

УДК 551.466 УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ

**ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРИ ОЦЕНКЕ ПРИЕМНОЙ ЕМКОСТИ
ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ В РАЙОНАХ
УСТЬЕВ НЕРЕСТОВЫХ РЕК ЮГО-ВОСТОЧНОГО
ПОБЕРЕЖЬЯ о. САХАЛИН**

**Г. В. Шевченко (shevchenko_zhora@mail.ru)^{1,2},
В. Н. Частиков¹, П. В. Полупанов¹**

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ «ВНИРО»). Сахалинский филиал («СахНИРО»). Россия, г. Южно-Сахалинск, 693023, ул. Комсомольская, 196; ² Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМГиГ ДВО РАН). Россия, г. Южно-Сахалинск, 693022, ул. Науки, 1 б

Шевченко Г. В., Частиков В. Н., Полупанов П. В. Океанологические исследования при оценке приемной емкости прибрежных акваторий в районах устьев нерестовых рек юго-восточного побережья о. Сахалин // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Труды «СахНИРО». – Южно-Сахалинск : «СахНИРО», 2021. – Т. 17. – С. 132–147.

Проанализированы материалы инструментальных измерений температуры и солености воды, а также скорости морских течений и STD-съепок, выполненных при проведении комплексных исследований по оценке приемной емкости акваторий, прилегающих к устьям нерестовых рек юго-восточного побережья о. Сахалин. Главной особенностью гидрологических условий являются резкие, до отрицательных значений, понижения температуры морской воды в прибрежье в результате ветрового апвеллинга. Такие явления могут приводить к массовой гибели молоди лососей как искусственного, так и естественно-воспроизводства. Вариации солености также были велики и находились в противофазе с температурой, но они не являются критическим параметром для молоди. У юго-восточного побережья преобладали течения южного и юго-восточного румбов, в восточной части залива Анива – северного. Повторяемость течений противоположного направления была примерно вдвое ниже.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: молодь лососей, устье реки, приемная емкость, температура, соленость, течения, апвеллинг.

Табл. – 1, ил. – 12, библиогр. – 9.

Shevchenko G. V., Chastikov V. N., Polupanov P. V. Oceanological studies in assessing the receiving capacity of coastal waters in the areas of the mouths of spawning rivers on the southeastern coast of Sakhalin Island // Water life biology, resources status and condition of inhabitation in Sakhalin-Kuril region and adjoining water areas : Transactions of the “SakhNIRO”. – Yuzhno-Sakhalinsk : “SakhNIRO”, 2021. – Vol. 17. – P. 132–147.

The materials of instrumental measurements of the water temperature and salinity, as well as the currents velocity and CTD surveys carried out during comprehensive studies to assess the receiving capacity of the areas adjacent to the mouths of the spawning rivers of the southeastern

coast of Sakhalin Island. The main feature of hydrological conditions is sharp, to negative values, lowering of water temperature in the coastal area as a result of wind-induced upwelling. Such phenomena can lead to mass death of salmon juvenile of both artificial and natural reproduction. Salinity variations were also large and were in antiphase with temperature, but they are not critical parameters for juveniles. At the southeastern coast, the currents of the southern and southeastern points prevailed, in the eastern part of Aniva Bay, the northern one, the frequency of the opposite currents was about half as much.

KEYWORDS: juvenile salmon, river mouth, receiving capacity, temperature, salinity, currents, upwelling.

Tabl. – 1, fig. – 12, ref. – 9.

ВВЕДЕНИЕ

В течение последних нескольких лет Сахалинский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО») проводит регулярные работы по оценке приемной емкости акваторий, прилегающих к устьям нерестовых рек о. Сахалин, по которым весной скатывается молодь лососевых рыб как искусственного, так и естественного воспроизводства. Важными элементами этих исследований являются изучение ее кормовой базы (состояния фито- и зоопланктона в весенний период, наличия выедающих ее хищников – наибольшую опасность представляют красноперка и корюшки), а также океанологических условий в этих акваториях (температурного режима и преобладающих течений). Для нормального развития молоди в ранний морской период жизни тихоокеанских лососей важны комфортные условия – температура морской воды должна быть не ниже 6–7 и не выше 10–11 °С (Карпенко, 1998).

В то же время в прибрежных акваториях юго-восточного Сахалина, где находится значительное число рыбоводных заводов, наблюдаются резкие понижения этого параметра (до отрицательных значений) при отжимных ветрах, способствующих развитию ветрового апвеллинга (Шевченко, Кириллов, 2017). С точки зрения влияния гидрологических условий на воспроизводство лососевых это, несомненно, важнейший фактор, и физические причины, которые способны привести к формированию таких экстремальных состояний среды обитания в районе устья каждой нерестовой реки требует специального изучения. Вариации солености у юго-восточного берега о. Сахалин также значительны, но они не оказывают такого существенного влияния на выживаемость молоди тихоокеанских лососей, как термический режим, но представляют определенный научный интерес. Характер прибрежных течений может влиять на перераспределение скатившейся молоди вдоль побережья острова, и поэтому их вариации в зависимости от синоптических условий также существенны.

Таким образом, исследование особенностей гидрологических условий вблизи устьев нерестовых рек представляет определенный научный интерес и имеет выраженный прикладной аспект. Предмет данной работы составляют результаты океанологических исследований, выполненных в режиме сопровождения работ по оценке приемной емкости прибрежных акваторий, прилегающих к устьям рек Островка (впадает в залив Анива в его восточной части), Долинка и Дудинка (юго-восточное побережье о. Сахалин), проводившихся в 2018–2020 гг.

ОРГАНИЗАЦИЯ НАБЛЮДЕНИИ

Океанологические исследования осуществлялись путем постановки автономной буйковой станции (как правило, аппаратура устанавливалась в мае на срок около двух месяцев, охватывающий ранний морской период жизни молоди лососевых рыб). АБС содержала акустический доплеровский измеритель течений SonTek Argonaut и CTD-зонд SBE 37 с датчиками температуры, солености и гидростатического давления, дискретность измерений составляла 1 час. Для обеспечения сохранности оборудования, постановка выполнялась в притопленном варианте на глубинах 15–20 м, измерения осуществлялись в придонном слое. Схема постановки станций, устанавливавшихся в 2018–2020 гг., приведена на **рисунке 1**. Два района проведения исследований находились в южной и центральной частях юго-восточного побережья о. Сахалин и один в восточной части залива Анива. Такой выбор районов проведения исследований позволял учесть влияние особенностей физико-географических условий в пределах основного района искусственного воспроизводства тихоокеанских лососей. Сведения о постановках АБС (координаты станций, период наблюдений, длина рядов ежечасных значений океанологических параметров) приведены в **таблице**.

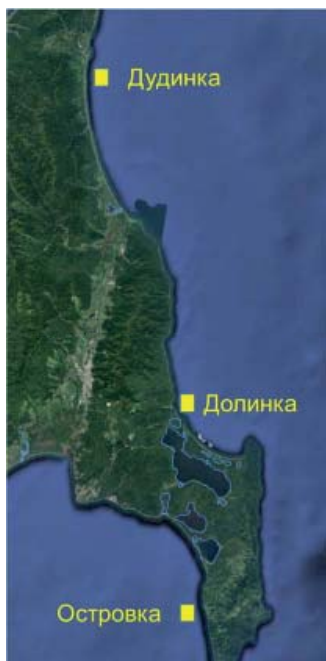


Рис. 1. Районы работ по оценке приемной емкости акваторий, прилегающих к устьям нерестовых рек юго-восточной части о. Сахалин

Fig. 1. Areas of work to assess the receiving capacity of the areas adjacent to the mouths of the spawning rivers of the southeastern part of Sakhalin Island

Сведения об установке АБС

Таблица

Information about ABS installation

Table

Река	Широта	Долгота	Глубина/ Горизонт	Постановка	Подъем	Длина ряда
Островка	46°41,3′	143°32′	18 м/14 м	14.05.2018	07.07.2018	1 293
Долинка	46°59,1′	143°05,5′	19 м/15 м	08.05.2019	11.07.2019	1 536
Дудинка	47°42,8′	142°35′	21 м/18 м	19.05.2020	26.07.2020	1 630

Помимо постановки АБС океанологические исследования производились в режиме сопровождения гидробиологической съемки (планктон, бентос). Отбор проб выполнялся на 4 поперечных линии берега разрезах, расположенных на удалении друг от друга около 2 км, на станциях, соответствующих изобатам 0 (литораль, урез воды), 3, 5, 10, 15, 20 м, при этом выполнялось зондирование водного слоя портативным СТД-зондом с борта моторной лодки. Комплексные съемки начинались в середине мая и до первой декады августа выполнялись пять-шесть раз. В данной работе рассматривались разрезы с номерами 2 и 3, пересекавшие прибрежную акваторию вблизи устья нерестовой реки, так как они в наибольшей степени отражали влияние стока на вариации океанологических параметров.

Для характеристики метеорологических условий в период проведения исследований, привлекались данные наблюдений за температурой атмосферного воздуха, приземным атмосферным давлением, скоростью и направлением ветра, и осадками на береговых гидрометеорологических станциях Росгидромета Новиково (для реки Островка) и Стародубское (для рек Долинка и Дудинка). Данные были взяты с сайта общего доступа www.rp5.ru, дискретность наблюдений – 3 часа, положение станций показано выше на **рисунке 1**.

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Устье реки Островка, 2018 г.

Река Островка впадает в залив Анива Охотского моря в его восточной части примерно в 6 км к северу от пос. Новиково, в котором расположена береговая гидрометеорологическая станция Сахалинского управления Росгидромета. Рельеф морского дна в изучаемом районе достаточно простой, глубина моря плавно увеличивается по мере удаления от берега. В теплый период года под действием преобладающих южных ветров (летний муссон) здесь формируется прибрежный поток, ориентированный на север (**Никонов, 2005; Шевченко и др., 2016**). Акватория, прилегающая к восточному берегу залива, характеризуется более низкими значениями температуры морской воды по сравнению с основной частью этого бассейна. По этой причине комфортные условия для молоди лососевых рыб как естественного, так и искусственного воспроизводства (+7 °С согласно **Карпенко, 1998**) наступает в данном районе на неделю позднее по сравнению с другими участками побережья залива (27 мая) (**Ложкин и др., 2018**).

На **рисунке 2** представлен график измеренных вариаций температуры морской воды по данным инструментальных измерений на АБС в районе устья р. Островка в 2018 г. За период наблюдений с 14 мая по 7 июля наблюдался плавный прогрев прибрежных вод восточной части залива Анива, значения данного параметра увеличивались со средней скоростью 0,09 °С в сутки, за 58 дней измерений увеличение составило около 5 °С. Для сравнения, температура атмосферного воздуха возрастала гораздо медленнее (0,05 °С/сут.), что было обусловлено высокой долей ветров северо-восточного (23%) и близких к нему румбов, переносивших прохладный воздух с акватории Охотского моря. В целом, метеорологические условия в районе проведения измерений были спокойными, максимальная скорость ветра 10-минутного осреднения достигала 7 м/с (**рис. 3**). До середины первой декады июня явно преобладали ветра, типичные для теплого периода (южного и юго-западного румбов), а в июне–

июле погода была неустойчивой и характеризовалась постоянными сменами направления ветра – приблизительно по оси ЮЗ–СВ.

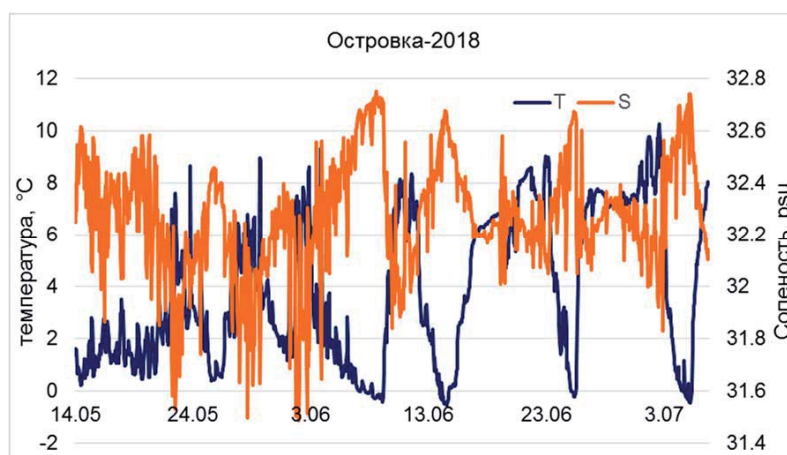


Рис. 2. Вариации температуры (T , °C) и солёности морской воды (S , psu) в районе устья реки Островка в период с 14 мая по 7 июля 2018 г. Горизонт измерений 14 м

Fig. 2. Variations in temperature (T , °C) and salinity of sea water (S , psu) in the area of the Ostrovka River mouth during the period from May 14 to July 7, 2018. The measurement horizon was 14 m

На фоне отмеченной выше общей тенденции прогрева воды в прибрежной зоне выявлено шесть случаев резкого понижения температуры, четыре из них – до отрицательных значений (7–9 июня, минимальное значение $-0,42$ °C; 14–16 июня, $-0,56$ °C; 25–26 июня, $-0,22$ °C; 4–6 июля, $-0,45$ °C). В первом случае резкому падению температуры воды предшествовала перестройка ветров с южного и близкого к нему румбов к северо-восточному и северо-северо-восточному ветрам со скоростями 3–5 м/с (10-минутного осреднения). Холодная вода быстро уходила из района расположения станции при обратной перестройке поля ветра к характерным для летнего сезона ветрам южного румба, повышение температуры во всех случаях было очень резким.

Наиболее значительное понижение температуры 15 июня также наблюдалось при ветрах северо-восточного и северо-северо-восточного румбов, которые установились в изучаемом районе 12 июня, скорость ветра была несколько выше – 4–7 м/с.

Два других случая наблюдались при аналогичных метеорологических условиях, только в последней декаде июня скорость ветра была более слабой – 3–4 м/с. Таким образом, можно констатировать развитие прибрежного апвеллинга в восточной части залива Анива при ветрах северо-восточного и северо-северо-восточного румбов со скоростями 4 м/с и выше.

На **рисунке 2** также представлен график вариаций солёности морской воды (оранжевая линия). Они имели существенную величину, средняя амплитуда колебаний синоптического масштаба (если не принимать во внимание отдельные короткопериодные выбросы) составляла около 0,4–0,45 psu. Случаям резкого понижения температуры отвечали повышения солёности, в целом между данными параметра имелась значимая отрицательная корреляция ($r = -0,62$), что типично для зон проявления прибрежного апвеллинга, когда

поверхностная сравнительно теплая вода с низкой соленостью сменяется поступающей с глубины более холодной и соленой.

Низкие значения данного параметра (менее 32 psu) и синхронные повышения температуры выше 5–6°C отмечены 23–24, 28–30 мая, 1–3 и 10–11 июня и 3 июля при ветрах южного и близкого к нему румбов со скоростями 3–5 м/с.

Вариации солености находились в прямой связи с неперiodическими колебаниями уровня моря ($r=0,68$), которые были пролучены путем вычитания из исходного ряда предвычисленного прилива. Это несколько неожиданный результат, так как обычно уровень выше в районах с менее плотной (более теплой и менее соленой) водой, однако при подлобных изменениях гидрологических параметров датчик гидростатического давления, измеряющий вес столба жидкости, не отражает адекватно колебания поверхности моря.

Как отмечалось выше, в мае над изучаемым районом преобладали типичные для теплого сезона ветра южного румба (см. рис. 3), которые способствуют равномерному прогреву вод залива Анива, что и наблюдалось по результатам гидрологических исследований не только на АБС, но и на разрезах вблизи устья реки Островка, выполненных 16.05 и 31.05.2018 г. Вертикальные распределения температуры на разрезах 2 и 3, проходивших недалеко от места установки станции в центре полигона проведения исследований (первый к северу, второй к югу от устья реки), приведены на рисунке 4а, б. Поверхностный слой толщиной 6–7 м к середине мая прогрелся до температуры 6–7°C, а к концу месяца – до 10–11 °C что является типичным для данного времени года (Пищальник, Бобков, 2000). Толщина прогретого слоя значения параметра плавно уменьшались по мере удаления от берега, что характерно для прибрежных акваторий, находящихся под действием прижимных ветров.

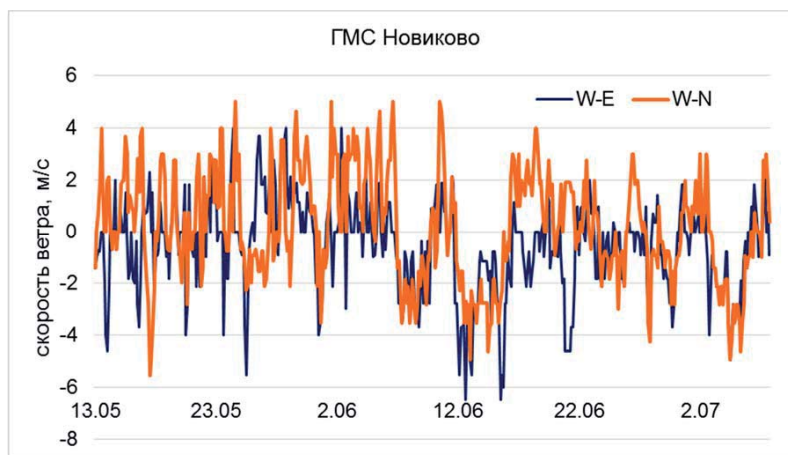


Рис. 3. Проекция на параллель (W–E, м/с) и на меридиан (W–N, м/с) измеренных на ГМС Новиково векторов скорости ветра 10-минутного осреднения (направление – куда) в период с 14 мая по 7 июля 2018 г.

Fig. 3. Projections to the parallel (W–E, m/s) and to the meridian (W–N, m/s) of the 10-minute averaging wind speed vectors measured at the Novikovo weather station (direction – where) during the period from May 14 to July 7, 2018

Вертикальные распределения солености на разрезах 2 и 3 (рис. 4в, г) существенно различаются между собой. Так, на первом из них вода с низкими

значениями солености (менее 30,5 psu) занимала прибрежный участок до изобаты 4 м, что указывает на заглужение распресненной воды речного стока в прибрежье и распространение ее на север, что соответствует геострофическому соотношению. Влияние воды пониженной солености, в целом весьма значимое (в мае на реках юга Сахалина наблюдается весеннее половодье) сказывалось также и на самой удаленной станции, в то время как на разрезе 3 она наблюдалась в тонком поверхностном слое в средней его части. Очевидно, что некоторая часть распресненной воды распространяется в изучаемой акватории под действием переменного ветра случайным образом, о чем свидетельствует и более значимое ее влияние на четвертом разрезе по сравнению с третьим.

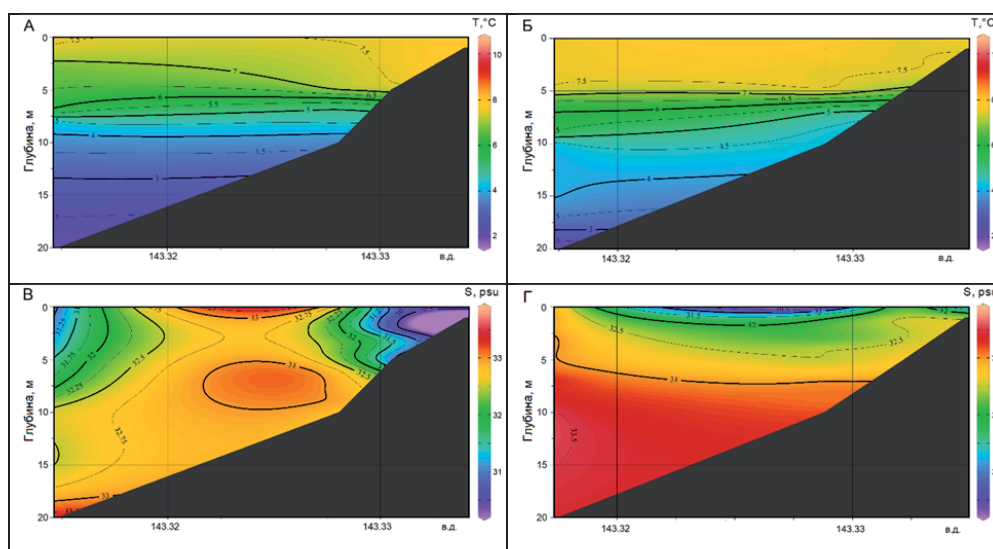


Рис. 4. Вертикальные распределения температуры (в °С, верхние рисунки) и солености (в psu, нижний) на разрезах 2 (слева) и 3 (справа) по результатам съемки 16 мая 2018 г.

Fig. 4. Vertical distributions of temperature (°C, top figures) and salinity (psu, bottom) in sections 2 (left) and 3 (right) based on the survey results on May 16, 2018

В первой декаде июня характер вертикальных распределений температуры на этих разрезах был совершенно иным, чем в мае в целом и в рассмотренном выше случае в частности. Теплая вода была оттеснена от берега, наклон изотерм указывал на развитие прибрежного апвеллинга, который сформировалась под действием преобладавших в этот период ветров северо-восточного румба (**рис. 5а, б**). Эти ветра вызвали значительное понижение температуры морской воды в прибрежной зоне восточной части залива Анива, зафиксированное также автономной буйковой станцией. В период проведения съемки 7 июня температура воды на горизонте 14 м была близка к 0 °С, согласно **рисунку 2**, она держалась на данной отметке около 3 суток.

Влияние речного стока в первой декаде июне было заметно более слабым, чем в середине мая, и сказывалось в большей степени на расположенным южнее устья разрезе 3, что, вероятно, было следствием действия ветра северо-восточного румба (**рис. 5в, г**). Вблизи берега на разрезе 2 наблюдалась вода с высокой соленостью (более 33,5 psu), по мере удаления от берега значения данного параметра снижались до 32,8 psu. На разрезе 3 в области прибрежного

мелководья значения солёности были заметно ниже, чем на расположенном севернее (около 33 psu), вода с наиболее низкой солёностью (менее 32,5 psu) отмечена в верхнем 2-метровом слое в центральной части разреза.

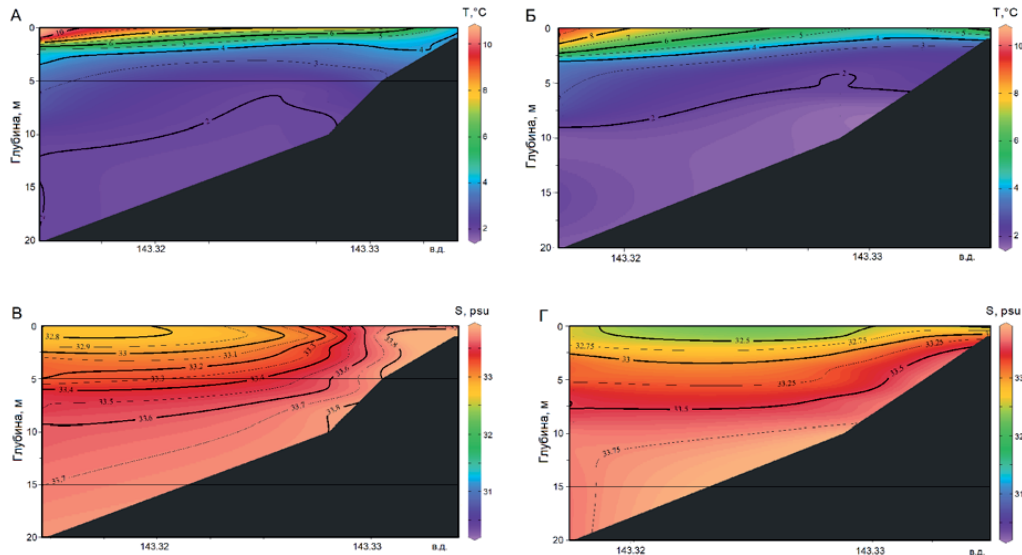


Рис. 5. Вертикальные распределения температуры (в °С, верхние рисунки) и солёности (в psu, нижний) на разрезах 2 (слева) и 3 (справа) по результатам съёмки 7 июня 2018 г.

Fig. 5. Vertical distributions of temperature (°C, top figures) and salinity (psu, bottom) in sections 2 (left) and 3 (right) based on the survey results on June 16, 2018

Более поздние съёмки, выполненные 20 и 28 июня, а также 10 и 17 июля, не совпали с периодами развития ветрового апвеллинга, и на вертикальных распределениях температуры наблюдалась картина постепенного прогрева воды в прибрежной зоне.

Устье реки Долинка, 2019 г.

Река Долинка впадает в залив Мордвинова Охотского моря, изменения донного рельефа в этом районе сравнительно плавные, приблизительно такие же, как в рассмотренном выше случае. Изучаемая акватория находится под влиянием идущего с севера Восточно-Сахалинского течения, которое транспортирует с северо-восточного шельфа Сахалина сравнительно холодную воду, поэтому прогрев прибрежной акватории до комфортных для молоди лососевых рыб температур наступает здесь в среднем на несколько дней позже (31 мая), чем в восточной части залива Анива (Ложкин и др., 2018).

Температура морской воды в придонном слое в районе устья р. Долинка по данным измерений на АБС часто имела весьма низкие для теплого сезона значения (рис. 6.), а минимальное ($-1,55$ °С) сравнимо с показателями в зимний период. Наиболее холодная вода зафиксирована в период с 18 по 21 мая, отрицательные значения отмечены также 22–24 и 26 мая, 8 и 11–13 июня. Понижение температуры сопровождалось повышением солёности, и, наоборот, при ее повышении солёность понижалась (коэффициент корреляции был более высоким, чем в рассмотренном выше случае восточной части залива Анива, здесь он составил $-0,869$). Как отмечалось выше, это типично для про-

явления прибрежного апвеллинга в изучаемом районе, формирующегося под действием ветров юго-западного и близких к нему румбов, которые преобладают над Сахалином в теплый период года (Като и др., 2001). Поверхностная вода заглубляется вблизи берега при ветрах северо-восточного направления, повторяемость которых весной обычно сравнительно невелика. Наибольшее развитие этого явления отмечено с 18 по 28 мая при усилении соответствующих ветров, чему предшествовали сильные нагонные северо-восточные и север-северо-восточные ветра (до 15–16 м/с) (рис. 7).

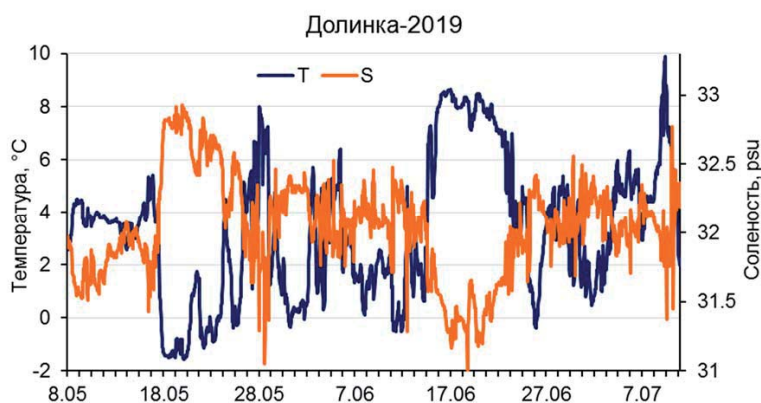


Рис. 6. Вариации температуры (T , °C) и солености (S , psu) по данным измерений на АБС в районе устья Долинка в период с 8 мая по 11 июля 2019 г. на горизонте около 15 м

Fig. 6. Variations in temperature (T , °C) and salinity (S , psu) according to measurements at the ABS in the area of the Dolinka river mouth during the period from May 8 to July 11, 2019 at a horizon of about 15 m

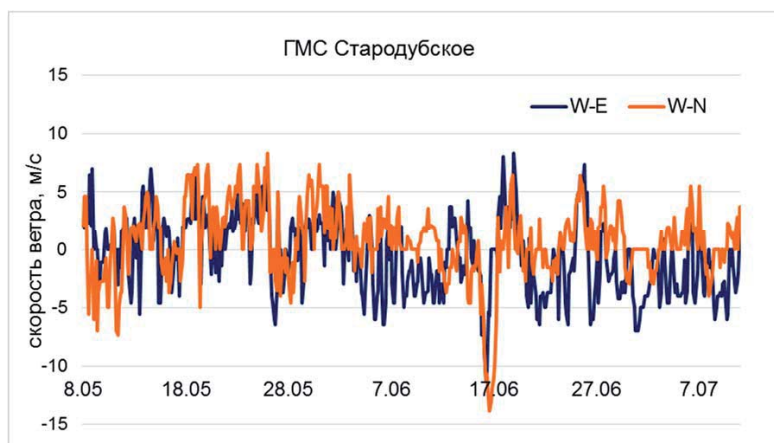


Рис. 7. Проекция на параллель ($W-E$, м/с) и на меридиан ($W-N$, м/с) измеренных на ГМС Стародубское векторов скорости ветра 10-минутного осреднения (направление – куда) в период с 8 мая по 11 июля 2019 г.

Fig. 7. Projections to the parallel ($W-E$, m/s) and to the meridian ($W-N$, m/s) of the 10-minute averaging wind speed vectors measured at the Starodubskoe weather station (direction – where) during the period from May 8 to July 11, 2019

Самая высокая температура (более 8 °C) и низкая соленость (менее 31,3 psu) отмечена с 16 по 24 июня при ветрах северо-восточного и север-

северо-восточного румбов. Этот интервал времени можно считать периодом даунвеллинга – хорошо выраженного заглужения поверхностной воды.

Анализ вертикальных распределений гидрологических показателей в первой декаде мая показал (рис. 8а, б), что водная толща в прибрежье характеризовалась небольшими вертикальными градиентами температуры ($0,2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$), которые были практически одинаковы от поверхности до дна на всем протяжении разрезов. Более теплая вода заглужалась в прибрежной зоне (наиболее теплая вода $8\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$) до глубины 3 м на участке протяженностью около 350 м, изотермы имели характерный наклон (наиболее значителен он был у изотермы $4\text{ }^{\circ}\text{C}$) и упирались в подводный береговой склон. Такая картина типична для даунвеллинга, формирующегося в результате заглужения поверхностной воды под действием нагонного ветра северо-восточного и север-северо-восточного румбов, который установился за двое суток до проведения съемки.

Распределение солёности в середине мая было более однородным, однако в зоне прибрежного мелководья, где была отмечена наиболее теплая вода, значения солёности были самыми низкими (рис. 8в, г). В большей степени это заметно на расположенном южнее разрезе 3, куда, вероятно, оттеснялся под действием ветра речной сток, находившийся в период проведения исследований на сравнительно низкой отметке.

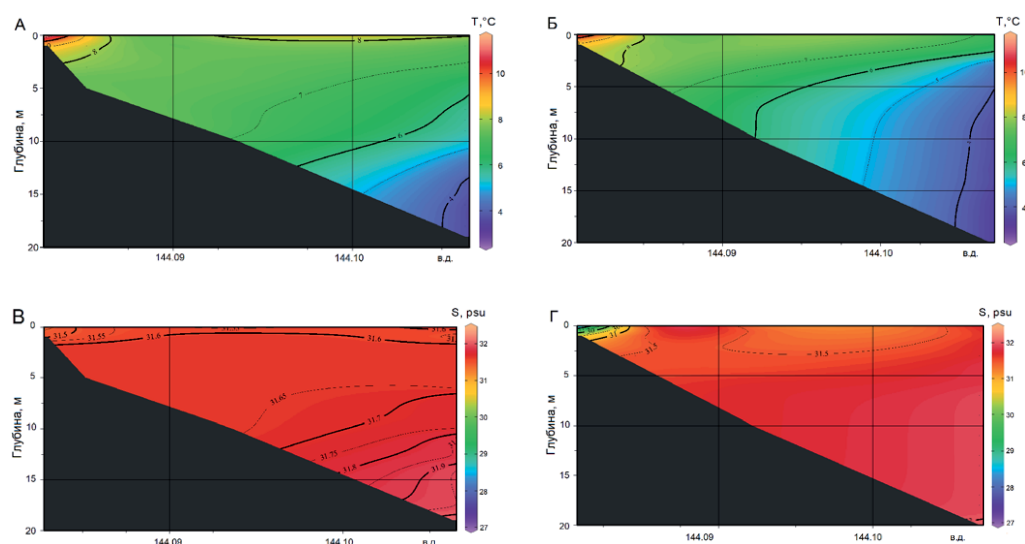


Рис. 8. Вертикальные распределения температуры (в $^{\circ}\text{C}$, верхние рисунки) и солёности (в psu, нижний) на разрезах 2 (слева) и 3 (справа) по результатам съемки 16 мая 2019 г.

Fig. 8. Vertical distributions of temperature ($^{\circ}\text{C}$, top figures) and salinity (psu, bottom) in sections 2 (left) and 3 (right) based on the survey results on May 16, 2019

В конце мая продолжался радиационный прогрев верхнего слоя. Температура воды на поверхности по-прежнему составляла около $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, однако за счет ветрового перемешивания и действия ветров нагонных восточного и северо-восточного направлений толщина слоя с температурой более $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ увеличилась до 10–12 м. Слой скачка не прослеживался, глубже 15 м температура воды составляла $3\text{--}4\text{ }^{\circ}\text{C}$. В литоральной зоне температура воды по-прежнему держалась на уровне около $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Около устья р. Долинка, как и ранее, наблюдался участок слабосолесной (30,2 psu) воды. Практически на всей остальной

исследуемой акватории, от поверхности до дна, соленость воды составляла около 32 psu. В начале июня гидрологическая обстановка в описываемом районе практически ничем не отличалась от наблюдавшейся в конце мая, что, вероятно, было обусловлено сходными метеорологическими условиями. Близ устья р. Долинка наблюдался приток распресненной (до 28,3 psu) воды, что говорит о значительном стоке реки в этот период.

В конце третьей декады июня гидрологические условия на изучаемом участке взморья резко изменились и характеризовались как существенно более холодные (рис. 9а, б), произошло понижение температуры воды на поверхности до 7–8 °С, особенно сильно это отмечалось в зоне прибрежного мелководья, где значения параметра снизились с 16 до 6 °С, наиболее теплая вода отмечалась на удаленных станциях разрезов. Холодные воды с температурой менее 4 °С поднялись до глубины 8 м на разрезе 2 и 5 м на разрезе 3. Данное явление стало следствием преобладания в предшествующие несколько суток достаточно сильных (7–9 м/с) юго-западных ветров, которые и привели к возникновению апвеллинга и оттоку теплых поверхностных прибрежных вод в море, хотя непосредственно в день проведения съемки ветер несколько стих, а затем начал менять направление на север-северо-восточное.

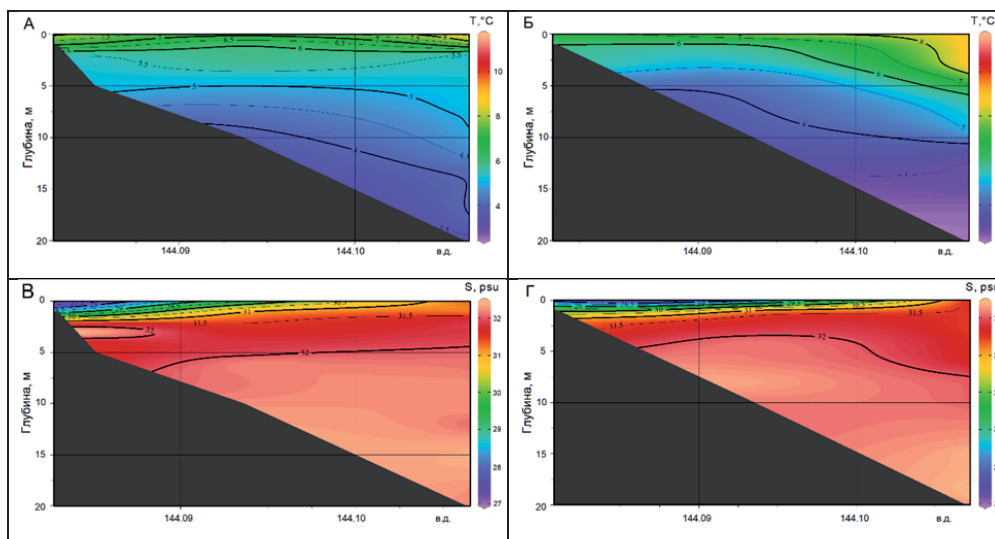


Рис. 9. Вертикальные распределения температуры (°С, верхние рисунки) и солености (psu, нижний) на разрезах 2 (слева) и 3 (справа) по результатам съемки 27 июня 2019 г.

Fig. 9. Vertical distributions of temperature (°C, top figures) and salinity (psu, bottom) in sections 2 (left) and 3 (right) based on the survey results on June 27, 2019

Распределения солености также существенно отличались от наблюдавшихся по результатам предшествующих съемок (рис. 9в, г). Распресненная вода, обусловленная влиянием речного стока, уже не была сосредоточена вблизи берега, а распространялась по поверхности моря практически по всей ширине разреза 3, несколько в меньшей степени это относится к разрезу 2. На глубине более 5 м соленость на всех станциях была выше 32 psu, вблизи берега на разрезе 2 отмечена линза более соленой воды на глубине около 3 м, связанная, скорее всего, с проявлением апвеллинга.

Устье реки Дудинка, 2020 г.

Температурные условия на юго-восточном побережье Сахалина по данным ГМС Стародубское в период проведения инструментальных измерений характеризовались сравнительно медленным прогревом, среднесуточная скорость роста составляла около $0,12\text{ }^{\circ}\text{C}$, за более чем два месяца температура выросла примерно на $8\text{ }^{\circ}\text{C}$. На этом фоне выделяются несколько случаев, когда температура атмосферного воздуха резко возрастала (30 мая – 1 июня, 10–11 июня и 3–7 июля), до $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более. Это связано с относительно невысокой долей ветров южного и юго-западного румбов (около 3 и 21%), которые приносят теплый воздух в регион. Погода была спокойной, за период наблюдений скорость ветра ни разу не превысила 10 м/с .

Как показано выше, воздействие ветра в особенности сказывается на гидрологических условиях прибрежных акваторий, поэтому вариации скорости ветра представляют значительный интерес при оценках их приемной емкости. В этих вариациях явно выделяются две составляющих – высокочастотная, с суточным периодом (бризы), и синоптического масштаба, с периодом около двух недель, более явно проявляющаяся в июле и менее устойчивая в первой половине периода наблюдений (рис. 10).

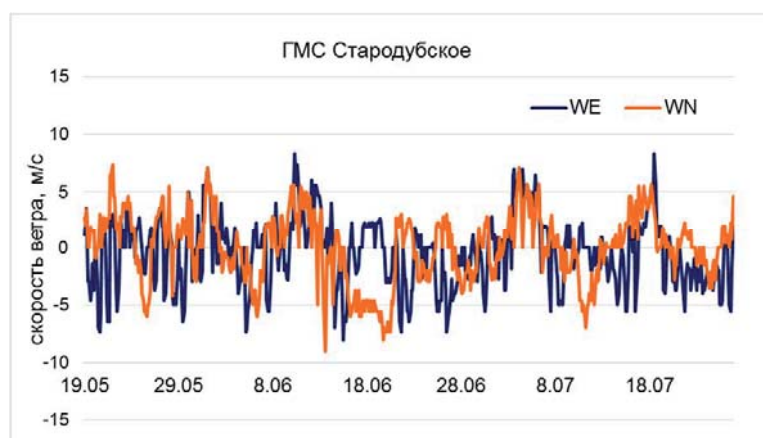


Рис. 10. Проекция на параллель ($W-E$, м/с) и на меридиан ($W-N$, м/с) измеренных на ГМС Стародубское векторов скорости ветра 10-минутного осреднения (направление – куда) в период с 19 мая по 26 июля 2020 г.

Fig. 10. Projections to the parallel ($W-E$, m/s) and to the meridian ($W-N$, m/s) of the 10-minute averaging wind speed vectors measured at the Starodubskoe weather station (direction – where) during the period from May 19 to July 26, 2020

На **рисунке 11** представлены графики вариаций температуры и солёности морской воды по результатам инструментальных измерений. В целом значения температуры были сравнительно низкими для данного района (средняя за весь период наблюдений $5,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, в то время как в районе устьев рек Островка и Долинка $3,8$ и $3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$), на фоне общего медленного прогрева (около $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ в сутки) наблюдалось пять случаев, когда температура резко снижалась, в мае и начале июня – до отрицательных значений. Эти понижения наблюдались в тех случаях, когда над районом измерений преобладали ветры ЮЗ румба, с которыми связано явление прибрежного апвеллинга, при этом были зафиксированы наиболее высокие значения температуры атмосферного воздуха. Наиболее

продолжительное понижение (до 2–3 °С) отмечено в период с 14 по 22 июля, оно наступило после максимального прогрева вод в прибрежной акватории (до 12°С). Наиболее стабильными термические условия были в течение трех недель (13 июня – 3 июля), когда значения температуры были около 8 °С.

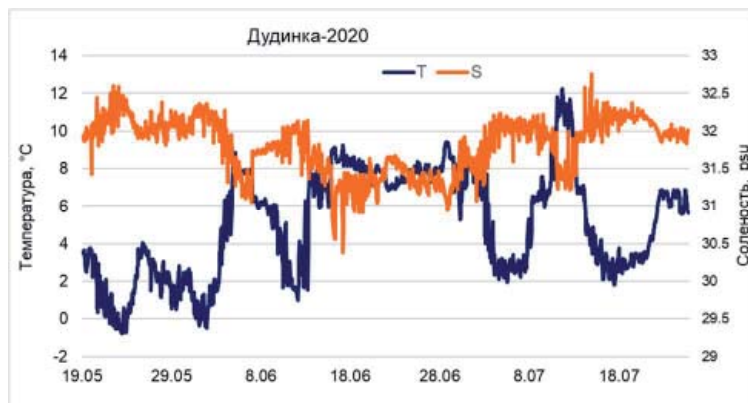


Рис. 11. Графики вариаций температуры (T , °С) и солёности морской воды (S , psu) по данным наблюдений в районе устья реки Дудинка в период с 19 мая по 26 июля 2020 г. на горизонте около 18 м

Fig. 11. Variations in temperature (T , °C) and salinity (S , psu) according to measurements at the ABS in the area of the Dolinka river mouth during the period from May 19 to July 26, 2020 at a horizon of about 18 m

Солёность изменялась в противофазе с температурой (коэффициент корреляции $-0,83$), среднее значение данного параметра составило 31,8 psu. При этом наиболее низкие значения солёности (среднее около 31,2 psu) наблюдались в период стабильных температурных условий. Этот интервал времени можно считать периодом заглупления поверхностных вод (даунвеллинга), индуцированного преобладающими ветрами восточного – северо-восточного румбов.

В целом, проявление апвеллинга в ранний морской период жизни лососей в 2020 г. было более слабым по сравнению с рассмотренными выше случаями, что, вероятно, обусловлено сравнительно невысокой долей ветров Ю–ЮЗ румбов. Ни одна из комплексных съёмок не совпала с развитием этого явления, поэтому их результаты в данной работе подробно не рассматриваются.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИБРЕЖНЫХ ТЕЧЕНИЙ

На **рисунке 12** представлены распределения течений по грациям скорости и 8 румбам (розы течений) по результатам инструментальных измерений на 3 АБС. Приливные течения в изучаемом районе незначительны, и главную роль в формировании прибрежных потоков играло ветровое воздействие. В районе устьев рек Островка и Дудинка течения ориентированы строго вдоль берега, роль поперечной берегу зональной составляющей невелика. Более сложная картина наблюдалась вблизи устья реки Долинка.

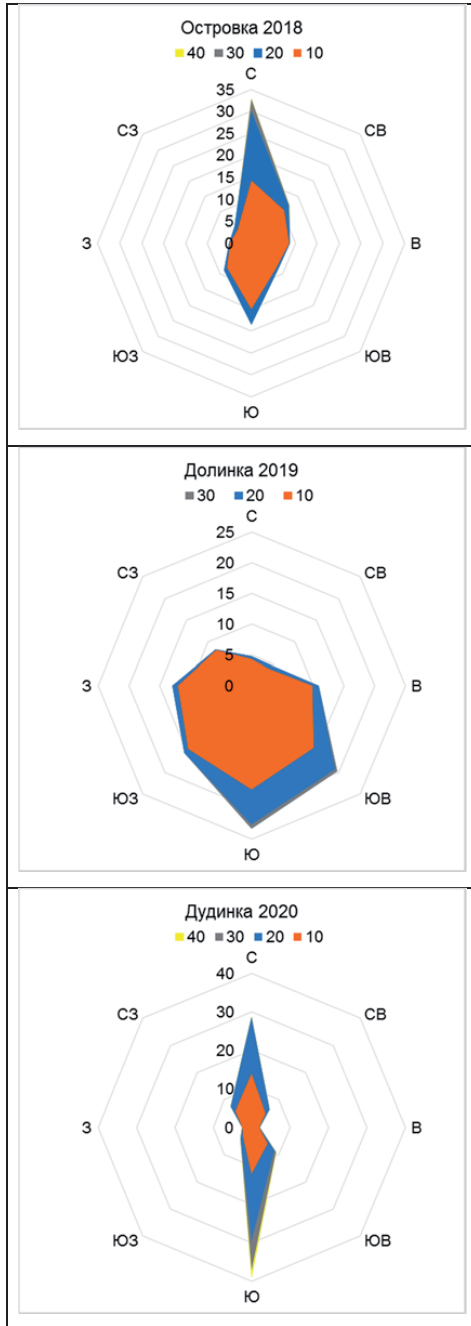


Рис. 12. Распределения течений по градациям скорости и 8 румбам по результатам инструментальных измерений вблизи устьев рек Островка (верхний рисунок), Долинка (средний) и Дудинка (нижний)

Fig. 12. Distribution of currents by velocity gradations and 8 directions according to the results of instrumental measurements near the mouths of the Ostrovka (upper figure), Dolinka (middle) and Dudinka (lower) rivers

В восточной части залива Анива явно преобладали течения, ориентированные на север – их повторяемость составляла 33%, этому же направлению отвечали и наибольшие значения средней (около 12 см/с) и максимальной (33 см/с) скоростей. Это типично для теплого периода года, циклоническая прибрежная циркуляция в заливе формируется под действием летнего муссона (Никонов, 2005; Шевченко и др., 2016). Доля южной составляющей также весьма существенна (18%, средняя скорость 7 см/с), что обусловлено заметной долей

ветров северо-восточного и близких к нему румбов. Полученные результаты показывают, что молодь лососевых рыб после ската будет перемещаться течениями вдоль берега преимущественно в северном направлении, вероятность ее сноса на юг примерно в два раза меньше.

В районе устья реки Долинка наиболее высокая повторяемость отмечена на южном и юго-восточном направлениях (около 23 и 20% соответственно), средняя скорость 7,5 см/с, максимальная 26 см/с. Заметен вклад юго-западной и западной составляющих (15 и 13%), а также восточной (11%), роль остальных румбов незначительна. Вероятно, это обусловлено тем обстоятельством, что в распределение по направлениям скорости ветра было близко к равномерному, ни одно направление явно не выделялось (максимальна была повторяемость отжимного ветра ЮЗ румба, составившая 24%). Таким образом, вероятность сноса мальков вдоль берега, в северном и северо-западном направлении, незначительна, они либо будут с наибольшей вероятностью перемещаться от устья реки в южном или юго-западном направлении, либо в направлении открытого моря. Отметим, что по инструментальным измерениям течений летом 2012 г. в районе м. Свободный, который находится на сравнительно небольшом удалении к югу от устья реки Долинка, повторяемость течений юго-восточного румба составила 44%, а северо-западного 19% (Шевченко и др., 2018). Скорее всего, несколько необычный характер распределения течений весной 2019 г. с низкой долей течений север-северо-западного румба сформировался под влиянием конкретных условий данного участка и связан с наличием каменистых форм донного рельефа к северу от места постановки станции, поэтому оценить вероятность сноса мальков в этом направлении достаточно сложно.

В районе устья реки Дудинка прибрежные течения имели строго меридиональную, вдольбереговую ориентацию. Наиболее высокую повторяемость имели течения южного румба (около 39%), велика была также доля северного направления (29%), вклад остальных был существенно меньше. На южном направлении отмечены также наибольшие значения средних (15 см/с) и максимальных (40 см/с) скоростей. Такая картина распределения течений с явным преобладанием вдольбереговых составляющих и южной компоненты вполне ожидаема для юго-восточного побережья о. Сахалин и согласуется с характером гидрологических условий в этом районе в теплый период года (Шевченко и др., 2020).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа материалов наблюдений, полученных при океанологическом сопровождении работ по оценке приемной емкости прибрежных акваторий, выявлено, что уже к середине мая под действием ветров прижимного характера (ЮЗ румба для восточного берега залива Анива и СВ для юго-востока о. Сахалин) формируется зона комфорта для молоди лососевых рыб как искусственного, так и естественного воспроизводства. Теплая вода в ней заглублена до 3–5 м, и ее протяженность от берега в минимальных вариантах составляет 300–400 м. Эта зона комфорта может разрушаться при смене направления воздушных потоков на противоположные, при этом могут наблюдаться резкие, до отрицательных значений, понижения температуры морской воды, что представляет серьезную угрозу массовой гибели молоди. Соленость, кото-

рая не является критическим параметром, изменяется в противофазе с температурой, что типично для акваторий, в которых в зависимости от направления действующих ветров развиваются явления апвеллинга и даунвеллинга.

Так, в районе устья реки Островка резкие понижения температуры наблюдались при отжимных ветрах северо-восточного и близких к нему румбов, которые весной и летом 2018 г. достаточно часто наблюдались над изучаемым районом несмотря на то, что в теплый период года обычно преобладают ветра южного – юго-западного румбов (летний муссон). У юго-восточного побережья Сахалина отжимной характер имеют ветра юго-западного и южного румбов (Шевченко, Кириллов, 2017). В районе устья реки Долинка наиболее значительное понижение температуры (до $-1,5^{\circ}\text{C}$) было зафиксировано в период с 18 по 21 мая 2019 г. на глубине около 17 м. Подобные ситуации являются важным фактором риска для молоди лососевых рыб на ранних стадиях ее жизненного цикла.

Еще одним важным результатом океанологических исследований была оценка преобладающего направления прибрежных течений. В акватории, прилегающей к устью рек Дудинка и Долинка, преобладают течения южного румба, что может приводить к сносу зоопланктона на различных стадиях развития и молоди лососевых рыб на ранней стадии в южном направлении. В районе устья реки Островка в весенне-летний период преобладают течения северного румба. Вероятность сноса мальков в противоположном доминирующему направлению примерно в два раза меньше, за исключением района р. Долинка, где подобная оценка была осложнена влиянием особенностей донного рельефа.

ЛИТЕРАТУРА

- Карпенко В. И. Ранний морской период жизни тихоокеанских лососей. – М. : ВНИРО, 1998. – 165 с.
- 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.
- Никонов Ю. Ю. Численное моделирование циркуляции вод в заливе Анива по данным океанографической съемки 26–31 мая 2004 года // Тр. СахНИРО. – 2005. – Т. 7. – С. 245–254.
- Пищальник В. М., Бобков А. О. Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин. Часть II. – Южно-Сахалинск, изд-во СахГУ, 2000. – 108 с.
- Шевченко Г. В., Частиков В. Н., Кириллов К. В. и др. Экспериментальные исследования течений в заливе Анива в 2003 г. // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2016. – Т. 9, № 4. – С. 35–46.
- Шевченко Г. В., Кириллов К. В. Вариации температуры воды у побережья о. Сахалин по данным инструментальных измерений // Метеорология и гидрология. – 2017. – № 3. – С. 68–78.
- Шевченко Г. В., Частиков В. Н., Кириллов К. В. Экспериментальные исследования гидрофизических процессов в районе мыса Свободный (юго-восточное побережье о. Сахалин) // Метеорология и гидрология. – 2018. – № 4. – С. 110–116.
- Шевченко Г. В., Цхай Ж. Р., Частиков В. Н. Особенности океанологических условий на юго-восточном шельфе о. Сахалин по данным съемок на стандартных разрезах и спутниковых наблюдений // Океанологические исследования. – 2020. – Т. 48, № 2. – С. 51–68.