

Среда обитания
водных биологических ресурсов
Диагноз и прогноз условий среды обитания гидробионтов

УДК 597–154.3:639.211

Аномальные гидрометеорологические условия в эстуарно-прибрежный период жизни горбуши Восточного Сахалина

Т.А. Шатилина², А.Я. Великанов¹, Г.Ш. Цициашвили³, Т.В. Радченкова³

¹ Сахалинский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «СахНИРО»), г. Южно-Сахалинск

² Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр (ФГБНУ «ТИНРО-Центр»), г. Владивосток

³ Институт прикладной математики ДВО РАН (ФГБНУ «ИПМ ДВО РАН»), г. Владивосток
E-mail: tatyana.shatilina@tinro-center.ru

Показано, что снижение численности горбуши, воспроизводящейся в реках восточного побережья Сахалина, во многом обусловлено неблагоприятными условиями обитания её молоди в эстуарно-прибрежный период жизни. Важным индикатором таких условий являются аномалии ТПМ в мае-июне. Экстремальное похолодание в прибрежных районах Сахалина обуславливается аномальным развитием региональных ЦДА. Анализ гидрометеорологических условий проведён методами интервального распознавания, учитывая его быстрое действие и достаточно хорошую точность. Это позволило существенно сократить усилия при анализе воздействия гидрометеорологических условий на жизненные циклы восточно-сахалинской горбуши. В результате применения метода интервального распознавания по комплексу гидрометеорологических параметров были получены высокие коэффициенты распознавания в годы экстремально низких уловов в нечётные и чётные годы. Исходя из полученных данных, для умеренной зоны критическими месяцами для воспроизводства и формирования численности горбуши Восточного Сахалина, а также её перераспределения по промысловым районам, являются май и июнь. Представлен региональный механизм взаимодействия атмосферы и океана в годы интенсивного развития Охотского антициклона, для которого характерно формирование локальных аномалий на фоне термобарических структур над центральным районом второго естественного синоптического района.

Ключевые слова: горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* Восточного Сахалина, эстуарно-прибрежный период жизни, аномалии ТПМ в мае-июне, метод интервального распознавания.

ВВЕДЕНИЕ

Изучению особенностей воспроизводства горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792), динамики её численности и уловов в различных по масштабу районах, от отдельных речных водоёмов до охвата всего видového ареала,

посвящено много научных трудов [Островский, 2014; 2016, Волобуев и др., 2017; Шунтов и др., 2014; Шунтов, 2016; Каев, Животовский, 2016; Radchenko et al, 2007].

Вместе с тем, вопросы воздействия гидрометеорологических условий на воспроизвод-

ство горбуши Восточного Сахалина с учётом изменений климатического режима до сих пор остаются мало исследованными. Несмотря на определённый прогресс и продвижение в понимании этой проблемы, общий объём достигнутых знаний, как и понимание основных причин, воздействующих на наблюдаемые колебания запасов горбуши этого района, до сих пор оставляют желать лучшего. Это становится особенно очевидным при оценке эффективности прогнозирования численности и годовых уловов горбуши в рассматриваемом районе, впрочем, как и во многих других районах её ареала [Котенёв и др., 2015; Шунтов, Темных, 2016].

Степень актуальности этих вопросов особенно возросла в настоящее время, в начале нового столетия, когда после достижения исторического максимума вылова в 2009 г. в объёме 224,34 тыс. т, численность возвратов горбуши поколений нечётных лет у берегов Восточного Сахалина стала ежегодно существенно сокращаться. В целом, первое десятилетие XXI века ознаменовалось рекордными уловами горбуши в районах Восточного Сахалина и южных Курильских островов [Каев, 2012]. Однако, в середине следующего 10-летия, наметился заметный спад численности этой рыбы, и соответственно, её уловов [Шунтов и др., 2015; Каев, Сидоренко, 2015; Каев, 2016].

Стремительно происходящие изменения численности горбуши, воспроизводящейся в реках Восточного Сахалина, привели к существенному сокращению объёмов её вылова, до уровня 40–60 тыс. т. в 2015–2016 гг. [Каев, 2016; Шунтов и др., 2015; 2016]. Конечно, по сравнению с её уловами в 1951–1988 гг. — 0,6–42,3 тыс. т приведённые цифры вылова представляются достаточно высокими, хотя они примерно в 4–6 раз ниже максимального уровня. Но, в общем, понятно, что период максимальной численности у всех популяций рыб довольно ограничен по продолжительности в связи с безостановочным процессом изменения условий воспроизводства и выживания поколений в меняющихся состояниях экосистем. Между тем, убедительных объяснений причин сформировавшегося нового тренда в динамике запасов горбуши данного района в литературе пока представлено не было.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оценки межгодовых и многолетних изменений уловов горбуши у Восточного Сахалина использовались статистические данные по её годовым уловам, взятые из базы данных ФГБНУ «СахНИРО» за период 1951–2015 гг., основанных на официальных статистических показателях ФГУП «Сахалинрыбвод» и Сахалино-Курильского территориального управления. Отклонения годовых уловов от среднемноголетней оценки (52,83 тыс. т) рассчитывались для периода 1980–2015 гг.

Основными данными для описания и оценки климато-океанологических условий у восточного побережья Азии послужили архивы реанализа (NCEP/NCAR) атмосферного давления, геопотенциала H_{500} и температуры воздуха в узлах регулярной сетки $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ за период 1950–2017 гг. Для анализа термических условий у Восточного Сахалина использовался архив Японского метеорологического агентства [JMA, 2018] за период 1985–2017 гг.

Для распознавания месяцев, в которые формируются критические условия (для эстуарного периода) для горбуши Восточного Сахалина, и для их статистической оценки применялся метод интервального распознавания, описанный в работах [Цициашвили и др. 2002, Шатилина и др., 2006]. Идея использования данного метода в работе по оценке гидрометеорологических условий, способствующих падению численности горбуши, основана на том, что наряду с достаточно низкой вычислительной сложностью коэффициенты распознавания оказались значительно выше, чем соответствующие коэффициенты корреляции. Это связано с тем, что критические моменты соответствуют большим выбросам во временном ряду, что плохо улавливается коэффициентами корреляции. Данный метод способен работать с большими объёмами данных и быстро их обрабатывать. В качестве сопутствующих признаков мы используем данные атмосферных параметров в узлах сетки для центрального района второго естественного синоптического района (е. с. р.) ($120\text{--}160^\circ$ в. д., $30\text{--}70^\circ$ с. ш.). В этот район входят Японское и Охотское моря и прилегающая часть Тихого океана. Над этим районом расположены основные региональные центры

действия атмосферы, такие как летняя Дальневосточная депрессия (ЛДД), Азиатская депрессия (АД), Охотский антициклон (ОА) и Гавайский антициклон (ГА).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1 представлен многолетний вылов горбуши в районе Восточного Сахалина и его линейные тренды.

Для оценки коэффициентов линейного тренда (a) и остаточной изменчивости (s) используется метод наименьших квадратов. Тренд считался значимым, когда значения для отношения коэффициента тренда к остаточной изменчивости (a/s) превышало или равнялось $0,04$, что позволяло проверить гипотезу о наличии тренда с точностью $0,95$ в рамках гипотезы о независимости и нормальном распределении флуктуаций.

Отметим, что представленную многолетнюю динамику уловов можно разделить на две серии лет (два периода), которые чётко выделяются как по направленности трендов, так и по диапазону величин годовых уловов. Если в 1951–1988 гг. уловы горбуши не превышали $42,3$ тыс. т и межгодовые колебания были небольшими, то в последующей серии они достигли исторического максимума $224,34$ тыс. т и в целом характеризовались значительной межгодовой амплитудой уловов.

На рис. 2 показана межгодовая изменчивость аномалий температуры воды у Восточного Сахалина (район $48^{\circ}-52^{\circ}$ с. ш., $142^{\circ}50'-150^{\circ}$ в. д.) в июне 1985–2017 гг.

Анализируя этот график, обратим внимание на два аспекта. Самые низкие аномалии ТПМ отмечены в 1985, 1993, 2001 и 2015 гг. На кривой также чётко выделяются две серии лет

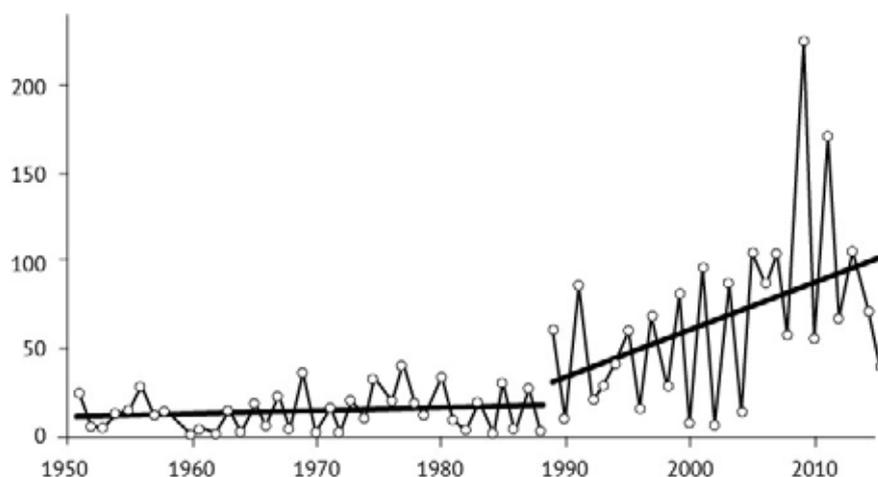


Рис. 1. Динамика уловов горбуши у Восточного Сахалина 1951–2015 гг. и линейные тренды, цифры на графиках обозначена значимость тренда (a/s) для двух периодов (1950–1988) и (1989–2015)

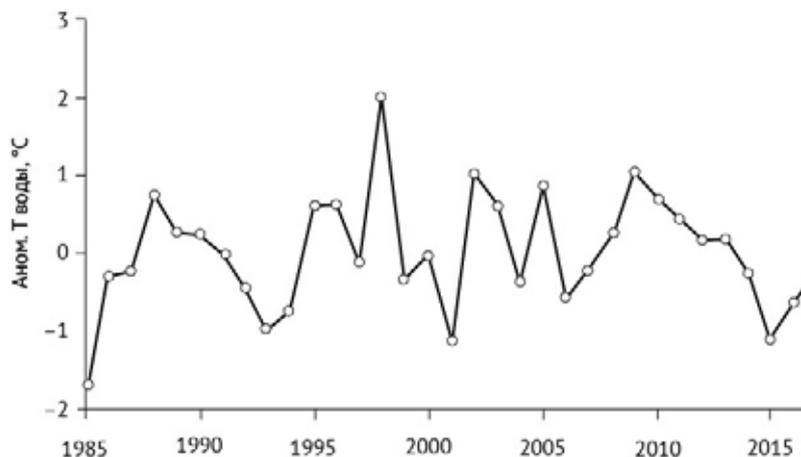


Рис. 2. Межгодовая изменчивость аномалий температуры воды в 1985–2017 гг. у Восточного Сахалина в июне

с устойчивым процессом понижения поверхностной температуры (1988–1993 и 2009–2017 гг.). Ниже мы рассмотрим, отражались ли указанные факты на уловах горбуши.

Наиболее тесная связь между динамикой H_{500} , характеризующей термический режим воздушных масс над Охотским морем, и уловами горбуши наблюдается в мае и июне, т. е. в эстуарный период (табл. 1).

Сравнительно невысокие коэффициенты корреляции между гидрометеорологическими

параметрами и уловами горбуши обусловлены тем, что во временных сериях гидрометеорологических параметров и величинах вылова присутствуют годы с большими выбросами. Поэтому для распознавания критических месяцев для воспроизводства горбуши в годы аномально низких уловов, применим метод интервального распознавания (табл. 2). Т.к. чётные годы традиционно характеризуются низкими значениями уловов горбуши, то из временного ряда динамики уловов были выбраны нечётные

Таблица 1. Коэффициенты корреляции между данными геопотенциала H_{500} над центрами действия атмосферы (ЦДА) и уловами горбуши на Восточном Сахалине

ЦДА	Янв.	Фев.	Мар.	Апр.	Май	Июн.	Июл.	Авг.	Сен.	Окт.	Ноя.	Дек.
ЛДД					0,31	0,54	0,39		0,49			
						<i>0,52</i>	<i>0,37</i>		<i>0,44</i>			
ОА					0,46	0,41					0,30	
					<i>0,53</i>	<i>0,35</i>	<i>0,33</i>				<i>0,38</i>	
ГА							0,43	0,31	0,42	0,35		
							<i>0,41</i>		<i>0,30</i>	<i>0,35</i>		
АД			0,30		0,35	0,40	0,43	0,46	0,47	0,42	0,36	
			<i>0,41</i>					<i>0,30</i>				

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения коэффициента корреляции между H_{500} для ряда 1950–2014 гг. и уловами горбуши для ряда 1951–2015 гг. Курсивом выделены значения коэффициента корреляции между H_{500} для ряда 1980–2015 гг. и уловами горбуши для ряда 1981–2015 гг.

Таблица 2. Коэффициенты распознавания p по геопотенциалу H_{500} , приземному давлению P_0 и температуре воздуха T_a в 1980–2014 гг. для трёх климатических районов (южный, умеренный и северный) для экстремально низких уловов горбуши (1981, 1983, 1985, 1987, 1993 и 2015 гг.).

	H_{500}			P_0			T_a		
	Южн.	Ум.	Сев.	Южн.	Ум.	Сев.	Южн.	Ум.	Сев.
Янв.	0,38	0,50	0,35	0,75	1,00	0,50	0,46	0,86	0,55
Фев.	0,67	0,50	0,67	0,50	0,60	0,35	0,55	1,00	0,86
Март	0,35	0,55	0,86	0,86	0,67	0,86	0,50	1,00	0,60
Апр.	0,43	0,35	0,55	0,27	0,40	0,35	0,75	0,40	0,50
Май	1,00	0,75	0,55	0,75	0,43	0,67	1,00	1,00	0,86
Июнь	0,50	0,75	0,67	0,55	0,67	0,67	1,00	0,75	1,00
Июль	0,86	0,86	0,75	0,75	0,67	0,60	1,00	1,00	0,86
Авг.	0,75	0,67	0,25	0,86	0,75	0,50	1,00	1,00	0,32
Сен.	1,00	0,86	0,55	0,86	1,00	0,75	0,86	1,00	0,60
Окт.	0,75	0,43	0,50	0,67	0,75	1,00	0,86	0,75	0,75
Ноя.	1,00	1,00	1,00	0,75	0,75	0,86	1,00	1,00	0,86
Дек.	0,30	0,46	0,38	0,75	0,75	0,26	0,46	0,86	1,00

Примечание. Жирным шрифтом выделены месяцы с коэффициентом распознавания более 0,75. Южный район расположен между 30–40° с. ш., 120–160° в. д., умеренный район — 45–55° с. ш., 120–160° в. д., северный район — 60–70° с. ш., 120–160° в. д.

годы с экстремально низкими значениями уловов (1981, 1983, 1985, 2003, 2015). Обычно нечётные годы характеризовались большими уловами, но в 2015 г. произошло резкое падение уловов горбуши и потребовалось выявление причин этого явления. По нашему мнению, одной из причин низких уловов горбуши в нечётные годы являются неблагоприятные гидрометеорологические условия в эстуарный период жизненного цикла горбуши, т. е. в предшествующие годы. Эта задача решалась методом интервального распознавания месяцев с критическими метеорологическими

условиями предшествующих годов. В таблице 2 приведены коэффициенты распознавания (n) по данным H_{500} , приземному давлению (P_0) и температуре воздуха (T_a) в узлах 5-ти градусной сетки для района $120-160^\circ$ в. д., $30-70^\circ$ с. ш. для трёх климатических районов (южного, умеренного и северного) со сдвигом на 1 год. Это позволило выявить месяцы аномальных гидрометеорологических условий в период ската мальков в море, т. е. в эстуарный период.

Видно, что по данным геопотенциала H_{500} наибольший коэффициент распознавания от-

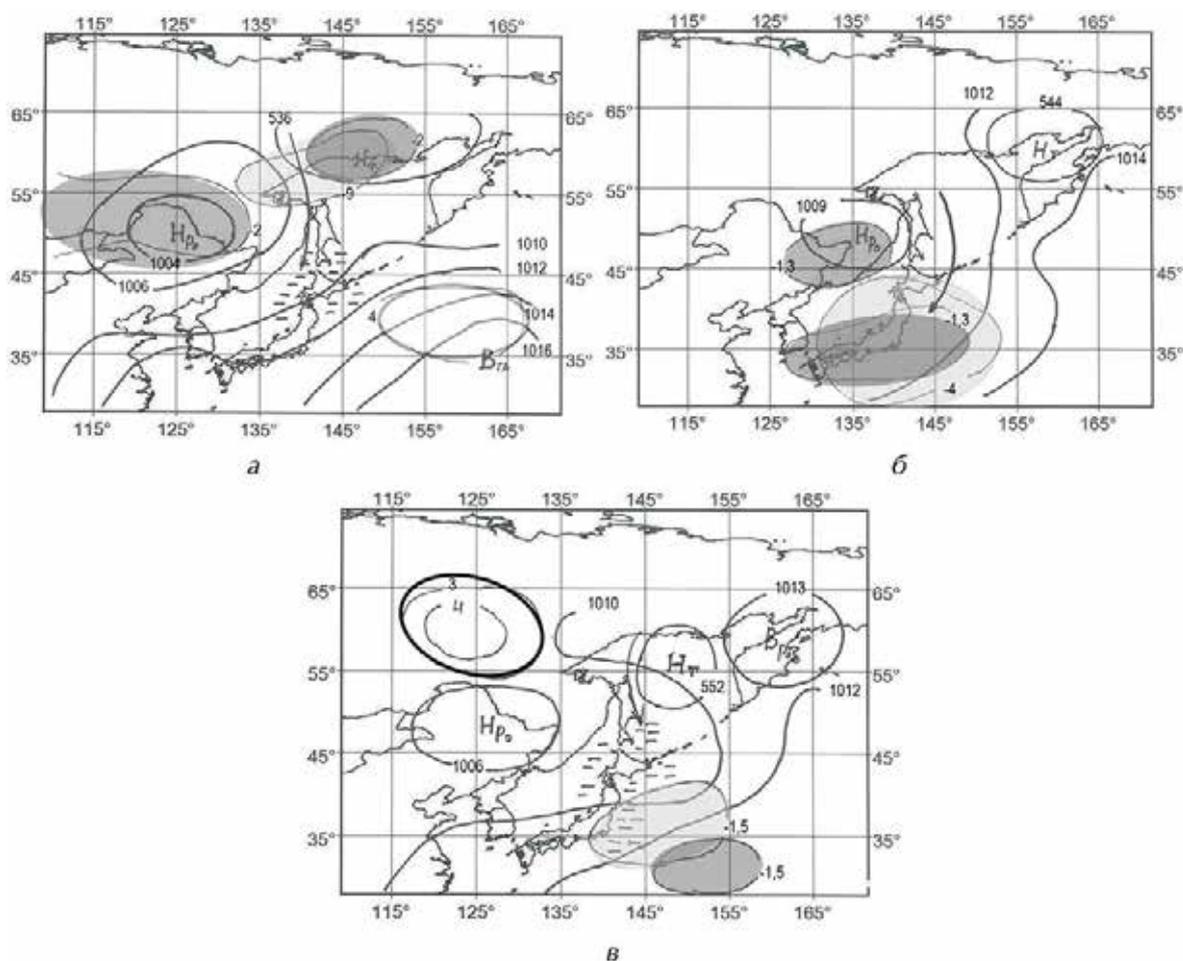


Рис. 3. Характерные структуры приземного поля (P_0) и геопотенциала (H_{500}), положение экстремальных областей геопотенциала (H_{500}) и приземной температуры воздуха (T_a) в мае в годы, предшествующие низким выловам горбуши нечетной линии.

a — 1980, b — 1992, v — 2014 г. H_{p0} — центр Дальневосточной депрессии, H_t — центр тропосферной депрессии, темно-серым цветом выделена область с низкой температурой воздуха у земли, светло-серым цветом обозначены области низких аномалий H_{500} , светлой замкнутой линией — область высоких аномалий H_{500} , штриховкой выделены области с отрицательными значениями поверхностной температуры воды, стрелкой показано направление холодных воздушных масс у земли, B_{p0} — центр Гавайского антициклона, B_{p0} — центр приземного Охотского антициклона, темной замкнутой линией выделена область с экстремально высокой температурой воздуха у земли

мечается в мае для южного и умеренного районов, в июне только для умеренного района. По данным приземного давления (P_0) высокие коэффициенты распознавания отмечаются в зимний период, а для всех районов — в сентябре. По данным температуры воздуха наибольшие коэффициенты распознавания выявлены для умеренной зоны практически для всех месяцев.

Анализ табл. 2 позволяет нам выявить аномальные гидрометеорологические условия, неблагоприятные для эстуарного периода восточно-сахалинской горбуши. На рис. 3 а, б, в представлены характерные структуры барических полей для мая.

Видно, что в мае в эстуарный период у побережья Восточного Сахалина формировались холодные температурные условия, обусловленные наличием холодных тропосферных депрессий над Охотским морем. Видно, что отрицательные значения поверхностной температуры воды наблюдаются в очагах экстремального понижения геопотенциала H_{500} , т. е. в дельте тропосферной ложбины.

Рис. 3 позволяет представить механизм воздействия барических полей на термический режим вод Курило-Сахалинского региона в мае для эстуарного периода горбуши Восточного Сахалина. На этом рисунке также видно, что климатические экстремумы имеют локальный характер, что подтверждает нашу версию о причинах низкой корреляции между региональными индексами и уловами горбуши.

В области локализации холодных воздушных масс наблюдается резкое понижение температуры воды в юго-западной части Охотского моря и в водах, прилегающих к побережью Восточного Сахалина. Видно, что отрицательные аномалии поверхностной температу-

ры воды у Восточного Сахалина обусловлены влиянием Охотского антициклона и положением холодной тропосферной ложбины.

В общем, можно говорить о том, что большие отрицательные аномалии ТПМ в мае-июне способствуют снижению выживаемости молоди горбуши Восточного Сахалина в прибрежье и формированию низкой численности её возвратов. Определённое влияние ледового режима на формирование условий нагула молоди горбуши у побережья Восточного Сахалина также прослеживается.

О влиянии пониженных температур на снижение уловов горбуши в определённой мере указывает и анализ данных о циклах устойчивого ежегодного понижения ТПМ от положительных к отрицательным аномалиям у Восточного Сахалина в июне (табл. 3). Как уже говорилось, в имеющемся ряду наблюдений было выявлено два таких цикла. По данным рис. 4 видно, что периоды лет устойчивого понижения аномалий ТПМ в 1988–1993 гг. и 2009–2015 гг. сопровождались постепенным снижением уловов (отклонением от среднемноголетней) в 1989–1994 гг. и 2010–2016 гг., соответственно.

В каждый из этих периодов наблюдалось постепенное смещение отклонений уловов горбуши от среднемноголетнего уровня с лагом на один год в сторону отрицательных значений. В отдельные годы отклонения уловов от среднемноголетней не укладывались в общий тренд. Однако выявленное понижение годовых уловов горбуши в оба указанных периода вряд ли можно считать случайным. Во-первых, очевидна повторяемость таких периодов со сходной реакцией горбуши на изменение численности. Во-вторых, по своей продолжительности выявленные периоды (6–7 лет) совпа-

Таблица 3. Экстремально низкие аномалии ТПМ у Восточного Сахалина в июне и отклонения уловов горбуши на следующий год

Год	Аномалия ТПМ, С	Интегральная ледовитость, %	Отклонение улова на следующий год, тыс. т
1985	-1,7	+280	-52,21
1993	-1,1	+220	-12,56
2001	-1,2	+150	-46,73
2015	-1,2	-50	+6,39

Примечание. Данные по интегральной ледовитости взяты из [Пицальник и др., 2016].

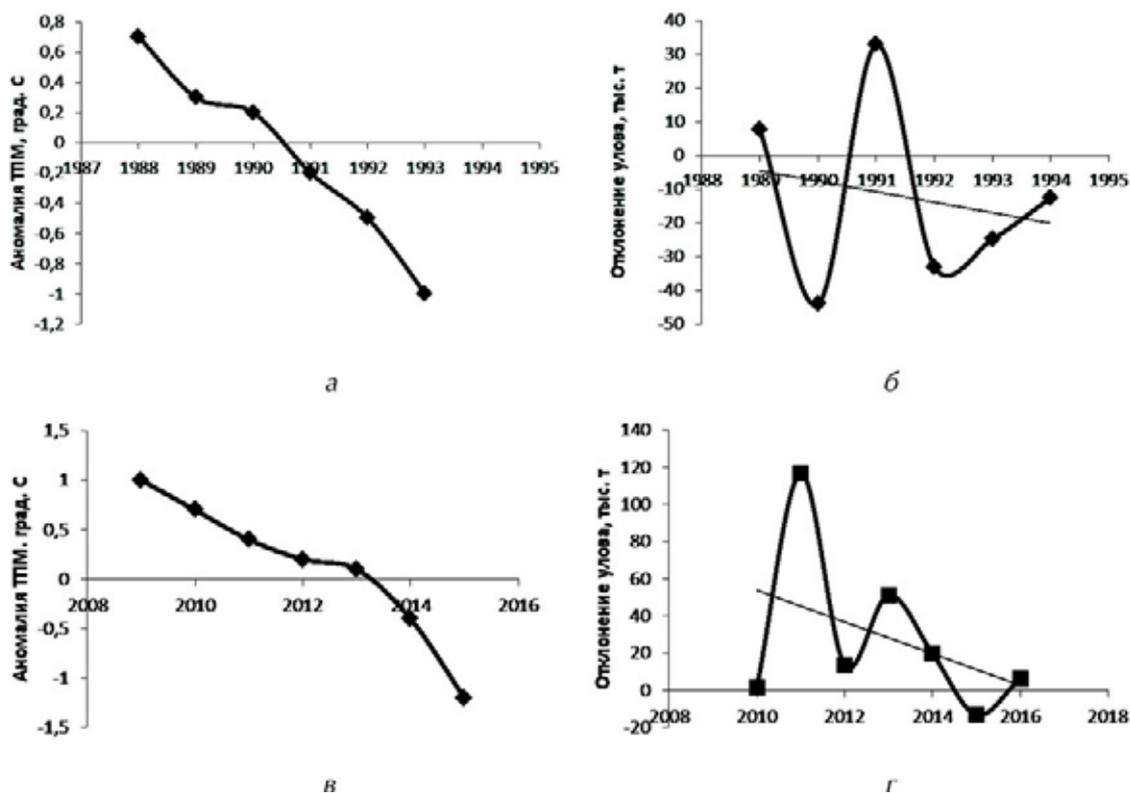
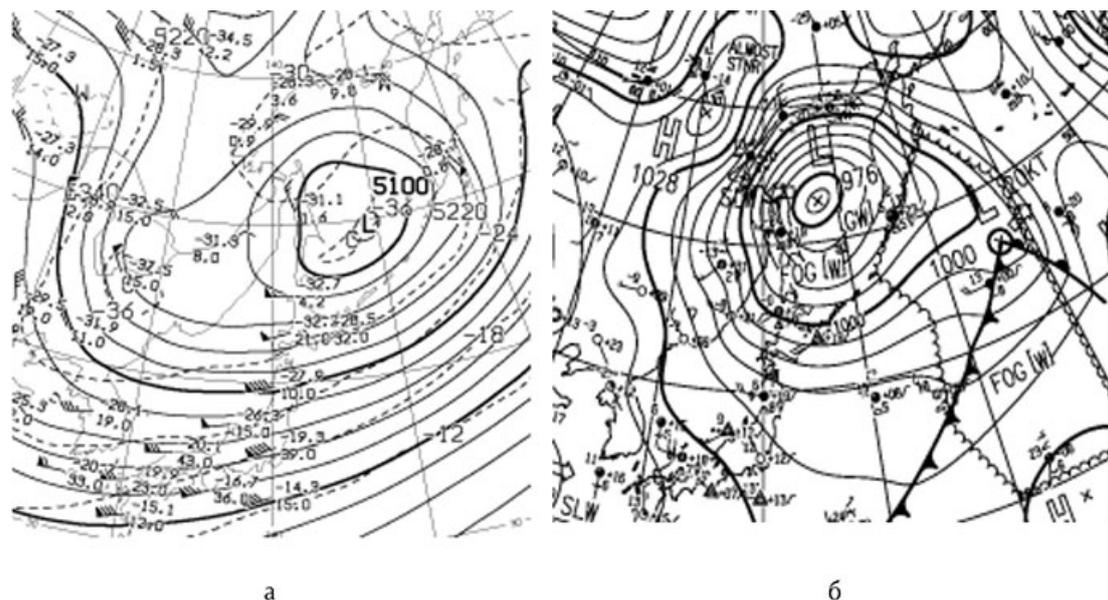


Рис. 4. Аномалии ТПМ у Восточного Сахалина в июне и отклонения уловов горбуши в циклы лет с устойчивым понижением температуры воды: аномалии ТПМ (а) и отклонения уловов в 1987–1995 гг. (б), аномалии ТПМ (в) и отклонения уловов в 2008–2015 гг. (г)

дают с установленной доминирующей 7-летней цикличностью уловов горбуши по методу Фурье для периода роста её уловов и для всего

представленного ряда 1951–2015 гг. (6 лет). Наличие квазিশестилетнего цикла термического режима вод (ТПМ) в Татарском проли-



ве и южной части Охотского моря ранее также отмечалось Шершневой и Шевченко [2005].

Можно предположить, что тренд снижения годовых уловов горбуши у Восточного Сахалина, сложившийся после 2009 г., в определённой, но существенной, мере обусловлен последовательным ухудшением условий выживаемости её молоди в ранний морской период жизни. Одним из индикаторов этого служит устойчивое ежегодное понижение ТПМ у Восточного Сахалина в мае-июне.

Определённый интерес представляет 100% распознавание в ноябре (в эти месяцы горбуша уже отложила икру в гнезда). Для нас этот результат несколько неожиданный. Видимо, эти годы характеризовались глубокими циклонами, выходящими на район Восточного Сахалина. Так, на рис. 5 показаны приземная карта и барическая (H500) за 14 ноября 2014 г. (характерная для ноября этого года).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для оценки эффективности воспроизводства горбуши Восточного Сахалина представляется продуктивной разработка гипотезы о влиянии термического режима вод на выживание молоди этой рыбы в эстуарно-прибрежный период её жизни. Согласно этой гипотезе для азиатских стад горбуши в годы с аномально холодным термическим режимом прибрежных вод в мае-июне условия выживаемости её молоди в прибрежье существенно ухудшаются. Соответственно, численность возвратов этой рыбы к побережью для нереста на следующий год значительно сокращается.

Видно, что район Восточного Сахалина находился под влиянием глубокой тропосферной депрессии и интенсивного циклона, что вызывало здесь сильный ветер и осадки. Такие атмосферные условия могли отрицательно повлиять на выживаемость горбуши в личиночной стадии.

В результате применения метода интервального распознавания по комплексу гидрометеорологических параметров были получены высокие коэффициенты распознавания в годы экстремально низких уловов в нечётные и чётные годы. Исходя из полученных данных, для умеренной зоны критическими месяцами для воспроизводства и формирования численно-

сти горбуши Восточного Сахалина, а также её перераспределения по промысловым районам, являются май и июнь.

Выявлен комплекс аномальных гидрометеорологических условий (геопотенциала H_{500} , приземного давления, температуры воздуха и воды), неблагоприятных для воспроизводства горбуши. Представлен региональный механизм взаимодействия атмосферы и океана в годы интенсивного развития Охотского антициклона, для которого характерно формирование локальных аномалий на фоне термобарических структур над центральным районом 2 е. с. р.

Для оценки эффективности воспроизводства горбуши Восточного Сахалина представляется продуктивной разработка гипотезы о влиянии термического режима вод на выживание молоди этой рыбы в эстуарно-прибрежный период её жизни.

В целом имеются основания полагать, что снижение численности горбуши, воспроизводящейся в реках восточного побережья Сахалина, во многом обусловлено неблагоприятными условиями обитания её молоди в эстуарно-прибрежный период жизни. Важным индикатором состояния таких условий обитания у восточных берегов Сахалина могут служить аномалии ТПМ в мае-июне, которые обуславливаются аномальными гидрометеорологическими процессами (усилением циклонической активности в мае и Охотского антициклона в июне).

Важно также рассмотреть гидрометеорологические процессы в период закладки икры и в период выхода сеголеток в южную часть Охотского моря. Отдельного внимания заслуживает анализ комплекса метеорологических условий в период выхода горбуши на нерест и её перераспределения по промысловым районам.

Такой анализ можно провести методами интервального распознавания, учитывая его быстрое действие и достаточно хорошую точность и возможность выявить локальные экстремальные условия. Это позволит существенно сократить усилия при анализе воздействия гидрометеорологических условий на жизненные циклы восточно-сахалинской горбуши.

ЛИТЕРАТУРА

- Волобуев В.В., Извергина Е.Е., Голованов И.С. 2017. Экология горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) Магаданского региона в пресноводный, эстуарный, начальный морской периоды жизни и основные факторы, определяющие ее выживаемость // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. № 1. С. 67–79.
- Каев А.В., Сидоренко М.Е. 2015. Прогноз и фактическое развитие промысла горбуши в 2015 г. в основных районах её воспроизводства в Сахалинской области // Изучение тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке, Владивосток: ТИНРО-Центр: Бюл. № 10. С. 35–40.
- Каев А.М. 2012. Развитие некоторых тенденций в динамике стад горбуши Восточного Сахалина и южных Курильских островов // Изучение тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке, Владивосток: ТИНРО-Центр: Бюл. № 7. С. 135–142.
- Каев А.М. 2016. Развитие промысла горбуши в 2016 г. в основных районах её воспроизводства в Сахалинской области // Изучение тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке, Владивосток: ТИНРО-Центр: Бюл. № 11. С. 68–76.
- Каев А.М., Животовский Л.А. 2016. Новые данные к дискуссии о локальных и флюктуирующих стадах горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* // Известия ТИНРО. Т. 187. С. 122–144.
- Котенёв Б.Н., Кровнин А.С., Кловач Н.В., Мордасова Н.В., Мурый Г.П. 2015. Влияние климато-океанологических факторов на состояние основных запасов горбуши в 1950–2015 гг. // Труды ВНИРО. Т. 158. С. 143–161.
- Островский В.И. 2014. Специфика современного прогнозирования запаса амурской горбуши // Изучение тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке, Владивосток: ТИНРО-Центр: Бюл. № 9. С. 84–90.
- Островский В.И. 2016. Траектории миграций амурской горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* к району размножения // Известия ТИНРО. Т. 186. С. 121–134.
- Пищальник В.М., Романюк В.А., Минервин И.Г., Батухтина А.С. 2016. Анализ динамики ледовитости Охотского моря в период с 1882 по 2015 гг. // Известия ТИНРО. Т. 185. С. 228–239.
- Цициашвили Г.Ш., Шатилина Т.А., Кулик В.В., Никитина М.А., Гольчева И.В. 2002. Модификация метода интервальной математики применительно к прогнозу экстремальной ледовитости в Охотском море // Вестник ДВО РАН. № 4. С. 111–118.
- Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченко-ва Т.В. 2006. Опыт использования метода интервального распознавания для прогноза экстремальной ледовитости Татарского пролива (Японское море) // Метеорология и гидрология. № 10. С. 65–72.
- Шершнев О.В., Шевченко Г.В. 2005. О прогнозировании термических условий в Сахалино-Курильском регионе по спутниковым данным // Известия ТИНРО. Т. 142. С. 161–187.
- Шунтов В.П., Темных О.С., Шевляков В.А. 2014. «Провальная» лососевая путина — 2014: ожидаемый общий результат и более благоприятная оценка на путину-2015 // Изучение тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО-Центр: Бюл. № 9. С. 3–10.
- Шунтов В.П., Темных О.С., Шевляков В.А. 2015. Лососевая путина — 2015: успехи и неудачи, контрасты «север—юг» // Изучение тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО-Центр: Бюл. № 10. С. 3–15.
- Шунтов В.П. 2016. Биология дальневосточных морей России. Владивосток: ТИНРО-Центр. Т. 2. 604 с.
- Шунтов В.П., Темных О.С. 2016. Дальневосточная лососевая путина-2016: хорошие результаты, успехи и ошибки в прогнозах и традиционный провал ВНИРО на путях объявленных им инновационных прорывов в прогнозировании численности и уловов рыб // Изучение тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО-Центр: Бюл. № 11. С. 3–13.
- Radchenko V.I., Temnykh O.S., Lapko V.V. 2007. Trends in abundance and biological characteristics of Pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in the North Pacific Ocean // NPAFC. Bull. No. 4: 7–21.
- JMA: Japan Meteorological Agency. Accessible via: <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/rtrdb/jma-pro.html>. 28.05.2018.

Поступила в редакцию 22.06.2018 г.
Принята после рецензии 29.06.2018 г.

Habitat of aquatic biological resources
Diagnosis and forecasting of habitat conditions of hydrobio

Abnormal hydrometeorological conditions in the estuarine-coastal period of the pink salmon life (eastern Sakhalin)

T.A. Shatilina², A.Y. Velikanov¹, G. Sh. Tsitsiashvili³, T.V. Radchenkova³

¹ Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI «SakhNIRO»), Yuzhno-Sakhalinsk

² Pacific Research Fisheries Centre (FSBSI «TINRO-Centre»), Vladivostok

³ Institute of applied mathematics FEB RAS (FSBIS «IAM FEB RAS»), Vladivostok

It is shown that the unfavorable conditions of the pink salmon habitat in the estuarine-coastal period of life (reproduction in the rivers of the eastern Sakhalin coast) leads to a decrease in its abundance. An important indicator of the state of such conditions is the SST anomalies in May-June. Extreme cooling in the coastal Sakhalin regions is caused by the abnormal development of regional atmospheric centers of action. The analysis of hydrometeorological conditions was carried out by the methods of interval recognition, taking into account its speed and rather good accuracy. This made it possible to significantly reduce efforts in analyzing the impact of hydrometeorological conditions on the life cycles of the East Sakhalin pink salmon. As a result of application of the method of interval recognition on a complex of hydrometeorological parameters, high recognition coefficients in years of extremely low catches in odd and even years were obtained. Based on the data obtained, may and June are critical months for the temperate zone for the reproduction and formation of the number of pink salmon of Eastern Sakhalin, as well as its redistribution by fishing areas. The regional mechanism of interaction of the atmosphere and ocean in the years of intensive development of the Okhotsk anticyclone, which is characterized by the formation of local anomalies against the background of thermobaric structures over the Central area 2 e. s. r.

Keywords: Eastern Sakhalin pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha*, estuarine-coastal period of life, the SST anomalies in May and June, the method of interval recognition.

REFERENCES

Volobuev V.V., Izergina E.E., Golovanov I.S. 2017. Ehkologiya gorbushi *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) magadanskogo regiona v presnovodnyj, ehstuarnyj, nachal'nyj morskoy periody zhizni i osnovnye faktory, opredelyayushhie ee vyzhivaemost' [Ecology of the pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) of the Magadan region in the freshwater, estuarine, initial marine periods of life and the main factors determining its survival rate] // Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN. № 1. S. 67–79.

Kaev A.V., Sidorenko M.E. 2015. Prognoz i fakticheskoe razvitie promysla gorbushi v 2015 g. v osnovnykh rajonakh ee vosproizvodstva v Sakhalinskoj oblasti [Forecast and actual development of the pink salmon fishery in 2015 in the main areas of its reproduction in the Sakhalin region] // Izuchenie tikhookeanskikh lososej na Dal'nem Vostoke. Vladivostok: TINRO-Tsentr. Byull. № 10 S. 35–40.

Kaev A.M. 2016. Razvitie promysla gorbushi v 2016 g. v osnovnykh rajonakh ee vosproizvodstva v Sakhalinskoj oblasti [Development of the pink salmon fishery in 2016

- in the main areas of its reproduction in the Sakhalin Oblast] // *Izuchenie tikhookeanskikh lososej na Dal'nem Vostoke*. Vladivostok: TINRO-Tsentr. Byul. № 11. S. 68–76.
- Kaev A.M.* 2012. Razvitie nekotorykh tendentsij v dinamike stad gorbushi vostochnogo Sakhalina i yuzhnykh Kuril'skikh ostrovov [Development of some trends in the dynamics of the pink salmon populations of the eastern Sakhalin and the southern Kuril Islands] // *Izuchenie tikhookeanskikh lososej na Dal'nem Vostoke*. Vladivostok: TINRO-Tsentr. Byul. № 7. S. 135–142.
- Kaev A.M., Zhivotovskij L.A.* 2016. Novye dannye k diskussii o lokal'nykh i flyuktuiruyushhikh stadakh gorbushi *Oncorhynchus gorbuscha* [New data on the discussion of local and fluctuating pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* populations] // *Izvestiya TINRO*. T. 187. S. 122–144.
- Kotenev B.N., Krovnin A.S., Klovach N.V., Mordasova N.V., Muriy G.P.* 2015. Vliyanie klimatookeanologicheskikh faktorov na sostoyanie osnovnykh zapasov gorbushi v 1950–2015 gg. [Influence of climatic-oceanological factors on the state of the main stocks of pink salmon in 1950–2015] // *Tr. VNIRO*. T. 158. S. 143–161.
- Ostrovskij V.I.* 2014. Spetsifika sovremennogo prognozirovaniya zapasa amurskoj gorbushi [Specificity of modern prediction of the Amur pink salmon stock] // *Izuchenie tikhookeanskikh lososej na Dal'nem Vostoke*. Vladivostok: TINRO-Tsentr. Byul. № 9. S. 84–90.
- Ostrovskij V.I.* 2016. Traektorii migratsij amurskoj gorbushi *Oncorhynchus gorbuscha* k rajonom razmnozheniya [Trajectories of the Amur pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* migrations to breeding areas] // *Izvestiya TINRO*. T. 186. S. 121–134.
- Pishhal'nik V.M., Romanyuk V.A., Minervin I.G., Batukhtina A.S.* 2016. Analiz dinamiki ledovitosti Okhotskogo morya v period s 1882 po 2015 gg. [Analysis of the ice cover dynamics in the Sea of Okhotsk between 1882 and 2015.] // *Izvestiya TINRO*. T. 185. S. 228–239.
- Tsitsiashvili G. Sh., Shatilina T.A., Kulik V.V., Nikitina M.A., Golycheva I.V.* 2002. Modifikatsiya metoda interval'noj matematiki primenitel'no k prognozu ehkstreml'noj ledovitosti v Okhotskom more [Modification of the interval mathematics method with reference to the extreme ice cover forecast in the Sea of Okhotsk] // *Vestnik DVO RAN*. № 4. S. 111–118.
- Shatilina T.A., Tsitsiashvili G. Sh., Radchenkova T.V.* 2006. Opyt ispol'zovaniya metoda interval'nogo raspoznavaniya dlya prognoza ehkstreml'noj ledovitosti Tatarskogo proliva (Yaponskoe more) [Experience of using the interval recognition method for the extreme ice cover forecasting of the Tatar Strait (Sea of Japan)] // *Meteorologiya i gidrologiya*. № 10. S. 65–72.
- Shershneva O.V., Shevchenko G.V.* 2005. O prognozirovanii tehmicheskikh uslovij v Sakhalino-Kuril'skom regione po sputnikovym dannym [On the prediction of thermal conditions in the Sakhalin-Kuril region according satellite data] // *Izvestiya TINRO*. T. 142. S. 161–187.
- Shuntov V.P., Temnykh O.S., Shevlyakov V.A.* 2014. «Proval'naya» lososevaya putina — 2014: ozhidaemyj obshhij rezul'tat i bolee blagopriyatnaya otsenka na putinu-2015 [“Failure” salmon fishing season — 2014: the expected overall result and a more favorable estimate for fishing season-2015] // *Izuchenie tikhookeanskikh lososej na Dal'nem Vostoke*. Vladivostok: TINRO-Tsentr. Byul. № 9. S. 3–10.
- Shuntov V.P., Temnykh O.S., Shevlyakov V.A.* 2015. Lososevaya putina — 2015: uspekhi i neudachi, kontrasty «sever–yug» [Salmon fishing season — 2015: successes and failures, contrasts “north-south”] // *Izuchenie tikhookeanskikh lososej na Dal'nem Vostoke*. Vladivostok: TINRO-Tsentr. Byul. № 10. S. 3–15.
- Shuntov V.P.* 2016. Biologiya dal'nevostochnykh morej Rossii [Biology of the Far Eastern seas of Russia]. Vladivostok: TINRO-Tsentr. T. 2. 604 s.
- Shuntov V.P., Temnykh O.S.* 2016. Dal'nevostochnaya lososevaya putina-2016: khoroshie rezul'taty, uspekhi i oshibki v prognozakh i traditsionnyj proval VNIRO na putyakh ob'yavlenykh im innovatsionnykh proryvov v prognozirovanii chislennosti i ulovov ryb [Far Eastern salmon fishing season-2016: good results, successes and mistakes in forecasts and the traditional failure of VNIRO on the paths of the innovative breakthroughs announced by him in predicting fish abundance and catches] // *Izuchenie tikhookeanskikh lososej na Dal'nem Vostoke*. Vladivostok: TINRO-Tsentr. Byul. № 11. S. 3–13.
- Radchenko V.I., Temnykh O.S., Lapko V.V.* 2007. Trends in abundance and biological characteristics of Pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in the North Pacific Ocean // *NPAFC. Bull.* No. 4: 7–21.
- JMA*: Japan Meteorological Agency. Accessible via: <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/rtrdb/jma-pro.html>. 28.05.2018.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Correlation coefficients between the geopotential H_{500} data over the atmosphere action centers and the pink salmon catches in the Eastern Sakhalin

Table 2. Recognition coefficients n for geopotential H_{500} , surface pressure P_0 and air temperature T_a in 1980–2014 for the three climatic regions (southern, temperate and northern) for extremely low pink salmon catches (1981, 1983, 1985, 1987, 1993 and 2015)

Table 3. Extremely low TTM anomalies at the eastern Sakhalin in June and deviations of salmon catches in the following year

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Dynamics of pink salmon catches off the East Sakhalin 1951–2015 and linear trends, the numbers in the graphs indicated the significance of the trend (a/s) for two periods (1950–1988) and (1989–2015)

Fig. 2. Interannual variability of water temperature anomalies near the Eastern Sakhalin in June (1985–2017)

Fig. 3. Characteristic structures of the surface field (P_0), geopotential (H_{500}), position of the geopotential (H_{500}) extreme regions and the surface air temperature (T_a) in May for the years preceding the low pink salmon catches of the odd line: a — 1980, b — 1992, в — 2014.

Legend: HP_0 — the Far Eastern depression center, H_T — the tropospheric depression center, BP_0 — the Okhotsk surface anticyclone center. Area with an extremely high surface air temperature is highlighted with a dark closed line, area with a low surface air temperature is highlighted with a dark gray colour, areas of low H_{500} anomalies are marked with a light gray colour, areas of high H_{500} anomalies are marked with a bright closed line, areas with negative values of the surface water temperature are highlighted with a hatching, direction of the cold surface air masses is marked with an arrow.

Fig. 4. SST anomalies off the Eastern Sakhalin island in June and the deviation of catches of pink salmon in the cycles of the years with a steady decrease in water temperature: SST anomalies (a) and the variances of the catches in 1987–1995. (б) SST anomalies (в) and variance of catches in 2008–2015 (г).

Fig. 5. Map H_{500} (a) and map of surface pressure (b) in November 2014