

АЛЕУТСКИЕ ВИХРИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТЕМПЕРАТУРУ ВОД И КОНЦЕНТРАЦИЮ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХООКЕАНСКОЙ СУБАРКТИКИ

Андреев А.Г.

*Тихоокеанский океанологический институт РАН,
Россия, 690041, Владивосток, ул. Балтийская 43, e-mail: andreev@poi.dvo.ru*
Статья поступила в редакцию 23.03.2020, одобрена к печати 23.06.2020.

Алеутские вихри – это антициклонические вихри с горизонтальным масштабом 100–200 км, переносящие трансформированные воды залива Аляска в западную часть тихоокеанской Субарктики (ЗТСб). На основе анализа спутниковых данных и данных буев Арго выявлено влияние ветра на формирование алеутских вихрей и их отделение от Аляскинского струйного течения. Установлено, что ветра восточных румбов в декабре способствуют образованию алеутских вихрей к югу от островов Ближние (западные Алеутские острова). Положительный (циклонический) вихрь напряжения трения ветра в зимний период приводит к уменьшению уровня моря (SSH) и образованию мезомасштабных циклонов на границах алеутских вихрей, что способствует отделению алеутских вихрей от Аляскинского струйного течения. Появление алеутских вихрей в центральной части ЗТСб сопровождается заглублением изопикнических поверхностей и повышением температуры и концентрации растворенного кислорода в слое 150–400 м. Алеутские вихри уменьшают концентрацию растворенного кислорода на глубинах залегания изопикнических поверхностей $26.7\sigma_\theta$ и $26.8\sigma_\theta$ в верхнем промежуточном слое ЗТСб, но увеличивают содержание растворенного кислорода на глубинах залегания изопикнической поверхности $27.0\sigma_\theta$.

Ключевые слова: мезомасштабные вихри, термохалинная структура вод, концентрация растворенного кислорода, температура морской воды, тихоокеанская Субарктика

Введение

Аляскинское струйное течение (АСТ) – это северное пограничное течение тихоокеанского субарктического циклонического круговорота вод. АСТ переносит воды залива Аляска с пониженной соленостью (<32.5) в поверхностном слое и с низким содержанием кислорода и повышенной температурой в промежуточном слое в западную часть тихоокеанской Субарктики (ЗТСб). Мезомасштабная циркуляция вод является важным фактором в динамике АСТ (Okkonen et al., 2001; Prants et al., 2019). Антициклонические вихри, называемые вихрями АСТ, формируются в районе между 157° з.д. и 169° з.д. к югу от полуострова Аляска и восточных Алеутских островов (Ueno et al., 2010). Вихри АСТ движутся на запад вдоль Алеутского желоба и иногда достигают западной части тихоокеанской Субарктики (ЗТСб). Эти вихри влияют на водообмен между Тихим океаном и Беринговым морем через про-

ливы Алеутской гряды (Prants et al., 2019). Мезомасштабные антициклонические вихри, формирующиеся на западной границе АСТ в зоне между меридианом 180° и проливом Ближний (около 170° в.д.), называются алеутскими вихрями (Rogachev et al., 2007). Алеутские вихри, после отделения от основной струи АСТ, пересекают северную часть Императорского хребта (г. Детройт и Мейджи) и дрейфуют на запад в зоне ЗТСБ. Согласно (Ueno et al., 2010), алеутские вихри оказывают влияние на биомассу фитопланктона в центральной части тихоокеанской Субарктики.

Авторы (Rogachev et al., 2007) связали повышение температуры вод в промежуточном слое вод на западной границе тихоокеанской Субарктики (зона течений Ойясио и Восточно-Камчатского) в период с 1990 по 2005 гг. с дрейфом алеутских вихрей. Используя экспедиционные данные, собранные летом 2010 г. и летом 2012 г., исследователи (Saito et al., 2014, 2016) описали структуру вод алеутских вихрей и представили распределения зоопланктона в зоне алеутских вихрей. В данной статье основное внимание уделено алеутским вихрям, формирующимся к югу от островов Ближние в зоне 50–52° с.ш., 171–174° в.д. Нами выявлено влияние ветра на формирование алеутских вихрей и их отделение от АСТ. Используя экспедиционные и спутниковые данные, показано воздействие алеутских вихрей на температуру и концентрацию растворенного кислорода в центральной части ЗТСБ (50–51° с.ш., 165° в.д., 1996–2018 гг.).

Данные

Наши исследования основываются на информации по уровню моря и скоростям геострофических течений с пространственным разрешением 0.25 град на 0.25 град (для исследуемого района: ~30 км по долготе и ~16 км по широте) и временным разрешением 1 месяц, полученной по данным спутниковых измерений (база данных «Copernicus», <http://marine.copernicus.eu>) за период с 1993 по 2018 гг. В работе представлены данные буев Арго (траектории, вертикальные профили температуры и солёности) (Argo, 2000) и данные судовых наблюдений (температура, солёность и концентрация растворенного кислорода), предоставленные Национальным Агентством по изучению атмосферы и океана (NOAA) (<http://www.nodc.noaa.gov>) и Японским метеорологическим агентством (<http://www.jma.go.jp>). Данные по скоростям ветра и меридиональные и зональные компоненты напряжения трения ветра были взяты на сайте Центра диагностики климата (<http://www.esrl.noaa.gov>). Спутниковые данные (ИСЗ QuickSCAT) по вихрю напряжения трения ветра с разрешением 0.25 град на 0.25 град были предоставлены базой данных Copernicus.

Структура вод алеутских вихрей

АСТ хорошо видно на картах распределения SSH, усредненных за январь–февраль и июль–август (1993–2018 гг.) (рис. 1а, б). Из-за пониженной плотности в верхнем слое вод, АСТ характеризуется повышенными величинами SSH (35 см).

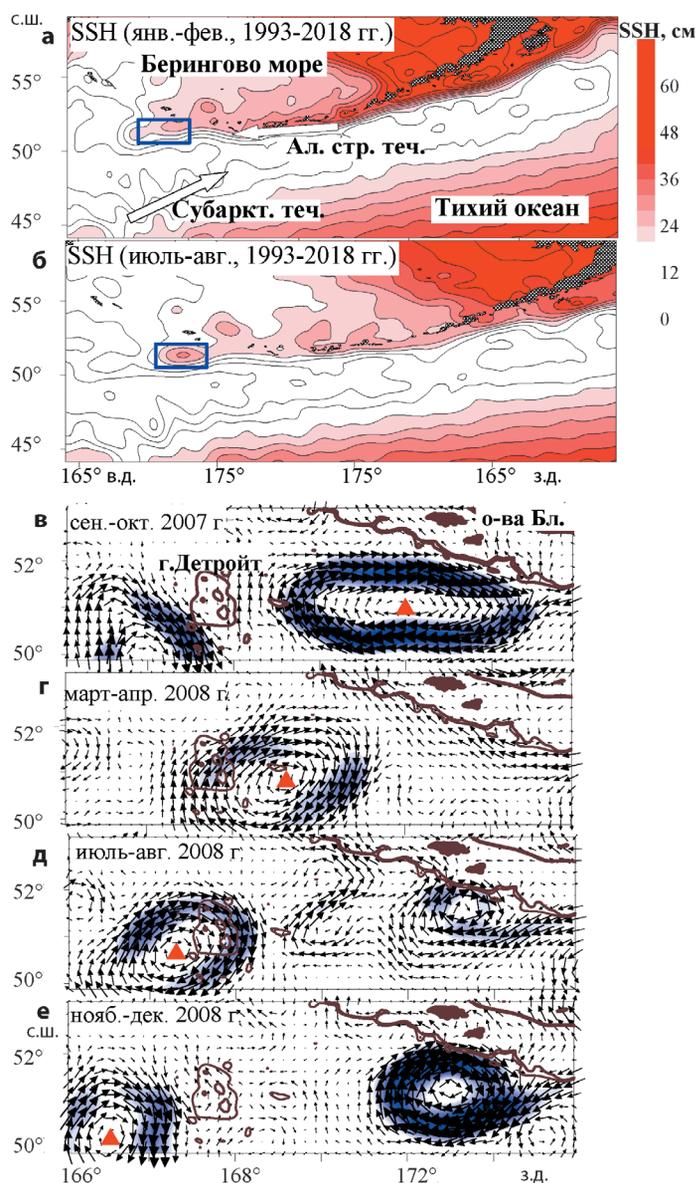


Рис. 1. Уровень моря – а, б; геострофические течения в районе исследований – в–е. Синей линией (а, б) выделен район формирования алеутских вихрей, треугольники (в–е) указывают на центры алеутских вихрей, Ал. стр. теч. – Аляскинское струйное течение, Субаркт. теч. – Субарктическое течение, о-ва Бл. – острова Ближние.

Рис. 1в–е показывают адвекцию алеутского вихря из зоны его формирования к югу от островов Ближние в западную часть тихоокеанской Субарктики (к западу от г. Детройт) в период с сентября 2007 г. по декабрь 2008 г. Образование алеутского вихря было связано с формированием меандра на западной границе АСТ. После отделения от АСТ в декабре 2006 г.–январе 2007 г. вихрь начал перемещаться в западном направлении, пересек г. Детройт в июне–июле 2008 г. и достиг центра ЗТСБ (50–51°с.ш., 165°в.д.) в ноябре–декабре 2008 г. Вихрь имел эллиптическую форму с горизонтальными размерами около 150×200 км и скоростями течений 35–45 см/с на периферии. Термохалинная структура вод алеутского вихря (рис. 2а) характери-

зовалась галоклином, расположенном на глубинах 150–200 м, и максимумом температуры (4.0–4.3°C) в промежуточном слое вод (150–400 м) (рис. 2б, в). Во время дрейфа вихря на запад (рис. 2а) глубина залегания максимума температуры увеличилась с 160–240 м до 190–380 м, когда вихрь пересекал г. Детройт, и уменьшилась до 170–340 м при вхождении вихря в зону ЗТСб (164–166°в.д.). В течение этого периода глубина залегания изогаины 33.6 увеличилась с 160 до 240 м, а затем уменьшилась до 210 м (164–166°в.д.). Прохождение антициклонального вихря над г. Детройт (глубина вершины 1550 м) сопровождалось заглублением изопикнических поверхностей, но не привело к изменению температуры и солёности на глубинах залегания изопикн.

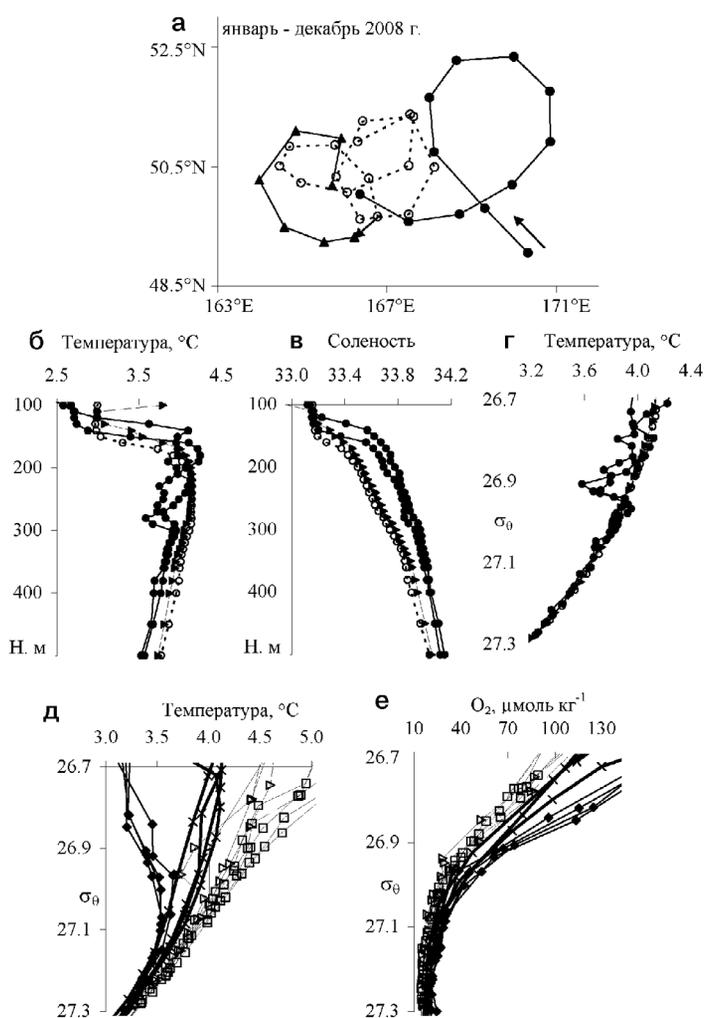


Рис. 2. Траектории движения буя Арго (#5901090) – а; распределения температуры и солёности с глубиной и температуры на изопикнах по данным буя – б–г, (● – к востоку от г. Детройт, 168–171°в.д., ○ – в зоне г. Детройт, 166–168°в.д., ▲ – к западу от г. Детройт, 164–166°в.д.); распределения температуры и растворенного кислорода на изопикнах – д, е, (Δ и □ – Аляскинское струйное течение, 50.7–51.4°с.ш., 179°в.д. и 55.8–56.2°с.ш., 153°з.д.; ◆ – Субарктическое течение, 49.2–50.2°с.ш., 179°в.д.; X – центры алеутских вихрей, 50–51°с.ш., 165°в.д.).

Распределения температуры на изопикнах в пределах алеутского вихря к востоку от г. Детройт (168–171°в.д.), в районе г. Детройт (166–168°в.д.) и к западу от г. Детройт (164–166°в.д.) в январе–декабре 2008 г. (рис. 2г) были аналогичны тем, что наблюдались в вихрях в центральной части ЗТСб (50–51°с.ш., 165°в.д.) в 1997, 2003 и 2007 гг. (рис. 2д). На распределение температуры в алеутских вихрях к востоку от г. Детройт оказывали влияние интрузии вод Субарктического течения, характеризующиеся пониженной температурой в промежуточном слое вод (3.5°С на изопикне 27.0σ_θ) (рис. 2в).

Диаграммы Ховмюллера для SSH (рис. 3а) показывают, что вдоль параллели 51°с.ш. (восточнее 164°в.д. и западнее 174°в.д.) алеутские вихри двигались

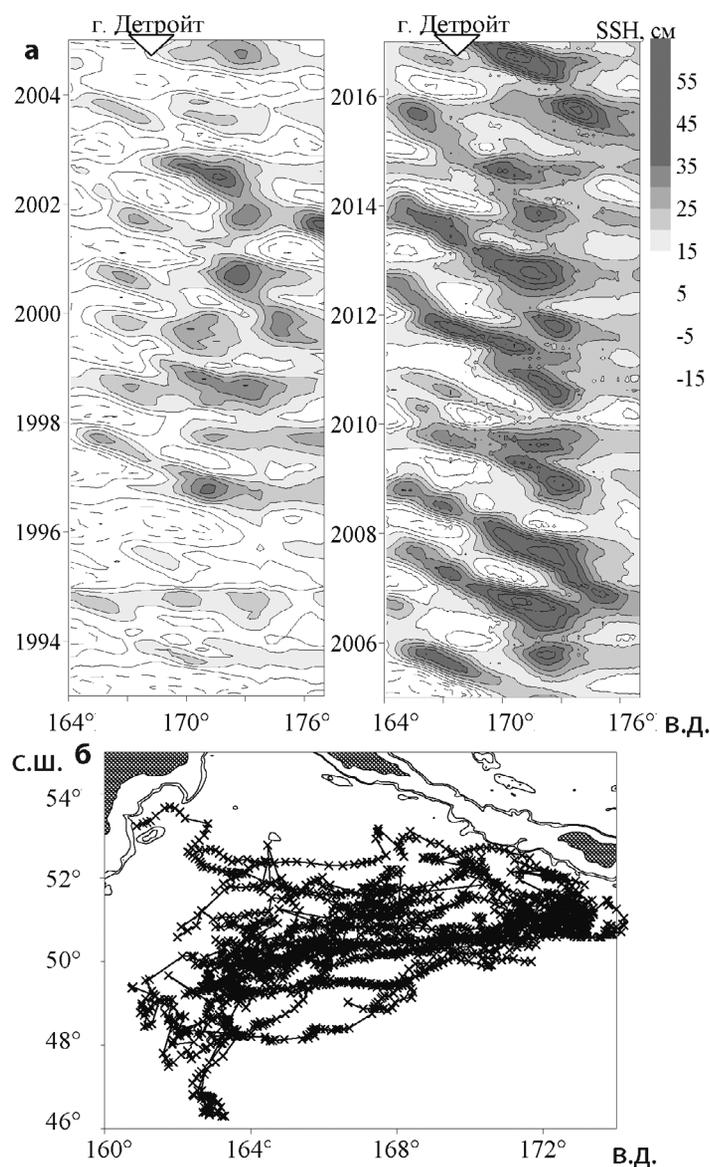


Рис. 3. Диаграмма Ховмюллера (долгота – время, 50.1–51.9°с.ш.) для уровня моря (интервал – 5 см, пунктирные линии для SSH ≤ 5 см) – а; траектории Алеутских вихрей (1992–2012 гг., www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/value-added-products/global-mesoscale-eddy-trajectoryproduct.html) – б.

на запад со скоростью близкой к фазовой скорости волн Россби (1 см/с) (Killworth et al., 1997). В периоды с 1999 по 2002 г. и с 2012 по 2015 г. в зоне между 170°в.д. и 170°з.д. наблюдался дрейф антициклонических вихрей в западном направлении вдоль параллели 51°с.ш. со средней скоростью приблизительно 1 см/с. Появление мезомасштабных антициклонических вихрей к югу от островов Ближние в 2002 и 2015 гг. было обусловлено их адвекцией из восточной части тихоокеанской Субарктики (залив Аляска). Траектории алеутских вихрей указывают на то, что большинство вихрей, пересекавших г. Детройт, дрейфовало в юго-западном направлении (рис. 3б).

Влияние ветра на формирование алеутских вихрей и их отделение от АСТ

Зона, где происходит формирование алеутских антициклонических вихрей (к югу от островов Ближние, 50–52°с.ш., 172–174°в.д.), расположена на западной границе АСТ и характеризуется повышенным зональным градиентом SSH (6 см/град) (см. рис. 1а, б). Формирование антициклонических вихрей в зоне к югу от островов Ближние связано с меандрами АСТ с повышенными величинами SSH. Образование меандров на западной границе АСТ может происходить из-за изменений в переносе вод АСТ и из-за локального воздействия ветра. Выявлена статистически значимая корреляция ($r = -(0.82-0.87)$, 2001–2018 гг., $p < 0.001$) между зональным ветром (50.0–52.5°с.ш., 170–175°в.д.) в декабре и SSH в районе к югу от островов Ближние с временным сдвигом в 1–4 месяца (рис. 4в). Ветра восточных румбов в западной части Алеутских островов в декабре сопровождалась повышенными величинами SSH в районе образования алеутских вихрей в январе–апреле. Сильные ветра западных румбов (благоприятные для прибрежного апвеллинга) блокировали проникновение вод АСТ в район к югу от островов Ближние. На рисунках 4а и б показано распределение SSH в исследуемом районе в феврале 2004 г. и феврале 2011 г. Ветра восточных румбов над западными Алеутскими островами в декабре 2003 г. сопровождалась низкими величинами SSH к югу от островов Ближние в феврале 2004 г. (рис. 4а) Ветра западных румбов в декабре 2010 г. привели к появлению меандра АСТ с высокими величинами SSH в феврале 2011 г. (рис. 4б).

Диаграмма Ховмюллера (рис. 3а) демонстрирует, что в определенные периоды времени алеутские вихри оставались в области формирования к югу от Ближних островов и не дрейфовали в зону ЗТСБ. Нами установлено, что усиление Алеутской депрессии в зимний период и положительный (циклонический) вихрь напряжения ветра в районе исследования приводил к отделению алеутских вихрей от АСТ и способствовал их дрейфу в западном направлении. Положительный вихрь напряжения ветра над исследуемым районом в ноябре 2004 г.–феврале 2005 г. (рис. 4ж, з) привел к снижению SSH и способствовал формированию мезомасштабных циклонов вблизи южной, северной и западной границ алеутского вихря зимой 2004–2005 гг. (рис. 4г–е, 5а). Отделение алеутского вихря от АСТ и его перемещение в западном направлении (рис. 5в), вероятно, было связано с взаимодействием

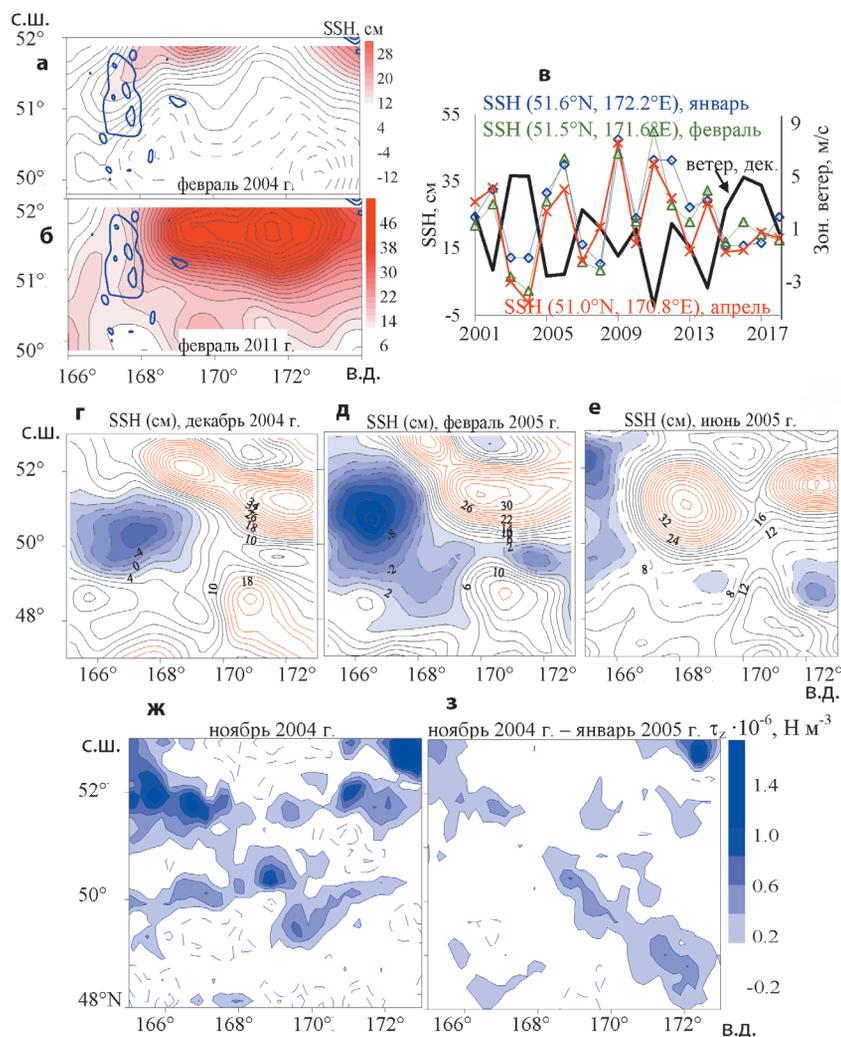


Рис. 4. Изменчивость уровня моря (а–е), зональной компоненты ветра (в) и вихря напряжения трения ветра (τ_z , данные ИСЗ QuickSCAT) (ж, з) в районе исследований.

между алеутским вихрем и мезомасштабными циклонами, расположенными к югу и к северу от вихря (рис. 4г–е, 5а). Из-за снижения вихря напряжения ветра в исследуемом районе, в ноябре 2010 г.–феврале 2011 г. не наблюдалось значительного понижения SSH вблизи границ алеутского вихря зимой 2011 г. (рис. 5б). Алеутский вихрь оставался в районе к югу от островов Ближние и не смещался в зону ЗТСб весной и летом 2011 г. (рис. 5г).

Снижение SSH вблизи границ алеутских вихрей было связано с усилением вихря напряжения ветра в зимний период (ноябрь–февраль). Усиление вихря напряжения ветра в северной части Тихого океана (47–49°с.ш., 165°в.д. –180°) в ноябре–феврале (2001 г., 2003 г., 2005 г., 2008 г., 2010 г., 2013–2014 гг., 2016–2017 гг.) сопровождалось снижением SSH вблизи западной границы алеутских вихрей (51°с.ш., 166.4–167.1°в.д.) в феврале ($r = -0.51$, 2001–2018 гг.) и увеличением SSH в районе г. Детройт (51.5°с.ш., 167.4–168.4°в.д.) ($r = 0.78$, 2001–2018 гг.) в июне–июле при прохождении алеутских вихрей (рис. 5д). Коэффициент корреляции между

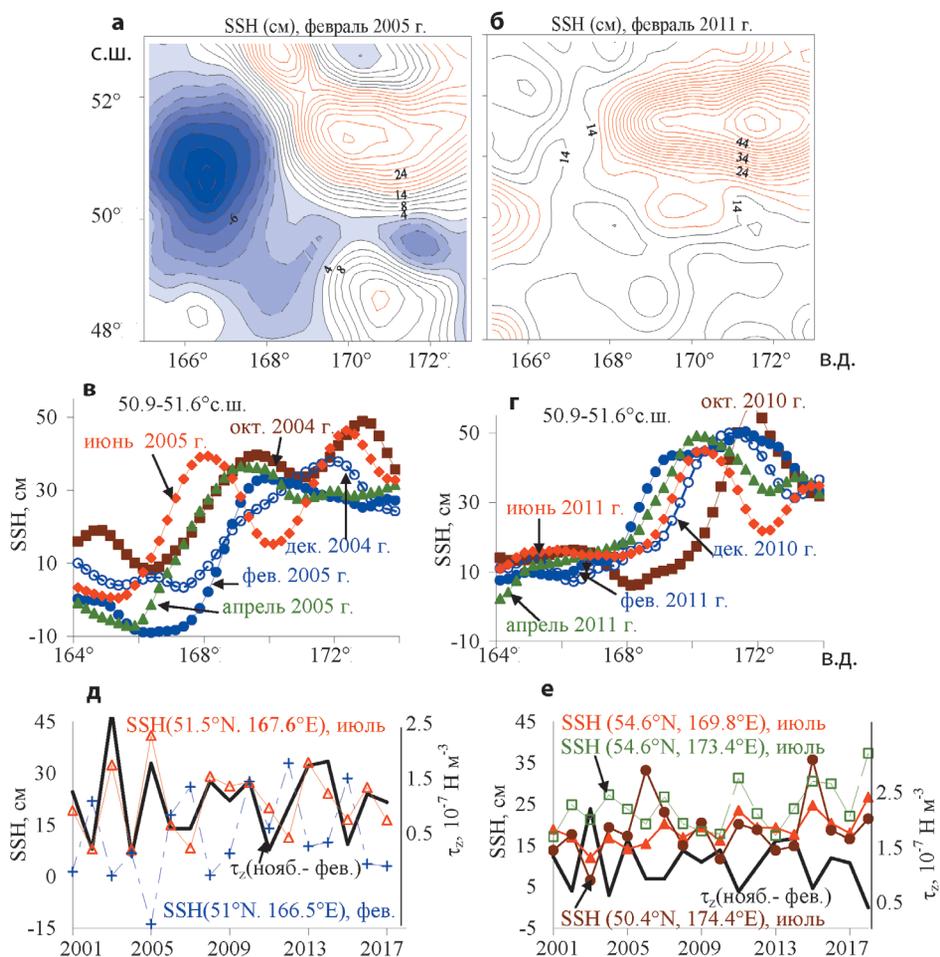


Рис. 5. Изменчивость уровня моря –а–е; и вихря напряжения трения ветра (τ_z , 47–49°с.ш., 165°в.д – 180°, ноябрь–февраль) – д, е.

величиной вихря напряжения ветра, осредненного за ноябрь–февраль, и SSH вблизи северной и южной границ алеутских вихрей в июле (рис. 5е) равен – (0.55–0.69) (2001–2018 гг.), что является статистически значимым на уровне 99%.

Изменение SSH в исследуемом районе, вызванное вихрем напряжения ветра ($\text{curl}\tau$), может быть оценено по уравнению дивергенции экмановских потоков для 2-х слойного океана (Qiu, 2002; Capotondi et al., 2005):

$$\partial \text{SSH} / \partial t = -g' \times \text{curl} \tau / \rho_0 \times g \times f,$$

где g' – приведенная сила тяжести, ρ_0 – плотность морской воды, f – параметр Кориолиса.

Принимая g' и $\text{curl}\tau$ равными соответственно 0.03 м с^{-2} и 10^{-6} Н м^{-3} (рис. 4ж, з), мы получаем снижение SSH на 22 см за временной интервал три месяца. Что согласуется с наблюдаемым снижением SSH (приблизительно на 20 см) вблизи западной границы алеутского вихря (166–167°в.д.) между октябрем 2004 г. и февралем 2005 г. (рис. 5в). Уменьшение SSH, связанное с понижением температуры воды с 8 до 3°С в слое 100 м с октября по февраль, составило приблизительно 4 см.

Влияние Алеутских вихрей на температуру и растворенный кислород в ЗТСб

Алеутские вихри, мигрирующие в западном направлении, оказывают влияние на физические и химические параметры морской воды в ЗТСб. Влияние алеутских вихрей на температуру и концентрацию O_2 в промежуточном слое вод ($\sigma_\theta = 26.7\text{--}27.2$, глубины 150–600 м) ЗТСб было проанализировано с использованием судовых наблюдений на двух станциях (50°с.ш., 165°в.д.) и (51°с.ш., 165°в.д.) в период с 1996 и по 2018 г. Появление алеутского вихря в ЗТСб (50–51°с.ш., 165°в.д.) сопровождалось заглублением изопикнических поверхностей и повышением температуры (приблизительно на 2°С) и снижением концентрации O_2 (на 60–80 мкмоль $кг^{-1}$) на изопикнах 26.7 и 26.8 σ_θ (верхняя часть промежуточного слоя)

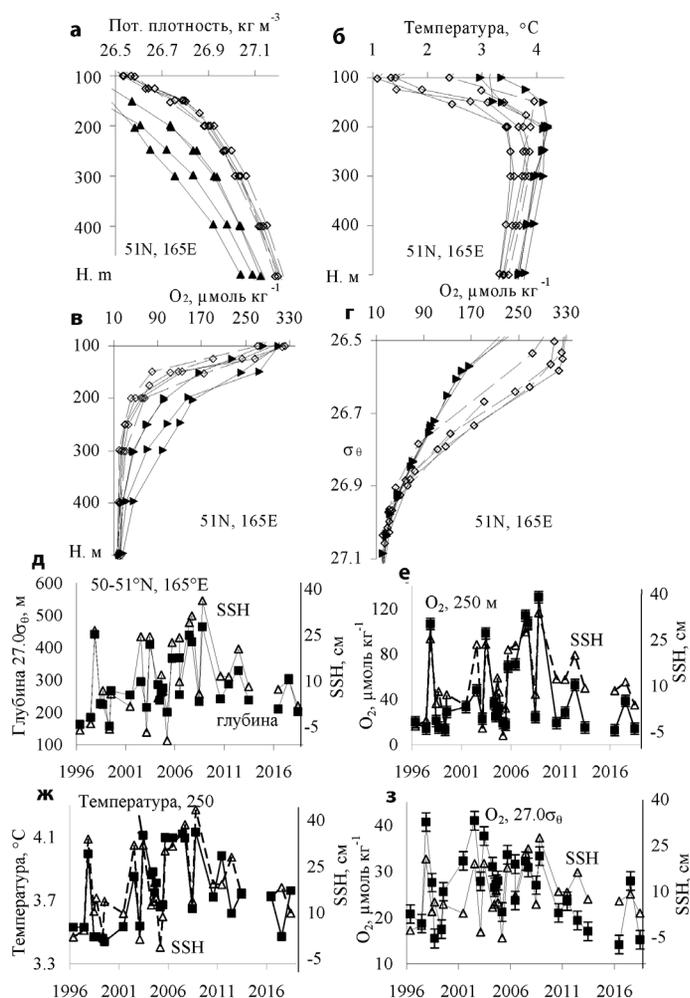


Рис. 6. Распределения потенциальной плотности, температуры и растворенного кислорода с глубиной и растворенного кислорода на изопикнах в западной части тихоокеанской Субарктики (▲ – сент. 2001 г., окт. 2002 г., апр. 2004 г., июнь 2004 г.; ◇ – центры алеутских вихрей, окт. 2005 г., май 2006 г., сент. 2007 г., окт. 2008 г.) – а–г; изменения уровня моря, глубины залегания изопикны 27.0 σ_θ , температуры и концентрации растворенного кислорода на горизонте 250 м и концентрации растворенного кислорода на глубине залегания изопикны 27.0 σ_θ в западной части тихоокеанской субарктики (50–51°с.ш., 165°в.д.) – д, з.

(октябрь 2005 г., май 2006 г., сентябрь 2007 г., октябрь 2010 г.) (рис. 6а–г). Распределения температуры и O_2 на изопикнических поверхностях в зонах АСТ (56°с.ш. , 153°з.д. ; $50.7\text{--}51.4^\circ\text{с.ш.}$, $179\text{--}180^\circ\text{в.д.}$), Субарктического течения ($49.0\text{--}50.2^\circ\text{с.ш.}$, 179°в.д.) и в пределах алеутских вихрей в ЗТСб ($50\text{--}51^\circ\text{с.ш.}$, 165°в.д.) демонстрируют, что наблюдаемые в ЗТСб алеутские вихри были образованы водами АСТ ($t = 4.5^\circ\text{C}$ и $O_2 = 70$ мкмоль кг^{-1} на изопикне $26.8\sigma_\theta$; $t = 4.1^\circ\text{C}$ и $O_2 = 20$ мкмоль кг^{-1} на изопикне $27.0\sigma_\theta$) и водами Субарктического течения ($t = 3.2^\circ\text{C}$ и $O_2 = 120$ мкмоль кг^{-1} на изопикне $26.8\sigma_\theta$; $t = 3.5^\circ\text{C}$ и $O_2 = 45$ мкмоль кг^{-1} на изопикне $27.0\sigma_\theta$) (см. рис. 2д, е). Временные ряды (1996–2018 гг.) глубины залегания изопикны $27.0\sigma_\theta$, температуры и O_2 на горизонте 250 м в ЗТСб показывают статистически значимую корреляцию ($r = 0.78\text{--}0.93$, $N = 30$, $p < 0.001$) с уровнем моря по данным спутниковой альтиметрии (рис. 6д–з). Появление алеутских вихрей (высокие значения SSH) в центральной части ЗТСб (ноябрь 1997 г., июнь 2003 г., июнь–сентябрь 2007 г., октябрь 2008 г.) сопровождалось заглублением изопикны $27.0\sigma_\theta$ с 150–200 м до 400–450 м и увеличением температуры и концентрации O_2 на горизонте 250 м с $2.5\text{--}3.6^\circ\text{C}$ и 20 мкмоль кг^{-1} до $3.9\text{--}4.0^\circ\text{C}$ и 120 мкмоль кг^{-1} соответственно. Концентрация O_2 на изопикнической поверхности $27.0\sigma_\theta$ показывает положительную корреляцию ($r = 0.62$, $p < 0,01$) с SSH (рис. 6з). Алеутские вихри обогащают изопикну $27.0\sigma_\theta$ (средняя часть промежуточного слоя) в ЗТСб растворенным кислородом. Для верхней части промежуточного слоя ($\sigma_\theta = 26.7\text{--}26.8$) коэффициент корреляции между SSH и концентрацией O_2 на изопикнических поверхностях был отрицательным ($r = -0.37$, $p = 0.05$).

Обсуждение

Ветра южных, юго-восточных румбов в зимний период способствуют формированию антициклонических вихрей вдоль восточной границы тихоокеанской Субарктики (Combes, Di Lorenzo, 2007). Наши результаты показывают, что ветра восточных румбов, направленные вдоль Алеутских островов, способствуют адвекции вод АСТ с повышенными величинами SSH в западном направлении и формированию алеутских антициклонических вихрей к югу от островов Ближние (западные Алеутские острова). Сильные восточные (благоприятные для апвеллинга) ветра в зимний период блокируют поступление вод АСТ в район к югу от островов Ближние.

Циклональный вихрь напряжения ветра в зимний период – это один из основных факторов, определяющих интенсивность крупномасштабную циклоническую циркуляцию вод в тихоокеанской Субарктике (Bond et al., 1994). На основе анализа спутниковых аномалий уровня моря и данных о напряжении трения ветра, полученных по данным скаттерометра QuikSCAT, (Xu et al., 2016) пришли к выводу, что положительный (циклональный) вихрь напряжения ветра усиливает (ослабляет) циклонические (антициклонические) океанические вихри в субполярных регионах

океанов. (Prants et al., 2013; 2019) показали, что циклональный вихрь напряжения ветра в северной части Тихого океана в ноябре–марте способствует усилению антициклональных вихрей в зоне АСТ. Было предположено, что усиление циклонического круговорота вод в тихоокеанской Субарктике, вызванное вихрем напряжения ветра, вызывает интенсификацию антициклонических вихрей вдоль материкового склона полуострова Аляска и островного склона Алеутских островов. Усиление вихря напряжения ветра зимой сопровождалось увеличением переноса вод открытой части океана на север к границам антициклональных вихрей АСТ и, следовательно, увеличением разницы в плотности вод и SSH на границах вихрей (Prants et al., 2019).

Наши результаты указывают на то, что положительный вихрь напряжения ветра в северной части Тихого океана в конце осени–зимой уменьшает SSH и способствует появлению мезомасштабных циклонов вблизи границ алеутских вихрей. Отделение алеутских вихрей от АСТ, по-видимому, обусловлено взаимодействием между алеутскими вихрями и мезомасштабными циклонами, расположенными вблизи северной и южной границ вихрей. Ранее в работе (Schmitz, 2005) было показано, что формирование антициклонических вихрей и их отделение от Петлевидного течения в Мексиканском заливе происходит за счет циклонических вихрей, расположенных вблизи северо-восточной и юго-западной границ антициклонических вихрей.

Распределения температуры и O_2 на изопикнических поверхностях (рис. 2д, е) показывает, что наблюдаемые в ЗТСб алеутские вихри были сформированы смещением вод АСТ и вод Субарктического течения. После отрыва от АСТ алеутские вихри находились в центральной части тихоокеанской Субарктики между АСТ и Субарктическим течением. В центральной части Субарктики основная струя направленного на восток Субарктического течения расположена вблизи направленного на запад АСТ (Iwao et al., 2003). Расстояние между водами Субарктического течения и водами АСТ может быть менее 56 км (0.5 градуса по широте) (49.2–50.2°с.ш. и 50.7–55.1°с.ш. соответственно) на меридиане 179° в.д. (рис. 5а, б). Алеутские вихри могут способствовать смещению вод АСТ и вод Субарктического течения.

Усиление адвекции вод АСТ приводит к повышению температуры и снижению концентрации O_2 на изопикнах в промежуточном слое на западной границе ЗТСб (район течения Ойясио) и в Курильской котловине Охотского моря (Andreev, Watanabe, 2002; Andreev, Baturina, 2006). Алеутские вихри характеризуются повышенной температурой (3.9°–4.2°C) и концентрацией O_2 (250–50 мкмоль kg^{-1}), а также пониженной соленостью (33.2–33.9) и относительной плотностью (26.4–26.9 $kg\ m^{-3}$) вод на горизонтах в слое 150–400 м. Появление алеутских вихрей (высокие значения SSH) в центральной части ЗТСб сопровождается заглублением изопикнических поверхностей и повышением температуры и концентрации O_2 на горизонте 250 м (рис. 6). Наши результаты демонстрируют, что спутниковые данные по уровню моря (SSH) могут быть хорошим индикатором температуры и концентрации O_2 в промежуточном слое вод ЗТСб.

Алеутские вихри обогащают изопикническую поверхность $27.0\sigma_\theta$ в ЗТСБ растворенным кислородом. Исследованные нами алеутские вихри были образованы водами АСТ и водами Субарктического течения (рис. 2д, е). Из-за влияния вод Охотского моря, воды Субарктического течения (продолжение течения Ойясио) являются более холодными и более насыщенными кислородом, чем воды АСТ (Andreev, Kusakabe, 2001). Повышенная концентрация O_2 на изопикне $27.0\sigma_\theta$ в алеутских вихрях может быть объяснена влиянием вод Субарктического течения.

Литература

- Andreev A.G., Baturina V.I.* Impacts of tides and atmospheric forcing variability on dissolved oxygen in the subarctic North Pacific // *J. Geophys. Res. Ocean.* 2006. Vol. 111 (C07S10). DOI: /10.1029/2005JC003103.
- Andreev A., Kusakabe M.* Interdecadal variability in DO in the intermediate water layer of the Western Subarctic Gyre and Kuril Basin (Okhotsk Sea) // *Geophys. Res. Lett.* 2001. Vol. 28. P. 2453–2456.
- Andreev A., Watanabe S.* Temporal changes in dissolved oxygen of the intermediate water in the subarctic North Pacific // *Geophys. Res. Lett.* 2002. Vol. 29. DOI: 10.1029/2002GL015021. Argo. Argo float data and metadata from global data assembly centre (argo GDAC). SEANO. 2000. DOI: 10.17882/42182.
- Bond N.A., Overland J.E., Turet P.* Spatial and temporal characteristics of the wind forcing of the Bering Sea // *J. Climate.* 1994. Vol. 7. P. 1119–1130.
- Capotondi A., Alexander M.A., Deser C., Miller A.J.* Low-frequency pycnocline variability in the Northeast Pacific // *J. Phys. Ocean.* 2005. Vol. 35. P. 1403–1420.
- Combes V., Di Lorenzo E.* Intrinsic and forced interannual variability of the Gulf of Alaska mesoscale circulation // *Prog. in Ocean.* 2007. Vol. 75. P. 266–286.
- Iwao T., Endoh M., Shikama N., Nakano T.* Intermediate circulation in the northwestern North Pacific derived from subsurface floats // *J. Ocean.* 2003. Vol. 59. P. 893–904.
- Killworth P.D., Chelton D.B., de Szoeke R.A.* The speed of observed and theoretical long extratropical planetary waves // *J. Phys. Ocean.* 1997. Vol. 27. P. 1946–1966.
- Okkonen S.R., Jacobs G.A., Joseph Metzger E., Hurlburt H.E., Shriver J.F.* Mesoscale variability in the boundary currents of the Alaska Gyre // *Cont. Shelf Res.* 2001. Vol. 21. P. 1219–1236.
- Prants S.V., Andreev A.G., Budyansky M.V., Uleysky M.Y.* Impact of mesoscale eddies on surface flow between the Pacific Ocean and the Bering Sea across the Near Strait // *Ocean Model.* 2013. Vol. 72. P. 143–152.
- Prants S.V., Andreev A.G., Uleysky M.Y., Budyansky M.V.* Lagrangian study of mesoscale circulation in the Alaskan Stream area and the eastern Bering Sea // *Deep-Sea Res. II.* 2019. Vol. 169–170. Article 104560.
- Qiu B.* Large-scale variability in the midlatitude subtropical and subpolar North Pacific Ocean: Observations and causes // *J. Phys. Ocean.* 2002. Vol. 32. P. 353–375.
- Rogachev K.A., Shlyk N.V., Carmack E.C.* The Shedding of mesoscale anticyclonic eddies from the Alaskan Stream and westward transport of warm water // *Deep-Sea Res. II.* 2007. Vol. 54. P. 23–26.
- Saito R., Yamaguchi A., Yasuda I., et al.* Influences of mesoscale anticyclonic eddies on zooplankton community south of the western Aleutian Islands during the summer of 2010 // *J. Plank. Res.* 2014. Vol. 36. P. 117–128.

- Saito R., Yasuda I., Komatsu K., et al. Subsurface Hydrographic Structures and Temporal Variations of Aleutian Eddies // *Ocean Dyn.* 2016. Vol. 66. P. 605–621.
- Schmitz W. J. Jr. Cyclones and westward propagation in the shedding of anticyclonic rings from the Loop Current. Circulation in the Gulf of Mexico: Observations and Models // *Geophys. Monogr.* 2005. Vol. 161. P. 241–261. DOI: 10.1029/161GM18.
- Ueno H., Crawford W.R., Onishi H. Impact of Alaskan Stream eddies on chlorophyll distribution in the north Pacific // *J. Ocean.* 2010. Vol. 66. P. 319–328.
- Xu C., Zhai X., Shang X.-D. Work done by atmospheric winds on mesoscale ocean eddies // *Geophys. Res. Lett.* 2016. Vol. 43 P. 12174–12180.

ALEUTIAN EDDIES AND THEIR IMPACT ON TEMPERATURE AND DISSOLVED OXYGEN IN THE WESTERN SUBARCTIC PACIFIC

Andreev A.G.

*Pacific Oceanological Institute, Russian Academy of Sciences,
43, Baltiyskaya str., Vladivostok, 690041, Russia, e-mail: andreev@poi.dvo.ru*
Submitted 23.03.2020, accepted 23.06.2020.

Aleutian eddies are anticyclonic vortices on scale of 100–200 kilometers that transport the Alaskan Stream warm water originating in the Gulf of Alaska to the western Subarctic Pacific (WSP). We present an analysis of satellite, Argo floats and ship borne observations of Aleutian eddies, revealing the influence of the wind forcing on the eddy formation and shedding. We demonstrate that the eastern winds promote the Aleutian eddy formation south of Near Islands. Positive (cyclonic) wind stress curl in late fall- winter results in the SSH decrease and the mesoscale cyclones formation at the Aleutian eddy boundaries and thereby leads to the eddy shedding from the Alaskan Stream. An appearance of the Aleutian eddies in the central part of the WSP is accompanied by the deepening of the isopycnals and an increase of the temperature and dissolved oxygen (DO) concentration in 150–400 m layer. The eddies decrease the DO concentration on $26.7\sigma_\theta$ and $26.8\sigma_\theta$ surfaces in the upper intermediate layer but enrich the $27.0\sigma_\theta$ surface by DO. The extent to which eddies modulate the temperature and DO concentration in the WSP is related to the SSH amplitude of eddies.

Keywords: Mesoscale eddies, subarctic North Pacific, thermohaline water structure, dissolved oxygen concentration, seawater temperature

References

- Andreev A.G. and Baturina V.I. Impacts of tides and atmospheric forcing variability on dissolved oxygen in the subarctic North Pacific. *J. Geophys. Res. Ocean*, 2006, Vol. 111, (C07S10), doi: 10.1029/2005JC003103.
- Andreev A. and Kusakabe M. Interdecadal variability in DO in the intermediate water layer of the Western Subarctic Gyre and Kuril Basin (Okhotsk Sea). *Geophys. Res. Lett.*, 2001, Vol. 28, pp. 2453–2456.
- Andreev A. and Watanabe S. Temporal changes in dissolved oxygen of the intermediate water in the subarctic North Pacific. *Geophys. Res. Lett.*, 2002, Vol. 29, doi: 10.1029/2002GL015021.
- Argo. Argo float data and metadata from global data assembly centre (argo GDAC). *SEANOE*, 2000, doi: 10.17882/42182.

- Bond N.A., Overland J.E., and Turet P.* Spatial and temporal characteristics of the wind forcing of the Bering Sea. *J. Climate*, 1994, Vol. 7, pp. 1119–1130.
- Capotondi A., Alexander M.A., Deser C., and Miller A.J.* Low-frequency pycnocline variability in the Northeast Pacific. *J. Phys. Ocean*, 2005, Vol. 35, pp. 1403–1420.
- Combes V. and Di Lorenzo E.* Intrinsic and forced interannual variability of the Gulf of Alaska mesoscale circulation. *Prog. in Ocean*, 2007, Vol. 75, pp. 266–286.
- Iwao T., Endoh M., Shikama N., and Nakano T.* Intermediate circulation in the northwestern North Pacific derived from subsurface floats. *J. Ocean*, 2003, Vol. 59, pp. 893–904.
- Killworth P.D., Chelton D.B. de, and Szoek R.A.* The speed of observed and theoretical long extratropical planetary waves. *J. Phys. Ocean*, 1997, Vol. 27, pp. 1946–1966.
- Okkonen S.R., Jacobs G.A., Joseph Metzger E., Hurlburt H.E., and Shriver J.F.* Mesoscale variability in the boundary currents of the Alaska Gyre. *Cont. Shelf Res.*, 2001, Vol. 21, pp. 1219–1236.
- Prants S.V., Andreev A.G., Budyansky M.V., and Uleysky M.Y.* Impact of mesoscale eddies on surface flow between the Pacific Ocean and the Bering Sea across the Near Strait. *Ocean Model*, 2013, Vol. 72, pp. 143–152.
- Prants S.V., Andreev A.G., Uleysky M.Y., and Budyansky M.V.* Lagrangian study of mesoscale circulation in the Alaskan Stream area and the eastern Bering Sea. *Deep-Sea Res.*, II, 2019, Vol. 169–170, article 104560.
- Qiu B.* Large-scale variability in the midlatitude subtropical and subpolar North Pacific Ocean: Observations and causes. *J. Phys. Ocean*, 2002, Vol. 32, pp. 353–375.
- Rogachev K.A., Shlyk N.V., and Carmack E.C.* The Shedding of mesoscale anticyclonic eddies from the Alaskan Stream and westward transport of warm water. *Deep-Sea Res.*, II, 2007, Vol. 54, pp. 23–26.
- Saito R., Yamaguchi A., and Yasuda I., et al.* Influences of mesoscale anticyclonic eddies on zooplankton community south of the western Aleutian Islands during the summer of 2010. *J. Plank. Res.*, 2014, Vol. 36, pp. 117–128.
- Saito R., Yasuda I., and Komatsu K. et al.* Subsurface Hydrographic Structures and Temporal Variations of Aleutian Eddies. *Ocean Dyn.*, 2016, Vol. 66, pp. 605–621.
- Schmitz W. J. Jr.* Cyclones and westward propagation in the shedding of anticyclonic rings from the Loop Current. Circulation in the Gulf of Mexico: Observations and Models. *Geophys. Monogr.*, 2005, Vol. 161, pp. 241–261, doi: 10.1029/161GM18.
- Ueno H., Crawford W.R., and Onishi H.* Impact of Alaskan Stream eddies on chlorophyll distribution in the north Pacific. *J. Ocean*, 2010, Vol. 66, pp. 319–328.
- Xu C., Zhai X., and Shang X.-D.* Work done by atmospheric winds on mesoscale ocean eddies. *Geophys. Res. Lett.*, 2016, Vol. 43, pp. 12174–12180.