

УДК: 911

DOI: 10.35595/2414-9179-2025-2-31-135-142

П. Г. Илюшина¹, К. П. Ярков², В. О. Калениченко³, С. В. Дорошенко⁴

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ СПУТНИКОВЫХ
ПРОДУКТОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА
И КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА А
НА ОСНОВЕ ПОЛЕВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

АННОТАЦИЯ

Настоящее исследование направлено на оценку точности глобальных спутниковых продуктов, используемых для определения температуры поверхности океана и концентрации хлорофилла *a* в поверхностном слое воды, с акцентом на акватории арктических и дальневосточных морей России. В работе проанализированы данные съемочных систем MODIS, VIIRS и интегральных продуктов Copernicus Marine Portal, сопоставленные с результатами натурных измерений, проведенных в 2018–2022 гг. в Карском, Охотском и Печорском морях. Для автоматизации сравнения разработан специализированный модуль в QGIS, обеспечивающий извлечение спутниковых данных в точках отбора проб с последующим расчетом средней квадратической ошибки, коэффициента детерминации (R^2) и характера расхождений. Результаты выявили систематическое завышение спутниковых оценок концентрации хлорофилла *a*: 68–93 % измерений превышали наземные данные, особенно в прибрежных зонах, где оказывает влияние взвешенное органическое вещество. Наименьшая СКО (1,63 мг/м³) отмечена для MODIS/Terra, однако значимой корреляции между спутниковыми и полевыми данными не обнаружено. Для температуры поверхности моря характерно занижение значений (СКО = 2,8 °C), за исключением продукта Copernicus OSTIA, демонстрирующего высокую согласованность ($R^2 = 0,81$, СКО = 1,7 °C). Интегральные продукты Copernicus, объединяющие данные нескольких спутниковых платформ, показали неодинаковые результаты: наблюдается довольно высокая ошибка для концентрации хлорофилла *a* (6,03 мг/м³) и наилучшая точность для температуры среди всех анализируемых параметров. С точки зрения географического распределения максимальные ошибки наблюдаются на мелководных участках морей, что, вероятно, связано с наличием взвешенного органического вещества в воде.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: хлорофилл *a*, температура поверхности моря, дистанционное зондирование

¹ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Ленинские горы, д. 1, Москва, Россия, 119991, *e-mail*: ilyushinapg@my.msu.ru

² Центр морских исследований МГУ имени М. В. Ломоносова, Раменский бульвар, д. 1, Москва, Россия, 119607, *e-mail*: k.yarkov@marine-rc.ru

³ Центр компетенций «Технологии снижения антропогенного воздействия». Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Ленинские горы, д. 1с3, Москва, Россия, 119991, *e-mail*: v.kalenichenko@marine-rc.ru

⁴ ООО «Морской центр», Раменский бульвар, д. 1, Москва, Россия, 119607, *e-mail*: s.doroshenko@mor-center.ru

Polina G. Ilyushina¹, Kirill P. Yarkov², Vladislav O. Kalenichenko³, Sergey V. Doroshenko⁴

ACCURACY ASSESSMENT OF SATELLITE-DERIVED SEA SURFACE TEMPERATURE AND CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION PRODUCTS BASED ON FIELD MEASUREMENTS

ABSTRACT

This study aims to assess the accuracy of global satellite products used to determine sea surface temperature and chlorophyll-a concentration in the surface water layer, with a focus on the Arctic and Far Eastern seas of Russia. The analysis is based on data from the MODIS and VIIRS imaging systems, as well as integrated products from the Copernicus Marine Portal, which were compared with in situ measurements collected between 2018 and 2022 in the Kara, Okhotsk, and Pechora seas. To automate the comparison process, a specialized module was developed in QGIS, enabling the extraction of satellite data at field station points, followed by the calculation of the root mean square error (RMSE), coefficient of determination (R^2), and characterization of discrepancies. The results revealed a systematic overestimation of satellite-derived chlorophyll-a concentrations: 68–93 % of satellite estimates exceeded the in situ measurements, particularly in coastal zones influenced by suspended organic matter. The lowest RMSE (1.63 mg/m³) was observed for MODIS/Terra data; however, no significant correlation between satellite and field data was found. For sea surface temperature, a general underestimation was noted (RMSE of 2.8 °C), except for the Copernicus OSTIA product, which showed high agreement with field data ($R^2 = 0.81$, RMSE = 1.7 °C). Integrated Copernicus products, which combine data from multiple satellite platforms, exhibited mixed results: a relatively high error for chlorophyll-a (6.03 mg/m³) but the best accuracy for temperature among all analyzed parameters. Geographically, the highest errors were observed in shallow areas of the seas, likely due to the presence of suspended organic matter in the water.

KEYWORDS: chlorophyll *a*, sea surface temperature (SST), remote sensing

ВВЕДЕНИЕ

Морские исследования зачастую проводятся на основе глобальных тематических продуктов, которые имеют низкое пространственное разрешение при высокой периодичности обновления данных и рассчитываются на основе спутниковых измерений в автоматическом режиме для всего мира. Такие тематические продукты не учитывают региональные особенности распределения исследуемых параметров на поверхности моря, при этом они используются и в исследованиях для отдельных участков акваторий, а также могут служить источником фактической информации для прогнозирования или моделирования развития экологической обстановки. Целью данного исследования стала оценка качества открытых глобальных спутниковых продуктов, характеризующих температуру поверхности океана и концентрацию хлорофилла *a* в поверхностном слое воды.

Изучению вопроса точности спутниковых измерений концентрации хлорофилла *a* и температуры поверхности океана для российских морей посвящен ряд работ. В исследова-

¹ Lomonosov Moscow State University, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia,
e-mail: ilyushinapg@my.msu.ru

² Lomonosov Moscow State University Marine Research Center LLC, 1, Ramensky blvd., Moscow, 119607, Russia, *e-mail:* k.yarkov@marine-rc.ru

³ Center of Competence “Technologies for Reducing Anthropogenic Impact”. Lomonosov Moscow State University, 1s3, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia, *e-mail:* v.kalenichenko@marine-rc.ru

⁴ Marine Center LLC, 1, Ramensky blvd., Moscow, 119607, Russia, *e-mail:* s.doroshenko@mor-center.ru

ни [Вазюля, Юшманова, 2019] анализируется точность алгоритмов расчета концентрации хлорофилла *a* по данным MODIS, VIIRS, OLCI для Геленджикского района Черного моря. Максимальное количество измерений, по которым выполнялась оценка — 46. Авторами было выполнено сравнение результатов расчета концентрации хлорофилла *a* по стандартным алгоритмам и по региональным. Установлено, что для стандартных алгоритмов характерны максимальные ошибки, при этом они завышают значения в 2–6 р. Средняя квадратическая ошибка варьируется от 0,42 до 2,5 мг/м³. Региональные алгоритмы показывают более высокое качество выходных продуктов со значениями средней квадратической ошибки не более 0,11 мг/м³. В другой работе [Гоголев, 2020] анализировались результаты расчета концентрации хлорофилла *a* по данным VIIRS и OLCI для юго-восточной части Балтийского моря. Верификация спутниковых измерений показала слабую связь с натурными измерениями (R^2 равен 0,3 для VIIRS, 0,06 для OLCI). В исследовании [Stramska et al., 2021] указывается на существенные различия в спутниковых и наземных измерениях концентрации хлорофилла *a* (максимальная средняя квадратическая ошибка равна 3,4 мг/м³) для Балтийского моря, при этом значения температуры поверхности согласуются хорошо (средняя квадратическая ошибка не превышает 0,8 °C). Авторы отмечают существенное завышение спутниковых измерений относительно наземных. В работе [Салюк и др., 2016] выполнен сравнительный анализ между спутниковыми измерениями концентрации хлорофилла *a* по данным MODIS и VIIRS и измерениями значений параметра с судов. Авторы также сделали вывод о завышении спутниковых измерений относительно наземных, при этом данные VIIRS обеспечивают большую точность измерений. Такое завышение исследователи связывают с наличием взвешенного органического вещества в воде, которое ошибочно интерпретируется алгоритмами как вклад фитопланктона.

Результаты сравнения температуры поверхности океана, рассчитанной по спутниковым и наземным данным, показывают высокую согласованность данных, а средняя квадратическая ошибка в большинстве случаев не превышает 0,5–0,8 °C для данных с наиболее распространенных съемочных систем: MODIS, VIIRS, AVHRR, AMSR-E [Barton, 2007; Stramska et al., 2021; Feng et al., 2023]. В работе [Feng et al., 2023] такой анализ выполнен не только для данных MODIS/TERRA и MODIS/AQUA, но и для геостационарного спутника Himawari. Авторы отмечают, что ошибка определения температуры воды по данным MODIS/TERRA наименьшая, при этом величина ошибки для всех спутниковых данных варьируется в зависимости от сезона, региона, времени дня и ночи. В связи с этим в перспективе надо стремится к созданию интегральных продуктов, которые будут основаны на комбинации различных спутниковых данных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе анализировалась точность продуктов спутниковых данных MODIS, VIIRS, а также интегральных продуктов Морского портала Copernicus. Результаты расчета значений концентраций хлорофилла *a* и температуры поверхности океана по данным MODIS и VIIRS загружены с ресурса Oceanscolor¹. Один и тот же участок акватории попадает на разные сцены, поэтому на каждую дату приходится более одного тематического продукта, полученного одной съемочной системой. При этом следует отметить, что съемочная система MODIS установлена на двух космических аппаратах — Terra и Aqua (MODIS). Аналогично сенсор VIIRS установлен на космическом аппарате (КА) JPSS-1 и SNPP. Несмотря на то, что приборы MODIS и VIIRS разных КА идентичны по своим техническим характеристикам, они отличаются по радиометрическим. Данные с

¹ Oceanscolor. Электронный ресурс: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/> (дата обращения 30.04.2025)

каждого спутника анализировались отдельно, т. е. было сформировано четыре массива данных для оценки качества продуктов по концентрации хлорофилла *a* в морской воде (MODIS/AQUA, MODIS/TERRA, VIIRS/SNPP, VIIRS/JPSS1) и два массива данных по анализу точности расчета температуры поверхности океана (MODIS/TERRA, VIIRS/SNPP). Пространственное разрешение данных — 1 км.

Результаты расчета значений концентраций хлорофилла *a* и температуры поверхности Морского портала Copernicus загружены с интернет-ресурса¹ в формате NetCDF. Были выбраны следующие продукты:

1. Bio-Geo-Chemical (BGC) — идентификатор на Морском портале OCEANCOLOUR_GLO_BGC_L4_MY_009_104. В этом наборе расчет концентрации хлорофилла *a* осуществлен по данным SeaWiFS, MODIS, MERIS, VIIRS-SNPP & JPSS1, OLCI-S3A & S3B. Пространственное разрешение — 4 км. Продукт представляет собой комплексную обработку данных с нескольких космических аппаратов при помощи специального алгоритма Copernicus-GlobColour processor². Данные доступны с 1 сентября 1997 г. по настоящее время.
2. Значения температуры поверхности океана ESA SST CCI и C3S reprocessed sea surface temperature analyses — идентификатор на Морском портале ST_GLO_SST_L4 REP_OBSERVATIONS_010_024. Продукт представляет полные карты среднесуточной температуры поверхности океана с разрешением 0,05° по горизонтальной сетке. Расчет выполняется на основе спутниковых данных (A)ATSR, SLSTR и серии AVHRR с помощью системы оперативного анализа температуры поверхности моря и морского льда (OSTIA) [Good et al., 2020]. Данные доступны с 1 сентября 1981 г. по 31 октября 2022 г.³
3. Глобальный продукт по температуре поверхности моря и морскому льду (Global Ocean OSTIA Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis) — идентификатор на Морском портале SST_GLO_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_001. Продукт предоставляет ежедневные карты температуры поверхности моря с разрешением горизонтальной сетки 0,05°×0,05°. Создан на основе натурных и спутниковых данных, полученных как инфракрасными, так и микроволновыми радиометрами. Данные доступны с 1 января 2007 г.⁴

Для оценки качества спутниковых продуктов использовались результаты полевых измерений температуры морской поверхности и концентрации хлорофилла *a*, полученные в ходе выполнения научных рейсов ООО «Центр морских исследований МГУ имени М. В. Ломоносова» в 2018–2022 гг. в акваториях арктических и дальневосточных морей (рис. 1) в периоды с мая по сентябрь. Всего было выбрано 7 ключевых участков (их положение приведено на рис. 1), в рамках которых выполнялся отбор проб на 95 станциях, из них 77 станций расположены в Карском море, 16 станций — в Охотском море и 2 станции — в Печорском море. Отбор результатов полевых измерений для дальнейшего сравнения осуществлялся на основе анализа космических снимков на предмет наличия облачности в акватории в день измерений. Разность во времени выполнения космической

¹ Портал Copernicus. Электронный ресурс: <https://data.marine.copernicus.eu/> (дата обращения 02.06.2025)

² Global OceanColour (Copernicus-GlobColour processor). Электронный ресурс: https://data.marine.copernicus.eu/product/OCEANCOLOUR_GLO_BGC_L4_MY_009_104/description (дата обращения 30.04.2025)

³ Dataset description. Электронный ресурс: https://data.marine.copernicus.eu/viewer/expert?view=dataset&dataset=t=SST_GLO_SST_L4_REP_OBSERVATIONS_010_024 (дата обращения 30.04.2025)

⁴ Dataset description. Электронный ресурс: https://data.marine.copernicus.eu/viewer/expert?view=dataset&dataset=t=SST_GLO_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_001 (дата обращения 30.04.2025)

съемки и временем отбора проб составляла несколько часов (от 4 до 6). Таким образом, основой для оценки качества спутниковых продуктов послужили данные измерений, выполненные в безоблачные дни.



*Рис. 1. Положение ключевых участков
Fig. 1. Location of key sites*

Для автоматизированного извлечения значений анализируемых параметров по спутниковым данным в точках отбора проб был разработан модуль на языке Python для открытого программного обеспечения QGIS (Свидетельство о государственной регистрации № 2024688243 «Программный модуль для сопоставления спутниковых и наземных измерений»). Модуль реализует функцию извлечения данных из растровых слоев на основе точечного векторного слоя. В результате формируется файл, в котором содержится информация о измерении показателя на станции и значение по результатам спутниковых измерений для каждой даты. Для каждой пары значений вычислена разность, средняя квадратическая ошибка (СКО) и коэффициент детерминации. Для анализируемых продуктов количество пар значений различается, поскольку спутниковые продукты сформированы по космической съемке, выполненной в разное время, что влияет на соотношение облачных и безоблачных пикселей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приведена сводная информация о результатах сравнения спутниковых и полевых измерений значений концентрации хлорофилла *a* в поверхностном слое воды и температуры поверхности океана.

Анализ полученных результатов для концентрации хлорофилла *a* в поверхностном слое воды показывает:

1. Спутниковые измерения завышают значения концентрации хлорофилла *a*. Вероятно, это связано с тем, что наличие взвешенного органического вещества в воде (особенно в прибрежных зонах) может ошибочно интерпретироваться глобальными алгоритмами как вклад фитопланктона. Наибольшие ошибки продуктов наблю-

даются как раз на станциях, расположенных в прибрежной зоне Карского моря, в Обской губе и Енисейском заливе, минимальные — на глубоководных участках морей.

2. Минимальное значение средней квадратической ошибки ($1,63 \text{ мг}/\text{м}^3$) характерно для продукта MODIS/TERRA.
3. Значимой взаимосвязи между спутниковыми и полевыми измерениями не выявлено ни для одного из продуктов.

В то же время анализ полученных результатов для температуры поверхности океана показывает:

1. Спутниковые измерения занижают значения температуры поверхности океана. Вероятно, это может быть связано с большим осреднением в пределах пикселя тематических продуктов (4 км).
2. Минимальное значение средней квадратической ошибки ($1,7^\circ\text{C}$) характерно для продукта Морского портала Copernicus OSTIA.
3. Значимая взаимосвязь между спутниковыми и полевыми измерениями выявлена только для продукта Морского портала Copernicus OSTIA. Это позволяет рекомендовать данный продукт для анализа пространственно-временной изменчивости температуры поверхности океана. Увеличение объема полевых измерений для разных акваторий России позволит скорректировать данный тематический продукт, тем самым повысив точность измерения температуры поверхности воды.

*Табл. 1. Результаты сравнения спутниковых продуктов
и результатов полевых измерений*

Table 1. Comparison results of satellite-derived products and in situ measurements

Продукт	Количество измерений	СКО	R ²	Характер ошибки
Концентрация хлорофилла а				
MODIS/Aqua	75	$2,8 \text{ мг}/\text{м}^3$	0	93 % спутниковых измерений завышены относительно полевых
MODIS/Terra	69	$1,63 \text{ мг}/\text{м}^3$	0,05	68 % спутниковых измерений завышены относительно полевых
VIIRS/SNPP	57	$4,19 \text{ мг}/\text{м}^3$	0,31	91 % спутниковых измерений завышены относительно полевых
VIIRS/JPSS1	68	$3,36 \text{ мг}/\text{м}^3$	0,23	91 % спутниковых измерений завышены относительно полевых
Продукт Морского портала Copernicus (oceancolor_glo)	95	$6,03 \text{ мг}/\text{м}^3$	0,61	86 % спутниковых измерений завышены относительно полевых
Температура поверхности океана				
MODIS/Terra	120	$2,8^\circ\text{C}$	0,22	56 % спутниковых измерений занижены относительно наземных
VIIRS/SNPP	138	$2,6^\circ\text{C}$	0,36	59 % спутниковых измерений занижены относительно наземных
Продукт Морского портала Copernicus ESA SST CCI C3S	93	$2,0^\circ\text{C}$	0,23	59 % спутниковых измерений завышены относительно наземных
Продукт Морского портала Copernicus OSTIA	93	$1,7^\circ\text{C}$	0,81	Для половины измерений наблюдается завышение значений, для половины — занижение

На основе выполненной работы важно отметить, что на качество оценки спутниковых измерений по наземным данным сильное влияние оказывает качество самого массива данных, используемого для сравнения. Для получения корректных количественных оценок точности спутниковых измерений концентраций хлорофилла *a* и температуры поверхности океана на основе данных полевых работ, измерения необходимо проводить в безоблачных условиях, желательно в часы, близкие по времени пролета космического аппарата над районом работ. Такой подход позволит провести статистический анализ для установления взаимосвязей спутниковых и наземных измерений, разработать модель для коррекции спутниковых измерений по наземным для дальнейшего использования космических снимков как самостоятельного источника о концентрации хлорофилла *a* в поверхностном слое воды и о температуре поверхности моря.

ВЫВОДЫ

Глобальные спутниковые продукты, используемые для оценки температуры поверхности моря и концентрации хлорофилла *a*, требуют региональной адаптации для повышения точности в условиях арктических и дальневосточных морей России. Универсальные алгоритмы, применяемые для расчета концентрации хлорофилла *a*, оказываются ненадежными в прибрежных зонах из-за влияния взвешенного органического вещества, что подчеркивает необходимость разработки специализированных региональных моделей. При этом продукт Copernicus OSTIA продемонстрировал высокую согласованность с полевыми измерениями температуры и может рассматриваться как надежный инструмент для оперативного мониторинга и моделирования. Автоматизация процесса сопоставления спутниковых и наземных данных, реализованная в рамках данного исследования, подтверждает возможность масштабной валидации спутниковых продуктов при наличии качественных и синхронизированных полевых измерений. В перспективе для повышения достоверности спутникового мониторинга необходимо расширить объем полевых измерений и разработать алгоритмы, учитывающие природно-климатические особенности исследуемых акваторий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вазюля С. В., Юшманова А. В.* Валидация алгоритмов оценки концентрации хлорофилла *a* по спутниковым данным в Геленджикском районе Черного моря. Материалы конференции «Современные проблемы оптики естественных вод», 2019. С. 186–191.
- Гоголев Д. Г., Буканова Т. В., Александров С. В.* Региональная коррекция алгоритмов расчета концентрации хлорофилла *a* по данным спутниковых радиометров VIIRS и OLCI в юго-восточной части Балтийского моря. Известия КГТУ, 2020. № 59. С. 13–23.
- Салюк П. А., Степочкин И. Е., Букин О. А., Соколова Е. Б., Майор А. Ю., Шамбарова Ю. В., Горбушкин А. Р.* Определение концентрации хлорофилла *a* спутниковыми радиометрами MODIS-AQUA и VIIRS в Восточной Арктике и Беринговом море. Исследование Земли из космоса, 2016. № 1-2. С. 1–12. DOI: 10.7868/S0205961416010115.
- Barton I. J.* Comparison of In Situ and Satellite-Derived Sea Surface Temperatures in the Gulf of Carpentaria. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2007. V. 24. Iss. 10. P. 1773–1784. DOI: 10.1175/JTECH2084.1.
- Feng C., Yin W., He S., He M., Li X.* Evaluation of SST Data Products from Multi-Source Satellite Infrared Sensors in the Bohai-Yellow-East China Sea. Remote Sensing, 2023. V. 15. Iss. 10. P. 2493–2513. DOI: 10.3390/rs15102493.
- Good S., Fiedler E., Mao C., Martin M. J., Maycock A., Reid R., Roberts-Jones J., Searle T., Waters J., While J., Worsfold M.* The Current Configuration of the OSTIA System for Operational

Production of Foundation Sea Surface Temperature and Ice Concentration Analyses. *Remote Sensing*, 2020. V. 12. P. 720. DOI: 10.3390/rs12040720.

Stramska M., Konik M., Aniskiewicz P., Jakacki J., Darecki M. Comparisons of Satellite and Modeled Surface Temperature and Chlorophyll Concentrations in the Baltic Sea with In Situ Data. *Remote Sensing*, 2021. V. 13. P. 3049. DOI: 10.3390/rs13153049.

REFERENCES

Barton I. J. Comparison of In Situ and Satellite-Derived Sea Surface Temperatures in the Gulf of Carpentaria. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2007. V. 24. Iss. 10. P. 1773–1784. DOI: 10.1175/JTECH2084.1.

Feng C., Yin W., He S., He M., Li X. Evaluation of SST Data Products from Multi-Source Satellite Infrared Sensors in the Bohai-Yellow-East China Sea. *Remote Sensing*, 2023. V. 15. Iss. 10. P. 2493–2513. DOI: 10.3390/rs15102493.

Gogolev D. G., Bukanova T. V., Alexandrov S. V. Regional Correction of Chlorophyll-*a* Concentration Calculation Algorithms Based on VIIRS and OLCI Satellite Radiometers in the Southeastern Baltic Sea. *KSTU News*, 2020. V. 59. P. 13–23 (in Russian).

Good S., Fiedler E., Mao C., Martin M. J., Maycock A., Reid R., Roberts-Jones J., Searle T., Waters J., While J., Worsfold M. The Current Configuration of the OSTIA System for Operational Production of Foundation Sea Surface Temperature and Ice Concentration Analyses. *Remote Sensing*, 2020. V. 12. P. 720. DOI: 10.3390/rs12040720.

Salyuk P. A., Stepochkin I. E., Bukin O. A., Sokolova E. B., Mayor A. Yu., Shambarova Yu. V., Gorbushkin A. R. Determination of Chlorophyll-*a* Concentration by MODIS-AQUA and VIIRS Satellite Radiometers in the Eastern Arctic and Bering Sea. *Earth Research from Space*, 2016. V. 1-2. P. 1–12 (in Russian). DOI: 10.7868/S0205961416010115.

Stramska M., Konik M., Aniskiewicz P., Jakacki J., Darecki M. Comparisons of Satellite and Modeled Surface Temperature and Chlorophyll Concentrations in the Baltic Sea with In Situ Data. *Remote Sensing*, 2021. V. 13. P. 3049. DOI: 10.3390/rs13153049.

Vazyulya S. V., Yushmanova A. V. Validation of Chlorophyll-*a* Concentration Estimation Algorithms Using Satellite Data in the Gelendzhik Area of the Black Sea. *Proceedings of the Conference “Current Problems in Optics of Natural Waters (ONW’2023)”, 2019.* P. 186–191 (in Russian).