

Размер частиц в облаке

<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>

Возмущения уровенной поверхности акваторий у донных поднятий и жидких границ (при встрече водных потоков)

¹Люшвин П.В., ²Буянова М.О., ³Челидзе Н.С.

¹к.г.н., член РГО, РОС, независимый эксперт, lushvin@mail.ru, ²д.ю.н., проф. ВШЭ, mobuianova@mail.ru, ³студент факультета Государственного Управления МГУ

Введение

При изучении гидрофизических аномалий в море основное внимание уделяется атмосферным явлениям, течениям и внутренним волнам, включая приливного генезиса, чья изменчивость предсказуема или ретроспективно объяснима. Однако, это не всегда относится к топографии уровенной поверхности (подъемам и понижениям, подобным холмам и долинам на земной топографической карте, *SSH*) и её связи с другими геофизическими полями. Обусловлено это сравнительно недавней историей и доступностью массовых материалов спутниковых наблюдений за уровенной топографией. Представляются эти данные в терминах высоты поверхности моря относительно геоида Земли (рис.1). Цель - изучение крупномасштабной циркуляции океана, погодных и климатических феноменов Нинья и планетарных волн. Аномалии уровенной топографии возникают в результате действия тектонических и приливных сил, под барическими неоднородностями в атмосфере, у берегов при нагонах и речных паводках, а также у жидких границ при схождении водных потоков. Величины мористых топографических аномалий редко достигают ± 1 м, от барических неоднородностей – дециметры, изменения температуры и солености вод генерируют лишь сантиметровые колебания [Деев, 2010; Кубряков и др., 2016]. Изменения *SSH* происходят и над подводными аномалиями рельефа (рис.1.б).

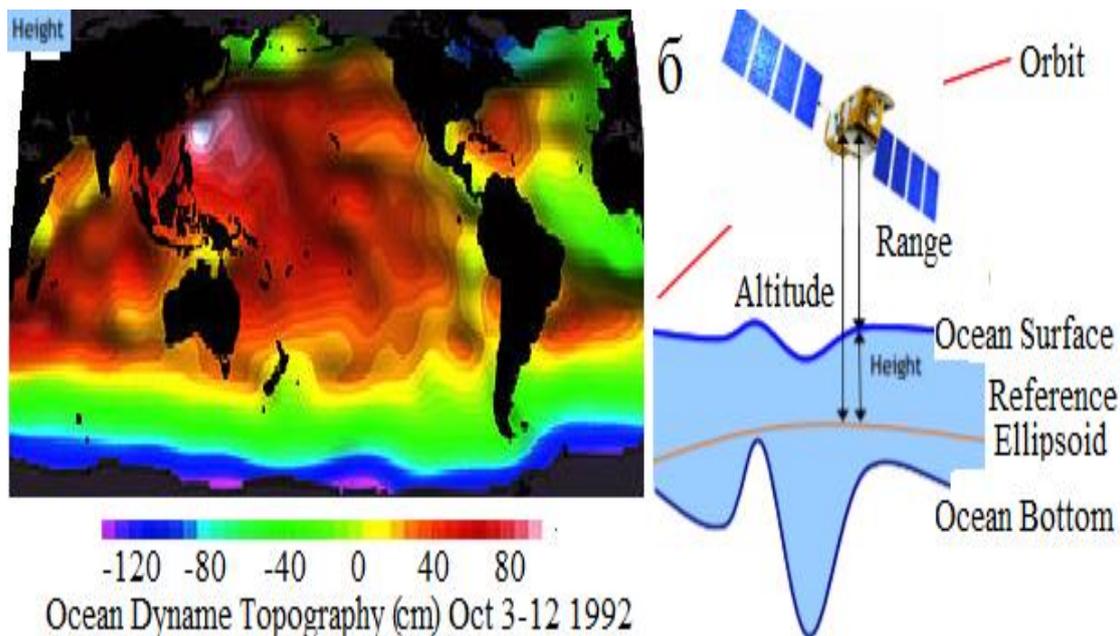


Рис.1. а - топография поверхности океана [https://wikipedia.net/ru/Ocean-surface_topography]; б – расстояние спутника или высотомера над эталонным эллипсоидом; расстояние от спутника до поверхности, расстояние от поверхности моря до опорного эллипсоида (*Sea Surface Height Anomalie - SSH*) [https://www.ospo.noaa.gov/Products/documents/hdbk_j2.pdf].

На композиционном снимке за 12-20.02.2016 линейные положительные аномалии *SSH* находятся в Индийском океане у южной оконечности Африки над возвышенностью Агульяс (глубина 2-3 км), у хребта Кергелен (200÷2000 м), и фрагментарно трассируют хребты от Сомалийского рога на юго-восток (Маскаренский, 200÷2000 м и Центрально-Индийский, 2-4 км) (рис.2). Имеются топографические аномалии и над обширными донными поднятиями и словно «сдутыми» с них, а то и вовсе не привязанные к таковым. Например, от плато в центре Индийского океана (Маскаренского плато) на запад до кенийского берега. В Тихом океане аномалии *SSH* фрагментарно тянутся от Галапагосского архипелага до Французской Полинезии, между Австралией и Новой Зеландией и к востоку от последней, над поднятиями к югу от Калифорнийского п-ва и вдоль Центральной Америки. Срединные океанические хребты лишь местами проявляются в уровне топографии. Связано это с глубинами, расположением поднятий относительно водных потоков, осреднением (сбалансированностью аномалий разных знаков за период осреднения). Чтобы выявить причины этих явлений ниже проведены сопоставления *SSH* с другими геофизическими полями, как осредненными, для нивелирования погодных особенностей, так и срочными.

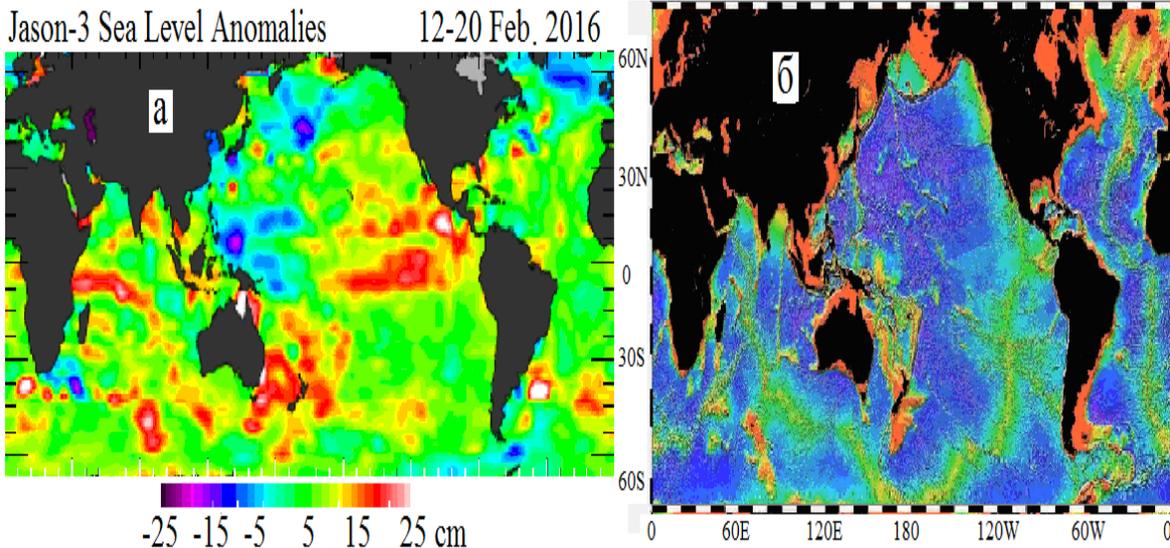


Рис.2. а – SSH 12-20 февраля 2016 [https://sealevel.nasa.gov/system/downloadable_items/]; б - батиметрия дна океана, показывающая континентальные шельфы и океанические плато (красный), срединно-океанические хребты (желто-зеленые) и абиссальные равнины (от синего до фиолетового) [https://en.m.wikipedia.org/wiki/Continental_shelf].

Данные и обсуждение

В феврале 2004 схождение Лабрадорского течения и ветра с ю-в. обусловило вспучивание вод – положительную аномалию SSH (рис.3). Аномально холодная вода на поверхности (*Sea Surface Temperature - SST*), верхнего 300 м слоя (*average temperature in the upper 300 meters - 300-t*) и глубокая ложбина SSH у восточного побережья США и Канады результат отжимного ветра (*Surface zonal wind stress – ZWS*, *Surface meridional wind stress – MWS*). Ситуация с течениями была в норме.

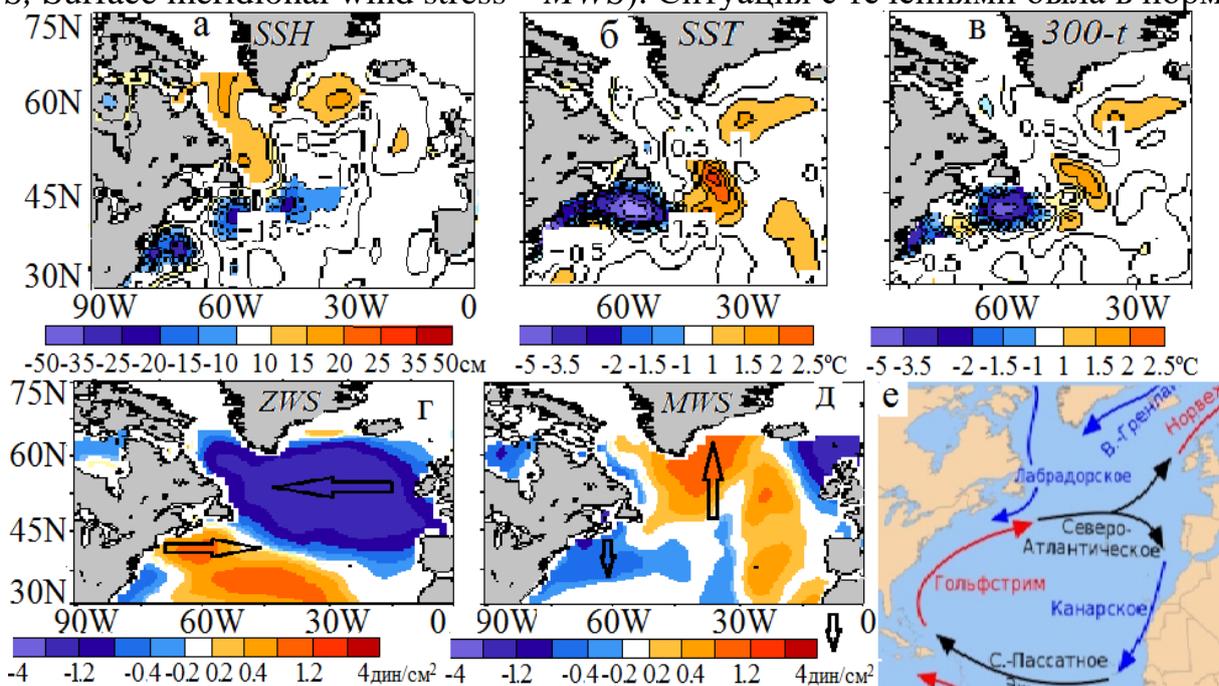


Рис.3. а-д – аномалии SSH, SST, 300-t, ZWS и MWS соответственно в Северной Атлантике в феврале 2004 [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/]; е – схема течений [https://shareslide.ru/img/thumbs/].

В ноябре 2015 в отсутствии ветра, встречного Лабрадорскому течению не было и вспучивания вод в Лабрадорском море (рис.4). Подъем аномально теплой воды у северо-восточного берега США обусловлен нажимным ветром с Атлантики.

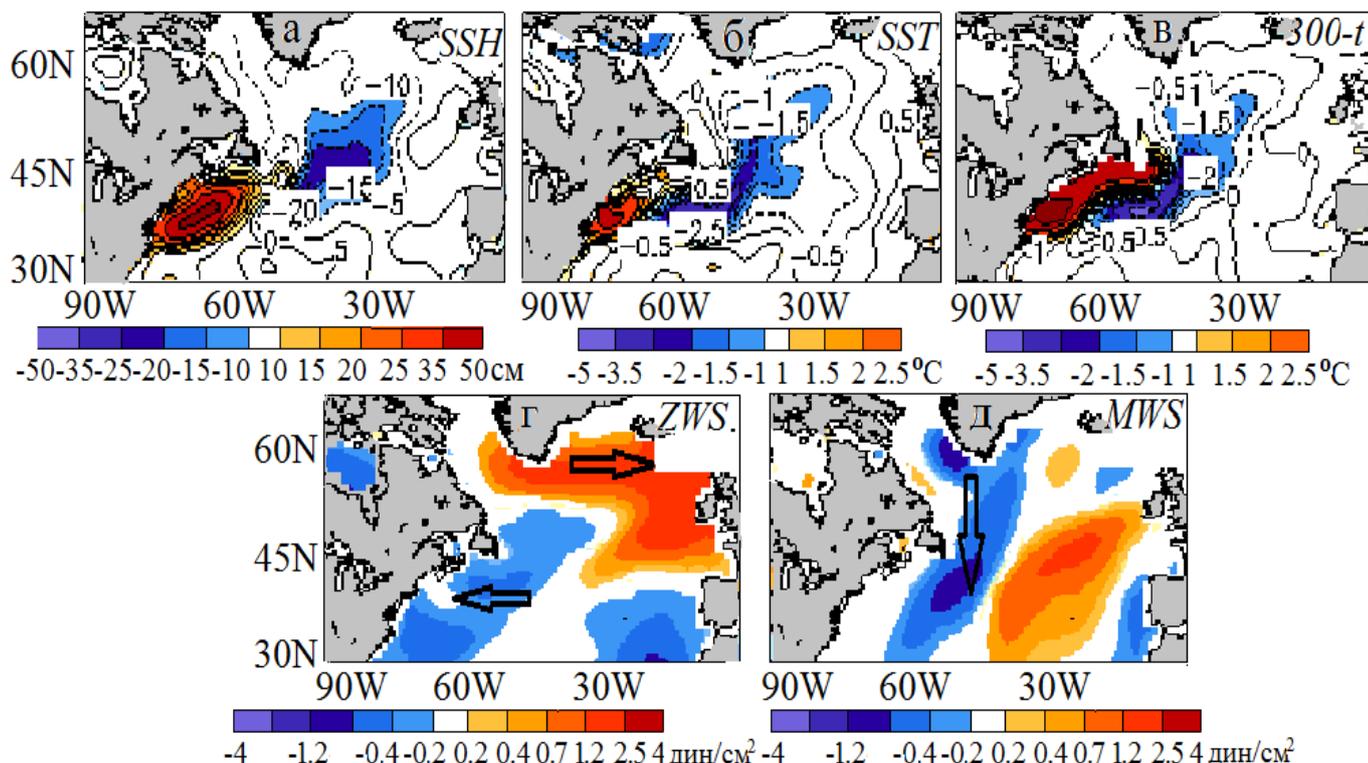


Рис.4. а-е – аномалии *SSH*, *SST*, *300-t*, *ZWS* и *MWS* соответственно в Северной Атлантике в ноябре 2015.

В экваториальной части Тихого океана, в зоне Эль-Ниньо в ноябре 2015 площадь среднемесячных поверхностных аномалий температуры ($SST > 1^\circ\text{C}$) была значимо больше идентичных по знаку аномалий в полях *SSH* и *300-t*, хотя центры аномалий в целом совпадали. Происходило это на периферии, где $2^\circ\text{C} > SST > 1^\circ\text{C}$ (рис.5.а-е) [<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/monthly.shtml>]. Максимальное вспучивание (нагон) вод было у жидких границ в акватории 120W-150W, где встретились воды западного и восточного течений. В июне 2022 в мористых водах Эквадора аномально холодные воды Перуанского течения ($< -2^\circ\text{C}$) не сопровождалась значимыми изменениями в полях *SSH* ($< /10$ см/) и *300-t* ($< /1^\circ\text{C}$) (рис.5.ж-и). Причина в незначительной толщине холодной струи воды, что над донным 2÷4 км поднятием не привела к изменению глубины залегания 20°C и 26°C изотерм (*Depth of 20, 26 isotherm*).

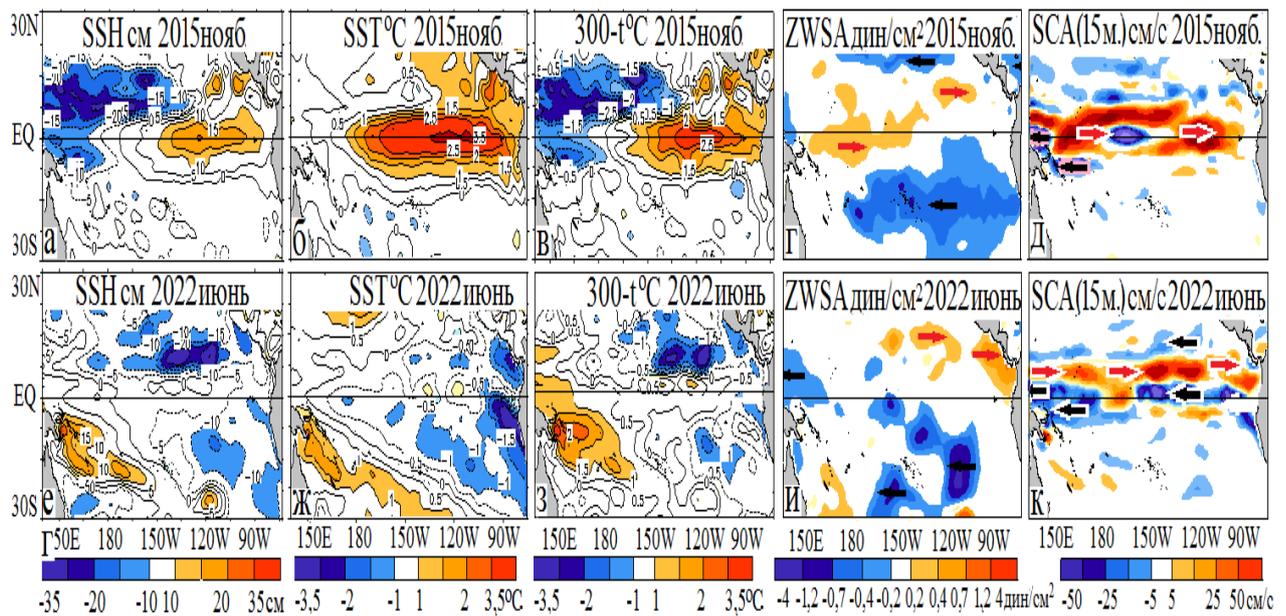


Рис.5. Аномалии *SSH*, *SST*, *300-t*, *ZWSA* и *SCA* в ноябре 2015 (а-д), июне 2022 (е-к).

Дрейфующие масштабные вспученности (нагоны) *SSH* (до 35 см) в 2004 и 2022 были к юго-востоку от Новой Зеландии над материковым склоном (0,2÷3,5 км) и океаническим ложем (>3,5 км) (рис.6.а,б). Обусловило это встреча течений Восточно-Австралийского и Западных Ветров. В 2022 аналогичные аномалии благодаря усилению *ZWS* протянулись на восток еще на ≈500 км до ≈145W. Дальнейшему распространению препятствовал встречный ветер. В 2022 аномалии наблюдались не только на востоке ≈175E÷135W, где были остановлены встречными ветрами, но и на западе ≈135E-170W. Западная аномалия образовалась в результате встречи Восточно-Австралийского течения и ветров 40÷50-х широтах.

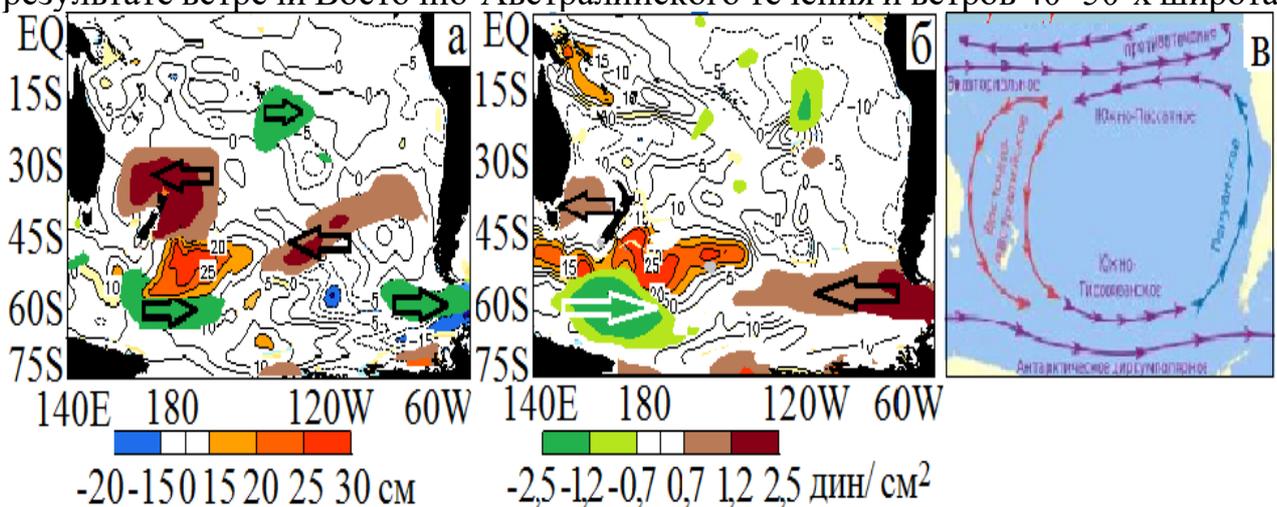


Рис.6. Совмещенные на одном рис. аномалии *SSH* и *ZW*; а - февраль 2004, б - июнь 2022; в - схема течений в южной части Тихого океана [https://cf2.ppt-online.org/].

К югу от Африки в январе 2004 над возвышенностью Агульяс, что омывается меандрами течений Агульяс - мыса Игольного, были аномалии в полях *SSH* до 30 см и в *300-t* до 2°C (рис.7,8). Поверхностная аномалия ≈1-2°C занимала лишь восточную часть возвышенности. Рассогласование полей *SSH* и *SST* связано с восточным ветром, сдувавшим воду с запада возвышенности. У северо-восточной

периферии хребта Кергелен на фоне ослабления западного переноса вод в поле $300-t$ появилась 3°C аномалия. В полях SSH и SST значимых аномалий не было ($>15\text{ см}$, $>1^{\circ}\text{C}$). В июне 2022, напротив, над возвышенностью Агульяс не было аномалии SSH , хотя в полях SST и $300-t$ они достигали $2,5^{\circ}\text{C}$ и 2°C . У хребта Кергелен знаки аномалий SSH и $300-t$ в целом совпадали.

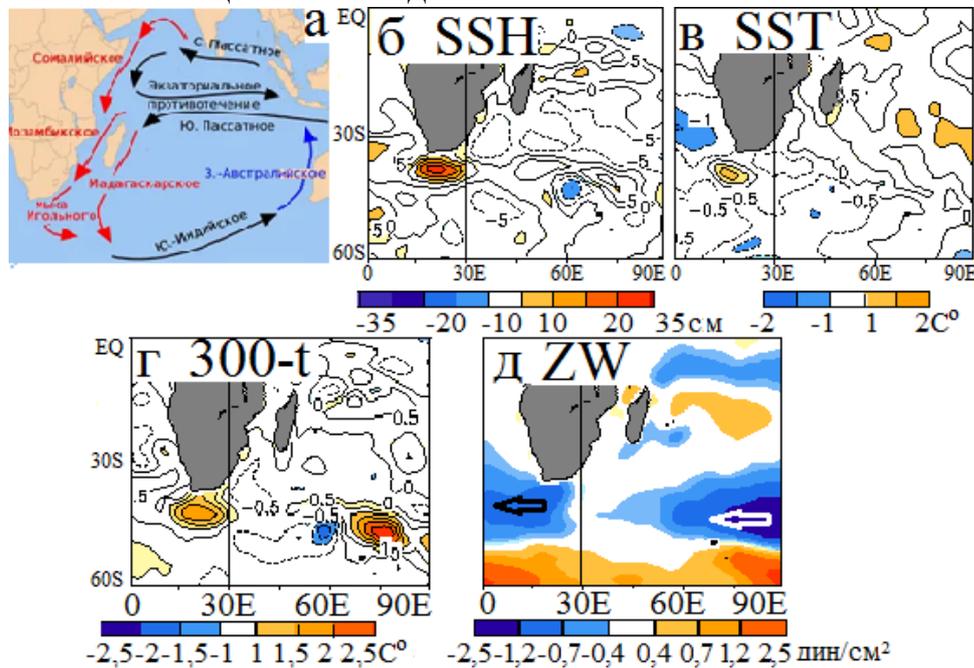


Рис.7. а - схема течений Индийского океана [https://vseoplanete.ru/wp-content/uploads/2023/10/]. б-е - аномалии SSH , SST , $300-t$, и ZW в январе 2004.

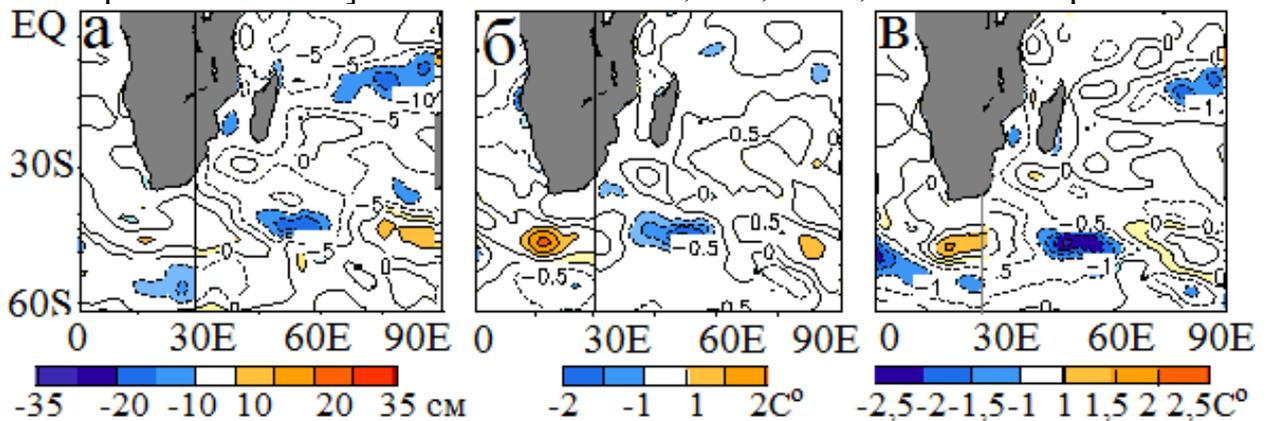


Рис.8. а-в аномалии SSH , SST и $300-t$ в июне 2022.

Для выявления синхронности и причин колебаний SSH и $300-t$ над возвышенностью Агульяс и донным возвышением у западной Австралии за период 2001-2012 были сопоставлены их временные изменчивости с аномалиями переноса вод вдоль меридиана (*Meridional Wind Stress Anomaly - MWS*). Оказалось, что колебания SSH и $300-t$ в целом синхронны активизации составляющей течений вдоль меридиана (*Surface meridional current - MC*) (рис.9). При подходе вод с севера значения SSH и $300-t$ растут, с юга – убывают.

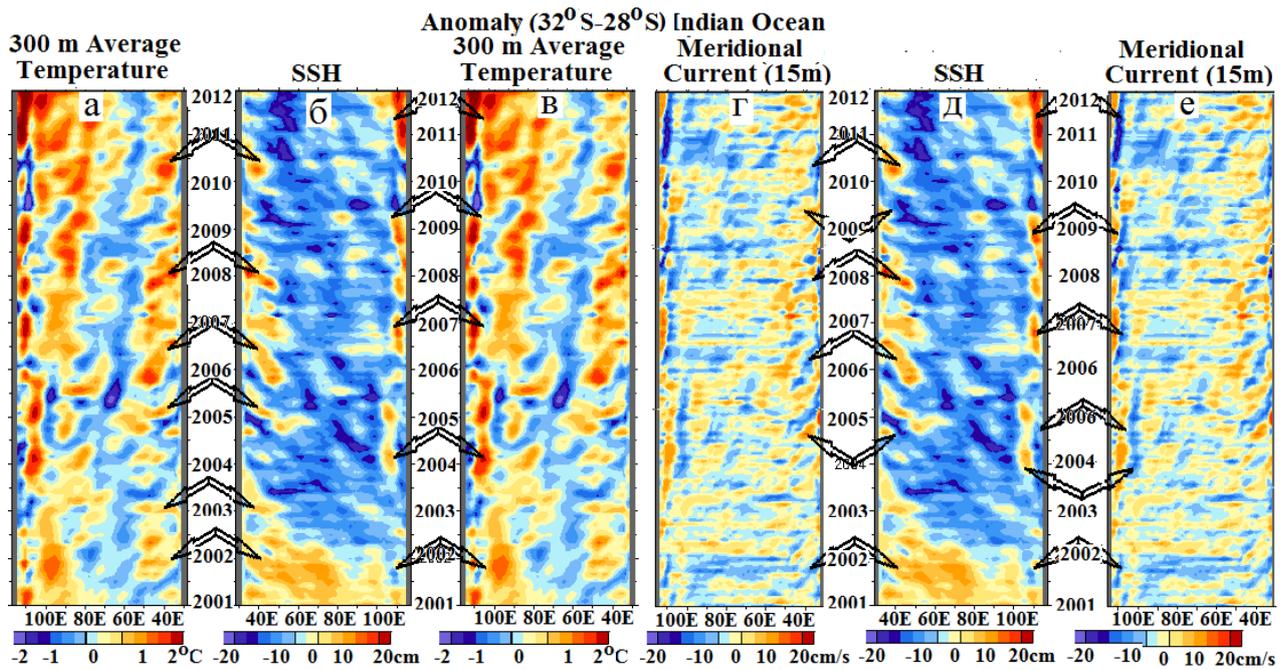


Рис.9. Сопоставление аномалий SSH (б,д) и 300-*t* (а,с) с МС (г,е) течения Агульяс и течения у западной Австралии (совпадающие аномалии показаны стрелками) [<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/monthly.shtml>].

Уровневые линейчатые аномалии $>15 \div 20$ см характерны для акваторий с высокими приливами. Например, между Галапагосским архипелагом и Латинской Америкой (приливные колебания у Тихоокеанского побережья достигают 7 м, на Карибском побережье - на порядок меньше (рис.10.а,б) [https://ru.wikipedia.org/wiki/Шаблон:ПозКарта_Панама]. От Галапагосс к Латинской Америке тянутся подводные хребты высотой до 2 км Кокос и Карнеги. Глубина котловины между хребтами $\approx 3 \div 5$ км. В котловине имеются подводные возвышения и разломы земной коры, перепад высот в них составляет до 1 км (рис.10.д). В этом регионе 17 июня 2008 наблюдались три топографических линейчатых аномалии 20+30 см. Линеамент (№1) начинался над шельфовой частью хребта Кокос, далее шел севернее в квазиштилевой зоне (≤ 3 м/с). Линеамент №2 отстоял от берега на $\approx 10 \div 30$ км. Он пересекал подводную ложбину и возвышенность трассируя линейную квазиштилевую полосу. Линеамент №3 начинался в квазиштилевой мористой части Панамского залива, а далее шел над квазиштилевой котловиной. Структура (направления) поверхностных течений была столь же «полосата», что SSH и ветровая. Квазиштилевые, вспученные участки акваторий были в зоне встречных (нагонных) течений. Между квазиштилевыми уровневными линеаментами дул ветер с севера, скоростью до 5-7 м/с. Этот то ветер и сгонял воду в штилевые зоны (рис.10.г,д). В тепловом поле обсуждаемые неоднородности не проявились из-за дециметровой гомогенной стратификации, слабости ветра и усиления прогрева поверхностных вод при штиле [Люшвин,2005]. Отметим, что ситуация с совпадением ветровых условий, течениями и вспучиванием 3-х уровневых линеаментов-зон в целом сохранялась с 13-22 июня 2008 (рис.10.е). В предыдущую и последующую недели в исследуемой акватории уровневые аномалии смещались вслед штилевым зонам (направления и

скорости течений были аналогичны ситуации 17 июня 2008). В литературе нагоны массово рассматриваются лишь применительно к шельфу (берегу) или к барическим образованиям [Деев, 2010; Кубряков и др., 2016].

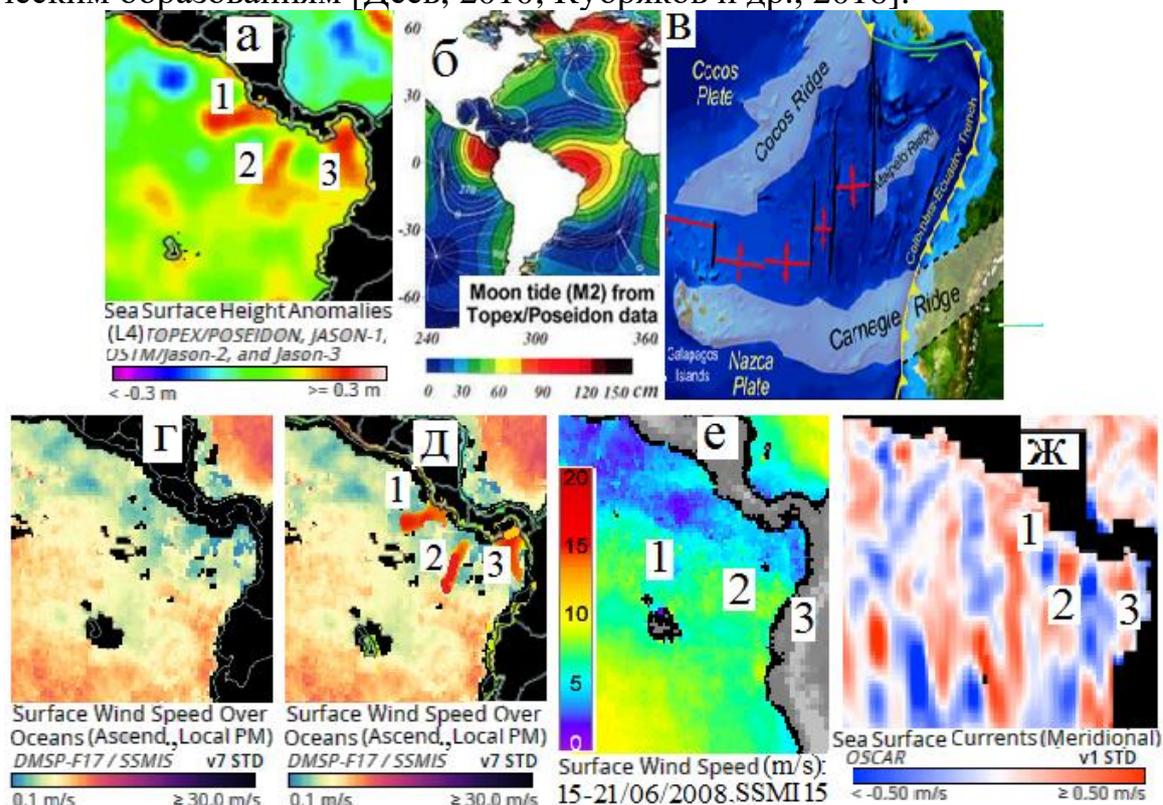


Рис.10. а - аномалии высоты поверхности моря 17 июня 2008, цифры у трех аномалий уровня (а) [<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>]; б - высота лунного прилива [<https://rc74.ru/800/600/http/>]; в - очертания хребтов и границ плит у северо-запада Южной Америки [https://en.wikipedia.org/wiki/Carnegie_Ridge]; г - скорость приводного ветра, д - повтор с нанесенными красными линейментами рис.а; е - скорость приводного ветра 15-21 июня 2008 [<https://images.remss.com/ssmi/>]; ж - скорость составляющей поверхностного течения вдоль меридиана [<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/>].

17 февраля 2006 три холодные структуры в регионе (рис.11.а,б) сопровождалась ложбинами в уровенной топографии (рис.11.в), отжимными течениями (рис.11.г,д), а южная и северная - сгонным ветром до 12 м/с (рис.11.е). Протяженность структур составляла сотни, а центральной - тыс. км.

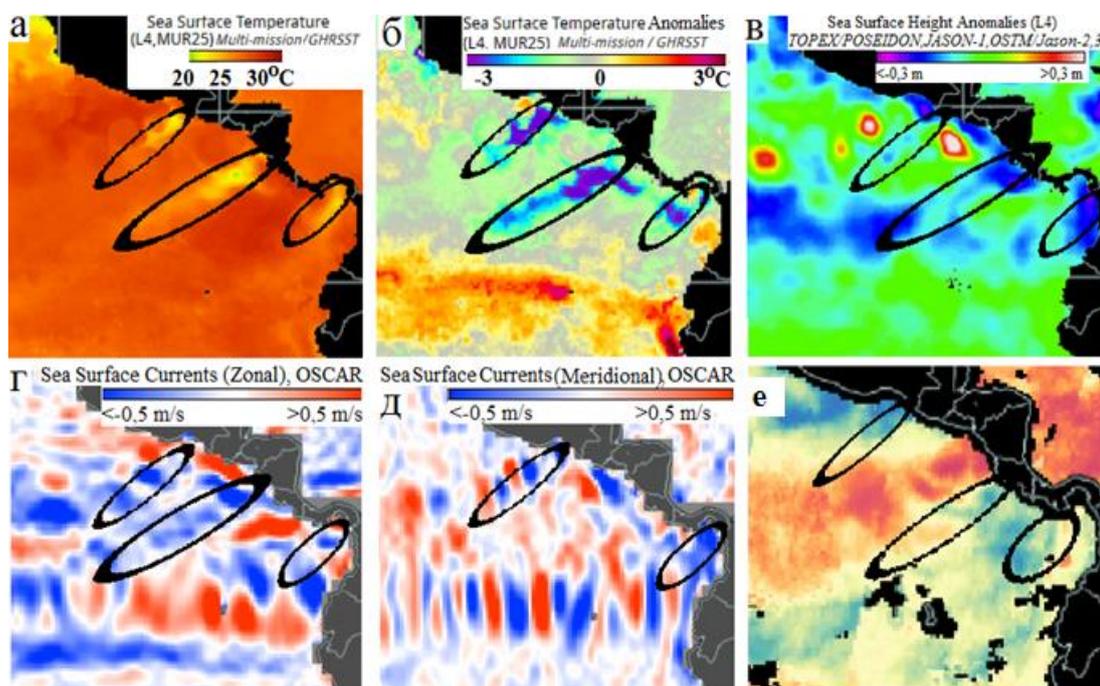


Рис.11. 17 февраля 2006 карта температуры поверхности воды в Тихоокеанском секторе у Латинской Америки (AM, SSM/I - F13, version 7) (а), аномалии температуры (б), SSH (в), зональная и меридиональная скорости течений (г,д); скорость ветра над океаном (е) [<https://images.remss.com/ssmi/>].

Заключение

Уровенные топографические аномалии характерны не только в результате действия тектонических, приливных сил и барических неоднородностей, у берегов при нагонах и речных паводках, но также у жидких границ при схождении водных потоков и над подводными аномалиями рельефа. Такие аномалии достигают 50 см, что сопоставимо с уровенными аномалиями, обусловленными тектоническими и барическими событиями.

Список литературы

1. Деев М.Г. Уровенная поверхность Мирового океана и причины ее изменения // География, Проблемные и отраслевые вопросы физической географии. №5/2010. https://geo.1sept.ru/view_article.php?ID=201000504.
2. Кубряков А.А., Белоненко Т.В., Станичный С.В. Влияние синоптических вихрей на температуру морской поверхности в северной части Тихого океана. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса // 2016. т.13. № 2. С. 34–43. http://d33.infospace.ru/d33_conf/sb2016t2/34-43.pdf
3. https://wikipedia.net/ru/Ocean-surface_topography
4. https://www.ospo.noaa.gov/Products/documents/hdbk_j2.pdf
5. https://sealevel.nasa.gov/system/downloadable_items/57_jason3_feb_2016_orig.png.
6. https://en.m.wikipedia.org/wiki/Continental_shelf
7. <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/monthly.shtml>.
8. <https://shareslide.ru/img/thumbs/56d921551826edb14f6f23ebab3ad3db-800x.jpg>.

9. <https://cf2.ppt-online.org/files2/slide/p/pP6CLOaAuliq2IUD4SHdG3Fe98ZzcwmVTtsfkQ/slide-7.jpg>.
10. <https://vseoplanete.ru/wp-content/uploads/2023/10/indiyskianrnoeoberezhe.png>
11. https://ru.wikipedia.org/wiki/Шаблон:ПозКарта_Панама.
12. Люшвин П.В. Приближение спутниковых карт температуры поверхности воды (ТПВ) к картам ТПВ, построенным по данным контактных наблюдений. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса // 2005. т.5. № 2. С.140-144.
13. http://www.iki.rssi.ru/earth/articles/sec6_13.pdf
14. https://geo.1sept.ru/view_article.php?ID=201000504 – это Деев
15. <https://rc7modis4.ru/800/600/http/cf3.ppt-online.org/files3/slide/d/ds8NbAgVkDrBcfm7pGI2OwCnTziULH3ySMEolP/slide-36.jpg>
16. https://en.wikipedia.org/wiki/Carnegie_Ridge
17. <https://worldview.earthdata.nasa.gov>
18. https://images.remss.com/ssmi/ssmi_data_weekly.html?&keep=0