ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА, 2022, № 2, с. 28–37

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ МОРЯ И ГЕОСТРОФИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ И МОРЕ ЛАПТЕВЫХ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВЕТРА И СТОКА РЕКИ ЛЕНЫ

© 2022 г. А. Г. Андреев[a], *, И. И. Пипко[a]

[a] *Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, Владивосток, Россия*

***** *E-mail: andreev@poi.dvo.ru*

Поступила в редакцию 13.09.2021 г.

Проведен анализ распределения распресненных вод в Восточно-Сибирском море (ВСМ) и море Лаптевых (МЛ) в период наименьшей ледовитости (август–октябрь) с использованием спутниковых данных по уровню моря и CTD данных судовых наблюдений. Показано, что наблюдается хорошее согласие между распределением солености/плотности в поверхностном слое вод и уровнем морем в исследуемом районе. Увеличение (уменьшение) стока реки Лены в период летнего половодья приводит к повышению (снижению) уровня моря в восточной части МЛ и западной и юго-западной частях ВСМ в сентябре и октябре ($r = 0.52–0.59$, 1993–2019 гг.). Усиление ветров западных румбов сопровождается уменьшением солености и повышением уровня моря в прибрежных областях МЛ и ВСМ. Ветра восточных румбов вызывают снижение уровня моря в южных областях МЛ и ВСМ и перемещение вод с пониженной соленостью из прибрежной в открытую часть моря. Ветра западных/восточных румбов сопровождаются направленными на восток/запад геострофическими течениями в зоне пролива Санникова и в юго-западной части ВСМ.

Ключевые слова: спутниковые данные, уровень моря, геострофические течения, соленость вод, река Лена, Восточно-Сибирское море, море Лаптевых

DOI: 10.31857/S0205961422020026

ВВЕДЕНИЕ

Море Лаптевых (МЛ) и Восточно-Сибирское море (ВСМ) находятся под влиянием стока рек Лены (~500 км^3/год), Колымы (~100 км^3/год) и Индигирки (~50 км^3/год) (http://rims.unh.edu/) (рис. 1, *а*). Приблизительно 90% от годового стока рек приходится на теплый период года (июнь – сентябрь). Зоны смешения речных и морских вод играют ключевую роль в физических и биогеохимических процессах и во многом определяют функционирование прибрежных экосистем в данных морях (Anderson et al., 2011). Речной сток приводит к значительному снижению концентрации растворенного кислорода и pH в водах МЛ и ВСМ и, как следствие, сопровождается растворением карбонатов (Semiletov et al., 2016).

Воды реки Лены поступают в МЛ, где формируется стоковая линза (сравнительно тонкий слой распресненных вод на поверхности моря). По краям стоковой линзы формируются стоковые фронты и струйные геострофические течения, а под ней – резкие слои скачка солености, температуры и плотности (Pavlov et al., 1996). Ветра западных румбов благоприятствуют проникновению распресненных вод из МЛ в ВСМ (через проливы Д. Лаптева и Санникова) и их переносу в восточном направлении вдоль побережья ВСМ (Pavlov et al., 1996; Weingartner et al., 1999; Dmitrienko et al., 2008; Osadchiev et al., 2020a).

Ранее было проведено исследование структурных особенностей зоны смешения речных и морских вод в ВСМ и МЛ с использованием спутниковых изображений в видимом и инфракрасном диапазонах спектра и экспедиционных данных (Dmitrienko et al., 2005, 2008; Osadchiev et al., 2020a, 2020б). В работе (Dmitrienko at al., 2005) было показано, что циклональная (антициклональная) атмосферная циркуляция над восточной Арктикой и ветра западных (восточных) румбов вдоль побережья приводят к понижению (повышению) солености в ВСМ и повышению (понижению) солености в МЛ севернее дельты реки Лена. При антициклональной (циклональной) атмосферной циркуляции значительная часть вод, подверженных влиянию реки Лена, переносится на северо-восток в район глубоководной котловины (на восток в зону ВСМ) (Dmitrienko et al., 2008). Ветра западных румбов (прижимные) ветра увеличивают соленость в прибрежной части МЛ. Ветра восточных румбов (благоприятные для прибрежного апвеллинга) повышают соленость поверхностных вод в при-

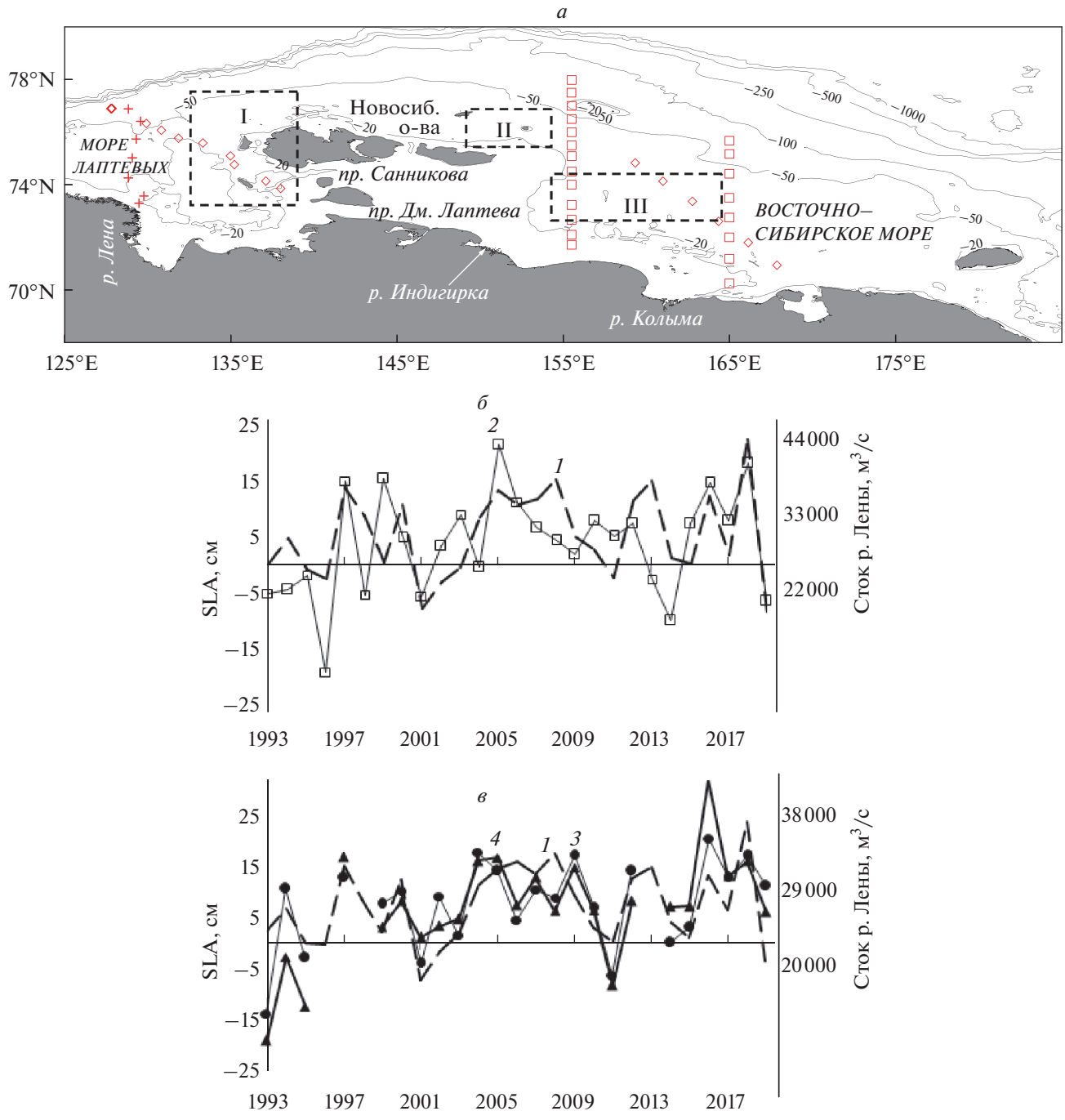

Рис. 1. *а* – карта исследуемого района и положение гидрологических станций (+ – 24–26 сентября 2011 г., ◇ – 28–30 сентября и 13–14 октября 2016 г., □ – 26 сентября– октября 2019 г.). I–IV – зоны, где исследовалась связь между изменением аномалии уровня моря (SLA) и стоком реки Лены; *б* – межгодовая изменчивость расхода реки Лены (осредненного с июля по сентябрь) и SLA в МЛ (зона I); *в* – межгодовая изменчивость расхода реки Лены (осредненного с июля по октябрь) и SLA в ВСМ (зоны II–III): *1* – расход реки Лены; *2*, *3* и *4* – SLA в зонах I, II и III.

брежной части и снижают соленость мористее. Результаты исследования ветрового апвеллинга в прибрежных зонах ВСМ и МЛ с использованием спутниковых снимков в видимом и инфракрасном диапазонах спектра (температура и мутность вод) представлены в работе (Osadchiev et al., 2020б). Авторами отмечено, что прибрежный апвеллинг способствует смешению вод рек Лены (МЛ), Колымы и Индигирки (ВСМ) с морскими водами шельфа восточной Арктики, что приводит к снижению стратификации вод.

Идентификация распресненных вод в зоне восточной Арктики, используя данные дистанци-

онных измерений в видимом и инфракрасном диапазоне спектра (концентрация взвеси и температура поверхностных вод) ограничена в связи наличием облачности и эрозии береговой линии (Osadchiev et al., 2020a). Согласно результатам исследований, представленных в работах (Semiletov et al., 2011, Чаркин и др., 2015), вклад эрозии берегов в содержание взвешенного вещества в прибрежной зоне ВСМ и МЛ может превышать вклад от речного стока. Температура поверхностных вод в летний период не превышает 10°С, что ограничивает использование спутниковых данных по солености вод (Meissner et al., 2016).

В данной работе показано, что для идентификации распресненных вод в ВСМ и МЛ может быть использована спутниковая информация по уровню моря. Ранее данных подход использовался при исследовании пространственной изменчивости распределения вод реки Амур в Сахалинском заливе и прилегающих районах Охотского моря (Андреев, 2020). Показано влияние ветра и стока реки Лена на пространственно- временную изменчивость уровня моря и геострофических течений в ВСМ и МЛ в период наименьшей ледовитости вод (август–октябрь).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Наши исследования основываются на спутниковой информации по уровню моря (SSH), аномалии уровня моря (SLA) и скорости геострофических течений с пространственным разрешением 0.25 на 0.25 град (для исследуемого района: ~30 км по долготе и ~12 км по широте) и временным разрешением 1 день (база данных “Коперникус”, http://marine.copernicus.eu) с 1993 по 2019 г. Объединенный массив “Коперникус” включает в себя корректированные альтиметрические данные, полученные со спутников Cryosat-2, Jason-1, Jason-2, Envisat, TOPEX/Poseidon, GFO-1, ERS-1 и ERS-2. Для коррекции альтиметрических данных применяется глобальная приливная модель. Поправки на изменения уровня моря, вызванные изменением атмосферного давления, рассчитываются по уравнению обратного барометра. При расчете геострофических течений используется средняя динамическая топография океана MDT CNES-CLS-09. Величина ошибки спутниковых данных по уровню моря (SSH) составляет 1–2 см на расстоянии, превышающем 20 км от берега (Ablain et al., 2015). При анализе пространственно – временной изменчивости температуры поверхностных вод (SST) использованы спутниковые снимки с пространственным разрешением 1 км, полученные с сайта GHRSST (Group for High Resolution Sea Surface Temperature) (PO.DAAC – GHRSST Level 4 MUR Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis). Данные GHRSST основываются на спутниковых данных, полученных с микроволнового сканирующего радиометра EOS (AMSR-E), микроволнового радиометра WindSat и спектрорадиометра MODIS Aqua/Terra.

В работе использовались CTD данные экспедиций НИС “Академик Лаврентьев” (сентябрь 2011 г. и сентябрь–октябрь 2016 г.) и НИС “Профессор Мультановский” (сентябрь–октябрь 2019 г.) Для анализа фоновых гидрометеорологических условий привлекались данные о стоке р. Лены (Arctic GRO Discharge Dataset) (Shiklomanov et al., 2021) и скоростям и направлению ветра (среднесуточные данные) (Центр диагностики климата, http://www.esrl.noaa.gov).

СВЯЗЬ УРОВНЯ МОРЯ С СОЛЕНОСТЬЮ/ПЛОТНОСТЬЮ ВОД

Наши результаты указывают на влияние водности реки Лены в период летнего половодья на временную изменчивость уровня моря в МЛ и ВСМ. Повышение (понижение) водности реки Лены сопровождалось увеличением (снижением) уровня моря (r = 0.52–0.59, 1993–2019 гг.) в восточной части МЛ в сентябре и западной и юго-западной частях ВСМ в октябре (рис. 1, *в*, 1, *г*), что являлось следствием увеличения (уменьшения) притока вод с пониженной соленостью и повышенными величинами уровня моря. Увеличение расхода вод реки Лены в два раза с 22000 до 44000 м^3/с (среднее с июля по сентябрь) вызывало увеличение уровня моря в восточной части МЛ в сентябре приблизительно на 25 см. Для западной части ВСМ повышение расхода реки Лены с 20000 до 38000 м^3/с (среднее с июля по октябрь) приводило к увеличению уровня моря приблизительно на 15 см в октябре.

На рис. 2, *а*–2, *д* представлено распределение SSH, солености и плотности вод (осредненной для слоя 0–20 м) на разрезах в МЛ и ВСМ (рис. 1, *а*). Исключая зоны вблизи берега, наблюдалось хорошее согласие между распределением SSH и солености/плотности вод. В зонах с пониженной (повышенной) соленостью/плотностью в верхнем 20 м слое вод наблюдались низкие (высокие) величины SSH. Для прибрежных вод расхождение между распределением SSH и соленостью/плотностью вод может быть обусловлено вызываемыми ветром сгонно – нагонными явлениями и ошибкой спутниковых данных вблизи берега.

Летом 2011 г. расход реки Лены был незначителен (32000 м^3/с, среднее с июня по сентябрь). В августе и в первой декаде сентября над южной и центральной областями МЛ преобладали ветра восточных румбов, которые вызвали смешение вод с пониженной соленостью и SSH от устья реки Лены в открытую часть МЛ (75–77° с.ш., рис. 2, *а*).

В конце сентября мезомасштабный антициклональный круговорот вод с центром расположенным вблизи точки с координатами 75.5° с.ш., 129° в.д. обеспечивал приток вод (с повышенной

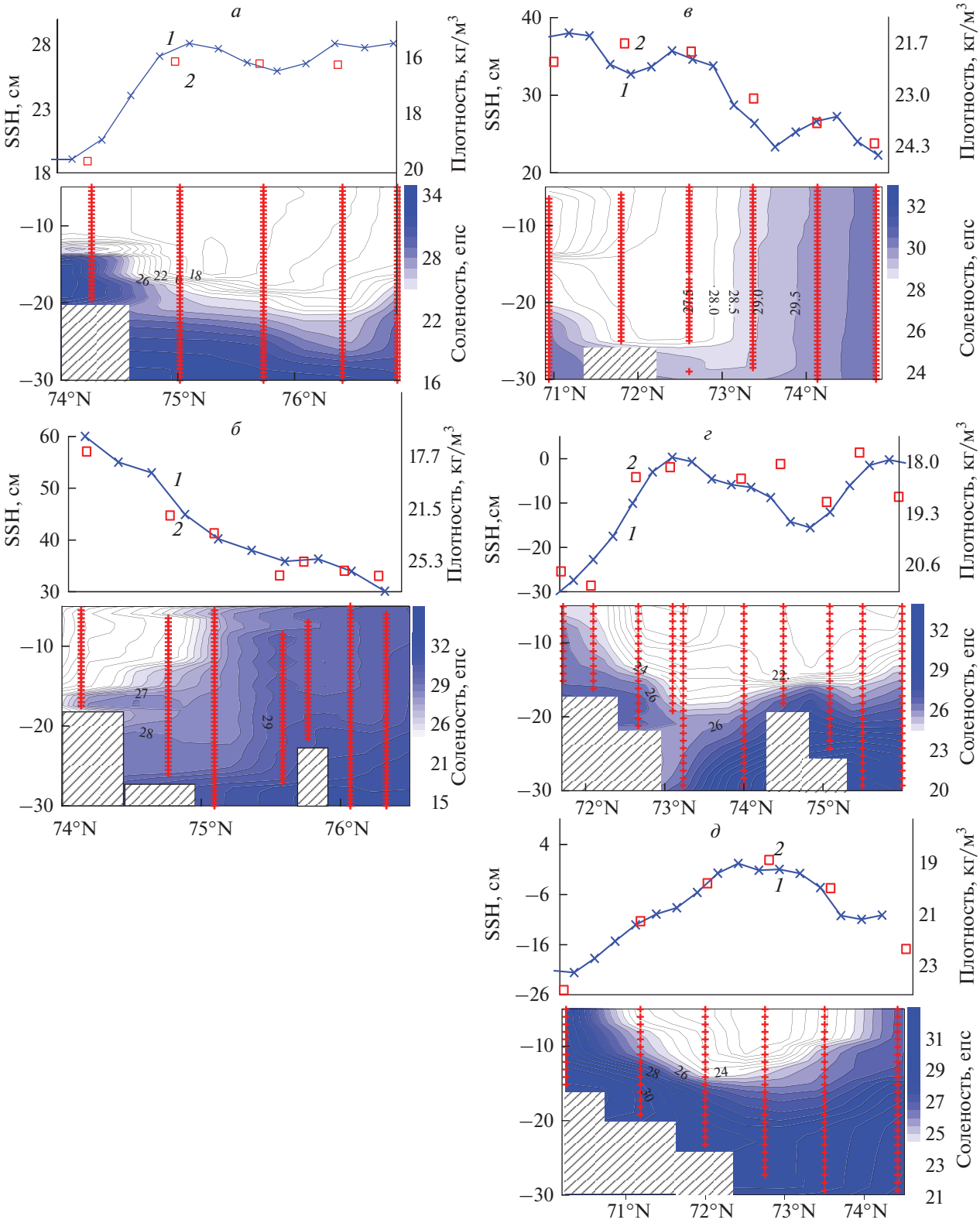

Рис. 2. Распределение уровня моря (SSH), плотности (осредненной в слое 0–20 м) и солености вод на разрезах в МЛ и ВСМ: *а* – МЛ (129° E), 24–26 сентября 2011 г.; *б* – МЛ (74° N, 137° E–76.4° N, 130° E), 28–30 сентября 2016 г.; *в* – ВСМ (71° N, 168° E–75° N, 159° E), 13–14 октября 2016 г.; *г* – ВСМ (155° E), 25–28 сентября 2019 г.; *д* – ВСМ (165° E), 29 сентября–1 октября 2019 г. *1* – SSH, *2* – плотность вод.

соленостью и плотностью) из зоны материкового склона в прибрежную часть МЛ вдоль 131° в.д. Различие в плотности вод ($\Delta\rho = 4$ кг/м^3) в слое 0–20 м (z) привело к различию в SSH между прибрежной и открытой частями МЛ ($\Delta SSH = \Delta\rho/\rho z = 8$ см) в период с 24 по 26 сентября 2011 г. (рис. 2, *а*).

Летом 2016 г. расход реки Лены был повышен (47000 м^3/с, среднее с июня по сентябрь). В августе и сентябре над МЛ и ВСМ преобладали северо-западные и западные ветра ("прижимные" ветра) с зональными скоростями 5–14 м/с. Это увеличило объем распресненных вод и привело к концентрированию вод с пониженной соленостью и плотностью в прибрежных зонах МЛ и ВСМ (рис. 2, *б*, 2, *в*). Перепады в SSH между прибрежной и открытой частями морей достигали 16–24 см. Распределение солености и SSH на разрезах показывает, что северо-западные и западные ветра вызвали заток вод с повышенной соленостью (≥29 е. п. с.) и SSH из зоны материкового склона на шельф МЛ и ВСМ (73–75° с.ш., рис. 2, *б*, 2, *в*). Появление ветров восточных румбов, благоприятных для прибрежного апвеллинга, в первой половине октября привело к подъему изогалин в придонном слое вод вблизи побережья в ВСМ (13–14 октября 2016 г., рис. 2, *в*) и снижению разности в SSH между прибрежной и открытой частями моря.

В 2019 г. расход реки Лены был минимальным за период с 1993 по 2019 г. (31000 м^3/с, среднее с июня по сентябрь). Западные ветра во 2-ой и 3-ей декадах сентября вызвали прибрежный апвеллинг и смещение вод с пониженной соленостью и плотностью из прибрежной в открытую часть ВСМ (рис. 2, *д*, 2, *е*). Перепад в SSH между данными областями ВСМ превышал 20 см. Ветровой апвеллинг вызвал подъем вод с повышенной соленостью и сгущение изогалин над подводной возвышенностью в западной части ВСМ (74–75° с.ш., рис. 2, *д*), что понизило SSH на 10–15 см в зоне подводной возвышенности.

ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА УРОВЕНЬ МОРЯ И ГЕОСТРОФИЧЕСКИЕ ТЕЧЕНИЯ

В период с начала августа по конец октября значительное влияние на пространственно-временную изменчивость уровня моря в исследуемом регионе оказывал ветровой режим. На рис. 3, *а* показано распределение коэффициента корреляции между SSH (среднесуточные данные, 1 августа–20 октября) и зональной скоростью ветра (72.5–75° N, 130–170° E; сглаженной 7-дневным скользящим средним, со сдвигом 3.5 дня) для августа–октября 2015 г. Смена направления ветра с восточного на западное с периодичностью приблизительно 15 дней повышало SSH в восточной части МЛ и западной и юго-западной областях ВСМ. Амплитуда изменений SSH в юго-западной части ВСМ достигала 75 см (рис. 3, *г*). Коэффициент корреляции между зональной скоростью ветра и SSH для августа–октября 2013 г., августа–октября 2015 г. и августа–октября 2019 г. был равен 0.80–0.86 (рис. 3, *б*, 3, *г*, 3, *д*). Для августа–октября 2016 г. ветра восточных/западных румбов (отрицательные/положительные величины зонального ветра) приводили к повышению/снижению SSH на приблизительно 6 см (рис. 3, *в*) на границе шельфа и материкового склона в ВСМ (рис. 3, *а*) ($r = -0.82$, 1 августа–20 октября). Это было связано с поступлением в данную зону вод шельфа/материкового склона с пониженной/повышенной соленостью и плотностью вод (рис. 2, *б*, 2, *в*).

Изменение уровня моря оказывало влияние на направление и скорости геострофических течений (определяемые горизонтальными градиентами SSH) в исследуемом регионе. Смена направления ветра с восточного на западное сопровождалось сменной направления геострофических течений в ВСМ. Наибольшие временные изменения скорости геострофических течений наблюдались в областях со значительными перепадами уровня моря (юго-западная и западная части ВСМ, зона пролива Санникова). Для данных областей коэффициент корреляции между зональной скоростью ветра (сглаженной 7-дневным скользящим средним, со сдвигом 3.5 дня) и зональной скоростью геострофических течений (среднесуточные данные, 1 августа–20 октября) был равен 0.81–0.94 (рис. 4).

В августе и сентябре 2013 г. (рис. 4, *а*) и в августе и сентябре 2019 г. (рис. 4, *г*) в юго-западной части ВСМ и в зоне пролива Санникова преобладал западный перенос вод (скорости геострофических течений – 5–20 см/с). Воды из ВСМ поступали в МЛ. Смена направления ветра с восточного на западное в начале октября (2013.78–2013.84, 2019.78–2019.84) изменило направление переноса вод с западного на восточное (рис. 4, *а*, 4, *г*). В августе и сентябре 2016 г. (рис. 4, *в*) ветра западных румбов способствовали переносу вод (скорости геострофических течений – 5–25 см/с) в восточном направлении в зоне пролива Санникова и юго-западной части ВСМ. Воды из МЛ поступали в ВСМ.

В августе–октябре 2015 г. наблюдалось изменение направления ветра и геострофических течений в юго-западной части ВСМ и в зоне пролива Санникова с периодичностью приблизительно 15 дней (рис. 4, *б*). За данный период зональная скорость геострофических течений в юго-западной части ВСМ изменялась на 50 см/с (от –25 до 25 см/с).

На рис. 5 показано распределение SSH, SST и поля геострофических течений в МЛ и ВСМ для 28 сентября 2015 г. и 24 сентября 2019 г. В период с 16 по 28 сентября 2015 г. (с 4 по 24 сентября 2019 г.) над МЛ и ВСМ преобладали западные (восточные) ветра с зональными скоростями 3–12 м/с

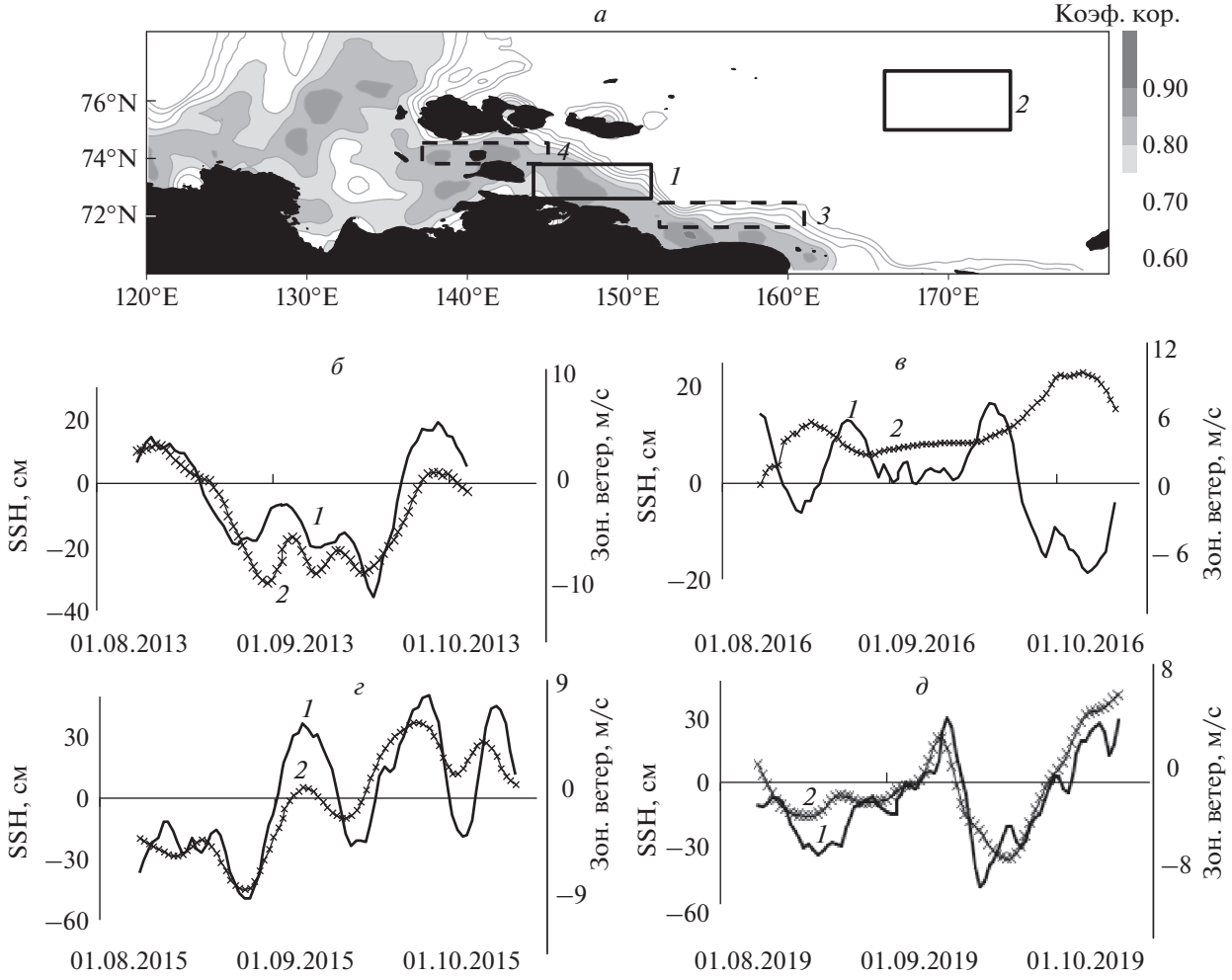

Рис. 3. *а* – распределение коэффициента корреляции между скоростью зонального ветра (72.5–75° N, 130–170° E; сглаженной 7-дневным скользящим средним, со сдвигом 3.5 дня) и SSH (среднесуточные данные, 1 августа–20 октября 2015 г.); *б–д* – временная изменчивость SSH в областях 1 (*б*, *г*, *д*) и 2 (*в*) ВСМ (рис. 3, *а*) и скорости зонального ветра: *1* – скорость ветра, *2* – SSH. Сплошной и пунктирной линиями на рис. 3, *а* выделены области, где исследовалась временная изменчивость SSH (*1*, *2*) и скорости геострофических течений (*3*, *4*).

(4–8 м/с). Осредненный за период с июня по сентябрь расход реки Лены в 2015 г. (41000 м^3/с) был выше приблизительно на 30%, чем в 2019 г. (31000 м^3/с). В конце сентября 2015 г. зоны с высокими величинами SSH (50–60 см) наблюдались вблизи побережья материка (рис. 5, *а*). Западнее и севернее Новосибирских островов выделялись мезомасштабные антициклональные круговороты вод (горизонтальный размер 50 км) с повышенными величинами SSH (40–45 см) в центре круговоротов. Основной поток вод в южных областях МЛ и ВСМ был направлен на запад. На западной границе ВСМ выделялся, направленный на юг, поток вод со скоростями геострофических течений 40–60 см/с. Для августа–октября 2015 г. западные ветра приводили к повышенным величинам SSH в зоне между Новосибирскими островами и материком (положительные величины коэффициента корреляции между зональным ветром и SSH) (рис. 3, *а*). Это сопровождалось зональным градиентом SSH и направленным на юг потоком вод в западной части ВСМ (рис. 5, *а*). В сентябре 2015 г. поступление вод из МЛ в ВСМ происходило не только через проливы Д. Лаптева и Санникова, но и вдоль северного побережья Новосибирских островов. Распределение SSH и поле геострофических течений для сентября 2015 г. (рис. 5, *а*) указывает на влияние мезомасштабных антициклонических круговоротов вод (западнее и севернее Новосибирских островов) на водообмен между МЛ и ВСМ.

В 2-ой половине сентября 2019 г. благоприятные для прибрежного апвеллинга восточные ветра вызвали значительно понижение SSH до –(45–60) см в южной части МЛ и ВСМ (рис. 5, *б*). Из-за значительной разности в SSH между прибрежными водами и водами открытой части моря, основной поток вод был направлен из ВСМ в

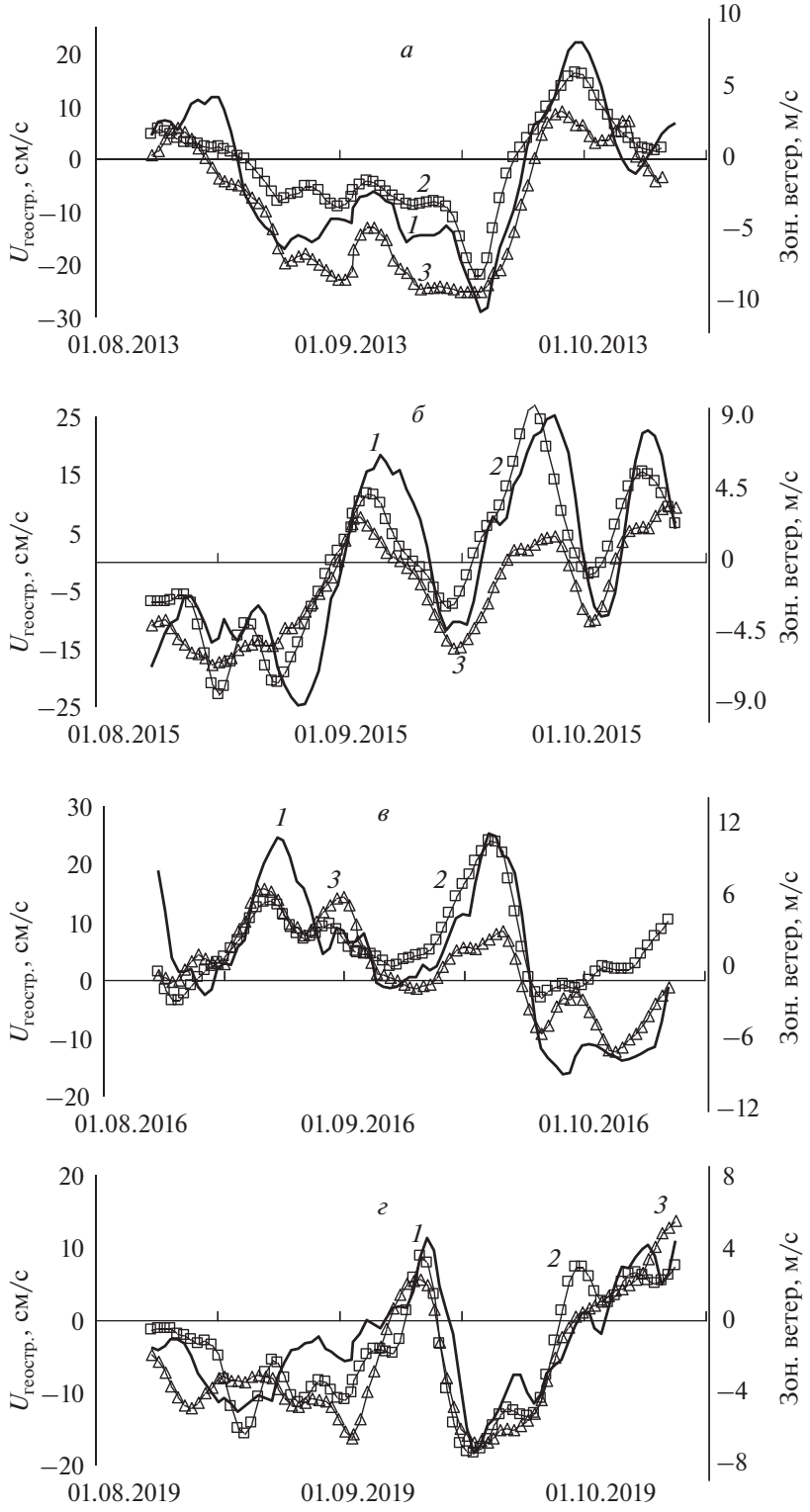

Рис. 4. *а–г* – временная изменчивость зональной скорости геострофических течений в областях 3 и 4 (рис. 3, *а*) и скорости зонального ветра: *1* – скорость ветра, *2* – скорость течений в юго-восточной части ВСМ (область 3), *3* – скорость течений в зоне пролива Санникова (область 4).

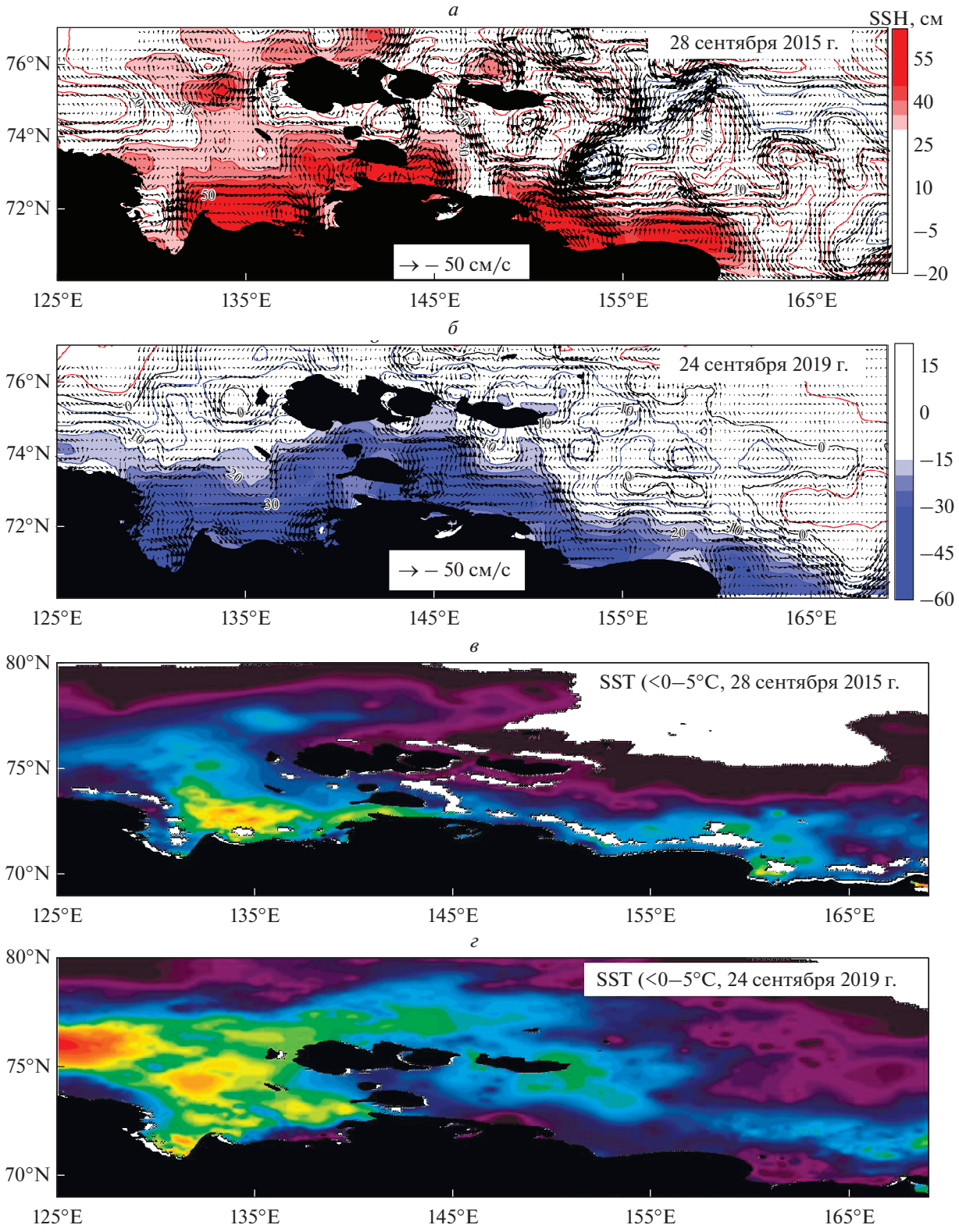

Рис. 5. *а–б* – распределения уровня моря и поля поверхностных геострофических течений; *в –г*– распределение SST (<0°–5°C) в МЛ и ВСМ 28 сентября 2015 г. и 24 сентября 2019 г. Холодным водам соответствует синий цвет, теплым водам – красный.

МЛ через пролив Санникова. Скорости геострофических течений в южной части ВСМ достигали 30 см/с.

Речные воды, поступающие в сектор восточной Арктики в теплое время годы, характеризуются повышенными температурами по сравнению с водами Арктики. Контрасты температуры на границах стоковой линзы реки Лены позволяют использовать спутниковые наблюдения SST для исследования закономерностей распространения вод, подверженных речному стоку, в МЛ и ВСМ. Для сентября 2015 г. наблюдалось согласие между распределением SSH и SST в МЛ и ВСМ. Воды, подверженные влиянию речного стока, характеризовались повышенными величинами SSH и SST равными 2–5°С (южная и восточные части МЛ и южная часть ВСМ) (рис. 5, *а*, 5, *в*). Западнее и севернее Новосибирских островов температурные контрасты на границах вод стоковой линзы значительно уменьшались, что могло быть следствием вертикального и горизонтального перемешивания с водами внешнего шельфа, характеризующимися отрицательными температурами. В сентябре 2019 г. прибрежный апвеллинг вызвал снижение SSH и SST в южной части ВСМ. Воды с пониженной соленостью, повышенными значениями SST и SSH переместились из прибрежной в открытую часть ВСМ (рис. 2, *г*, 2, *д*, рис. 5, *б*, 5, *г*). В МЛ к востоку и юго-востоку от устья реки Лены не наблюдалось понижение SST в прибрежных водах (рис. 5, *г*). Возможно, повышенная соленостная/плотностная стратификация вод в данной области МЛ препятствовала поступлению подповерхностных вод с низкими температурами на поверхность моря.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследовалось распределение распресненных вод в море Лаптевых и Восточно-Сибирском море в период наименьшей ледовитости (август–октябрь) с использованием спутниковых данных по уровню моря и CTD данных судовых наблюдений. Наблюдается хорошее согласие между распределением солености в верхнем 20 м слое вод и уровнем морем в исследуемом регионе. Увеличение стока реки Лены в период летнего половодья приводит к повышению уровня моря в восточной части моря Лаптевых и западной и юго-западной частях Восточно-Сибирского моря, вследствие поступления вод с пониженной соленостью и повышенными величинами уровня моря. Усиление ветров западных румбов сопровождается уменьшением солености и повышением уровня моря в южных областях моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. Западные ветра вызывают поступление вод с повышенной соленостью из зоны материкового склона на шельф, что понижает уровень на внешней границе материкового шельфа. Ветра восточных румбов вызывают снижение уровня в южных областях моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря и перемещение вод с пониженной соленостью из прибрежной в открытую часть моря. Ветра западных/восточных румбов сопровождаются направленными на восток/запад геострофическими течениями в зоне пролива Санникова и в юго-западной части Восточно-Сибирского моря. Спутниковые данные демонстрируют, что мезомасштабные (диаметр 50 км) антициклональные круговороты вод, наблюдаемые вблизи западного и северного побережья Новосибирских островов, оказывают влияние на водообмен между морем Лаптевых в Восточно-Сибирским морем.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-17-00027).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны руководство ДВНИГМИ за возможность опубликования CTD данные экспедиции “Профессор Мультановский”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андреев А.Г. Распределение распресненных вод Амурского лимана в Охотском море по данным спутниковых наблюдений // Исслед. Земли из космоса. 2019. № 2. С. 89–96.

Чаркин А.Н., Дударев О.В., Шахова Н.Е. и др. Особенности формирования полей взвеси в морях восточной Арктики // ДАН. 2015. Т. 462. № 5. С. 595–600.

Ablain M., Cazenave A., Larnicol G. et al. Improved sea level record over the satellite altimetry era (1993–2010) from the Climate Change Initiative project // Ocean Sci. 2015. V. 11. P. 67–82.

Anderson L.G., Björk G., Jutterström S. et al. East Siberian Sea, an Arctic region of very high biogeochemical activity// Biogeosciences. 2011. V. 8. P. 1745–1754.

Dmitrenko I., Kirillov S., Eicken H., Markova N. Wind-driven summer surface hydrography of the eastern Siberian shelf // Geophys. Res. Lett. 2005. V. 32. L14613. https://doi.org/10.1029/2005GL023022

Dmitrenko I., Kirillov S., Tremblay L.B. The long-term and interannual variability of summer fresh water storage over the eastern Siberian shelf: Implication for climatic change // J. Geophys. Res. 2008. V. 113. https://doi.org/10.1029/2007JC004304

Meissner T., Wentz F.J., Scott J., Vazquez-Cuervo J. Sensitivity of ocean surface salinity measurements from spaceborne L- band radiometers to ancillary sea surface temperature // IEEE transactions on geoscience and remote sensing. 2016. V. 54. № 12. P. 7105–7110.

Osadchiev A.A., Pisareva M.N., Spivak E.A., Shchuka S.A., Semiletov I.P. Freshwater transport between the Kara, Laptev, and East – Siberian seas // Nature Scientific Reports. 2020. 10:13041.

Osadchiev A.A., Silvestrova K., Myslenkov S. Wind-driven coastal upwelling near large river deltas in the Laptev and East-Siberian Seas // Remote Sens. 2020. V. 12. 844. https://doi.org/10.3390/rs12050844

Pavlov V.K., Timokhov L.A., Baskakov G.A. et al. Hydrometeorological regime of the Kara, Laptev, and East-Siberian Seas // Tech. Memo. APL-UW TM 1-96. 1996. 179 p.

Semiletov I., Pipko I., Gustafsson O. et al. Acidification of East Siberian Arctic Shelf waters through addition of freshwater and terrestrial carbon // Nat. Geosci. 2016. V. 9. 361. https://doi.org/10.1038/ngeo2695

Semiletov I.P., Pipko I.I., Shakhova N.E. et al. Carbon transport by the Lena River from its headwaters to the Arctic Ocean, with emphasis on fluvial input of terrestrial particulate organic carbon vs. carbon transport by coastal erosion // Biogeoscience. 2011. V. 8. P. 2407–2426.

Shiklomanov A.I., Holmes R.M., McClelland J.W. et al. 2021. Arctic Great Rivers Observatory. Discharge Dataset. https://www.arcticrivers.org/data.

Weingartner T.J., Danielson S., Sasaki Y. et al. The Siberian Coastal Current: A wind and buoyancy forced coastal current // *J. Geophys. Res.* 1999.V. 104. P. 29697–29713.

Changes in Sea Level and Geostrophic Currents in the East Siberian Sea and the Laptev Sea under the Influence of Wind and Runoff of the Lena River

A. G. Andreev[1] and I. I. Pipko[1]

[1]*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia*

The analysis of the distribution of freshened waters during the period of least ice coverage (August-October) in the East Siberian Sea (ESS) and the Laptev Sea (LS) using satellite data on sea level and CTD data from ship observations. It is shown that there is good agreement between the distribution of salinity/density in the surface layer and the sea level in the study area. An increase (decrease) in the runoff of the Lena River during the summer flood leads to an increase (decrease) in sea level anomaly in the eastern part of the LS and the western and southwestern parts of the ESS in September and October (r = 0.52–0.59, 1993–2019 гг.). Strengthening of the western winds increases the inflow of waters with low salinity (increased sea level) from the ML to the ESS. The eastern winds cause a decrease in the level near the coast and the advection of waters with low salinity from the coastal to the open sea. The western/eastern winds are accompanied by geostrophic currents directed to the east/west in the Sannikov Strait zone and in the southern part of the ESS.

Keywords: satellite data, sea level, geostrophic currents, water salinity, Lena River, East Siberian Sea, Laptev Sea

REFERENCES

Ablain M., Cazenave A., Larnicol G. et al. Improved sea level record over the satellite altimetry era (1993–2010) from the Climate Change Initiative project // Ocean Sci. 2015. V. 11. P. 67–82.

Anderson L.G., Björk G., Jutterström S. et al. East Siberian Sea, an Arctic region of very high biogeochemical activity// Biogeosciences. 2011. V. 8. P. 1745–1754.

Andreev A.G. The Distribution of the Desalinated Waters of the Amur Estuary in the Okhotsk Sea According to Satellite Observations // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2019. V. 55. № 9. P. 1160–1165.

Charkin A.N., Dudarev O.V., Shakhova N.E. и др. The formation of suspended particulate matter fields in the eastern Arctic seas // Doklady Earth Sciences. 2015. V. 462. № 2. P. 626–630.

Dmitrenko I., Kirillov S., Eicken H., Markova N. Wind-driven summer surface hydrography of the eastern Siberian shelf // Geophys. Res. Lett. 2005. V. 32. L14613. https://doi.org/10.1029/2005GL023022

Dmitrenko I., Kirillov S., Tremblay L.B. The long-term and interannual variability of summer fresh water storage over the eastern Siberian shelf: Implication for climatic change // J. Geophys. Res. 2008. V. 113. https://doi.org/10.1029/2007JC004304

Meissner T., Wentz F.J., Scott J., Vazquez-Cuervo J. Sensitivity of ocean surface salinity measurements from spaceborne L- band radiometers to ancillary sea surface temperature // IEEE transactions on geoscience and remote sensing. 2016. V. 54. № 12. P. 7105–7110.

Osadchiev A.A., Pisareva M.N., Spivak E.A., Shchuka S.A., Semiletov I.P. Freshwater transport between the Kara, Laptev, and East – Siberian seas // Nature Scientific Reports. 2020. 10:13041.

Osadchiev A.A., Silvestrova K., Myslenkov S. Wind-driven coastal upwelling near large river deltas in the Laptev and East-Siberian Seas // Remote Sens. 2020. V. 12. 844. https://doi.org/0.3390/rs1205084

Pavlov V.K., Timokhov L.A., Baskakov G.A. et al. Hydrometeorological regime of the Kara, Laptev, and East-Siberian Seas // Tech. Memo. APL-UW TM 1-96. 1996. 179 p.

Semiletov I., Pipko I., Gustafsson O. et al. Acidification of East Siberian Arctic Shelf waters through addition of freshwater and terrestrial carbon// Nat. Geosci. 2016. V. 9. 361. doi: 10.1038/ngeo2695.

Semiletov I.P., Pipko I.I., Shakhova N.E. et al. Carbon transport by the Lena River from its headwaters to the Arctic Ocean, with emphasis on fluvial input of terrestrial particulate organic carbon vs. carbon transport by coastal erosion // Biogeoscience. 2011. V. 8. P. 2407–2426.

Shiklomanov A.I., Holmes R.M., McClelland J.W. et al. 2021. Arctic Great Rivers Observatory. Discharge Dataset. https://www.arcticrivers.org/data.

Weingartner T.J., Danielson S., Sasaki Y., et al. The Siberian Coastal Current: A wind and buoyancy forced coastal current // *J. Geophys. Res.* 1999.V. 104. P. 29697–29713.