

## Особенности циркуляции залива Аляска по данным спутниковой альтиметрии

А. А. Романов, А. А. Романов

АО «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»  
Московская обл., Королев, 141070, Россия  
E-mail: romanovaa@tsniimash.ru

В работе продолжено исследование циркуляции морской поверхности в зал. Аляска по данным спутниковой альтиметрии. Были проанализированы пространственные распределения аномалий высоты морской поверхности с различным временным усреднением. Выявлены стационарные и квазистационарные структуры на распределениях, усреднённых за весь период исследований по различным временным выборкам: рассматривались среднемесячные и среднесезонные распределения. Настоящее исследование направлено на проверку высказанных ранее предположений об особенностях циркуляции в зал. Аляска уже с использованием распределений абсолютной динамической топографии по данным спутниковой альтиметрии. Сделаны предположения о характере гидрологического режима в регионе в зависимости от месяца или сезона наблюдения. Проведённый анализ и сравнение результатов исследований показали, что общий характер выявленных относительных вариаций высоты морской поверхности в целом схож как при использовании аномалий поверхности, так и абсолютной динамической топографии. При этом наблюдаются некоторые различия в выявленных структурах на поверхности, предположительно характеризующих мезомасштабную пространственную изменчивость поверхности океана. Для построения карт распределений топографии поверхности океана использовался непрерывный ряд альтиметрических спутниковых наблюдений с 1992 по 2020 г.

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

Одобрена к печати: 12.07.2021

DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-5-159-165

### Введение

В 2009 г. интернациональная команда учёных организовала проведение первого с начала 2000-х гг. эксперимента по изучению общей пелагической экосистемы зал. Аляска (Pakhomov et al., 2019). В рамках комплексного изучения региона было проведено исследование особенностей региональной динамики поверхности океана, в том числе по данным спутниковой альтиметрии, аналогичное работам (Романов, Романов, 2018а, б, 2019). В качестве источника альтиметрической информации использовались космические аппараты (КА) TOPEX/Poseidon (*англ.* Topography Experiment/Poseidon), Jason-1, -2, -3.

Данные космических аппаратов собраны в продукте «Интегрированные данные миссий спутниковых альтиметров для климатических исследований» (*англ.* Integrated Multi-Mission Ocean Altimeter Data for Climate Research) центра PO.DAAC, США (*англ.* Physical Oceanography Distributed Active Archive Center), методика и особенности получения кросскалиброванной информации для всех альтиметрических спутников представлена в работе (Benada, 1993).

В результате проведённого исследования было показано хорошее соответствие судовых данных и информации дистанционного зондирования (Романов и др., 2020). Кроме того, были проанализированы распределения аномалий высоты морской поверхности с различным периодом усреднения по времени. Обсуждались особенности гидрологического режима в регионе, были выявлены особенности среднемесячной и среднесезонной изменчивости аномалий высоты морской поверхности, а также наличие постоянных вихревых структур на карте аномалий морской поверхности, усреднённых за весь период наблюдений. Кроме того,

наблюдавшаяся картина распределения аномалий высот морской поверхности на месячных и сезонных распределениях позволила сделать предположение о смещении основного рукава Аляскинского течения в зависимости от времени года (Романов и др., 2020).

В работе (Романов и др., 2020) сознательно рассматривались распределения, построенные на основе усреднённых аномалий высоты морской поверхности, чтобы проанализировать и выявить только особенности циркуляции зал. Аляска, вызванные различными вихревыми образованиями. При этом при расчёте течений по альтиметрическим данным необходимо использовать величину абсолютной или синоптической динамической топографии, рассчитываемой по соотношениям, приведённым, например, в документе (AVISO..., 2011). Следовательно, для формирования полноценной картины и изучения особенностей циркуляции необходимо проанализировать распределения синоптической динамической топографии в исследуемом районе Мирового океана.

В настоящей работе рассматриваются распределения синоптической динамической топографии в зал. Аляска с временным усреднением, аналогичные распределениям аномалий высоты морской поверхности, приведённым в работе (Романов и др., 2020). Проводится сравнение выявленных региональных особенностей циркуляции с учётом указанных подходов. Обсуждается возможность использования аномалий высоты морской поверхности для первичной оценки особенностей циркуляции поверхности океана.

### Особенности восстановления сравниваемых величин

Как было указано выше, в качестве источника альтиметрической информации использовался продукт (Integrated..., 2019), доступный на сайте центра PO.DAAC. Массив данных содержит непрерывную информацию об измерениях КА TOPEX/Poseidon, а также Jason-1, -2, -3 и охватывает временной период 1992–2020 гг. в версии 5.

Кроме того, информационная структура продукта содержит все необходимые дополнительные данные (геофизические поправки, значения приливной составляющей, среднюю высоту морской поверхности и т.д.) для расчёта аномалий высоты морской поверхности в соответствии с рекомендациями.

Динамической топографией считается составляющая альтиметрического сигнала, полученная как разность между мгновенной высотой океана и высотой геоида, соотносённая к единому отсчётному эллипсоиду. Аномалия морской поверхности — это разность между мгновенной высотой и средней высотой поверхности океана (Venada, 1993). Синоптическая динамическая топография представляет собой сумму климатической динамической топографии и аномалий высоты морской поверхности. В свою очередь, климатическая динамическая топография определяется разностью между средней высотой морской поверхности и уровнем геоида. Климатическая динамическая топография бралась из классического продукта (AVISO..., 2011).

Хотелось бы отметить принципиальный момент, который необходимо учитывать при анализе распределений аномалий высоты морской поверхности и синоптической динамической топографии. При расчёте аномалий высоты морской поверхности (Integrated..., 2019) использовались значения средней высоты морской поверхности DTU15, сформированные за период с 1993 по 2012 г. (Yuan et al., 2020). Поскольку климатическая динамическая топография (AVISO..., 2011) построена с использованием альтиметрической информации, полученной за 1993–2010 гг., необходимо постулировать допущение, что в исследуемом регионе не произошло существенных изменений гидрологического режима в период с 2011 по 2019 г.

### Анализ информации

На *рис. 1* представлены распределения синоптической динамической топографии, построенные по данным спутниковой альтиметрии за период наблюдений с 1992 по 2019 г. с месячным усреднением.

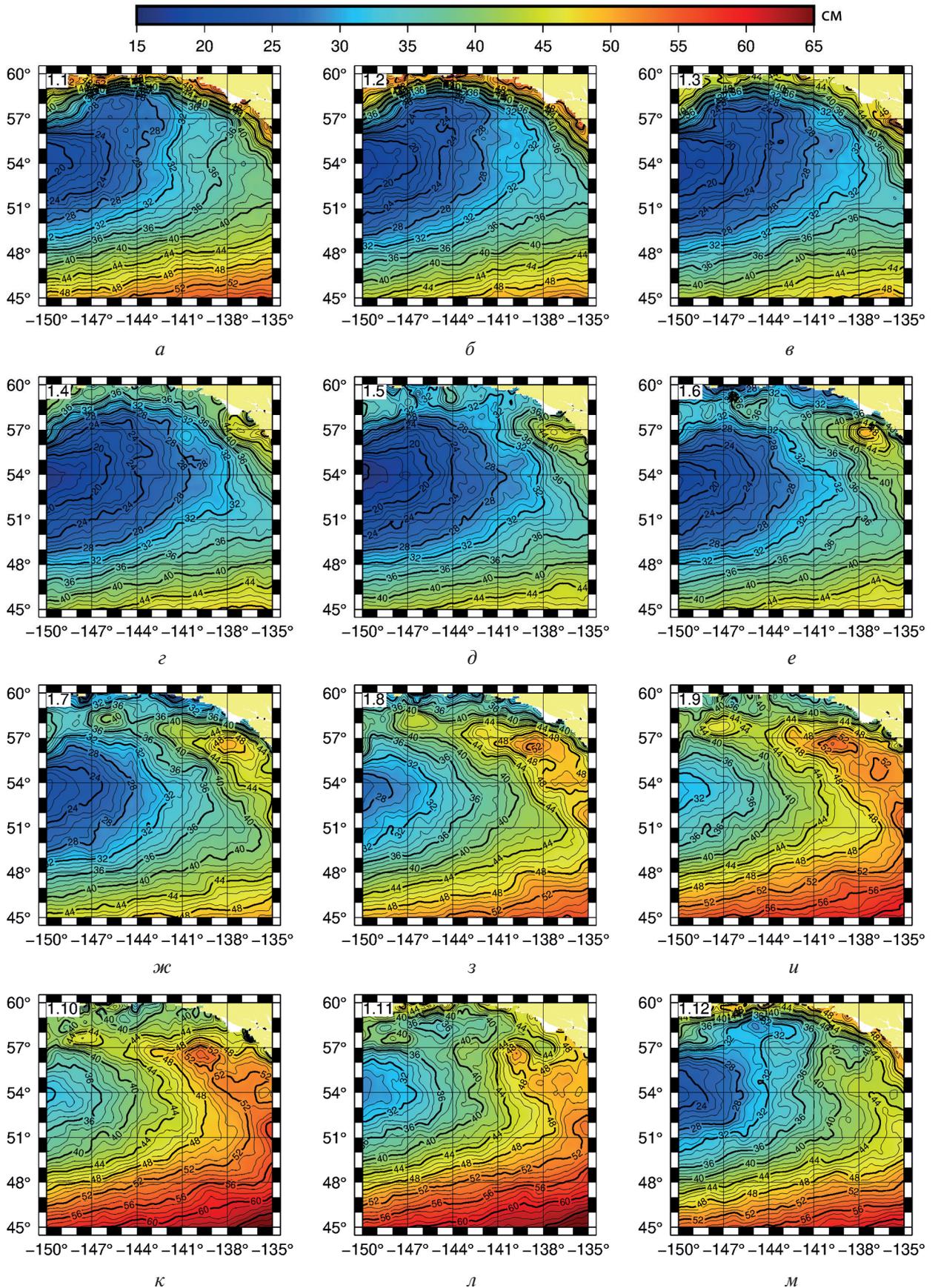
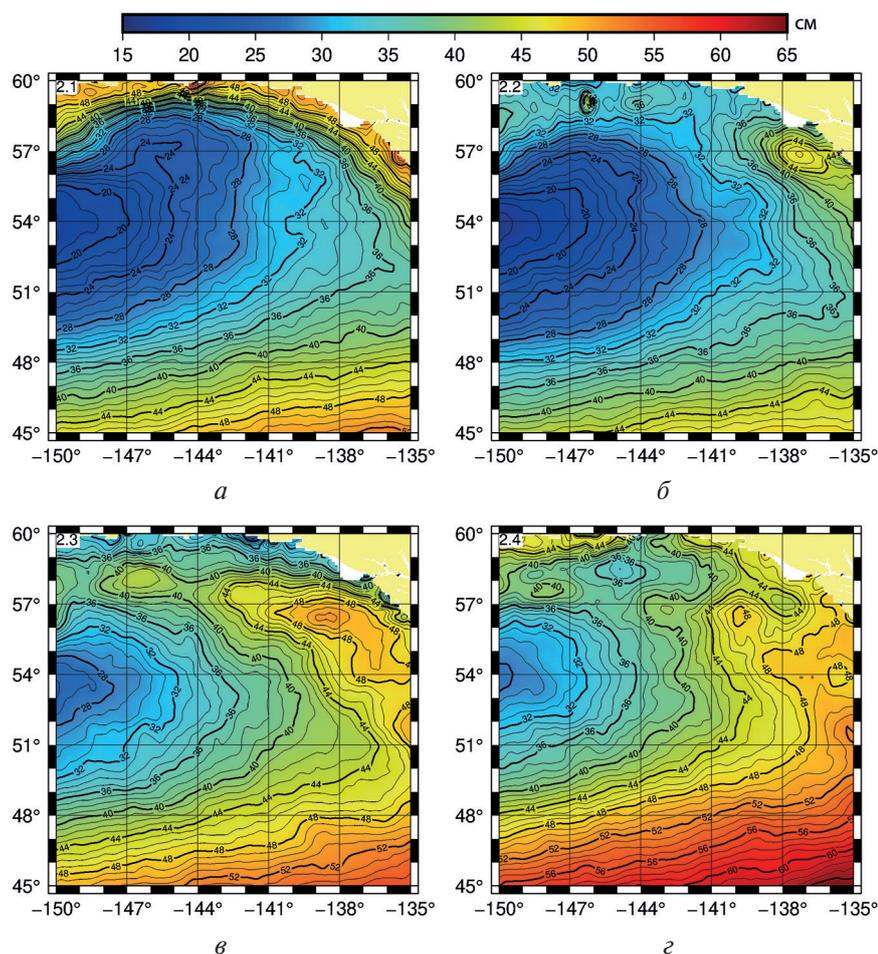


Рис. 1. Распределения синоптической динамической топографии в зал. Аляска, усреднённые по месяцам, за период 1992–2019 гг.: а — декабрь; б — январь; в — февраль; г — март; д — апрель; е — май; ж — июнь; з — июль; и — август; к — сентябрь; л — октябрь; м — ноябрь

В зимние месяцы (см. *рис. 1а–в*, см. с. 161) артикуляция Аляскинского течения явно различима, на представленных картах наблюдается выраженный рукав течения с запада на северо-восток, а затем ещё севернее, вдоль берега Северной Америки и, наконец, в западном направлении. При этом вихревые структуры, представленные в работе (Романов и др., 2020), которые различались на соответствующих аномалиях высоты морской поверхности, практически не выделяются.

В весенние месяцы строгая картина Аляскинского течения начинает явно меняться (см. *рис. 1г–е*). Структура «западной» ветви течения проявляется менее отчётливо, теряет стройность, явно выделяются вихревые образования, которые также представлены на соответствующих картах аномалий, построенных в предыдущем исследовании. В летние месяцы (см. *рис. 1ж–и*) «западная» ветвь, несколько усиливаясь, опускается южнее, при этом на периферии течения наблюдаются вихревые структуры с существенными значениями динамических высот. Аналогично вихревые структуры с превышением средней высоты морской поверхности на 10–12 см наблюдались и на соответствующих картах аномалий, представленных в работе (Романов и др., 2020).

В осенний период (см. *рис. 1к–м*) структура течения явно является переходной: происходит постепенный возврат к циркуляции, характерной для зимнего периода. И если в сентябре и октябре можно наблюдать «западную» ветвь течения, характерную для летнего периода (южнее и с наличием существенных по значениям динамических высот вихревых образований), то в ноябре структура течения уже близка к «зимнему» распределению. Аналогичную картину можно видеть на соответствующих распределениях аномалий высоты морской поверхности (Романов и др., 2020).



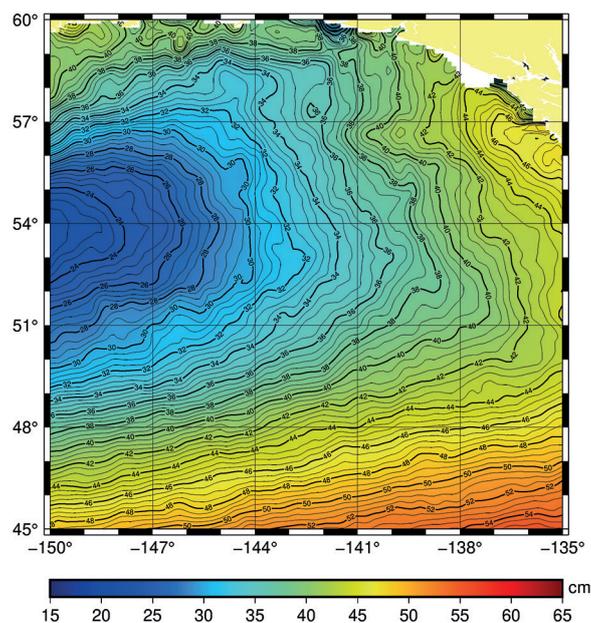
*Рис. 2.* Распределения синоптической динамической топографии в зал. Аляска, усреднённые по сезонам, за период 1992–2019 гг.: *а* — зима; *б* — весна; *в* — лето; *г* — осень

Рис. 3. Распределение динамической топографии в зал. Аляска, усреднённое за период 1992–2019 гг.

Таким образом, видно, что в целом структура вихревых образований, выделяемая по распределениям аномалий высоты морской поверхности (Романов и др., 2020), и структура, различимая на соответствующих картах синоптической динамической топографии за аналогичный период наблюдения, усреднённых по месяцам, хорошо соответствуют друг другу. Рассмотрим картину распределения вихревых структур, наблюдаемых на картах аномалий высоты морской поверхности и синоптической динамической топографии, построенных с сезонным временным усреднением аналогично за период 1992 по 2019 г.

В целом анализ распределений на рис. 2 (см. с. 162) и соответствующих карт (Романов и др., 2020) показывает, что сигнатуры выделяемых вихревых структур хорошо соответствуют друг другу, а также характеру динамики, выявленной при анализе рис. 1. В зимний период (см. рис. 2а) структура течения четко выделена, хорошо определяем характер всех составляющих Аляскинского течения. В весенний и тем более летний периоды структура течения (см. рис. 2б, в) существенно усложняется, наблюдаются вихревые структуры со значениями высот до 55 см, что соответствует результатам, представленным в работе (Романов и др., 2020). Осенний период (см. рис. 2г), так же как и в исследовании (Романов и др., 2020), характеризуется переходным периодом к устоявшейся картине, характерной для зимнего периода.

Анализ распределения, представленного на рис. 3, показывает, что вихревые структуры, хорошо различимые на карте аномалий, не представлены на распределении динамической топографии. По всей видимости, это связано с тем, что значения аномалий незначительны (3–5 см) по сравнению с характерными значениями динамической топографии (35–40 см) в этой части региона исследований.



## Заключение

В заключение можно отметить, что анализ пространственных распределений синоптической динамической топографии в зал. Аляска в целом подтвердил предположения, сделанные в работе (Романов и др., 2020), об общем характере структуры циркуляции в исследуемом районе. Показано хорошее соответствие результатов предыдущего исследования с данными, полученными в настоящей работе, в части вихревых структур, представленных на распределениях.

Демонстрируется изменчивость структуры Аляскинского течения: от устоявшегося режима в позднеосенний и зимний периоды к несколько неоднородной структуре течения в весеннем и серьёзно возмущённой структуре в летнем и осеннем периодах. Кроме того, осенью проявляется изменение пространственного положения «западной» ветви Аляскинского течения.

Распределение динамической топографии, усреднённой за весь период наблюдений, не позволило выявить «суперстационарных» структур в рассматриваемом регионе, различимых на аналогичной карте аномалий высоты морской поверхности из работы (Романов и др., 2020). По всей видимости, основная причина отмеченного факта кроется в невысоких значениях аномалий высот морской поверхности (не более 10 %) по отношению к характерным значениям динамической топографии в рассматриваемой части региона исследований.

В целом в результате проведенного исследования можно говорить о том, что выявленная в работе (Романов и др., 2020) структура вихревых образований хорошо прослеживается на фоне изменения общих характеристик циркуляции в зал. Аляска.

## Литература

1. Романов А. А., Романов А. А. (2018a) 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. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-200-213.
2. Романов А. А., Романов А. А. (2018b) 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. 16. № 2. С. 207–217. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-207-217.
4. Романов А. А., Романов А. А., Устинова М. В. Анализ динамики уровенной поверхности океана в акватории залива Аляска по данным спутниковой альтиметрии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 4. С. 256–266. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-256-266.
5. AVISO. Sea Surface Height above Geoid. 2011. 7 p. URL: [https://podaac-tools.jpl.nasa.gov/drive/files/allData/aviso/L4/dynamic\\_topo\\_1deg\\_1mo/docs/zosTechNote\\_AVISO\\_L4\\_199210-201012.pdf](https://podaac-tools.jpl.nasa.gov/drive/files/allData/aviso/L4/dynamic_topo_1deg_1mo/docs/zosTechNote_AVISO_L4_199210-201012.pdf).
6. Benada R. PO.DAAC Merged GDR (T/P) Users Handbook. Rep. JPL D-11007. Pasadena: Jet Propulsion Lab., 1993. 111 p.
7. Integrated Multi-Mission Ocean Altimeter Data for Climate Research TOPEX/Poseidon, Jason-1, 2, & 3: User's Handbook. Version 4.2. California Inst. Technology, 2019. 60 p. URL: [https://podaac-tools.jpl.nasa.gov/drive/files/allData/merged\\_alt/L2/TP\\_J1\\_OSTM/docs/v050420version42multialthandbook.pdf](https://podaac-tools.jpl.nasa.gov/drive/files/allData/merged_alt/L2/TP_J1_OSTM/docs/v050420version42multialthandbook.pdf).
8. Pakhomov E. A., Deeg C., Esenkulova S., Foley G., Hunt B. P. V., Ivanov A., Jung H. K., Kantakov G., Kanzeperova 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. 2019. NPAFC Doc. 1858. 25 p.
9. Yuan J., Niu Y., Zhu C., Li Z. Mean Sea Surface Model over the Sea of Japan Determined from Multi-Satellite Altimeter Data and Tide Gauges Records // Remote Sensing. 2020. No. 20. P. 4168–4188. DOI: 10.3390/rs12244168.

## Features of circulation in the Gulf of Alaska from satellite altimetry data

A. A. Romanov, A. A. Romanov

*Joint Stock Company “Central Research Institute for Machine Building”  
Korolev 141070, Moscow Region, Russia  
E-mail: romanovaa@tsniimash.ru*

The article continues the study of the circulation of the sea surface in the Gulf of Alaska using satellite altimetry data. The spatial distributions of sea surface height anomalies were analyzed with different time averaging. Stationary and quasi-stationary structures were revealed on the distributions averaged over the entire research period for various time samples: the monthly average and seasonal average distributions were considered. This study is aimed at verifying the previously stated assumptions about the circulation features in the Gulf of Alaska using the distributions of absolute dynamic topography from satellite altimetry data. Assumptions are made about the nature of the hydrological regime in the region, depending on the month or season of observation. The analysis and comparison of the research results showed that the nature of the revealed relative variations in the sea surface height is generally

similar both when using surface anomalies and absolute dynamic topography. At the same time, there are some differences in the revealed structures on the surface, presumably characterizing the mesoscale spatial variability of the ocean surface. A continuous series of altimetry satellite observations from 1992 to 2020 was used to construct maps of the distributions of the topography of the ocean surface.

**Keywords:** satellite altimetry, ocean remote sensing, ocean surface dynamics, Gulf of Alaska, sea surface height anomalies, synoptic dynamic topography

Accepted: 12.07.2021

DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-5-159-165

## References

1. Romanov A. A., Romanov A. A., 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 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-200-213.
2. Romanov A. A., Romanov A. A., *Norvezhskoe more – 1997. Osnovnie resul'taty kompleksnogo nauchno-proizvodstvennogo eksperimenta* (Norwegian Sea – 1997. The major results of comprehensive experiment), Moscow: IKI RAN, 2018, 311 p. (in Russian).
3. Romanov A. A., Romanov A. A., Assessment of mesoscale dynamics in the Norwegian Sea from remote sensing and hydrological survey data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 4, pp. 207–217 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-207-217.
4. Romanov A. A., Romanov A. A., Ustinova M. V., Analysis of the dynamics of ocean level surface in the Gulf of Alaska from satellite altimetry data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 4, pp. 256–266 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-256-266.
5. [https://podaac-tools.jpl.nasa.gov/drive/files/allData/aviso/L4/dynamic\\_topo\\_1deg\\_1mo/docs/zosTech-Note\\_AVISO\\_L4\\_199210-201012.pdf](https://podaac-tools.jpl.nasa.gov/drive/files/allData/aviso/L4/dynamic_topo_1deg_1mo/docs/zosTech-Note_AVISO_L4_199210-201012.pdf).
6. Benada R., *PO.DAAC Merged GDR (T/P) Users Handbook*, Rep. JPL D-11007, Pasadena: Jet Propulsion Lab., 1993, 111 p.
7. *Integrated Multi-Mission Ocean Altimeter Data for Climate Research TOPEX/Poseidon, Jason-1, 2, & 3: User's Handbook, Version 4.2*, California Inst. Technology, 2019, 60 p., available at: [https://podaac-tools.jpl.nasa.gov/drive/files/allData/merged\\_alt/L2/TP\\_J1\\_OSTM/docs/v050420version42multialthandbook.pdf](https://podaac-tools.jpl.nasa.gov/drive/files/allData/merged_alt/L2/TP_J1_OSTM/docs/v050420version42multialthandbook.pdf).
8. 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*, 2019, NPAFC Doc. 1858, 25 p.
9. Yuan J., Niu Y., Zhu C., Li Z., Mean Sea Surface Model over the Sea of Japan Determined from Multi-Satellite Altimeter Data and Tide Gauges Records, *Remote Sensing*, 2020, No. 20, pp. 4168–4188, DOI: 10.3390/rs12244168.