

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ О. САХАЛИН

Шевченко Г.В.^{1,2}, Частиков В.Н.¹

¹ Сахалинский НИИ рыбного хозяйства и океанографии,
693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Косомольская 196;
e-mail: Shevchenko_zhora@mail.ru

² Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН,
693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки 1-Б

Статья поступила в редакцию 26.02.2019, одобрена к печати 29.07.2019

Проанализированы средние многолетние распределения температуры и солёности на 5 стандартных океанологических разрезах на северо-восточном шельфе Сахалина для 4 месяцев навигационного периода (июль–октябрь), включающие радикальную перестройку гидрологических условий при переходе от лета к осени. Изучены океанологические условия в июне на основе данных зондирований, выполненных в ходе ихтиопланктонных съёмок по изучению минтая. Показано, что воды низкой солёности, образованные стоком реки Амур, появляются на северо-восточном шельфе в первой половине июня после взлома тяжёлых льдов в южной части Сахалинского залива. Воды низкой солёности и лёд оттесняются в сторону открытого моря под действием типичных для тёплого сезона южных ветров, и в районе 52° с.ш. образуется океанологический фронт. Этот фронт не пропускает распреснённые воды на юг до второй половины сентября, когда происходит перестройка ветра к зимнему муссону с преобладающими северными ветрами. Гидрологический фронт разрушается, воды холодного промежуточного слоя заглубляются, на кромке шельфа на всем протяжении северо-восточного побережья наблюдаются воды с температурой 4–6°С и солёностью около 31 psu. Вдоль берега формируется мощный поток сравнительно тёплых вод с низкой солёностью, достигающих юго-восточной части Сахалина и северного побережья острова Хоккайдо.

Ключевые слова: температура, солёность, стандартный разрез, ветер, апвеллинг, даунвеллинг, холодный промежуточный слой

Введение

Значительный интерес к изучению особенностей океанологических условий северо-восточного шельфа о. Сахалин определяется двумя причинами прикладного характера: первая связана с промышленным освоением морских месторождений нефти и газа в данном районе, задачами оценки возможных нагрузок на объекты нефтегазового комплекса и последствий аварийных разливов углеводородного сырья; вторая – с его рыбопромысловым значением, прежде всего, существенным объёмом вылова тихоокеанских лососей и возрождением популяции охотоморского минтая. С научной точки зрения интерес обусловлен весьма сложным характером и значительным масштабом сезонных изменений полей температуры и солёности

и их проявлением во всей западной части Охотского моря, находящейся в зоне влияния Восточно-Сахалинского течения (ВСТ).

Океанологические условия северо-восточного шельфа о. Сахалин отличаются рядом специфических особенностей, обусловленных тем обстоятельством, что в данный район поступает основная часть стока самой крупной реки Дальнего Востока – Амура (годовой объем – около 400 км³). Благодаря этому сезонные вариации солёности в данном районе очень велики для морских акваторий и многие их особенности изучены пока недостаточно. Влияние вод низкой солёности на гидрологические условия данного района, а также всей западной части Охотского моря, рассматривались в ряде работ как российских (Лучин, 1987; Гидрометеорологические.. 1998; Чернявский и др., 1993; Пищальник, Архипкин, 1999; Пищальник и др., 2003, 2014), так и японских специалистов (Mizuta et al., 2003; Fukamachi et al., 2004; Uehara et al., 2012). Однако в рамках исследований, посвященных более обширным акваториям, многие важные детали циркуляции вод именно в изучаемом районе не были рассмотрены. В работах (Пищальник, Архипкин, 1999; Пищальник и др., 2003, 2014) северо-восточный шельф Сахалина рассматривался специально, однако ряд существенных аспектов, в частности, роль смены преобладающих ветров при переходе от лета к осени, не анализировались. Влияние смены преобладающих ветров на интенсивность Восточно-Сахалинского течения проанализирована в работе (Mizuta et al., 2005), а формирование прибрежного апвеллинга в летний период – в работах (Власова и др., 2008; Жабин, Дмитриева, 2016; Рутенко и др., 2009). Интенсификация Восточно-Сахалинского течения в холодный период года показана по данным океанологических съемок (Gladyshev et al., 2003), инструментальных измерений (Mizuta et al., 2003) и спутниковой альтиметрии (Ebuchi, 2006; Власова и др., 2008). Несколько работ посвящены моделированию океанологических условий в данном районе с усвоением данных океанологических съемок (Simizu, Oshima, 2006; Stepanov, 2018). В целом, наименее изучены океанологические условия весной, в июне, когда на северо-восточный шельф о. Сахалин выходят воды низкой солёности, обусловленные весенним половодьем на реке Амур.

В то же время для подробного исследования сезонной изменчивости океанологических условий в изучаемом районе есть достаточный материал наблюдений. В 60–80-е годы прошлого века регулярно выполнялись измерения температуры и солёности воды на системе стандартных океанологических разрезов, 5 из которых пересекают зону шельфа и материкового склона у северо-восточного берега Сахалин (рис. 1). Это позволило построить средние многолетние вертикальные и пространственные распределения океанологических параметров (при анализе последних приходится учитывать достаточно большое расстояние между разрезами) для различных месяцев навигационного периода, с июля по октябрь (Пищальник, Бобков, 2000). Эти данные представляют возможность изучить наиболее характерные, устойчивые особенности сезонной перестройки океанологических условий при переходе от лета к осени.

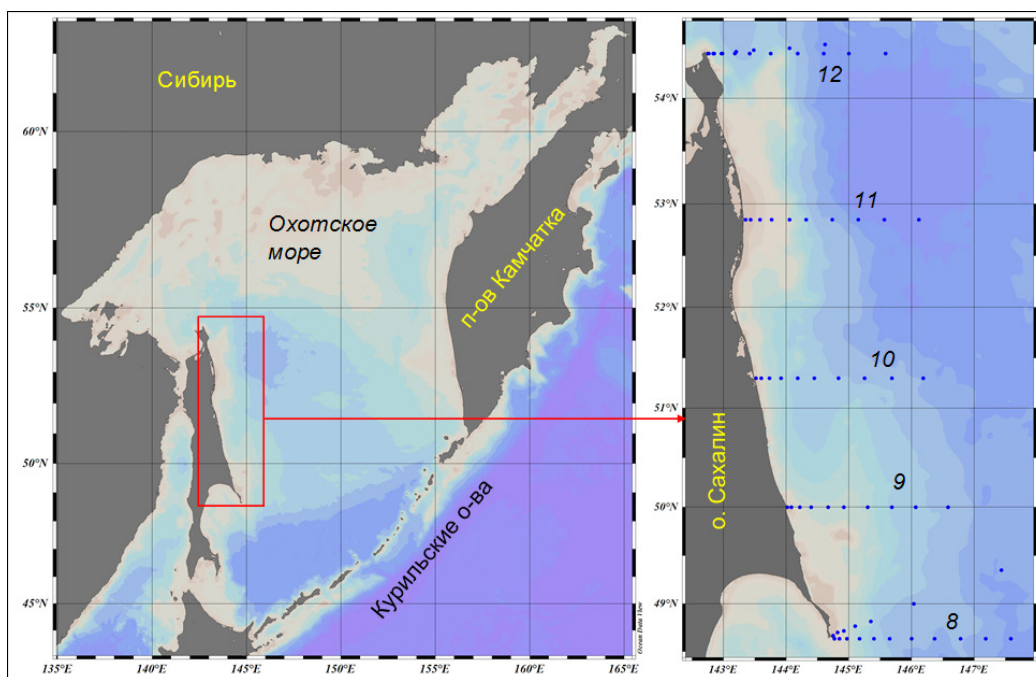


Рис. 1. Карта Охотского моря и северо-восточного шельфа о. Сахалин. Показано положение стандартных океанологических разрезов: м. Елизаветы – море (12), зал. Пильгун – море (11), зал. Лунский – море (10), м. Низкий – море (9) и м. Терпения – море (8). Нумерация разрезов – согласно (Пищальник, Бобков, 2000).

Помимо этого, Сахалинским НИИ рыбного хозяйства и океанографии в данном районе был выполнен ряд океанологических съемок по более плотным сеткам станций, причем в последнее десятилетие регулярные океанологические исследования выполнялись в режиме сопровождения ихтиопланктонных съемок в период нереста минтая, в июне. Это позволило исследовать сезонные вариации океанологических условий на северо-восточном шельфе о. Сахалин более детально и, в частности, изучить сложные процессы, которые сопровождают первое появление в данном районе вод низкой солености.

Если различия океанологических условий летом и осенью, хотя и недостаточно полно, рассматривались в научной литературе (Гидрометеорология..., 1998; Чернявский и др. 1993, Пищальник, Бобков, 2000; Пищальник, Архипкин, 1999; Shevchenko, Chastikov, 2010), результаты океанологических зондирований весной практически не отражены в публикациях. Отметим только работу (Пищальник и др., 2014), в которой была предпринята попытка оценки годовых вариаций температуры и солености в изучаемом районе на примере условной гидрологической станции. Поэтому им уделено значительное внимание в данной работе.

Материалы наблюдений

В 60–80-х годах прошлого века на северо-восточном шельфе о. Сахалина на судах Сахалинского управления по гидрометеослужбе и мониторингу

окружающей среды регулярно проводились CTD-съемки на сети стандартных океанологических разрезов, прибрежные точки которых находились у м. Елизаветы, зал. Пильгун, зал. Лунский, м. Низкий и м. Терпения, причем у м. Елизаветы и м. Терпения в разные годы выполнялись два различных разреза, станции которых в пределах изучаемой акватории находились на незначительном удалении (рис. 1). Большой объем материалов наблюдений на этих разрезах представлен в базе данных «Атлас» (Пищальник, Бобков, 2000), на основе которой были рассчитаны средние многолетние значения температуры и солёности для различных месяцев (с июля по октябрь) на стандартных горизонтах 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400 и 500 м. Полученные характерные (средние многолетние) вертикальные распределения температуры и солёности на стандартных океанологических разрезах и горизонтальные распределения океанологических параметров в изучаемом районе подробно анализируются ниже.

Помимо средних многолетних распределений, анализировались также материалы отдельных океанологических съемок, выполнявшихся как по стандартным разрезам, так и по произвольным схемам станций в режиме сопровождения траловых учетных съемок. Всего было выполнено 26 съемок, 9 из них – в июне, при проведении ихтиопланктонных исследований по изучению особенностей нереста минтая в период с 2007 по 2018 гг. Измерения осуществлялись современным зондом SBE 19V2plus (точность по электропроводности – 0.0005 сименс/м, по температуре – 0.005°C), зонды регулярно калибровались в лаборатории ВНИРО.

Результаты и обсуждение

Весна (июнь)

Воды низкой солёности в значительном объеме появляются в изучаемом районе именно в июне, обычно в первой декаде. Это происходит после взлома мощного припая в южной части Сахалинского залива (средняя дата 25 мая), препятствующего водообмену с Амурским лиманом. Поток теплых распресненных вод амурского половодья выносит тяжелый лед к полуострову Шмидта (рис. 2), огибает его и движется на юг. К этому времени Восточно-Сахалинское течение ослабевает, над регионом устанавливаются ветра южного – юго-восточного румбов (т.н. летний муссон (Гидрометеорологические... 1998; Като и др., 2001)), поэтому продвижение этого потока на юг обычно ограничено 52°с.ш. Воды низкой солёности и лед оттесняются в сторону открытого моря, и в районе зал. Чайво образуется океанологический фронт. Пример типичных распределений температуры и солёности, полученных по результатам океанологической съемки в июне 2014 г., приведен на рис. 3. Ядро вод с наиболее низкой солёностью и высокой температурой (менее 22 psu, более 7°C) расположено на некотором удалении от берега на широтах от 52.8 до 53.7°с.ш. Оттеснение этого ядра от берега является типичным проявлением прибрежного апвеллинга, формирующегося под действием ветров южного румба (Власова и др., 2008). Южнее 52°с.ш. влияние теплых вод низкой солёности уменьшается, и южнее 51.5°с.ш. уже незаметно.

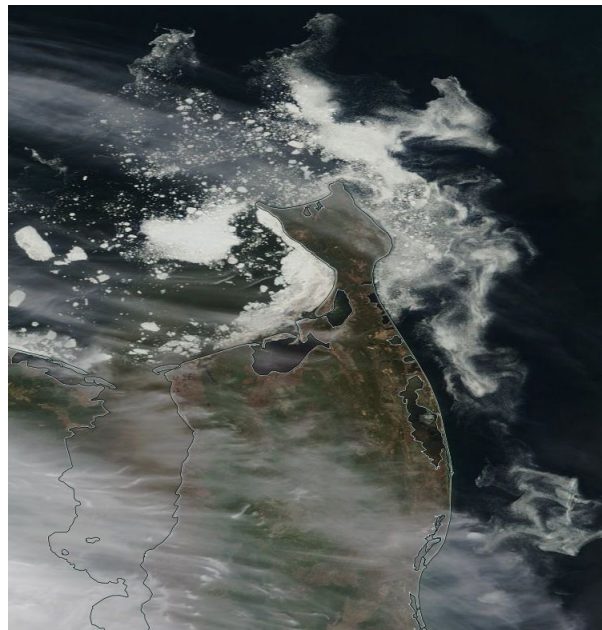


Рис. 2. Ледовая обстановка 1 июня 2018 г. (спутниковый снимок с сайта <https://worldview.earthdata.nasa.gov>). Тяжелые льды огибают полуостров Шмидта и выходят на северо-восточный шельф о. Сахалин.

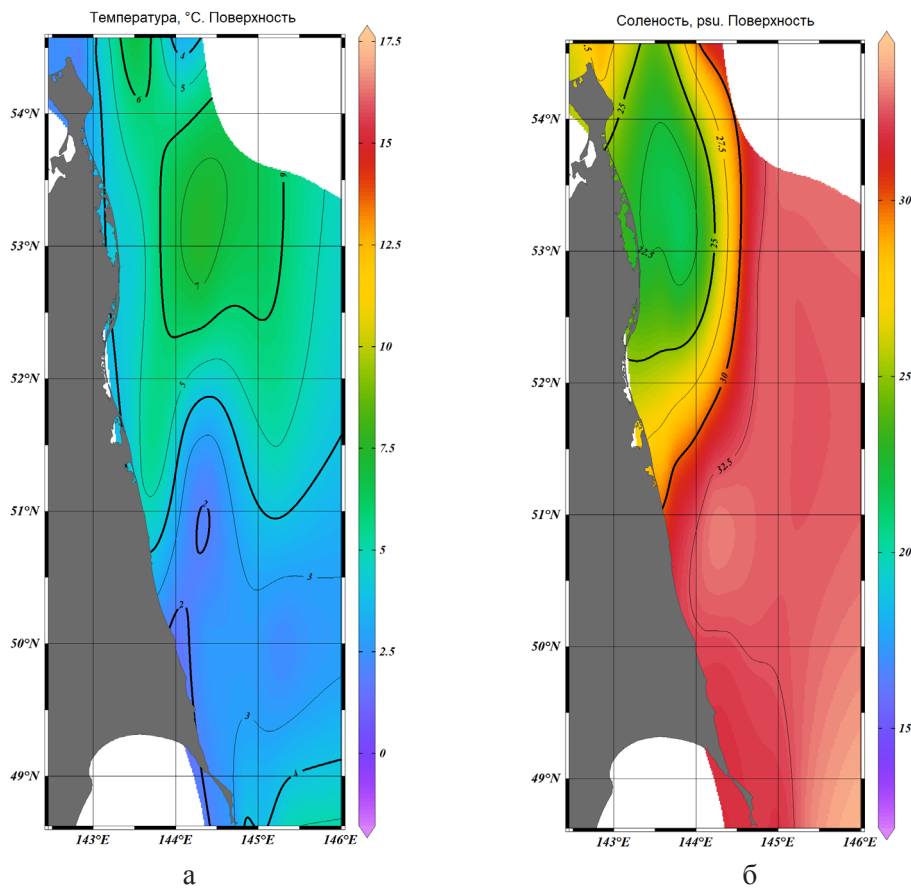


Рис. 3. Распределение температуры (а, °С) и солёности (б, psu) на поверхности моря в июне 2014 г. по результатам океанологической съемки СахНИРО на НИС «Дмитрий Песков».

На горизонте 10 м заглублиение вод низкой солености отмечено в узкой прибрежной полосе на участке, прилегающем к заливам Пильтун и Чайво. При этом температура воды на этом участке достаточно низкая (около -1°C , при этом наиболее холодные воды несколько смещены в направлении открытого моря). Это указывает на то обстоятельство, что заглублиение, скорее всего, произошло при таянии вынесенного амурскими водами льда.

Еще одним примером значительного влияния речного стока на гидрологические условия на северо-восточном шельфе о. Сахалин являются результаты съемки в июне 1994 г. На участке акватории, прилегающем к заливам Пильтун и Чайво (севернее 53.3°с.ш. судно не могло работать из-за наличия льдов), зафиксировано пятно вод с соленостью менее 25 psu, а на 52°с.ш. вблизи берега отмечены воды с соленостью около 19 psu. Даже на поверхности моря эти воды (около 4°C) были холоднее окружающих ($5-7^{\circ}\text{C}$), что, вероятно, было обусловлено таянием льда. Фронт в распределении солености четко выражен, хотя и смещен примерно на четверть градуса к югу от его обычного положения.

Объем вод амурского половодья, поступающих на северо-восточный шельф о. Сахалин, существенно различается в разные годы. Условия 1994 и 2014 гг. можно рассматривать как пример значительного их влияния, а в 2018 г. оно было близко к минимуму и сказывалось только вблизи границы льдов, где работа научно-исследовательского судна была затруднена. Тем не менее, гидрологический фронт был четко выражен, хотя и находился севернее обычного положения, у 52.7°с.ш.

Лишь в немногих случаях, если над регионом в период выхода амурских вод формируются ветра северного–северо-восточного румбов, фронт формируется позднее, а тяжелые льды выносятся к юго-восточному побережью Сахалина. Такие ситуации в текущем столетии отмечены дважды, в 2005 и 2011 гг. (Шершнева и др., 2007; Ложкин и др., 2018).

Рассмотрим последнюю ситуацию более подробно. Так, в июне 2011 г. распределения температуры и солености на поверхности моря (рис. 4) существенно отличались от рассмотренных выше. Воды низкой солености были вытянуты узкой полосой вдоль берега от м. Елизаветы на севере до 50°с.ш. , океанологический фронт к моменту съемки еще не сформировался. При этом это были холодные воды, к северу от 52°с.ш. температура имела отрицательные значения, что было обусловлено таянием ледяного покрова в прибрежной зоне (обычно лед оттесняется от берега характерными для теплого периода года южными ветрами (Като и др., 2001) и тает за пределами зоны шельфа).

Благодаря необычной для весны синоптической обстановке, способствовавшей формированию ветров северо-восточного румба, лед двигался на юг и был вынесен к юго-восточному побережью о. Сахалин, что вызвало резкое понижение температуры воды в районе устьев нерестовых рек и задержку выпуска молоди с лососевых рыболовных заводов (Ложкин и др., 2018).

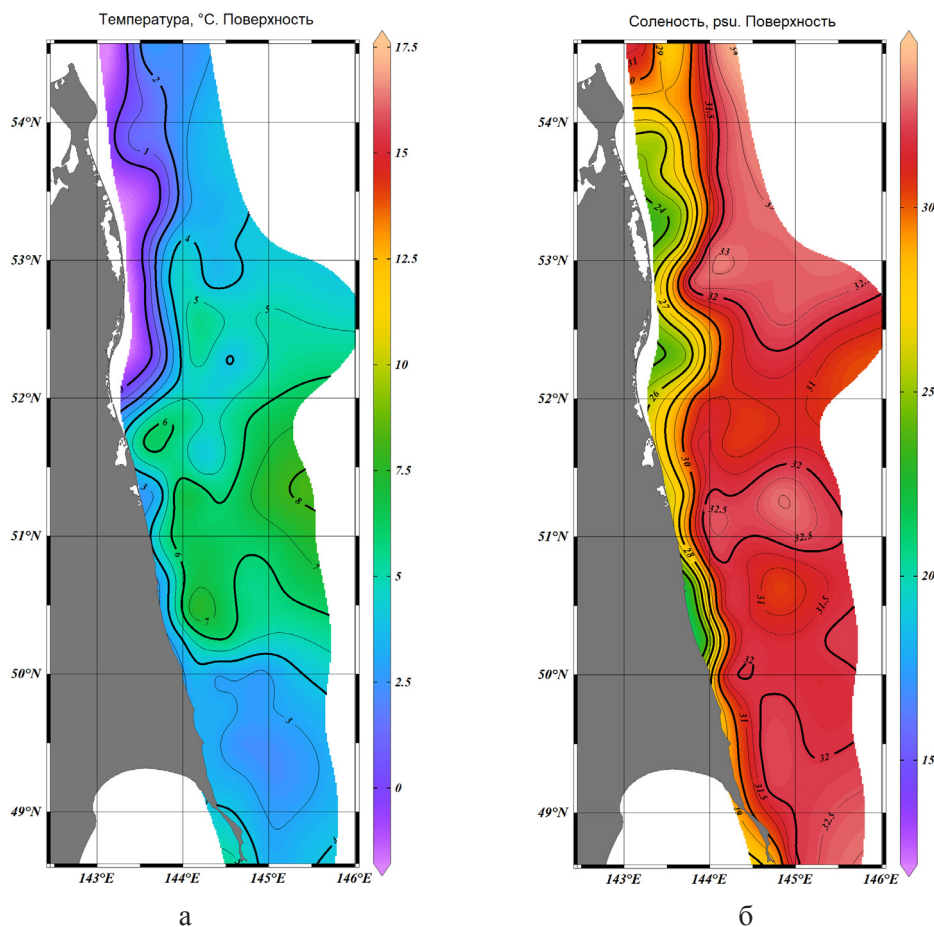


Рис. 4. Распределение температуры (а, °С) и солености (б, psu) на поверхности моря в июне 2011 г. по результатам океанологической съемки СахНИРО на НИС «Дмитрий Песков».

Лето (июль–сентябрь)

Для характеристики океанологических условий летом использовались средние многолетние значения температуры и солености на стандартных разрезах для июля–сентября. При анализе распределений океанологических параметров на поверхности моря и на глубине 20 м в августе (рис. 5), в период максимального прогрева вод в изучаемом районе, общая картина достаточно четко просматривается. Основные черты океанологического режима, характерные для этого сезона, сформировались еще в июне. Они выражены, прежде всего, в наличии распресненной водной массы на северном участке северо-восточного шельфа и океанологического фронта, который примыкает к берегу в районе 52° с.ш. и приобретает почти меридиональную ориентацию у северной оконечности острова, в районе разреза м. Елизаветы – море. Южнее 52 параллели соленость сравнительно высокая, влияние распресненных вод не проявляется.

В распределении температуры наблюдается картина, характерная для прибрежного апвеллинга: вблизи берега отмечена полоса более холодных вод (7–8°C), по мере удаления от берега температура воды возрастает. К северу от

53°с.ш. эта картина выражена в меньшей степени, а в южной части северо-восточного шельфа – более отчетливо. Наиболее теплые воды вытянуты полосой вдоль 145 меридиана от 52°с.ш. до северной оконечности острова.

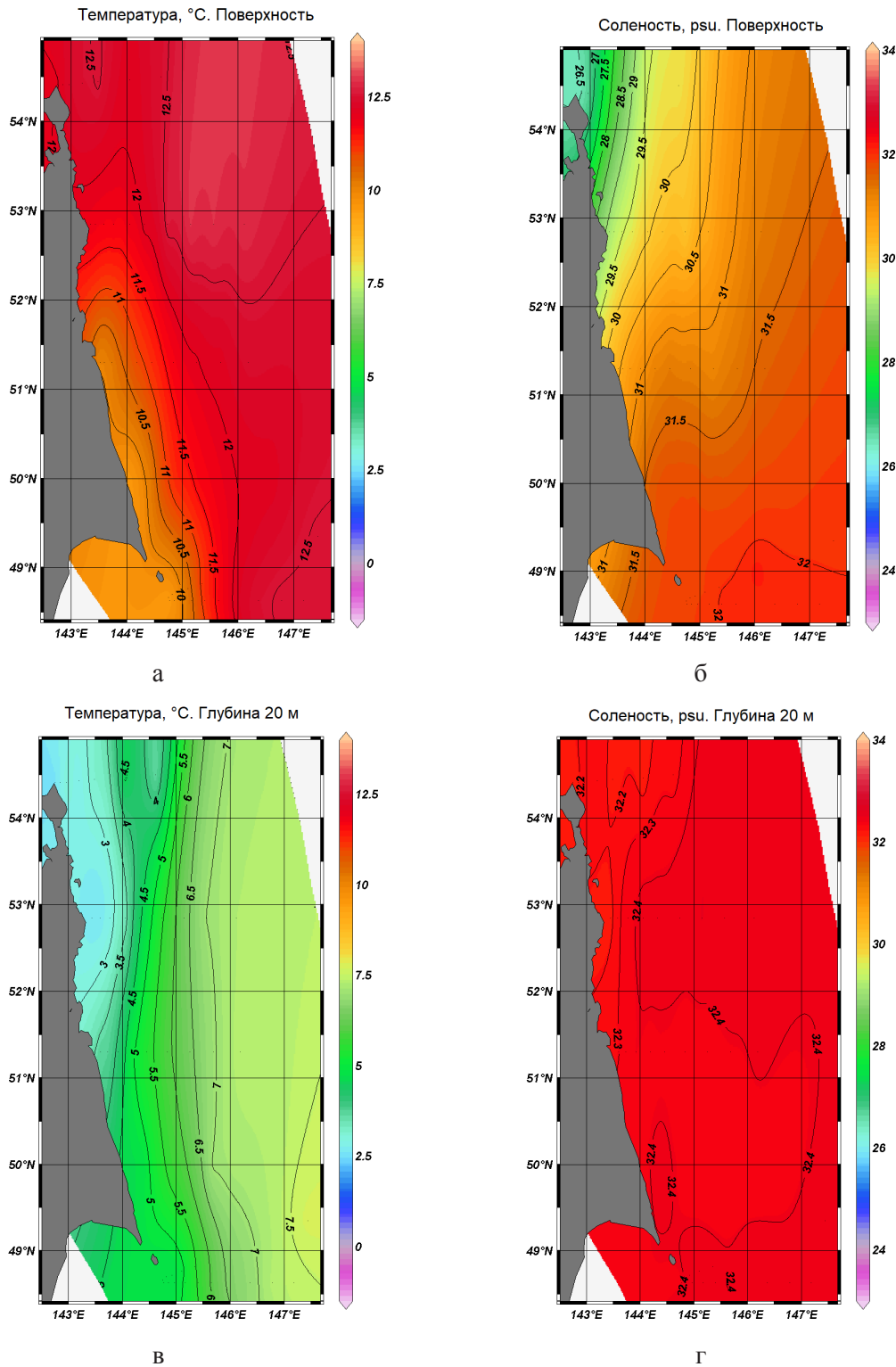


Рис. 5. Средние многолетние распределения температуры (а, в, °С) и солености (б, г, psu) на поверхности моря (а, б) и горизонте 20 м (в, г) летом (август).

На глубине 20 м распределение солёности почти однородно, ее значения изменяются в пределах 33.1–33.3 psu, влияние вод низкой солёности отсутствует. Возрастание температуры воды с удалением от берега выражено более явно, причем если на поверхности моря наиболее низкие значения отмечены в прибрежной зоне на южном участке шельфа, то теперь, напротив, на северном (менее 3°C). За пределами свала глубин воды существенно более теплые, температура достигает 7–7.5°C. Это согласуется с мнением о наличии противотечения ВСТ за пределами материкового склона (Верхунов, 1997).

На рис. 6 представлены вертикальные распределения температуры и солёности на разрезах зал. Пильтун – море и зал. Лунский – море. Распределение температуры на разрезах идентично и характеризуется возрастанием ее значений и толщины прогретого слоя по мере удаления от берега в сторону открытого моря, а также наличием хорошо выраженного холодного промежуточного слоя (ХПС). Отрицательные значения температуры на более северном из них отмечены на глубинах 80–170 м, на расположенном южнее – нижняя граница проходит на глубине около 250 м.

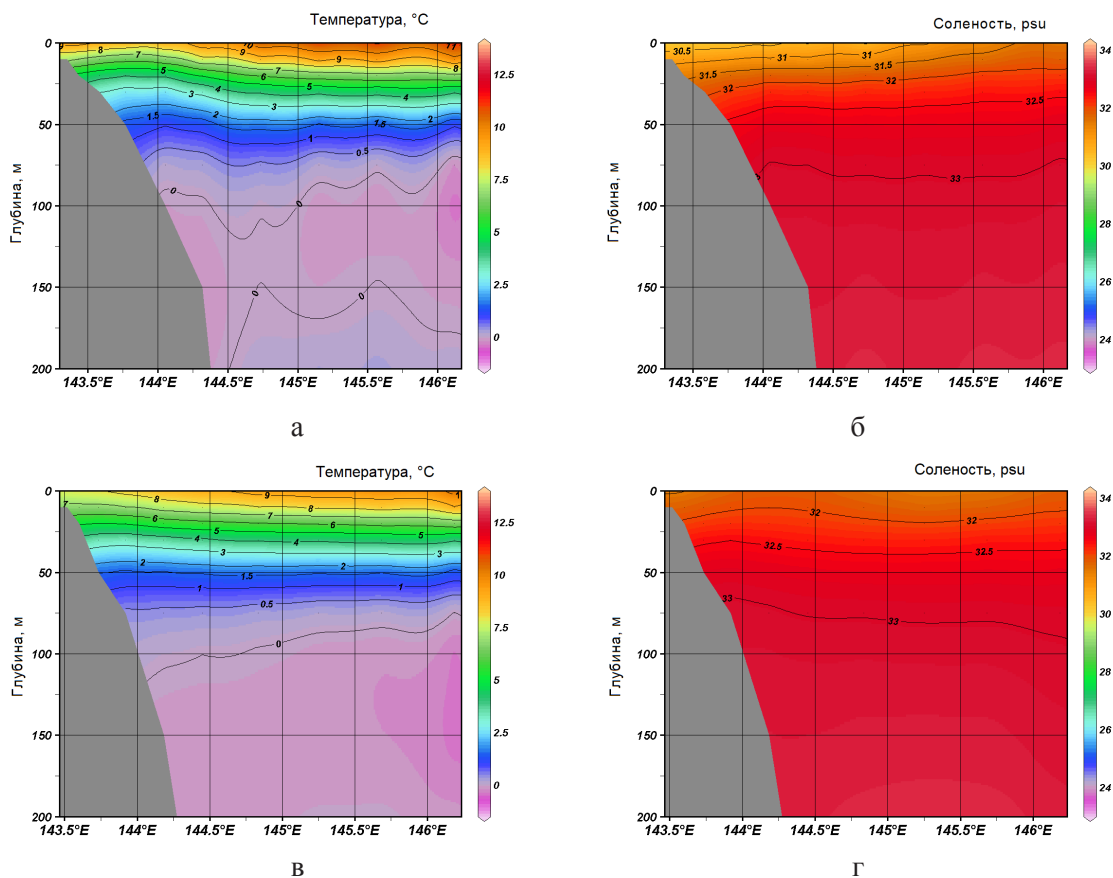


Рис. 6. Средние многолетние вертикальные распределения температуры (а, в, °С) и солёности (б, г, psu) на стандартных разрезах зал. Пильтун – море (а, б) и зал. Лунский – море (в, г) летом (август).

На двух северных стандартных разрезах (мыс Елизаветы – море и зал. Пильтун – море) влияние вод низкой солёности наблюдается в течение всего

теплого сезона, с июня по сентябрь. На разрезе зал. Лунский – море и двух других разрезах, расположенных южнее, влияние распресненных вод сказывается в малой степени. Ситуация не изменяется даже когда на северо-восточный шельф поступают паводковые воды реки Амур (вторая половина августа–начало сентября), обусловленные прохождением тайфунов над его бассейном. В течение всего теплого сезона в районе кромки шельфа находятся воды ХПС с температурой около -1°C и высокой соленостью.

Осень (октябрь)

Кардинальное изменение океанологических условий наблюдается в последней декаде сентября, когда происходит перестройка поля приземного атмосферного давления и направление преобладающих ветров сменяется на северное–северо-западное (т.н. зимний муссон). Значительная по объему водная масса распресненных вод (соленость менее 30 psu) под действием ветров, по отношению к направлению которых берег находится справа, прижимается к берегу и заглубляется (возникает даунвеллинг). На распределениях солености на поверхности и горизонте 20 м (рис. 7) выделяется вдольбереговая полоса с водами с более низкими значениями параметра. При этом распределения температуры сравнительно однородны, если не принимать во внимание заметное поступление более холодных вод ($5-6^{\circ}\text{C}$) с севера и смещения более теплых ($7-9^{\circ}\text{C}$) к южным границам изучаемого района под влиянием северных ветров. На горизонте 20 м пространственная структура полей температуры и солености в целом идентична наблюдаемой на поверхности моря.

Характерные изменения океанологических параметров хорошо видны также на средних многолетних вертикальных распределениях температуры и солености в октябре (рис. 8). Гидрологический фронт в районе зал. Чайво, разделявший разрезы 10 и 11, а также ядро вод с отрицательными значениям температуры у кромки шельфа разрушаются, сравнительно теплые воды заглубляются, и на шельфе на глубинах 50–100 м на всем протяжении северо-восточного побережья, от м. Елизаветы до м. Терпения, наблюдаются воды с температурой $4-6^{\circ}\text{C}$ и соленостью около 30–31 psu. Это значительно отличается от типичных для лета значений -0.5°C и 33 psu. Аналогичные изменения гидрологических характеристик с заглублением распресненной воды осенью по сравнению с проявлением апвеллинга в теплый сезон отмечены в работах (Рутенко и др., 2009; Рутенко, Соснин, 2014), посвященных результатам анализа океанологических съемок, выполненных на Пильтунском участке нагула серых китов.

Вдоль берега формируется мощный поток сравнительно теплых вод с низкой соленостью, который достигает м. Анива на юго-восточной оконечности о. Сахалин, северного побережья о. Хоккайдо и Южных Курильских островов (Власова и др., 2008). Это явление интерпретировалось как осенняя интенсификация Восточно-Сахалинского течения, в отличие от зимней, которая обусловлена иными причинами, вследствие чего основная его струя наблюдается мористее, над областью

материкового склона. При этом, как показали инструментальные измерения температуры и солености у юго-восточного побережья Сахалина, транспорт вод низкой солености вдоль восточного берега острова сохраняется до марта.

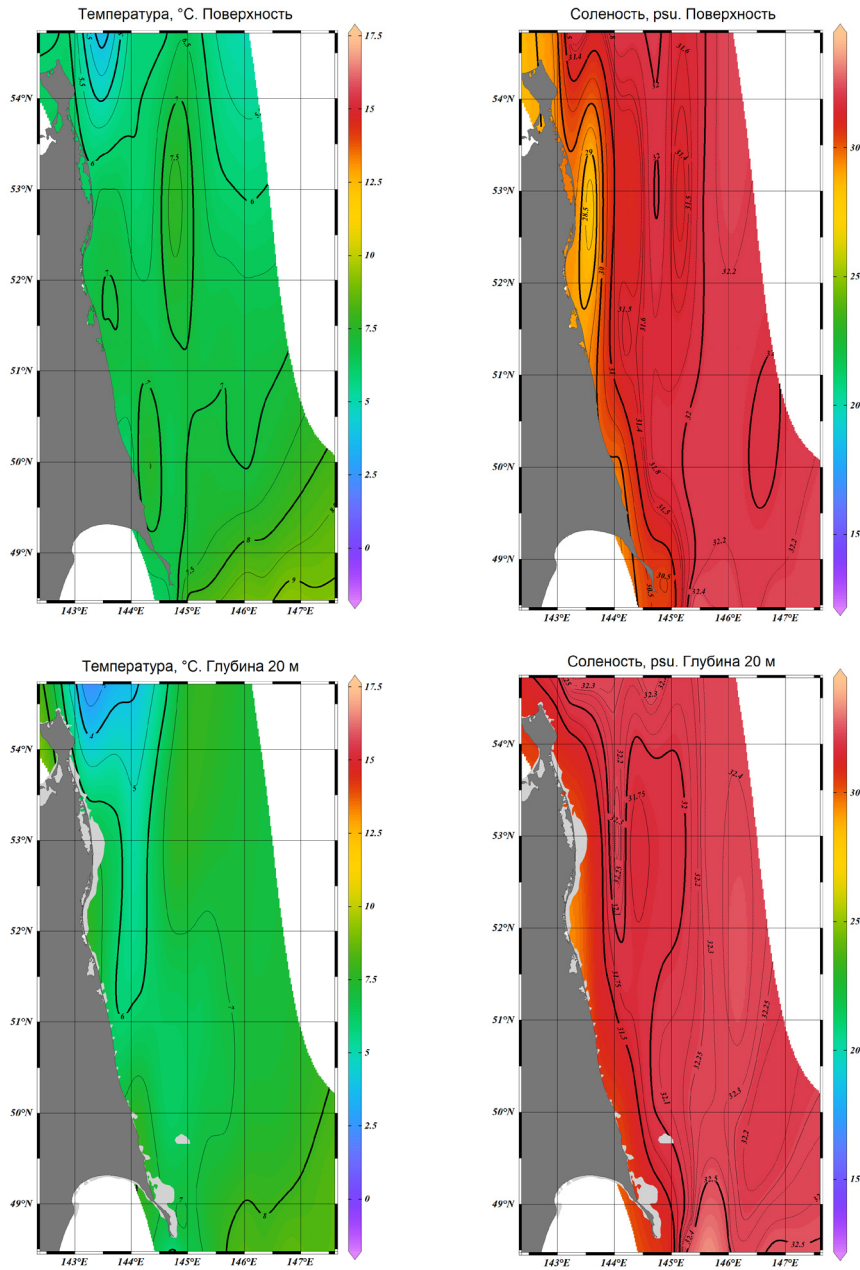


Рис. 7. Средние многолетние распределения температуры и солености на поверхности моря и горизонте 20 м осенью (октябрь).

Если вертикальные распределения солености на стандартных разрезах северной и южной частей северо-восточного шельфа о. Сахалин в теплый период года существенно различались, то в октябре они выглядят идентично не только по температуре, но и по солености (рис. 8). Ширина зоны, в которой наблюдается заглублиение, составляет около 1 градуса вдоль параллели, или около 70 км с учетом широты изучаемого района.

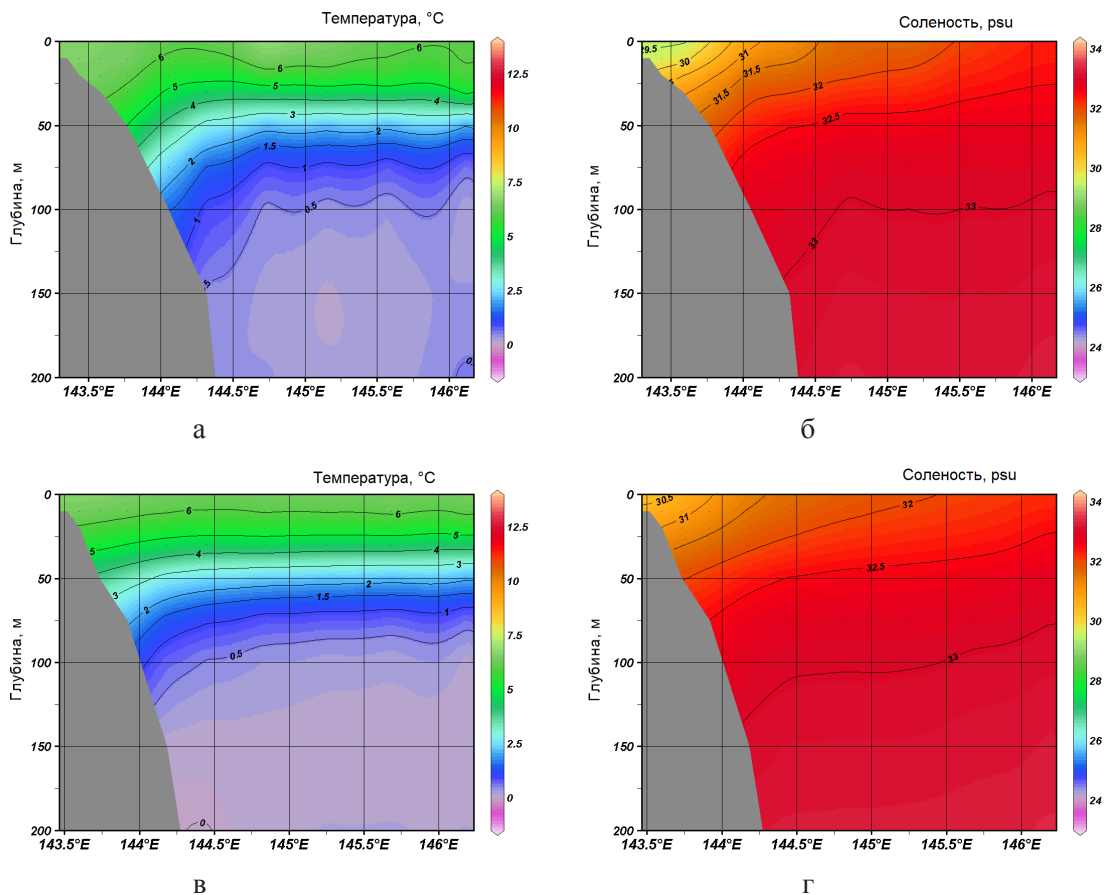


Рис. 8. Средние многолетние вертикальные распределения температуры (а, в, °C) и солёности (б, г, psu) на стандартных разрезах зал. Пильтун – море (а, б) и зал. Лунский – море (в, г) осенью (октябрь).

Начало процесса перестройки океанологических полей в изучаемом районе в наиболее наглядной форме было зафиксировано при гидрологической съёмке, выполненной на северо-восточном шельфе Сахалина в период с 28 сентября по 4 октября 1994 г. (рис. 9). Зондирования водной толщи на стандартных разрезах выполнялись в направлении с юга на север; разреза 8 (м. Терпения – море, измерения выполнены 28 сентября) воды низкой солёности еще не достигли, но на следующий день на разрезе 9 на некотором удалении от берега отмечено пятно с наиболее низкими значениями (менее 26 psu). Это пятно прослеживается до глубины 10 м, при этом вблизи берега заглужение этих вод еще не началось. На начальной фазе оно зафиксировано на разрезе 10 зал. Лунский – море, и уже в полной мере, практически так же, как на средних многолетних распределениях (см. рис. 8), – на разрезе 11 зал. Пильтун – море.

Так же, как и на средних многолетних распределениях для октября, сравнительно теплые воды (11–13°C) оттесняются на юг, с севера поступают уже более выхолаженные (8–9°C) воды с низкой солёностью (менее 27 psu).

По данным наблюдений на береговом гидрометеорологическом посту «Набиль», перестройка поля ветра от зимнего муссона к летнему произошла 16 сентября. После преобладающих южных ветров установились воздушные потоки

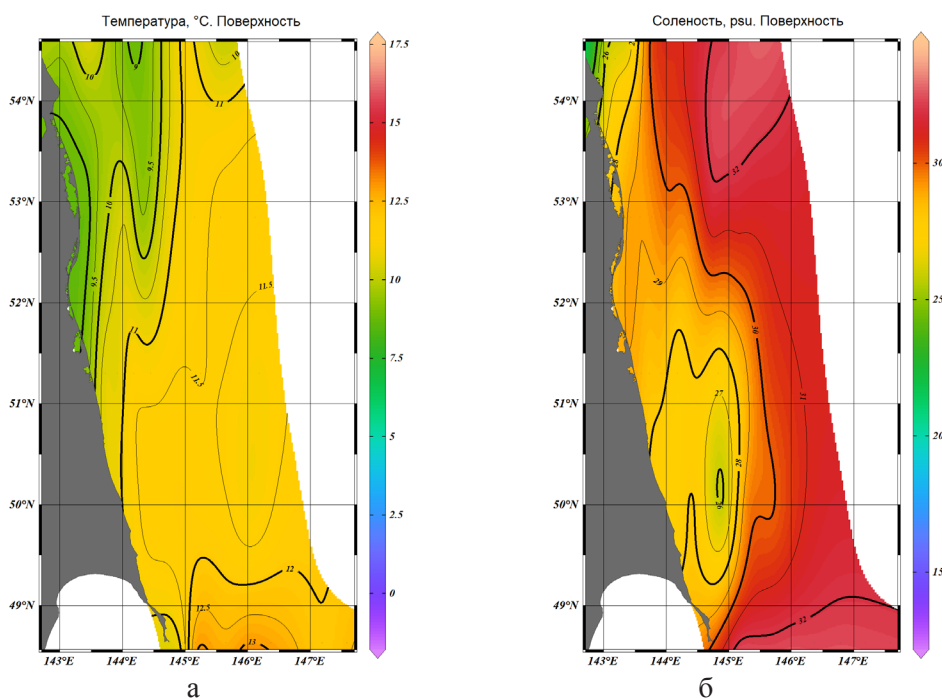


Рис. 9. Распределение температуры (а, °С) и солености (б, psu) на поверхности моря по результатам океанологической съемки 28 сентября – 4 октября 1994 г.

восточного – северо-восточного румбов (средняя скорость за вторую половину месяца – 4.3 м/с). Ориентировочные оценки времени заглубления поверхностных вод до глубины 100 м в рамках двумерной модели Йошида (Yoshida, 1967) показали, что, при характерных для осеннего сезона скоростях ветра 6 м/с и типичной для сентября структуре плотности, оно составляет около недели, а при наблюдавшихся в 1994 г. значениях – две недели, что примерно согласуется с наблюдениями.

Выводы

Можно констатировать, что сезонные вариации океанологических условий на северо-восточном шельфе о. Сахалин значительны и определяются сменой направления преобладающих ветров (зимнего и летнего муссонов). Главная специфическая особенность этих изменений связана с наличием большого объема распресненных вод, обусловленных стоком реки Амур.

В целом для теплого сезона (июнь–сентябрь) характерны следующие особенности гидрологического режима:

- появление распресненных вод, связанных со стоком реки Амур, в первой декаде июня, сопровождающееся выносом тяжелых льдов;
- заглубление вод с низкими соленостью и температурой в результате таяния льда в районе заливов Пильтун и Чайво;
- значительные различия в прибрежной зоне между северной и южной частями в поле солености, наличие гидрологического фронта, выходящего к берегу в районе 52°с.ш.;

- незначительные пространственные различия солености на глубинах более 20 м;

- хорошо выраженный холодный промежуточный слой, воды с отрицательными значениями залегают на глубинах 70–250 м (у п-ва Шмидта на разрезе 12 начиная с 30 м);

- увеличение температуры с удалением от берега, обусловленное действием ветров южного румба, индуцирующих апвеллинг;

- поток на север в мористой части (противотечение ВСТ).

Типичными особенностями океанологических условий на северо-восточном шельфе Сахалина осенью (октябрь) являются:

- под действием ветров северного и северо-западного румбов происходит разрушение океанологического фронта, воды низкой солености прижимаются к берегу и заглубляются до глубины 100 и более метров (даунвеллинг);

- на глубинах 50–100 м в зоне шельфа температура воды повышается на 4–6°C, а соленость падает до 30–31 psu;

- воды низкой солености прослеживаются вдоль всего СВ берега Сахалина полосой до 70 км от м. Елизаветы до м. Терпения;

- наблюдается ослабление ХПС, заглубление нулевой изотермы как на шельфе, так и в мористой части разрезов;

- в отличие от лета, осенью распределения температуры на глубинах 0 и 20 м отличаются незначительно и характеризуются оттеснением более теплых вод в южном направлении;

- формируется выраженный прибрежный поток распресненных вод, ориентированный на юг.

Выявленные особенности имеют важное значение не только для изучаемого района, но и для всей юго-западной части Охотского моря – деградация ХПС и появление вод низкой солености на глубинах до 100 м прослеживается на юго-восточном Сахалине, в зал. Анива, у северных берегов Хоккайдо и на Южных Курильских островах (Власова и др., 2008).

Особенности океанологических условий осенью существенно повышают риск негативного воздействия загрязнений на северо-восточное побережье острова и донные сообщества на шельфе при аварийных разливах углеводородного сырья в этот период.

Литература

- Верхунов А.В.* Развитие представлений о крупномасштабной циркуляции Охотского моря / Комплексные исследования экосистемы Охотского моря. М.: ВНИРО, 1997. С. 8–19.
- Власова Г.А., Васильев А.С., Шевченко Г.В.* Пространственно-временная изменчивость структуры и динамики вод Охотского моря. М.: Наука, 2008. 356 с.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том IX. Охотское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Спб.: Гидрометеоиздат, 1998. 342 с.
- Жабин И.А., Дмитриева Е.А.* Сезонная и межгодовая изменчивость ветрового апвеллинга

- у восточного побережья о-ва Сахалин по данным скаттерометра SeaWinds спутника QuikSCAT // Исследование Земли из космоса. 2016. № 1–2. С. 105–115.
- Като Э., Савельев В.Ю., Шевченко Г.В.* Режимные характеристики ветра для острова Сахалин, полученные на основе инструментальных данных // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. 2001. С. 177–194.
- Ложкин Д.М., Цхай Ж.Р., Шевченко Г.В.* Спутниковый мониторинг температурных условий в районах устьев нерестовых рек южной части о. Сахалин // Исследование Земли из космоса. 2018. № 5. С. 15–22.
- Лучин В.А.* Циркуляция вод Охотского моря и особенности ее внутригодовой изменчивости по результатам диагностических расчетов // Труды ДВНИИ. 1987. Вып. 36. С. 3–13.
- Пицальник В.М., Архипкин В.С.* Сезонные вариации циркуляции вод на охотоморском шельфе острова Сахалин // Труды ДВНИГМИ. Тематический выпуск № 2. Владивосток: Дальнаука, 1999. С. 84–95.
- Пицальник В.М., Архипкин В.С., Леонов А.В.* Восстановление годового хода термохалинных характеристик и циркуляции вод на северо-восточном шельфе Сахалина // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 4. С. 362–374.
- Пицальник В.М., Архипкин В.С., Юрасов Г.И., Ермоленко С.С.* Сезонные вариации циркуляции вод в прибрежных районах о. Сахалин // Метеорология и гидрология. 2003. № 5. С. 87–95.
- Пицальник В.М., Бобков А.О.* Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин. Южно-Сахалинск: СахГУ, 2000. 108 с.
- Рутенко А.Н., Соснин В.А.* Гидродинамические процессы на шельфе о. Сахалин в прибрежном Пильгунском районе кормления серых китов и их связь с атмосферной циркуляцией // Метеорология и гидрология. 2014. № 5. С. 74–93.
- Рутенко А.Н., Храпченков Ф.Ф., Соснин В.А.* Прибрежный апвеллинг на шельфе острова Сахалин // Метеорология и гидрология. 2009. № 2. С. 44–53.
- Чернявский В.И., Жигалов И.А., Матвеев В.И.* Океанологические основы формирования зон высокой биологической продуктивности Охотского моря // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том IX. Охотское море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы биологической продуктивности. Спб.: Гидрометеиздат, 1993. С. 157–160.
- Шершнева О.В., Шевченко Г.В., Новиненко Е.Г.* Температурные условия в районах выпуска молоди с лососевых рыбопроизводных заводов из устьев рек Сахалина и о. Итуруп // Известия ТИНРО. 2007. Вып. 150. С. 217–225.
- Ebuchi N.* Seasonal and interannual variations in the East Sakhalin Current revealed by TOPEX/POSEIDON altimeter data // J. Oceanogr. 2006. Vol. 62. P. 171–183.
- Fukamachi Y., Mizuta G., Ohshima K.I., Talley L.D., Riser S.C., Wakatsuchi M.* Transport and modification processes of dense shelf water revealed by long-term moorings off Sakhalin in the Sea of Okhotsk // J. Geophys. Res. 2004. Vol. 109. C09S10. DOI:10.1029/2003JC001906.
- Gladyshev S., Talley L., Kantakov G., Khen G., Wakatsuchi M.* Distribution, formation, and seasonal variability of Okhotsk Sea Mode Water // Geophys. Res. 2003. Vol. 108. P. 3186.
- Mizuta G., Fukamachi Y., Ohshima K.I. and Wakatsuchi M.* Structure and seasonal variability of the East Sakhalin Current // J. Phys. Oceanogr. 2003. Vol. 33. P. 2430–2445.
- Mizuta G., Ohshima K.I., Fukamachi Y., Wakatsuchi M.* The variability of the East Sakhalin Current induced by winds over the continental shelf and slope // Marine Res. 2005. Vol. 63. P. 1017–1039.

- Shevchenko G.V., Chastikov V.N.* Seasonal changes in temperature and salinity fields (summer-autumn) on the northeastern shelf of Sakhalin Island related to East Sakhalin Current autumn amplification // Proceedings of the 25th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice (Mombetsu, Hokkaido, Japan, 21–26 February 2010). Mombetsu. 2010. P. 141–144.
- Simizu D., Oshima K.I.* A model simulation on the circulation in the Sea of Okhotsk and the East Sakhalin Current // *Geophys. Res.* 2006. Vol. 111. C05016.
- Stepanov D.V.* Mesoscale eddies and baroclinic instability over the eastern Sakhalin shelf of the Sea of Okhotsk: a model-based analysis // *Ocean Dyn.* 2018. Vol. 68. P. 1353–1370.
- Uehara H., Kruts A., Volkov Yu., Nakamura T., Ono T., Mitsudera H.* A new climatology of the Okhotsk Sea derived from the FERHRI database // *J. Oceanography.* 2012. Vol. 68. P. 869–886. DOI:10.1007/s10872-012-0147-3.
- Yoshida K.* Circulation in the eastern tropical oceans with special references to upwelling and under currents // *Japan J. Geophys.* 1967. Vol. 4. P. 1–75.

SEASONAL VARIABILITY OF OCEANOLOGICAL CONDITIONS ON THE NORTHEASTERN SAKHALIN SHELF BASED ON THE SURVEYS ON STANDARD SECTIONS

Shevchenko G.V.^{1,2}, Chastikov V.N.¹

¹ *Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography, 196 Komsomolskaya street, 693023 Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, e-mail: Shevchenko_zhora@mail.ru*

² *Institute of Marine Geology & Geophysics FEB RAS, 1-B Nauki street, 693022, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

Submitted 26.02.2019, accepted 29.07.2019

The long-term mean temperature and salinity distributions on 5 standard oceanological sections on the northeast shelf of Sakhalin were analyzed for 4 months of the navigation period (July-October) including a radical restructuring of hydrological conditions in the transition from summer to autumn. The data of soundings performed during the pollock ichthyoplankton surveys were used to study oceanological conditions in June. The low salinity water formed by the Amur River runoff are shown to appear on the northeastern shelf in the first half of June after the heavy ice breaking in the southern Sakhalin Bay. Low salinity water and ice are pushed off toward the deep sea under the influence of the southern winds typical for a warm season, and an oceanological front is formed near the 52°N. This front prevents the low-salinity water from flowing southward until the second half of September, when changes into a winter monsoon with the prevailing northerly winds take place. This promotes destruction of hydrological front and deepening of the cold intermediate water layer. The waters with the 4–6°C temperature and salinity of about 31 psu occur at the shelf edge along the northeastern Sakhalin coast. A powerful stream with the relatively warm low salinity water is being formed along the shore that reaches the southeastern part of Sakhalin and northern coasts of Hokkaido Island.

Keywords: temperature, salinity, standard section, wind, upwelling, downwelling, cold intermediate layer

References

- Chernyavskiy V.I., Zhigalov I.A., and Matveev V.I.* Okeanologicheskie osnovy formirovaniya zon vysokoy biologicheskoy produktivnosti Okhotskogo morya. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morey*. Tom IX, Okhotskoe more, Vyp. 2, *Gidrokhimicheskie usloviya i okeanologicheskie osnovy biologicheskoy produktivnosti*, Sankt-Peterburg: *Gidrometeoizdat*, 1993, pp. 157–160.
- Ebuchi N.* Seasonal and interannual variations in the East Sakhalin Current revealed by TOPEX/POSEIDON altimeter data. *J. Oceanogr.*, 2006, Vol. 62, pp. 171–183.
- Fukamachi Y., Mizuta G., Ohshima K.I., Talley L.D., Riser S.C., and Wakatsuchi M.* Transport and modification processes of dense shelf water revealed by long-term moorings off Sakhalin in the Sea of Okhotsk. *J. Geophys. Res.*, 2004, Vol. 109, C09S10, doi:10.1029/2003JC001906.
- Gidrologiya i gidrokhimiya morey*. Tom IX. Okhotskoe more. Vyp. 1, *Gidrometeorologicheskie usloviya*. Sankt-Peterburg: *Gidrometeoizdat*, 1998, 342 p.
- Gladyshev S., Talley L., Kantakov G., Khen G., and Wakatsuch M.* Distribution, formation, and seasonal variability of Okhotsk Sea Mode Water. *Geophys. Res.*, 2003, Vol. 108, pp. 3186.
- Kato E., Savel'ev V.Yu., and Shevchenko G.V.* Rezhimnye kharakteristiki vetra dlya ostrova Sakhalin, poluchennye na osnove instrumental'nykh dannykh. *Dinamicheskie protsessy na shel'fe Sakhalina i Kuril'skikh ostrovov*. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGIG DVO RAN, 2001, pp. 177–194.
- Lozhkin D.M., Tskhay Zh.R., and Shevchenko G.V.* Sputnikovyy monitoring temperaturnykh usloviy v rayonakh ust'ev nerestovykh rek yuzhnoy chasti o. Sakhalin. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2018, No. 5, pp. 15–22.
- Luchin V.A.* Tsirkulyatsiya vod Okhotskogo morya i osobennosti ee vnutrigodovoy izmenchivosti po rezul'tatam diagnosticheskikh raschetov. *Trudy DVNII*, 1987, Vol. 36, pp. 3–13.
- Mizuta G., Fukamachi Y., Ohshima K.I. and Wakatsuchi M.* Structure and seasonal variability of the East Sakhalin Current. *J. Phys. Oceanogr.*, 2003, Vol. 33, pp. 2430–2445.
- Mizuta G., Ohshima K.I., Fukamachi Y., and Wakatsuchi M.* The variability of the East Sakhalin Current induced by winds over the continental shelf and slope. *Marine Res.*, 2005, Vol. 63, pp. 1017–1039.
- Pishchal'nik V.M. and Arkhipkin V.S.* Sezonnye variatsii tsirkulyatsii vod na okhotomorskom shel'fe ostrova Sakhalin. *Trudy DVNIGMI. Tematicheskii vypusk No. 2*, Vladivostok: Dal'nauka, 1999, pp. 84–95.
- Pishchal'nik V.M. and Bobkov A.O.* Okeanograficheskiy atlas shel'fovoy zony ostrova Sakhalin. Yuzhno-Sakhalinsk: SakhGU, 2000, 108 p.
- Pishchal'nik V.M., Arkhipkin V.S., and Leonov A.V.* Vosstanovlenie godovogo khoda termokhalinnykh kharakteristik i tsirkulyatsii vod na severo-vostochnom shel'fe Sakhalina. *Vodnye resursy*, 2014, Vol. 41, No. 4. pp. 362–374.
- Pishchal'nik V.M., Arkhipkin V.S., Yurasov G.I., and Ermolenko S.S.* Sezonnye variatsii tsirkulyatsii vod v pribrezhnykh rayonakh o. Sakhalin. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2003, No. 5, pp. 87–95.
- Rutenko A.N., Khrapchenkov F.F., and Sosnin V.A.* Pribrezhny'j apvelling na shel'fe ostrova Sakhalin. *Meteorology and hydrology*, 2009, No. 2. pp. 44–53.
- Rutenko A.N. and Sosnin V.A.* Gidrodinamicheskie processy na shel'fe o. Sakhalin v pribrezhnom Pil'tunskom rajone kormleniya sery'x kitov i ix svyaz' s atmosfernoj cirkulyaciej. *Meteorology and hydrology*, 2014, No. 5, pp. 74–93.

- Shershneva O.V., Shevchenko G.V., and Novinenko E.G.* Temperaturnye usloviya v rayonakh vypuska molodi s lososevykh ryborazvodnykh zavodov iz ust'ev rek Sakhalina i o. Iturup. *Izvestiya TINRO*, 2007, Vol. 150. pp. 217–225.
- Shevchenko G.V. and Chastikov V.N.* Seasonal changes in temperature and salinity fields (summer-autumn) on the northeastern shelf of Sakhalin Island related to East Sakhalin Current autumn amplification. Proceedings of the 25th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice (Mombetsu, Hokkaido, Japan, 21–26 February 2010). Mombetsu: 2010, pp. 141–144.
- Simizu D. and Oshima K.I.* A model simulation on the circulation in the Sea of Okhotsk and the East Sakhalin Current. *Geophys. Res.*, 2006, Vol. 111, C05016.
- Stepanov D.V.* Mesoscale eddies and baroclinic instability over the eastern Sakhalin shelf of the Sea of Okhotsk: a model-based analysis. *Ocean Dyn.*, 2018, Vol. 68, pp. 1353–1370.
- Uehara H., Kruts A., Volkov Yu., Nakamura T., Ono T., and Mitsudera H.* A new climatology of the Okhotsk Sea derived from the FERHRI database. *J. Oceanography*, 2012, Vol. 68, pp. 869–886, doi: 10.1007/s10872-012-0147-3.
- Verkhunov A.V.* Razvitie predstavleniy o krupnomasshtabnoy tsirkulyatsii Okhotskogo morya. Kompleksnye issledovaniya ekosistemy Okhotskogo morya. Moscow: VNIRO, 1997, pp. 8–19.
- Vlasova G.A., Vasil'ev A.S., and Shevchenko G.V.* Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' struktury i dinamiki vod Okhotskogo morya. Moscow: Nauka, 2008, 356 p.
- Yoshida K.* Circulation in the eastern tropical oceans with special references to upwelling and under currents. *Japan J. Geophys.*, 1967, Vol. 4, pp. 1–75.
- Zhabin I.A. and Dmitrieva E.* A Sezonnaya i mezhgodovaya izmenchivost' vetrovogo apvellinga u vostochnogo poberezh'ya o-va Saxalin po dannym skatterometra SeaWinds sputnika QuikSCAT. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2016, No. 1–2, pp. 105–115.