,
Лаборатория мониторинга лесных экосистем, Москва
ekaterina.podolskaia@gmail.com
Национальный исследовательский университет «Высшая школа
экономики», факультет географии и геоинформационных технологий,
Москва, erpodolskaya@hse.ru

Ключевые слова: гео-искусственный интеллект, геоаналитика, ГИС, ДЗЗ

Рассмотрены современные возможности тематических GPT-трансформеров (*англ.* Generative Pre-trained Transformer) для решения гео задач на основе векторных и растровых данных, включая данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). От персоналий и истории геоаналитики сделан переход к термину гео-искусственного интеллекта (геоИИ), активно используемому, однако дискуссионному в российских и зарубежных публикациях. Дан обзор QGIS-плагинов (*англ.* Quantum GIS) как ИИ-инструментов с открытым кодом. Предварительно сформулированы возможности ИИ для гео задач, список которых продолжает формироваться. Представлены содержание и опыт магистерской программы по пространственным данным и прикладной геоаналитике (<https://www.hse.ru/ma/geoanalytics/>), реализуемой на факультете географии и геоинформационных технологий Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» с 2024 г. В рамках программы есть новости обновления курса по машинному обучению в пространственных задачах (<https://www.hse.ru/edu/courses/1110549464>), его грантовой поддержки Фондом Владимира Потанина, даны рекомендации по его основным учебным пособиям, представлены первые результаты проведения в 2025 и 2026 гг. для студентов 2-го года обучения.

Работа выполнена в рамках реализации гранта Фонда Потанина в конкурсе для преподавателей 2025/2026 учебного года, заявка № ГК26-000071. Тема «Редизайн курса по машинному обучению в пространственных задачах путём включения инструментов гео-искусственного интеллекта (LLM и GPT, экспертных систем и систем нечёткой логики)», ФГГТ НИУ ВШЭ. Результаты работы также используются при выполнении государственного задания ЦЭПЛ РАН по теме «Биоразнообразие и экосистемные функции лесов» (регистрационный номер НИОКТР 124013000750-1).

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s10-26_podolskaya.pdf

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ЛАВИННОЙ АКТИВНОСТИ В РЕГИОНЕ ГИССАРО-АЛАЯ ЗА 2015–2025 ГГ. ПО ДАННЫМ SENTINEL-1

У. А. Кисляк¹, Е. С. Подольская^{1,2}, А. Ф. Глазовский³

¹ Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, uakislyak@gmail.com

² Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов им. А. С. Исаева РАН, Москва

³ Институт географии РАН, Москва

Ключевые слова: снежные лавины, лавинная активность, Гиссаро-Алай, радиолокационные снимки Sentinel-1, машинное обучение, Random Forest

Гиссаро-Алай — одним из наиболее лавиноопасных горных регионов Центральной Азии, однако оценка лавинной активности в его пределах затруднена вследствие недостаточного развития сети наземных наблюдений и ограниченного количества качественных оптических снимков. В исследовании предложен подход к региональному мониторингу лавинных процессов на основе радиолокационных данных спутниковой группировки Sentinel-1 и методов машинного обучения.

Разработана автоматизированная методика обработки радиолокационных данных Sentinel-1 в облачной среде для геопространственного анализа Google Earth Engine для выявления лавинных отложений. В качестве классификатора использован алгоритм случайного леса (*англ.* Random Forest), обученный на признаках, включающих коэффициент обратного рассеяния и морфометрические характеристики рельефа. Статистические метрики качества классификации составили: точность (*англ.* precision) — 0,98, полнота (*англ.* Recall) — 0,92, F1-мера (*англ.* F1-score) — 0,95, что свидетельствует о высокой надёжности метода для региональных исследований лавинной активности. На основе серии из 185 радиолокационных снимков Sentinel-1 за 2015–2025 гг. выполнен расчёт частоты схода лавин на регулярной сетке 2 км; для каждого из 10 сезонов определён интегральный индекс лавинной активности. Максимальная лавинная активность зафиксирована в сезоне 2015–2016 гг., когда лавинные процессы охватили около 25 % территории региона, а интегральный индекс лавинной активности достиг значения 2,7. Минимальная активность наблюдалась в сезонах 2020/2021 и 2022/2023 гг.

Пространственный анализ показал неравномерность распределения лавинных процессов по территории Гиссаро-Алая. Наибольшая доля детекций лавинных отложений (около 40 %) пришлось на склоны Зеравшанского хребта, тогда как наименьшая — на Алайский хребет.

Для выявления метеорологических предпосылок схода лавин использованы данные реанализа ERA5-Land (*англ.* European Centre for

Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis Fifth Generation). По данным этого реанализа повышенная лавинная активность формировалась в условиях значительного снегонакопления, активного ветрового перераспределения снега, устойчиво низкой зимней температуры и последующего весеннего потепления на фоне усиления солнечной радиации.

Полученные результаты подтверждают эффективность применения радиолокационных данных Sentinel-1 и алгоритмов машинного обучения для мониторинга лавинной активности на обширных и труднодоступных горных территориях и могут быть в будущем использованы для оценки лавинной опасности.

Исследование выполнено по теме государственного задания № FMWS-2024—0004 «Криосфера в условиях изменения климата».

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s10-26_Kislyak.pdf

Сессия 11

ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ В 2023–2025 ГОДАХ: РОСТ КОЛИЧЕСТВА И ИНТЕНСИВНОСТИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ В СИСТЕМЕ «АТМОСФЕРА – ОКЕАН» ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Л. М. Митник

Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН,
Владивосток, lm_mitnik@mail.ru

Ключевые слова: глобальное потепление, экстремальные явления, система «атмосфера – океан»

Из анализа временных рядов глобальных данных о температуре воздуха у поверхности Земли, выполненных различными научными организациями, следует, что средняя температура планеты в 2023, 2024 и 2025 гг. была самой высокой за последние 120 тыс. лет. Наиболее важным выводом из этих исследований является заключение о стремительном повышении средней температуры относительно температуры в доиндустриальный период (1850–1950). Рост населения планеты и развитие промышленности, сопровождаемое сжиганием ископаемого топлива (каменного угля, нефти и газа), привели к увеличению концентрации в атмосфере углекислого газа, метана и других оранжерейных газов, нарушивших баланс между приходом тепла от Солнца и его расходом за счёт инфракрасного излучения планеты. Этот дисбаланс и стал основной причиной потепления климата и связанного с ним изменением циркуляции атмосферы и океана, проявляющемся в росте количества аномальных явлений погоды и их интенсивности. В докладе приведены графики изменчивости температуры для всей планеты, а также отдельно для океана и земных покровов для всего года и за отдельные месяцы. Пространственные неоднородности температуры за целый год и за отдельные месяцы отражены на картах как для целого года, так и за отдельные месяцы. На них хорошо выделяются крупномасштабные аномалии температуры, обусловленные, например, волнами тепла, холодными вторжениями и другими явлениями. В конечном счёте, на людей и экосистемы влияет то, как глобальное изменение климата проявляется в региональном климате и погоде. В докладе приведены аномалии, вызванные прохождением тайфунов и внезапными стратосферными потеплениями, исследованные по спутниковым наблюдениям. Взаимосвязь между глобальным климатом и погодой нелинейная: глобальное потепление на 1,5 °C может привести к отдельным тепловым волнам, которые будут намного жарче, чем среднее повышение глобальной температуры.

В ежегодных докладах ВМО о состоянии климата подчёркнута тревога в связи с огромными темпами изменения климата в течение жизни одного поколения, которые ускоряются постоянно растущим содержанием парниковых газов в атмосфере. Потеря льда из ледников, повышение уровня моря и нагрев океана ускоряются; экстремальные погодные

условия наносят ущерб населению и экономике по всему мир. Эти процессы уверенно регистрируются из космоса приборами дистанционного зондирования.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s11-26-Mitnik.pdf

КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ РАЗЛИВЫ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ЧЁРНОМ МОРЕ

О. Ю. Лаврова¹, Е. А. Лупян¹, А. Г. Костяной²

¹ Институт космических исследований РАН, Москва
olavrova@cosmos.ru

² Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва

Ключевые слова: Чёрное море, Керченский пролив, нефтяные загрязнения, аварии с танкерами, терминал Каспийского трубопроводного консорциума, КТК, спутниковый мониторинг, радиолокаторы с синтетизированной апертурой, спутниковые данные видимого диапазона, Sentinel-1, -2, Landsat-8, -9, «Метеор-М» № 2-4

Обсуждаются последствия крупнейших разливов нефтепродуктов в северо-восточной части Чёрного моря за последние годы. К ним относятся:

- аварии с танкерами в черноморском предпроливье Керченского пролива 12 ноября 2007 г. и 15 декабря 2024 г.;
- аварии на терминале Каспийского трубопроводного консорциума (КТК), Южная Озереевка 7 августа 2021 г. и 29 августа 2025 г.;
- авария с танкером в северо-восточной части Чёрного моря 7 апреля 2026 г.

Для определения последствий аварийных разливов нефтепродуктов в каждом из пяти перечисленных случаев силами специалистов из Института космических исследований РАН и Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН проводился ежедневный комплексный спутниковый мониторинг и анализ гидрометеорологической ситуации. Были определены направления распространения нефтяных загрязнений, влияние на них гидрометеорологических условий, в первую очередь ветра, а также прибрежных течений и вихревая активность районе распространения загрязнения.

Основное внимание в докладе уделялось уникальному явлению, связанному с распространением нефтяного пятна в апреле 2026 г. в северо-восточной части Чёрного моря. Уникальность события заключалось в длительности нахождения нефтяного пятна на морской поверхности. Первоначальное пятно размером в 6 км² должно было бы исчезнуть через сутки-двое в зависимости от гидрометеоусловий, однако оно просуществовало почти три недели. Согласно спутниковым наблюдениям площадь пятна увеличилась более чем в 300 раз за 19 дней с 6 до 1700 км². Как показывает наш многолетний опыт, в частности в рамках спутникового мониторинга аварийных разливов, нефтяное пятно без подпитки должно со временем (на масштабах нескольких суток) уменьшаться в размерах, а не увеличиваться, как в данном случае.

Уникальная серия спутниковых квазисинхронных изображений, полученных различными оптическими и радиолокационными сенсо-

рами, позволила детально воспроизвести эволюцию и адвекцию нефтяного пятна с 7 по 26 апреля 2026 г. Локальную динамику распространения нефтяного пятна удалось проанализировать на основе данных от 17 апреля, когда сложилась уникальная ситуация, и пятно наблюдалось четыре раза в сутки за счёт получения данных различных спутниковых систем.

Анализ спутниковой информации проводился О. Ю. Лавровой, Е. А. Лупяном в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 126031818938-6) с использованием возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» с помощью инструментария информационной системы See the Sea. Динамику вод и метеорологическую информацию анализировал А. Г. Костяной в рамках темы госбюджета FMWE-2024-0016.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s11-26_Lavrova.pdf

О ЖУРНАЛЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»

Т. Ю. Бочарова

Институт космических исследований РАН, Москва, tabo@cosmos.ru

Ключевые слова: журнал, «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», номер, дистанционное зондирование, Scopus, РИНЦ, ВАК, ЕГПНИ, ИКИ РАН

Журнал был основан в 2004 г. по инициативе Института космических исследований РАН, который стал его издателем. Основная тема журнала — развитие методов и систем дистанционного зондирования Земли и использование технологий спутникового мониторинга для решения фундаментальных и прикладных задач. Журнал также уделяет внимание обсуждению теоретических и экспериментальных результатов, полученных в ходе исследований наземных экосистем, растительного и почвенного покрова, изучению процессов в океане и атмосфере и их взаимодействия, исследованиям в области геологии и геофизики на основе данных спутникового зондирования. Журнал выходит в двух форматах — печатном и сетевом издании. Адрес сайта <http://jr.rse.cosmos.ru/>. Все номера выкладываются в открытом доступе.

В 2015 г. журнал был включён в крупнейшую международную базу данных рецензируемой научной литературы Scopus, где с тех пор он неизменно находится в 3-м квартиле (Q3) по всем трём присвоенным ему тематическим категориям. При этом в каждой категории у журнала наивысший процентиль среди неанглоязычных изданий. С 2022 г. лучшие статьи в переводе на английский язык стали выходить отдельными выпусками в журнале *Cosmic Research*, который индексируется также и в Web of Science.

На настоящий момент (май 2026 г.) в журнале опубликовано 3127 статей, готовится к выходу 105-й номер. В базе РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) общее число цитирований статей журнала приближается к 27 000, среднее трёхлетнее число цитирований постоянно растёт. Больше половины всех публикаций журнала (52 %) относится к направлению геофизики, почти четверть (24 %) — к космическим исследованиям. В последние годы по основному показателю РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) (SCIENCE INDEX) среди 70 изданий первого направления журнал стабильно занимает 12–13 место, а среди 21 издания второго — 1–2 место. За 2025 г. SCIENCE INDEX журнала составляет 10,95, другие основные показатели РИНЦ также находятся в наивысшей четверти рейтинга изданий, входящих в ядро РИНЦ.

Сегодня журнал входит в первый квартиль (K1) Перечня ВАК (Высшая аттестационная комиссия), 1-й уровень Единого государственного

перечня научных изданий («Белый список»). Список специальностей ВАК, соответствующих профилю журнала, приведён на сайте журнала (<http://jr.rse.cosmos.ru/default.aspx?id=117>).

Финансовую поддержку изданию журнала оказывает Министерство науки и высшего образования РФ в рамках темы «Мониторинг» (гос-регистрация № 126031818938-6) и руководство Института космических исследований РАН.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s11-26-Bocharova.pdf

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ

Н. Ю. Комарова

Институт космических исследований РАН, Москва
nata.komarova@cosmos.ru

Ключевые слова: оформление научных статей, рукопись, текст, формулы, таблицы, публикации, иллюстрации, векторные рисунки

Доклад посвящён требованиям к оформлению рукописей научных статей в журнал «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Рассматриваются все составляющие рукопись элементы: непосредственно текст статьи в плане соответствия грамматике и орфографии русского языка, соблюдения правил стилистики, устранения тавтологии, повторов; построение таблиц; оформление формул; особенности составления и правильность написания списка источников (литературы, публикаций) и ссылок на них в тексте. Особое внимание уделяется правильному предоставлению иллюстраций (рисунков, картинок), особенностям и различию растровой и векторной графики.

http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2026/s11-26_Komarova.pdf

**Четырнадцатая международная Школа-семинар
«Спутниковые методы и системы исследования Земли»**

ИКИ РАН, Таруса, 25 мая — 1 июня 2026 г.

Сборник материалов

Издатель: Институт космических исследований
Российской академии наук (ИКИ РАН)
117997, Москва, Профсоюзная ул., 84/32