# Анализ динамики уровенной поверхности океана в акватории залива Аляска по данным спутниковой альтиметрии

# A. A. Pomahob<sup>1</sup>, A. A. Pomahob<sup>1</sup>, M. B. Устинова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Центральный научно-исследовательский институт машиностроения Королёв, 141070, Московская обл., Россия E-mail: romanovaa@tsniimash.ru
<sup>2</sup> Московский физико-технический институт Долгопрудный, 141701, Московская обл., Россия E-mail: mary.05.96@mail.ru

В работе представлены результаты исследования особенностей региональной динамики Мирового океана по данным спутниковой альтиметрии. Исследуются динамические структуры и вихревые образования в регионе, выявленные во время проведения комплексного эксперимента по исследованию общей пелагической экосистемы зал. Аляска в 2019 г. Представлены среднесезонные и среднемесячные карты аномалий высоты морской поверхности, полученные по данным космических аппаратов TOPEX/Poseidon, Jason-1/2/3 за период с 1992 по 2019 г. Используется информация космических аппаратов Sentinel-3A/B для короткого периода 2019 г. в момент отсутствия данных от альтиметра Jason-3. Анализируется характер изменчивости поведения вод в регионе, исследуются особенности выявленных вихревых структур и фронтальных зон, а также сезонной изменчивости Северо-Тихоокеанского и Аляскинского течений. Анализ средней карты морской поверхности позволил выявить структуры, которые носят существенно стационарный характер, при этом оставив открытыми вопросы возможного изменения гидрологического режима в регионе для последующих исследований.

Ключевые слова: спутниковая альтиметрия, дистанционное зондирование, динамика поверхности океана, залив Аляска, аномалии высоты морской поверхности

Одобрена к печати: 05.08.2020 DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-256-266

#### Введение

В 2019 г. интернациональная группа учёных из России, Канады, Японии, Кореи и США организовала комплексную экспедицию по исследованию общей пелагической экосистемы зал. Аляска в зимний период (Pakhomov, 2019). Это первая с 2000-х и даже с 1990-х гг. попыт-ка подобного комплексного исследования региона, сфокусированная на поиск взаимосвязей гидрохимических и физико-химических параметров океана и концентрации лососёвых видов рыб (относящихся к пелагическим) в этот период времени для данного региона (Pakhomov, 2019). В рамках эксперимента был проведён обширный забор биоматериала: всего в ходе контрольных тралений было поймано более 400 особей лососёвых.

Аналогично комплексному эксперименту, проведённому российскими исследователями в 1997 г. в Норвежском море (Романов, Романов, 2018а, б, 2019; Романов, Сапожников, 1998), в зал. Аляска проводилась комплексная гидрологическая съёмка судовыми средствами, привлекалась информация с космических аппаратов (КА) в разных диапазонах спектра, осуществлялись контрольные траления судном, но не привлекалась рыболовная флотилия.

Одним из важнейших источников информации, необходимой для исследования особенностей гидрологического режима в океане, стала спутниковая альтиметрия. Аномалии высоты морской поверхности, рассчитанные с приемлемой точностью, становятся доступными для исследователей со значительной временной задержкой в силу известных особенностей обработки и распространения информации (Benada, 1993; Integrated..., 2019). Таким образом, при подготовке к проведению экспедиции можно было оперировать только ретроспективными данными, опираясь на особенности циркуляции, выявленной при анализе информации со значительным временным усреднением. Также актуальная информация топографии региона на время эксперимента стала доступна уже фактически после проведения экспериментальных работ.

В рамках представленного исследования проводится анализ динамики океана в зал. Аляска на основе данных спутниковой альтиметрии. Делается попытка анализа особенностей циркуляции северо-восточной части Тихого океана, в частности Северо-Тихоокеанского и Аляскинского течений. При этом сознательно используется информация исключительно об аномалиях высоты поверхности, с тем чтобы анализировать существенные изменения выделяемых образований.

Непрерывный ряд альтиметрических измерений с космических аппаратов TOPEX/ Poseidon, Jason-1/2/3, перекрывающих временной период с 1992 г. по настоящее время, позволяет получить среднесезонные и среднемесячные карты распределения аномалий высоты морской поверхности и проанализировать структуры на поверхности океана в регионе, которые носят стационарный характер.

#### Описание спутниковых данных

Для формирования карт аномалий высоты морской поверхности использовался стандартный продукт Integrated Multi-Mission Ocean Altimeter Data for Climate Research (интегрированные данные миссий спутниковых альтиметров для климатических исследований), распространяемый центром PO.DAAC, США (*англ.* Physical Oceanography Distributed Active Archive Center) (Integrated..., 2019). Альтиметрическая информация с космических аппаратов TOPEX/ Poseidon, Jason-1/2/3 в этом продукте уже стянута в точки «стандартного цикла» с шагом 11,2 км вдоль трека.

Значения аномалий высоты морской поверхности учитывают (Integrated..., 2019) кросскалибровочные коэффициенты для каждого прибора; следовательно, был получен непрерывный ряд альтиметрических наблюдений с 1992 по 2019 г. Поскольку значения аномалий высот привязаны к одним географическим точкам для всего периода наблюдений, были построены карты распределения аномалий высоты морской поверхности с различным окном временного усреднения (Романов, Романов, 2019; Романов и др., 2004; Шевченко, Романов, 2004). При расчёте значений аномалий уровня учитывался стандартный подход, представленный в работах (Benada, 1993; Integrated..., 2019).

В период с 24.02.2019 по 06.03.2019 информация с КА Jason-3 была недоступна. Поэтому при формировании декадных карт спутниковой альтиметрии на период проведения эксперимента использовались данные спутников Sentinel-3A/В. При расчётах карт с временным усреднением информация от Sentinel-3A/В не использовалась. Аномалии высоты морской поверхности рассчитывались по стандартной методике (https://sentinel.esa.int/web/technical-guides/sentinel-3-altimetry), включая коэффициенты кросс-калибровки.

#### Анализ карт распределения аномалий поверхности

Динамика океанических вод в исследуемом регионе формируется за счёт трёх основных течений: тёплые воды северной части Тихого океана вторгаются в регион и разделяются на тёплое Аляскинское и холодное Калифорнийское течение (Alaska..., 2020).

На *рис. 1* (см. с. 258) приведено распределение аномалий морской поверхности, полученное по данным КА TOPEX/Poseidon, Jason-1/2/3 и усреднённое за всё время альтиметрических наблюдений до момента проведения эксперимента (1992–2019). На карте хорошо представлена градиентная зона с перепадом высот до 3 см, которая, по всей видимости, характеризует Северо-Тихоокеанское течение на юге региона и Аляскинское на северо-востоке и севере, вдоль побережья Северной Америки, что хорошо согласуется с современными представлениями.



*Рис. 1.* Распределения аномалий высоты морской поверхности в зал. Аляска, усреднённые за период 1992–2019 гг.

Анализ карты аномалий высот показывает наличие суперстационарных антициклонических образований мезомасштабного характера на севере, северо-востоке и в южной части региона. Вдоль 57° с. ш. наблюдается большая структура, состоящая из четырёх образований с перепадом высот до 4,5 см, которые формируются во фронтальной зоне, образуемой тёплым потоком и холодными водными массами. Кроме того, в северо-восточной части региона наблюдаются устойчивые циклонические вихри, соответствующие тёплым океаническим течениям.

Необходимо подчеркнуть, что для анализа в работе используются данные об аномалиях высоты морской поверхности (т.е. значения высот относительно средней поверхности DTU15 (Integrated..., 2019)). Выраженные аномалии на *рис. 1* могут не только характеризовать наличие и изменение высот стационарных вихревых структур, но и показывать, что они вызваны существенным изменением гидрологического режима в регионе за период 2015–2019 гг. Поиск ответов на эти вопросы, бесспорно, требует дополнительного исследования.

На *рис. 2а* (см. с. 259) представлена карта аномалий высоты морской поверхности с КА Jason-3, усреднённая за время проведения экспедиции (февраль – март 2019 г.). Хорошо выделяется область, соответствующая «рукаву» тёплого Аляскинского течения, идущего вдоль берега американского континента и формирующего существенную градиентную зону с перепадом высот более 25 см. На периферии потока в северной части региона наблюдаются уже знакомые по *рис. 1* антициклонические структуры с аномалиями высоты +24 см и координатами центров 58° с. ш., 142° з.д. (B1) и 58° с. ш., 147° з.д. (B2). Кроме того, выделяется циклоническая структура с координатами центра 56° с. ш., 139° з.д. (B3). На юге и юго-востоке присутствует градиентная зона, соответствующая потоку Северо-Тихоокеанского течения.

Декадные карты, реконструированные с перекрытием в 5 сут по данным КА Jason-3 на период проведения эксперимента, позволяют проследить эволюцию вихревых структур В1–В3. На протяжении февраля и марта 2019 г. высота структур В1 и В2 сохранялась практически постоянной — 20–22 см, диаметр — от 150 до 300 км. Пространственная конфигурация В3 изменялась в более широких пределах: если на *рис. 1* В3 представлен в виде одиночной структуры диаметром порядка 250 км, то на *рис. 2а* В3 участвует в формировании структуры существенно большего пространственного размера, по всей видимости, под влиянием структуры аляскинского течения.



*Рис. 2.* Распределение: *а* — аномалий высоты морской поверхности по данным КА JASON-3; *б* — температуры морской поверхности по данным (Product..., 2019); *в* — температуры хлорофилла *a* (Product..., 2020). Все карты усреднены за период 01.02.2019–31.03.2019



*Рис. 3.* Декадные карты распределений аномалий морской поверхности в зал. Аляска (см): *a* — Jason-3, 06.02.2019–15.02.2019; *b* — Jason-3, 11.02.2019–20.02.2019; *b* — Jason-3, 16.02.2019–24.02.2019; *c* — Jason-3/Sentinel-3, 20.02.2019–01.03.2019; *d* — Jason-3/Sentinel-3, 25.02.2019–06.03.2019; *e* — Jason-3/Sentinel-3, 01.03.2019–10.03.2019; *w* — Jason-3, 06.03.2019–15.03.2019; *s* — Jason-3, 11.03.2019–20.03.2019; *u* — Jason-3, 16.03.2019–25.03.2019

На *рис. За–е* представлена эволюция структуры В3 во времени, когда в самом начале эксперимента в рассматриваемой циклонической области чётко выделяются две вихревые структуры со значениями высот от -6 до -3 см. В первой декаде марта амплитуда этих структур уменьшилась до -3 см, но при этом они чётко разделились на две: одна переместилась чуть западнее, другая — восточнее с последующим восстановлением значений аномалий высоты морской поверхности (*рис. 3ж–и*). Структуры В1 и В2, в целом оставаясь на том же месте, также меняли свою пространственную конфигурацию, сохраняя значение аномалий на уровне +20...+22 см (см. *рис. 3а–и*).



*Рис. 4.* Распределение аномалий высоты морской поверхности в зал. Аляска, усреднённые по месяцам за период 1992–2019 гг.: a — январь;  $\delta$  — февраль; e — март; e — апрель;  $\partial$  — май; e — июнь;  $\mathcal{K}$  — июль; 3 — август; u — сентябрь;  $\kappa$  — октябрь; n — ноябрь; m — декабрь

Гидрологический режим региона чётко прослеживается на месячных и сезонных картах аномалий высоты морской поверхности, охватывающих весь период спутниковых альтиметрических наблюдений. Анализируя характер распределения, представленного на месячных картах (*puc. 4*, см. с. 261), можно заключить, что начиная с мая и по август приток тёплых вод Аляскинского течения носит максимально интенсивный характер (см. *puc. 4e–u*). Затем течение несколько ослабевает, его структура меняется (см. *puc. 4к–м*), а минимальная интенсивность наблюдается в октябре – ноябре (см. *puc. 4л, м*). Зимой и в первые месяцы весны (см. *puc. 4a–d*) интенсивность потока начинает постепенно расти, достигая максимума к июлю – августу (см. *puc. 43, u*).

Сезонное распределение аномалий высоты морской поверхности (*puc. 5*) в целом подтверждает выявленные выше особенности гидрологического режима в регионе. Максимальная интенсивность Аляскинского течения наблюдается летом (см. *puc. 5в*), минимальная — осенью (см. *puc. 5г*) и процесс перехода — зимой и весной (см. *puc. 5a*,  $\delta$ ). Кроме того, дрейф градиентной зоны на северо-востоке региона является более значимым. Если зимой (см. *puc. 5a*) поток отходит от побережья Северной Америки на расстояние до 150 км, то летом опять приближается и идёт практически вдоль побережья (см. *puc. 5в*).



*Рис. 5.* Распределения аномалий высоты морской поверхности в зал. Аляска, усреднённые по сезонам за период 1992–2019 гг.: *а* — зима; *б* — весна; *в* — лето; *г* — осень

### Сравнение информации по региону

Исследование гидрологического режима и особенностей циркуляции мезомасштабных образований в исследуемом регионе, показанных на картах распределения аномалий высоты морской поверхности, представляется не полным без сравнения различных источников информации о состоянии океана. Более подробный анализ данных, в том числе информации, полученной с борта научно-исследовательского судна (Pakhomov, 2019), будет представлен в последующих публикациях.

Предварительное сравнение распределений (средние карты параметров океана за период экспедиции), представленных на *puc. 2*, показывает, что на карте температуры поверхности океана (Product..., 2019) (см. *puc. 26*) в рассматриваемом регионе наблюдается чётко выраженная область тёплых Северо-Тихоокеанского и Аляскинского течений. Кроме того, присутствуют структуры, аналогичные B1 и B2, с перепадом температуры около 1 °C. Таким образом, антициклонической структуре на распределении аномалий высот морской поверхности соответствует относительно холодная структура на карте распределения температуры, что вполне соответствует результатам предыдущих экспериментов, например в Норвежском море в 1997 г. (Романов, Романов, 2018а, 6, 2019; Романов, Сапожников, 1998). Вихревой структуре В3 соответствует более тёплая область на северо-востоке региона.

Анализ карты распределения хлорофилла на поверхности океана по спутниковым данным (Product..., 2020) (см. *puc. 2в*) позволяет выделить вихревые образования, соответствующие B1, B2 и B3, различимым на *puc. 2a* и б. При этом циклонической структуре B3 соответствует относительно небольшое повышение концентрации хлорофилла, определяемое в целом слабым выносом холодной воды (см. *puc. 26*). Кроме того, хорошо выделяется область повышенной концентрации хлорофилла в центральной части региона между 48° с. ш. и 51° с. ш., соответствующая антициклонической структуре на *puc. 2a*, а также вихрь с центром в 55° с. ш., 145° з.д. В целом указанные результаты находятся в хорошем соответствии с данными работ (Романов, Романов, 2018а, б, 2019; Xiu et al., 2014).

В береговой зоне наблюдается существенное увеличение концентрации хлорофилла, что может быть не совсем корректно для подобного региона и должно быть устранено при помощи проведения региональной коррекции, аналогично исследованиям (Фефилов, 2003; Romanov, Fefilov, 2002).

### Заключение

В настоящей работе проведено исследование гидрологического режима и особенностей циркуляции в зал. Аляска на основе данных спутниковой альтиметрии. С учётом анализа ряда альтиметрических данных, собранных КА TOPEX/Poseidon, Jason-1/2/3 и Sentinel-3A/B за период с 1992 по 2019 г., были выявлены стационарные вихревые структуры, а также некоторые месячные и сезонные особенности гидрологического режима в регионе исследования.

Было показано, что в регионе присутствуют суперстационарные вихревые образования на периферии Аляскинского течения, проявляющиеся на средней карте аномалий морской поверхности, построенной за весь период альтиметрических наблюдений. Выявленные структуры носят как циклонический, так и антициклонический характер.

По декадным распределениям аномалий высоты морской поверхности была проанализирована динамика и мезомасштабное изменение структуры вихревых образований, которые наблюдались в регионе в период проведения комплексного эксперимента. Месячные и сезонные распределения аномалий высоты морской поверхности позволили выявить особенности гидрологического режима — смещение местоположения основного рукава аляскинского течения. Показано, что максимум интенсивности Аляскинского течения приходится на период с мая по август, минимум наступает в осенний период с достаточно длительным переходным процессом в течение зимнего и весеннего сезонов. Предварительное сравнение спутниковой информации, полученной от различных спутниковых систем, об аномалиях высоты морской поверхности, температуре и цвете океана показало хорошее соответствие между распределениями температуры и альтиметрии в регионе исследования. Полученные в работе результаты в очередной раз демонстрируют необходимость развёртывания спутниковых систем, способных одновременно получать информацию о состоянии морской поверхности в разных спектральных диапазонах.

Получение разнородной информации с минимальной временной задержкой по отношению друг к другу, несомненно, позволит повысить эффективность исследований подстилающей поверхности Мирового океана, при этом могут быть достигнуты неожиданные синергетические эффекты.

## Литература

- 1. *Романов А.А., Романов А.А.* (2018а) Комплексный анализ данных гидрологической съемки и информации дистанционного зондирования для оценки промысловой обстановки в акватории Норвежского моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 200–213.
- 2. Романов А.А., Романов А.А. (2018б) Норвежское море 1997. Основные результаты комплексного научно производственного эксперимента. М: ИКИ РАН, 2018. 311 с.
- 3. *Романов А.А., Романов А.А.* Анализ динамики мезомасштабных структур в акватории Норвежского моря по данным дистанционного зондирования и гидрологических съемок // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 2. № 4. С. 207–217.
- 4. *Романов А.А., Сапожников В. В.* Комплексный научно-производственный эксперимент в Норвежском море с использованием космических, авиационных и судовых средств (НИС «Академик Борис Петров», 2 июля 1 августа 1997 г.) // Океанология. 1998. Т. 38. № 3. С. 466–472.
- 5. *Романов А.А., Шевченко Г.В., Седаева О.С.* Сезонные колебания уровня Охотского моря по данным береговых мареографных станций и спутниковой альтиметрии // Исслед. Земли из космоса. 2004. № 6. С. 59–72.
- 6. *Фефилов Ю. В.* Разработка и создание информационной технологии дистанционного определения параметров первичной биопродуктивности в системах мониторинга океана: автореф. дис... канд. техн. наук. М., 2003. 19 с.
- 7. Шевченко Г.В., Романов А.А. Определение характеристик прилива в Охотском море по данным спутниковой альтиметрии // Исслед. Земли из космоса. 2004. № 1. С. 49–62.
- Alaska Oceanographic Circulation Diagrams and Graphics (divided into 9 coastal subareas; compiled by John Whitney, NOAA SSC for Alaska). 2020. 29 p. URL: http://www.asgdc.state.ak.us/maps/cplans/base/ AK-Circ.pdf.
- 9. *Benada R*. PO.DAAC Merged GDR (T/P) Users Handbook. Rep. JPL D-11007. Pasadena: Jet Propulsion Lab., 1993. 111 p.
- Integrated Multi-Mission Ocean Altimeter Data for Climate Research TOPEX/Poseidon, Jason-1, 2, 3: User's Handbook. Version. 4.2 / California Insitune of Technology, US. 2019. 60 p. URL: https://podaactools.jpl.nasa.gov/drive/files/allData/merged\_alt/L2/TP\_J1\_OSTM/docs/v050420version42multialthandbook.pdf.
- Pakhomov E.A., Deeg C., Esenkulova S., Foley G., Hunt B. P.V., Ivanov A., Jung H. K., Kantakov G., Kanzeparova A., Khleborodov A., Neville C., Radchenko V., Shurpa I., Slabinsky A., Somov A., Urawa S., Vazhova A., Vishnu P. S., Waters C., Weitkamp L., Zuev M., Beamish R. Summary of preliminary findings of the International Gulf of Alaska expedition onboard the R/V Professor Kaganovskiy during February 16– March 18, 2019. NPAFC. Doc. 1858. 2019. 26 p. URL: https://npafc.org/wp-content/uploads/Public-Documents/2019/1858Prof-Kaganovskiy-Cruise-Summary.pdf.
- 12. Product User Manual For OSTIA Near Real Time Level 4 SST Products over the Global Ocean. SST-GLO-SST-L4-NRT-OBSERVATIONS-010-001. Version 4.4. 2019. 31 p. URL: https://resources.marine.copernicus.eu/documents/PUM/CMEMS-SST-PUM-010-001.pdf.
- 13. Product User Manual for all Ocean Color Products. Iss. 5.0. EU Copernicus Marine Service, 2020. 75 p. URL: https://resources.marine.copernicus.eu/documents/PUM/CMEMS-OC-PUM-009-ALL.pdf.
- 14. *Romanov A. A., Fefilov Yu. V.* An analysis and regional adjustment of SeaWiFS bio-optical algorithm for canary upwelling region // Proc. Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS). 2002. p. 206.
- Xiu P., Thomas A., Chai F. Satellite bio-optical and altimeter comparisons of phytoplankton blooms induced by natural and artificial iron addition in the Gulf of Alaska // Remote Sensing of Environment. 2014. V. 145. P. 38–46.

# Analysis of the dynamics of ocean level surface in the Gulf of Alaska from satellite altimetry data

A.A. Romanov<sup>1</sup>, A.A. Romanov<sup>1</sup>, M.V. Ustinova<sup>2</sup>

 <sup>1</sup> Central Research Institute for Machine Building Korolev 141070, Moscow region, Russia E-mail: romanovaa@tsniimash.ru
 <sup>2</sup> Moscow Institute of Physics and Technology Dolgoprudny 141701, Moscow region, Russia E-mail: mary.05.96@mail.ru

The paper presents the results of a study of the features of regional dynamics of the World Ocean using satellite altimetry data. The dynamic structures and eddy formations in the region, identified during a comprehensive experiment to study the general pelagic ecosystem of the Gulf of Alaska in 2019 are investigated. Presented are the seasonal and monthly maps of average sea surface height anomalies obtained from the TOPEX/Poseidon, Jason-1/2/3 satellites for the period from 1992 to 2019. The information of the Sentinel-3A/B satellite is used for a short period of 2019 at the time of the absence of data from the JASON-3 altimeter. The nature of the variability of the behavior of waters in the region is analyzed, the features of the identified eddy structures and frontal zones, as well as the features of the seasonal variability of the North Pacific and Alaskan currents, are investigated. Analysis of the average sea surface map made it possible to identify structures that are essentially stationary in nature, while leaving open the questions of possible change in the hydrological regime in the region for further research.

Keywords: satellite altimetry, remote sensing, sea surface dynamics, Alaska Bay, sea level anomalies

Accepted: 05.08.2020 DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-256-266

## References

- Romanov A. A., Romanov A. A. (2018a), Kompleksnyi analis dannykh gidrologicheskoi s"emki i informatsii distantsionnogo zondirovaniya dlya otsenki promyslovoi obstanovki v akvatorii Norvezhskogo morya (Assessment of fishing conditions in the marine environment of Norwegian sea through an integrated analysis of hydrological and remote sensing data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 4, pp. 200–213.
- Romanov A.A., Romanov A.A. (2018b), Norvezhskoe more 1997. Osnovnye resul'taty kompleksnogo nauchno-proizvodstvennogo eksperimenta ("Norwegian sea – 97". The major results of comprehensive experiment), Moscow: IKI RAN, 2018, 311 p.
- 3. Romanov A.A., Romanov A.A., Analiz dinamiki mezomasshtabnyikh struktur v akvatorii Norvezhskogo morya po dannyim distantsionnogo zondirovaniya i gidrologicheskikh s"emok (Assessment of mesoscale dynamics in the Norwegian Sea from remote sensing and hydrological survey data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 2, No. 4, pp. 207–217.
- 4. Romanov A.A., Sapozhnikov V.V., Kompleksnyi nauchno-proizvodstvennyi eksperiment v Norvezhskom more s ispol'zovaniem kosmicheskikh, aviatsionnykh i sudovykh sredstv (NIS "Akademic Boris Petrov", 2 iyulya 1 avgusta 1997 g.) (Complex science experiment in Norwegian sea using space-, vessel- and airplain-based sensors (R/V Akademik Boris Petrov, July 2 August 1, 1997)), *Okeanologiya*, 1998, Vol. 38, No 3, pp. 466–472.
- 5. Romanov A.A., Shevchenko G.V., Sedaeva O.S., Sezonnye kolebaniya urovnya Okhotskogo morya po dannym beregovykh mareographnykh stantsii i sputnikovoi altimetrii, *Issledovanie Zemli iz kosmosa* (The seasonal variations of Okhotsk sea level on the basis of coastal gauges stations and satellite altimetry data), 2004, No. 6, pp. 59–72.
- 6. Fefilov Yu. V., *Razrabotka i sozdanie informatsionnoi tekhnologii distantsionnogo opredeleniya parametrov pervichnoi bioproductivnosti v sistemakh monitoringa okeana: Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk* (Information technology development of remote sensing of primary bioproductivity parameters in ocean monitoring systems, Ext. abstract of Cand. techn. sci. thesis), Moscow, 2013, 19 p.

- 7. Shevchenko G. V., Romanov A. A., Opredelenie kharakteristik priliva v Okhotskom more po dannym sputnikovoi altimetrii (Tide characteristics determination on the basis of satellite altimetry data in Okhotsk sea), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2004, No. 1, pp. 49–62.
- 8. Alaska Oceanographic Circulation Diagrams and Graphics (divided into 9 coastal subareas; compiled by John Whitney, NOAA SSC for Alaska), 2020, 29 p., available at: http://www.asgdc.state.ak.us/maps/cplans/base/AK-Circ.pdf.
- 9. Benada R., *PO.DAAC Merged GDR (T/P) Users Handbook, Rep. JPL D-11007*, Pasadena: Jet Propulsion Lab., 1993, 111 p.
- Integrated Multi-Mission Ocean Altimeter Data for Climate Research TOPEX/Poseidon, Jason-1, 2, 3: User's Handbook, Version. 4.2, California Insitune of Technology, US, 2019, 60 p., available at: https://podaactools.jpl.nasa.gov/drive/files/allData/merged\_alt/L2/TP\_J1\_OSTM/docs/v050420version42multialthandbook.pdf.
- Pakhomov E. A., Deeg C., Esenkulova S., Foley G., Hunt B. P. V., Ivanov A., Jung H. K., Kantakov G., Kanzeparova A., Khleborodov A., Neville C., Radchenko V., Shurpa I., Slabinsky A., Somov A., Urawa S., Vazhova A., Vishnu P. S., Waters C., Weitkamp L., Zuev M., Beamish R., *Summary of preliminary findings* of the International Gulf of Alaska expedition onboard the R/V Professor Kaganovskiy during February 16 – March 18, 2019, NPAFC, Doc. 1858, 2019, 26 p., available at: https://npafc.org/wp-content/uploads/ Public-Documents/2019/1858Prof-Kaganovskiy-Cruise-Summary.pdf.
- 12. Product User Manual For OSTIA Near Real Time Level 4 SST Products over the Global Ocean, SST-GLO-SST-L4-NRT-OBSERVATIONS-010-001, Version 4.4, 2019, 31 p., available at: https://resources.marine. copernicus.eu/documents/PUM/CMEMS-SST-PUM-010-001.pdf.
- 13. *Products User Manual for all Ocean Color Products, Issue 5.0*, EU Copernicus Marine Service, 2020, 75 p., available at: https://resources.marine.copernicus.eu/documents/PUM/CMEMS-OC-PUM-009-ALL.pdf.
- 14. Romanov A.A., Fefilov Yu.V., An analysis and regional adjustment of SeaWiFS bio-optical algorithm for canary upwelling region, *Proc. Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS)*, 2002, p. 206.
- 15. Xiu P., Thomas A., Chai F., Satellite bio-optical and altimeter comparisons of phytoplankton blooms induced by natural and artificial iron addition in the Gulf of Alaska, *Remote Sensing of Environment*, 2014, Vol. 145, pp. 38–46.