

ОБЗОРЫ

УДК 639.222.5:639.2.053.8

**О ПЕРСПЕКТИВАХ НОВОЙ «САРДИННОЙ ЭПОХИ»  
В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА**

© 2017 г. О.А. Булатов, Б.Н. Котенев, А.С. Кровнин

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства  
и океанографии, Москва, 107140  
E-mail: obulatov@vniro.ru

Поступила в редакцию 22.08.2016 г.

Выполненные исследования позволили установить, что благоприятные условия для воспроизводства дальневосточной сардины *Sardinops melanostictus* наблюдались в северо-западной части Тихого океана в периоды отрицательных зимних аномалий температуры поверхности океана, свидетельствующие об установлении субарктического гидрометеорологического режима в водах экосистемы Куро-Ойясио. Рост численности дальневосточной сардины, отмеченный в 2010–2015 гг. после многолетнего перерыва, объясняется появлением относительно урожайных поколений в результате похолодания поверхностных вод, вызванного усилением циклонической активности в районе экосистемы Куро-Ойясио в зимние периоды 2009–2015 гг. Биомасса нагульной сардины летом 2016 г. оценена в 1,7 млн т. Однако ухудшение условий воспроизводства зимой 2016 г., которое может сохраниться и зимой 2017 г., позволяет ожидать резкого снижения ее запасов в ближайшие годы. Новая «сардинная эпоха» с учетом ее цикличности, составляющей 55–60 лет, вероятно, может начаться не ранее чем через 10 лет.

**Ключевые слова:** дальневосточная сардина *Sardinops melanostictus*, экосистема Куро-Ойясио, биомасса, аномалии температуры поверхности океана.

ВВЕДЕНИЕ

Дальневосточная сардина *Sardinops melanostictus*, или, как ее обычно называют, сельдь-иваси, является флуктуирующим видом, для которого характерны значительные изменения запасов. В периоды высокой численности ареал этого вида охватывает умеренные широты северной части Тихого океана от берегов Кореи до побережья США, а также субарктические воды Ойясио, Берингово и Охотское моря. Особенно многочисленна сардина в тихоокеанских водах экосистемы Куро-Ойясио (ЭКО), где она обитает совместно с другими массовыми пелагическими рыбами и беспозвоночными: скумбрией *Scomber japonicus*, ставридой *Trachurus japonicus*, анчоусом *Engraulis japonicus*, сайрой *Cololabis saira*, а также различного вида кальмарами.

История наблюдений за вспышками численности сардины насчитывает несколько столетий. Согласно данным японских хроник, в XVI–XIX вв. в каждое столетие отмечалось не менее одной вспышки численности (Uda, 1952; Ito, 1961; Tsuboi, 1987; Yasuda et al., 1999). Известно, что в XX в. были зафиксированы два периода высоких уловов сардины японскими рыбаками: в 1925–1941 и 1973–1994 гг. Если в первом случае вылов превысил 2,5 млн т, то во втором достиг 4,5 млн т (рис. 1).

В период высокого уровня запасов дальневосточная сардина имела важное значение не только для японского промысла, но и для отечественного рыболовства. В 1990 г. был достигнут исторический максимум ее вылова — 0,9 млн т. Промысел сардины развивался очень быстро. Появление первого уро-

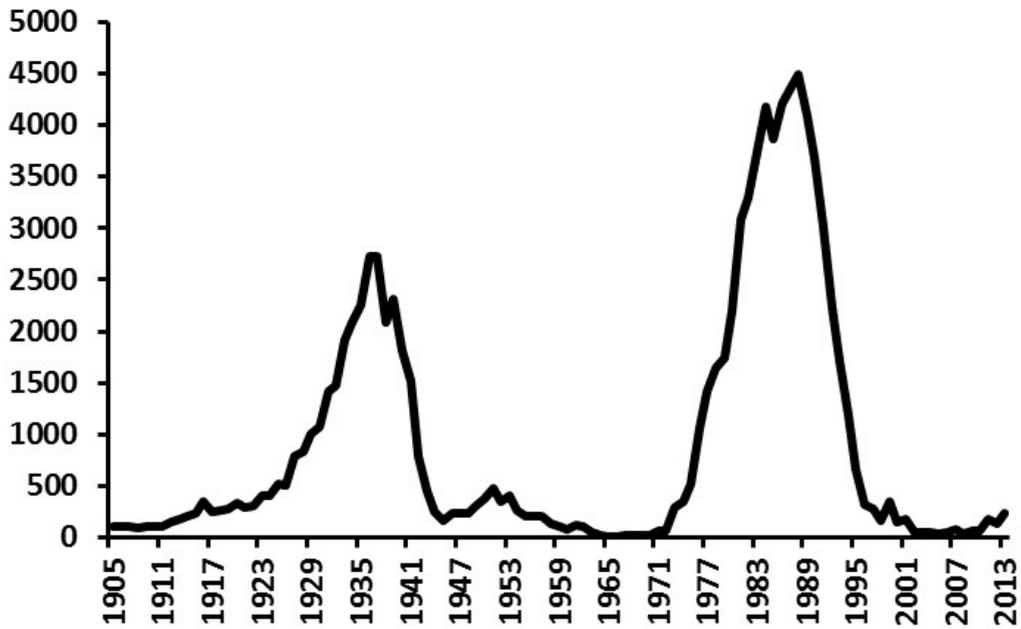


Рис. 1. Уловы японской сардины в 1905–2013 гг., тыс. т.

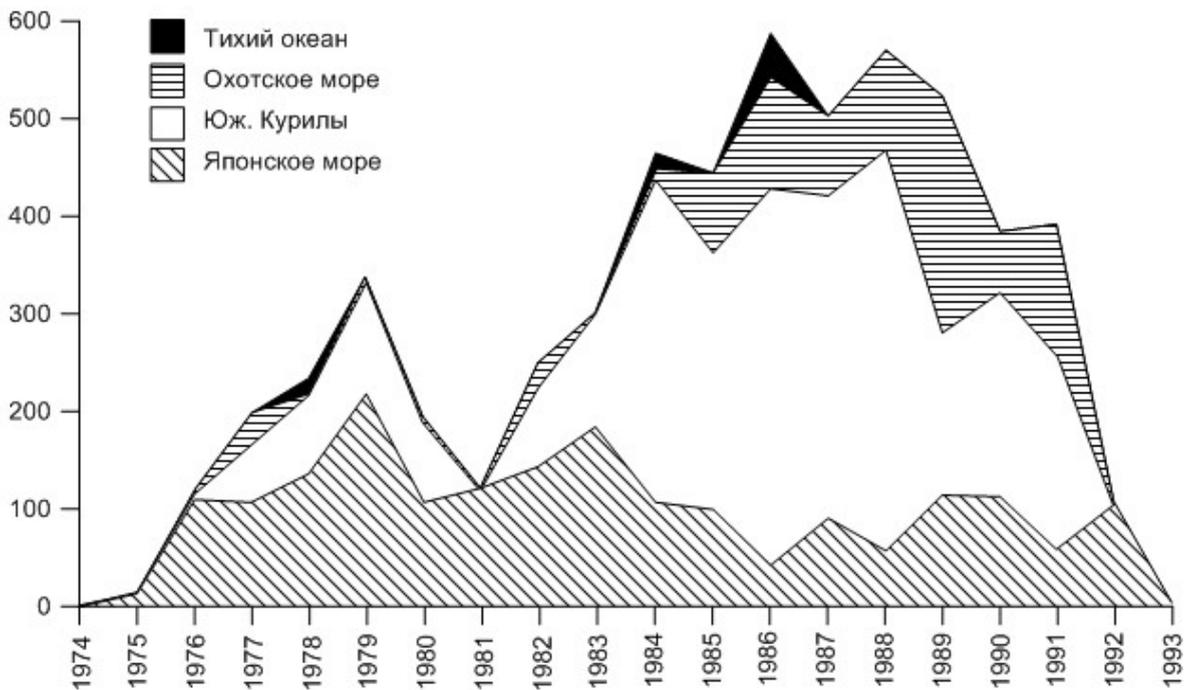
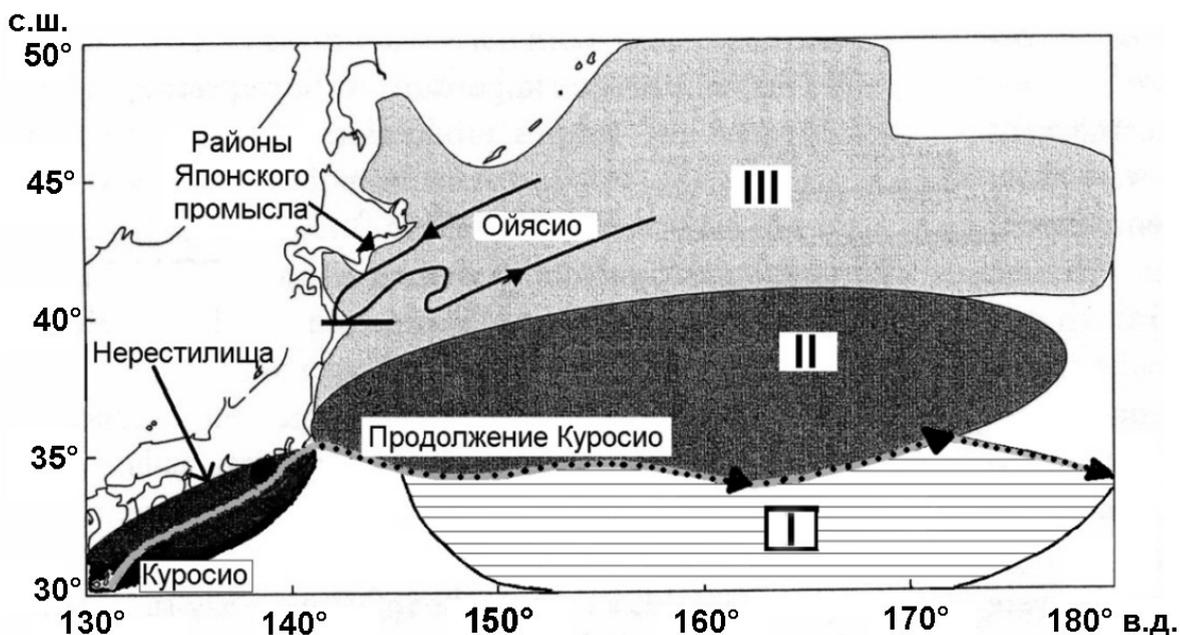


Рис. 2. Российский вылов сардины в Тихом океане и Охотском море в 1974–1993 гг., тыс. т (по: Беляев, 2004).

жайного поколения в 1972 г. позволило нашим рыбакам всего за четыре года значительно нарастить вылов в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) Японии и довести его до уровня 100 тыс. т. Следует отметить, что до 70% уловов обеспечивала тихоокеанская популяция, максимальный российский вылов которой в период последней «сардинной эпохи» достигал 550–580 тыс. т (рис. 2). В 1983–1991 гг. значительную долю уловов



**Рис. 3.** Распределение различных стадий жизненного цикла сардины в период роста запасов в экосистеме Курросио—Ойясио: I — район нагула постличинок и ранней молодежи (в области рециркуляции вод Продолжения Курросио); II — район нагула молодежи (в районе смешения вод Курросио—Ойясио); III — район нагула рыбы в возрасте 1+ и старше (в районе вод Ойясио) (по: Yatsu et al., 2005, с дополнениями).

составляла сардина, мигрирующая в летне-осенний сезон к побережью южных Курильских о-вов (рис. 2).

Таким образом, на протяжении 15 лет сардина имела большое значение для наших рыбаков. Однако в начале 1990-х гг. в связи с резким снижением запасов масштаб миграций в ИЭЗ Российской Федерации значительно сократился, что привело к сворачиванию этого вида промысла. В дальнейшем, после наступления депрессии запасов вплоть до 2009 г., наблюдалось появление всего двух урожайных поколений — 1996 и 1997 гг. рождения (Sakuramoto, 2013; Kawabata et al., 2013), которые, конечно, не могли компенсировать резкого снижения запаса, наблюдавшегося с начала 1990-х гг.

Скопления сардины в субарктических водах ИЭЗ России, обнаруженные в 2015 г. в ходе летних исследований ТИНРО-Центра, были оценены в 700 тыс. т (личное сообщение Д.В. Антоненко). С учетом актуальности для рыбного хозяйства Дальневосточного региона перспектив возрождения промысла сардины важно получить ответ на

вопрос: являются ли отмеченные в последние годы урожайные поколения свидетельством начала новой «сардинной эпохи» или нет?

Формирование высокого уровня запасов сардины («сардинных эпох») связано как с биологическими, так и абиотическими процессами, происходящими в пределах ее обширного ареала (рис. 3). Поэтому основной задачей настоящей работы являлся анализ многолетней изменчивости запасов сардины в пределах ЭКО с учетом их взаимодействия с абиотическими факторами среды.

Важнейшей особенностью распространения тихоокеанской популяции сардины является обитание этого вида в субтропических и субарктических водах, а также в зоне их смешения (рис. 3). В субтропических водах происходит нерест, развитие икры и нагул личинок, а в смешанных — нагул молодежи. Именно в этих районах формируется численность годовых классов. В более холодных субарктических водах происходит нагул сеголеток, созревающей и половозрелой рыбы, т.е. формируются промысловый и нерестовый запасы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных разными авторами исследований установлено, что «сардинные эпохи» являются следствием появления ряда урожайных поколений при формировании благоприятных условий для высокой выживаемости личинок и молоди в субтропических и смешанных водах (Ватанабе, 1981; Беляев, Кеня, 1987; Соколовская, 1988; Kawasaki, 1993; Noto, Yasuda, 1999; Nakata et al., 2000; Watanabe, 2009; Nishikawa et al., 2011; Yatsu et al., 2013; Tian et al., 2014). Аномальное усиление зимних ветров, прежде всего северных и западных румбов, характеризуется развитием отрицательных аномалий температуры поверхности океана (АТПО) и заглублением слоя конвективного перемешивания, что приводит к увеличению концентраций биогенных элементов в фотическом слое. Это явление сопровождается резким увеличением биопродуктивности субтропических вод в зимне-весенний период, что создает благоприятные условия для повышенной выживаемости личинок и формирования урожайных годовых классов сардины (Ватанабе, 1981; Беляев, Кеня, 1987; Kawasaki, 1993; Sugimoto et al., 2001; Takasuka et al., 2008; Watanabe, 2009; Yatsu et al., 2013; Tian et al., 2014). Можно говорить о том, что в такой период в субтропических водах ЭКО устанавливается холодный субарктический гидрометеорологический режим. В периоды аномального ослабления зимних ветров в субтропических водах, напротив, развиваются положительные АТПО и мелкий перемешанный слой, т.е. формируется типичный субтропический гидрометеорологический режим, при котором биопродуктивность вод существенно ниже. Поэтому изучение связи «сардинных эпох» с различными гидрометеорологическими режимами представляется исключительно важным.

Предшествующими исследованиями выявлены связи «сардинных эпох» с глобальными и региональными климатическими процессами (Шунтов, Васильков, 1981,

1982; Шунтов и др., 1984; Шунтов, 1986; Lluch-Belda et al., 1989; Kawasaki, 1993; Yasuda et al., 1999; Chaves et al., 2003; Кляшторин, Любушин, 2005; Alheit, Bakun, 2010; Yatsu et al., 2013). Было установлено, что данные процессы характеризуются циклическими колебаниями с периодом от 20–30 до 50–70 лет (Trenberth, 1990; Trenberth, Hurrell, 1994; Minobe, 1997, 1999; Mantua et al., 1997, 2002), что создает основу для прогнозирования возможных изменений климата в пределах северо-западной части Тихого океана (СЗТО) и ЭКО в будущем.

*Биологические причины возникновения «сардинных эпох».* Основными биологическими особенностями сардины являются: высокий темп роста, ранний возраст наступления половой зрелости (2 года), умеренная плодовитость, использование в питании организмов низших трофических уровней (фито- и зоопланктона), огромная площадь ареала в периоды высокой численности (Kawasaki, 1980). Относительно высокая продолжительность жизни (5–6 лет) позволяет особям урожайных поколений участвовать в нересте неоднократно, что существенно увеличивает репродуктивный потенциал и при благоприятных условиях обеспечивает быстрый рост численности и биомассы сардины.

При создании благоприятных условий обеспеченностью пищей личинок и молоди в субтропических и смешанных водах (Кун, 1969; Кун и др., 1978; Kondo, 1980; Федосова, 1988; Kasai et al., 1997) в зимне-весенний период и происходит формирование урожайных поколений. Численность личинок сардины в 5 млн экз., учтенная в 1972 г. (Кеня, Соколовская, 1977), положила начало взрывному, экспоненциальному, росту запаса в последнюю «сардинную эпоху».

Основной рост биомассы сардины в 1970-е гг. наблюдался на северных нерестилищах, где размножается тихоокеанская субпопуляция сардины (Kondo, 1980; Ватанабе, 1981; Watanabe, 1983). Кроме того, размножение сардины отмечается на юге, у побережья Южной Японии, где находят-

ся нерестилища так называемой субпопуляции Ашизури. Отмечено, что в разные «сардинные эпохи» доминировали разные субпопуляции. Так, в 1920-е—1930-е гг., в первую «сардинную эпоху» XX в., основное воспроизводство сардины происходило на южных нерестилищах, тогда как в первой половине последней «сардинной эпохи» (1970-е гг.) — на северных нерестилищах. Во второй половине последней «сардинной эпохи» (1980-е гг.), когда биомасса запаса достигла максимума, основное воспроизводство сместилось на южные нерестилища (Kondo, 1980; Ватанабе, 1981; Watanabe, 1983; Шунтов и др., 1984; Беляев, Кеня, 1987).

Важно отметить, что этап основного роста биомассы запаса в последнюю «сардинную эпоху» связан с 1970-ми гг., когда нерест в основном происходил на северных нерестилищах. В этот период нерестовый запас был представлен преимущественно крупноразмерными раносозревающими (2 года) особями, имеющими высокую жирность (Шунтов и др., 1984; Kawasaki, Omori, 1995; Wada, Oozeki, 1999; Беляев, 2004). Близкое расположение северных нерестилищ и высокопродуктивных океанических районов не только способствовало формированию благоприятных условий для нагула личинок, сеголеток и созревающих рыб, но и позволило особям значительно снизить энергетические затраты, что в дальнейшем создало предпосылки для преобладания крупноразмерных рыб в нерестовом запасе.

После достижения биомассы сардины предельного для ЭКО уровня в 15 млн т в первой половине 1980-х гг. наблюдалось смещение центра воспроизводства к побережью Южной Японии. По нашему мнению, это произошло вследствие интенсификации прибрежной ветви Ойясио, воды которой стали проникать на юг до  $34^{\circ}$ — $36^{\circ}$  с.ш. (Федосова, 1988). Сильное выхолаживание вод на северных нерестилищах, по-видимому, создало неблагоприятные условия для размножения и явилось причиной смещения центра воспроизводства на юг.

В результате в южной части ареала в 1980—1981, 1983—1984, 1986—1987 гг. появились урожайные поколения. В эти годы на южных нерестилищах было зафиксировано максимальное количество икры, а площадь нереста расширилась до района течения Куроисио и к востоку от него (Watanabe et al., 1996). Однако в первой половине 1980-х гг. биомасса сардины продолжала оставаться на уровне 15 млн т.

Во второй половине 1980-х гг. рост биомассы продолжился и сопровождался расширением зоны нагула до  $180^{\circ}$  в.д. и далее на восток, охватывая зону смешения вод Куроисио и Ойясио, субарктическую фронтальную зону и Продолжение течения Куроисио. Однако по сравнению с 1970-ми во второй половине 1980-х гг. в популяции сардины наблюдались следующие негативные изменения: отмечалось более позднее наступление полового созревания; уменьшились средние размеры; существенно снизилась жирность особей, что было вызвано увеличением протяженности миграций и большими энергетическими затратами особей. Наряду с этим при достижении в конце 1980-х гг. максимального уровня запасов — 19 млн т — воздействие фактора плотности, по-видимому, усилилось еще больше. Кроме того, потепление поверхностных вод в районах нагула личинок и молоди в 1988—1991 гг., возможно, привело к существенному снижению биопродуктивности, что и обусловило появление ряда неурожайных поколений. Все эти изменения стали предвестниками окончания «сардинной эпохи». В результате после достижения максимального уровня запасов в 1995 г. наступил коллапс биомассы, которая сократилась в 38 раз — с 19 до 0,5 млн т.

Ряд авторов данный характер долговременной изменчивости биомассы запаса сардины отнесли к «спазматическому» типу (Kawasaki, 1980; Caddy, Gulland, 1983; Spencer, Collie, 1997). Он выработался в ходе эволюции, при обитании сардины в поверхностном слое вод обширной зоны умеренных и субарктических широт, т.е. практически в неограниченной (благодаря течениям) эко-

логической нише, которая характеризуется значительной межгодовой изменчивостью условий обитания.

При высокой биомассе сардины в 1980-е гг., когда данный вид составлял до 90% ихтиоценоза ЭКО, потребление ею планктона многократно возросло. Беляев (2004) предполагает, что рост потребления фитопланктона сардиной привел к уменьшению численности растительного зоопланктона, что вызвало обострение пищевой конкуренции среди пелагических рыб (скумбрии и анчоуса) в районах нагула и в дальнейшем привело к существенному сокращению их численности. Однако, как показали исследования японских ученых (Takasuka et al., 2007; Takahashi et al., 2009), данное предположение не подтвердилось. Установлено, что чередование «сардинных эпох» и фаз их низкой численности, когда увеличивался запас анчоуса, связано не с условиями питания, а с различными оптимальными для успешного воспроизводства сардины и анчоуса температурами. Если для развития личинок и молоди сардины оптимальный диапазон температуры воды составляет 16,4–18,9°C, то для анчоуса он выше — более 17,3–22,0°C.

Кроме того, анализ динамики уловов пелагических рыб в ЭКО показывает, что снижение уловов анчоуса началось с 1972 г., когда биомасса сардины находилась на низком уровне. Следовательно, это явление не связано с высокой численностью сардины, а было вызвано появлением ряда неурожайных поколений анчоуса, отмеченных в конце 1960-х гг.

Возможно, снижение урожайности поколений и, соответственно, уловов скумбрии с конца 1970-х гг. (Иванов, Беляев, 1996) могло быть связано с ростом биомассы сардины до 10 млн т и усилением конкуренции (Kishida, Matsuda, 1993). Однако известно (Беляев, Рыгалов, 1986), что с 1979 г. значительные изменения океанологического режима в районе нереста скумбрии, в результате которых возросла интенсивность выноса течением Куроисио личинок скумбрии

в открытый океан, негативно повлияли на их выживаемость, снизив численность годовых классов. Таким образом, главная причина появления неурожайных поколений скумбрии в 1980-е гг. заключалась в изменении динамики вод в районе нереста, вызвавшем значительное ухудшение условий выживания особей на ранних этапах онтогенеза.

Следовательно, рост и снижение запасов основных популяций пелагических рыб в ЭКО определялись в основном условиями среды, благоприятными или неблагоприятными для воспроизводства каждого вида. Согласно данным Ното и Ясуды (Noto, Yasuda, 2003), роль ведущего фактора в формировании роста запаса сардины принадлежит зимне-весенней температуре воды зоны течения Куроисио, тогда как фактор плотности играет менее важную роль.

В дальнейшем, в период предельной для ЭКО биомассы сардины (15 млн т), фактор плотности становится ведущим, обуславливая прекращение экспоненциального роста ее запаса, уменьшение средних размеров особей, снижение жирности, увеличение возраста массового полового созревания с 2 до 3 лет и, как следствие, снижение репродуктивного потенциала (Kawasaki, Omori, 1995; Wada, Ozeki, 1999).

*Влияние различных гидрометеорологических режимов в пределах ЭКО на урожайность поколений сардины.* В обширном регионе юго-западной части Северной Пацифики, включающем район ЭКО, период 1970–1985 гг. характеризовался похолоданием поверхностных вод (Krovni, 1995), обусловленным преобладанием в эти годы холодных зим (Hanawa, 1989) вследствие интенсификации восточно-азиатского муссона (ВАМ) с конца 1960-х гг. и Алеутского минимума — с 1977 г. Углубление Алеутского минимума сопровождалось резким усилением прибрежной ветви холодного течения Ойясио и ее проникновением на юг в весенний период года до 34°–36° с.ш., что привело к развитию значительных отрицательных АТПО к востоку от Японии: до –4 ... –5°C (Sekine, 1999).

Интенсификация зимних ветров сопровождалась установлением субарктического гидрометеорологического режима, или холодного периода — по определению японских исследователей (Yatsu et al., 2013), в районах нагула личинок и молоди сардины. Он характеризовался отрицательными АТПО, заглублением зимнего перемешанного слоя до 200–220 м, повышенными концентрациями биогенных элементов в эвфотическом слое, ростом концентраций хлорофилла «а» и биомассы зоопланктона, особенно в весенний период, и, как следствие, повышенной выживаемостью личинок и молоди сардины (Odate, 1994; Kasai et al., 1995, 1997; Sugimoto, Tadokoro, 1998, 2000; Sugimoto et al., 2001). Так, в районе Продолжения Куро-сио и зоне его рециркуляции (30°–35° с.ш. и 145°–180° в.д.) в 1970-х —1980-х гг. отмечались более низкие по сравнению с нормой зимне-весенние ТПО (рис. 3, район I), а в предшествующие 1950-е—1960-е гг. и после 1987 г. — более высокие. Соответственно, в первом случае смертность личинок была низкой, а во втором — высокой (Noto, Yasuda, 1999). Коэффициент корреляции между февральской ТПО и мощностью годовых классов сардины в 1980–1981, 1983–1984, 1986–1987 гг. составил  $-0,80$  ( $\rho < 0,01$ ).

В районе нагула молоди (рис. 3, район II), в зоне смешения вод (36°–40° с.ш. и 150°–160° в.д.), на протяжении всей последней «сардинной эпохи» также отмечались отрицательные весенние аномалии ТПО (Yasuda et al., 1999), свидетельствующие об интенсивном ветровом зимнем перемешивании и повышенной адвекции холодных вод Ойясио. Для этого периода характерны активное цветение и преобладание в видовом составе фитопланктона диатомовых водорослей, активно потребляемых в пищу молодью и созревающей сардиной. Содержание в их желудках фитопланктона достигало 36–50% (Kondo, 1980; Hiramoto, 1989).

Для южной части зоны смешения вод, к северу от оси Продолжения Куро-сио, установлена хорошая связь ( $r = 0,74$ ) между индексом выживания сардины в

1980–1987 гг. (соотношение натурального логарифма численности (млн экз.) поколения к биомассе (т) нерестового запаса) и глубиной зимнего перемешанного слоя (Nishikawa et al., 2011). Так, при глубине перемешивания до 200–230 м индекс равнялся трем, а при 150 м — снижался до нуля (неурожайные поколения 1988–1991 гг.).

После климатического сдвига 1988–1989 гг. в регионе ЭКО установился субтропический гидрометеорологический режим, для которого характерны резкое ослабление зимнего муссона, положительные АТПО, неглубокий (до 150 м) зимний перемешанный слой, снижение весенних концентраций хлорофилла «а» и зоопланктона. Такие условия оказались неблагоприятными для выживания и привели к появлению череды неурожайных поколений сардины в 1988–1991 гг. (Watanabe et al., 1995).

Таким образом, в 1951–1995 гг. в пределах ЭКО выделены два периода с субтропическим режимом, когда уровень воспроизводства запаса был низким (1951–1969 и 1988–1995 гг.), и один период с субарктическим режимом и высокой урожайностью поколений (1970–1987 гг.) (Hiramoto, 1981; Kuroda, 1991; Kishida, Matsuda, 1993; Tomosada, Odate, 1995; Watanabe et al., 1995; Kasai et al., 1997; Wada, Jacobsen, 1998; Wada, Ozeki, 1999; Noto, Yasuda, 1999, 2003).

*Связь «сардинных эпох» с крупномасштабными климатическими процессами.* Как отмечалось выше, долговременные изменения численности сардины имеют циклический характер, однако четкая периодичность в появлении и продолжительности «сардинных эпох» не наблюдается. Так, на протяжении последних 400 лет (с 1600 г.) длительность «сардинных эпох» изменялась от 7–10 до 16–20 лет, лишь однажды достигнув 45 лет, а интервал времени между окончанием предыдущей и началом следующей эпохи изменялся от 18–20 до 50 лет (Yasuda et al., 1999).

Многие исследователи связывают цикличность резких всплесков численности

популяций сардины и квазисинхронность их появления в различных районах Мирового океана с низкочастотными колебаниями климата, которым также свойственна квазипериодичность, т.е. отсутствие постоянного периода на временном масштабе нескольких десятилетий (Lluch-Belda et al., 1989; Kawasaki, 1993; Lluch-Cota et al., 1997; Overland et al., 1999; Chaves et al., 2003; Кляшторин, Любушин, 2005; Alheit, Bakun, 2010; Sugisaki et al., 2010; Yatsu et al., 2013; Tian et al., 2014). Однако здесь могут возникнуть определенные трудности в интерпретации характера этой связи. Это хорошо видно на примере двух последних «сардинных эпох» XX в., для которых имеются наиболее достоверные данные по уловам и климатическим наблюдениям.

Первая эпоха в 1920-х–1930-х гг. совпала с максимумом так называемого раннего потепления в Северном полушарии, а одна из основных причин окончания второй эпохи 1970-х–1980-х гг., напротив, связана с началом нового резкого потепления в конце 1980-х гг. Отсюда возникают вопросы: правомерно ли вообще связывать вспышки численности сардины с климатом, и если ответ положительный, то существует ли сходство в характере развития климатических процессов в пределах Северной Пацифики в периоды «сардинных эпох», несмотря на различные состояния климатической системы в масштабе всего Северного полушария?

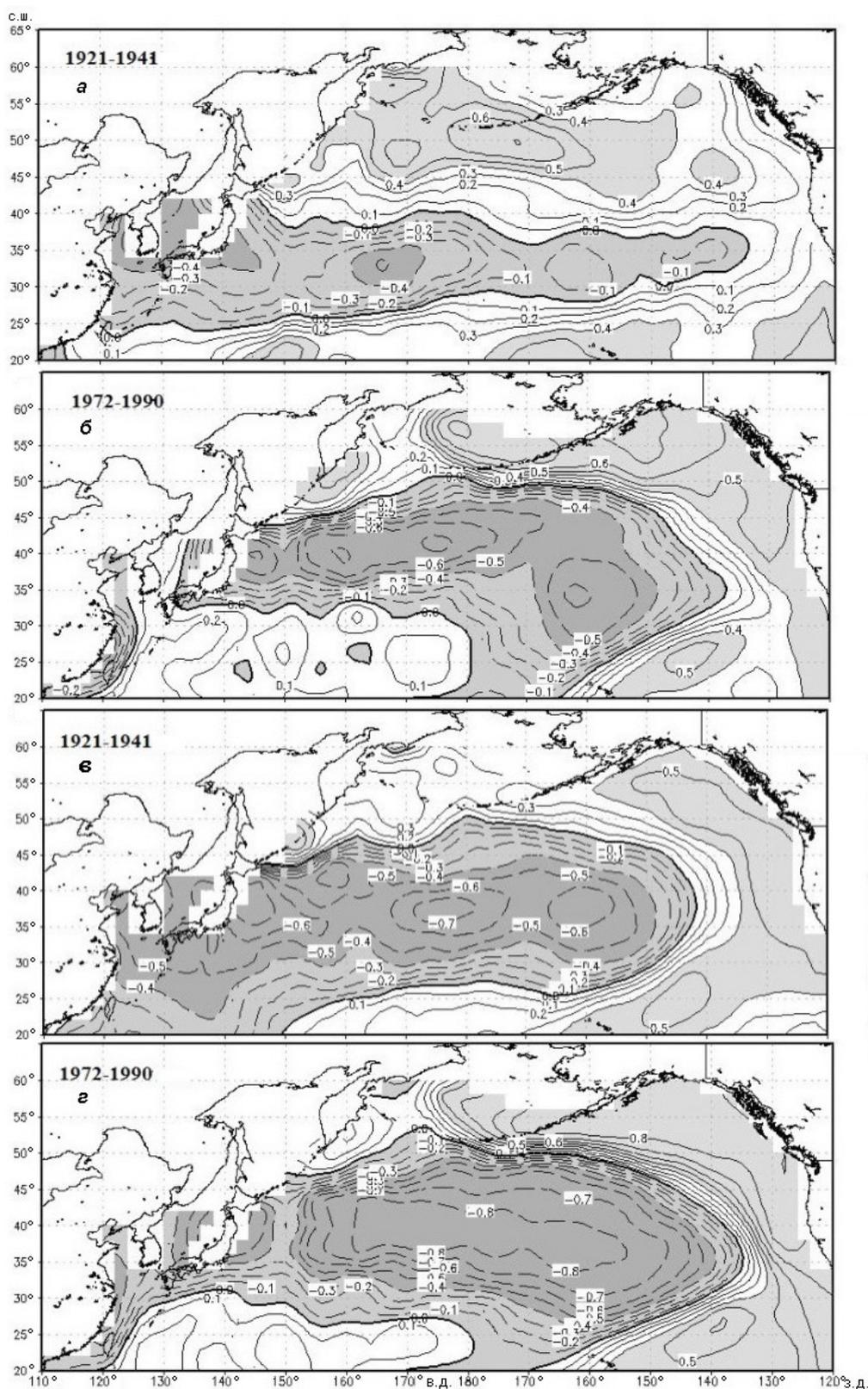
Для ответа на поставленные вопросы обратимся к результатам работы японских исследователей (Yasuda et al., 1999), которые обнаружили положительную связь между аномалиями температуры воздуха в прибрежной зоне северо-западной части Северной Америки и периодами высоких и низких уловов сардины у берегов Японии с 1600 по 1990 гг. Исторические данные по температуре воздуха были восстановлены по кольцам деревьев, а временные границы периодов высоких и низких уловов — по документам, содержащим сведения об уловах и производстве рыбной продукции из сардины.

Высокие значения весенних температур воздуха у северо-западного побережья Северной Америки и высокие уловы дальневосточной сардины наблюдались в периоды повышенной зимней активности Алеутского минимума, сопровождавшейся формированием отрицательных аномалий поверхностной температуры воды весной в районах обитания личинок и нагула молоди сардины в экосистеме Куроисио—Ойяисио ( $36^{\circ}$ – $40^{\circ}$  с.ш.;  $150^{\circ}$ – $160^{\circ}$  в.д.). По мнению авторов, интенсификация Алеутского минимума приводит к усилению северо-западных и западных ветров к востоку от Японии, заглужению зимнего перемешанного слоя, повышению концентраций биогенных элементов и, соответственно, к формированию более высокой биопродуктивности вод фотического слоя в районах нагула личинок и молоди сардины.

Описанное выше распределение температурных аномалий в северотихоокеанском регионе наблюдалось в периоды развития положительной фазы тихоокеанской декадной осцилляции (ТДО), одной из ведущих мод пространственно-временной изменчивости аномалий ТПО в Северной Пацифике (Mantua, Hare, 2002). Следовательно, можно предположить наличие связи между вспышками численности сардины и периодами положительной фазы ТДО.

Проверка данной гипотезы была осуществлена для двух «сардинных эпох» XX в. В качестве исходных данных использованы среднемесячные значения ТПО в узлах одноградусной сетки из массива ERSST v. 3b (Smith et al., 2008), доступного в интернете (<https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/marineocean-data/extended-reconstructed-sea-surface-temperature-ersst-v3b>). Японские уловы сардины за период 1905–2013 гг. взяты из статистических сборников ФАО.

На рис. 4, а, б видно распределение коэффициентов корреляции между средними уловами дальневосточной сардины в январе–феврале и АТПО в Северной Пацифике для двух «сардинных эпох» — 1921–1940 и 1972–1990 гг. Приведенные на этом рисунке карты обладают довольно большим сход-



**Рис. 4.** Распределение коэффициентов корреляции между японскими уловами сардины (а, б), индексом тихоокеанской декадной осцилляции (ТДО) (январь—февраль) (в, г) и северотихоокеанскими аномалиями температуры поверхности океана (АТПО) в январе—феврале в периоды двух последних «сардинных эпох».

ством. Рост уловов сардины в обоих случаях был связан с отрицательными аномалиями поверхностных вод в обширной зоне к востоку от Японских островов, достигавших  $130^{\circ}$ – $140^{\circ}$  з.д., тогда как на остальной акватории океана в это время наблюдалось потепление. Если в 1921–1940 гг. граница теплых вод распространялась на юг до  $35^{\circ}$ – $40^{\circ}$  с.ш., то в период 1972–1990 гг. южная граница зоны потепления находилась значительно севернее — на  $45^{\circ}$ – $50^{\circ}$  с.ш. Соответственно, ось зоны отрицательных корреляций, т.е. района похолодания, в первую «сардинную эпоху» располагалась примерно на  $10^{\circ}$  широты южнее, чем во вторую. Следует отметить, что максимальные по абсолютным значениям отрицательные коэффициенты корреляции ( $> 0,5$ – $0,6$ ) в районе Японских островов в 1921–1940 гг. наблюдались у юго-восточного побережья о. Хонсю и к востоку от о. Кюсю, тогда как в 1972–1990 гг. — южнее о. Хоккайдо, т.е. намного севернее. Возможно, именно этим и объясняется меньшая роль северных нерестилищ в воспроизводстве сардины в 1920-х–1930-х гг., отмеченная японскими учеными (Kondo, 1980; Watanabe, 1981; Watanabe, 1983), и ее усиление в 1970-е гг. (Шунтов и др., 1984; Беляев, Кеня, 1987).

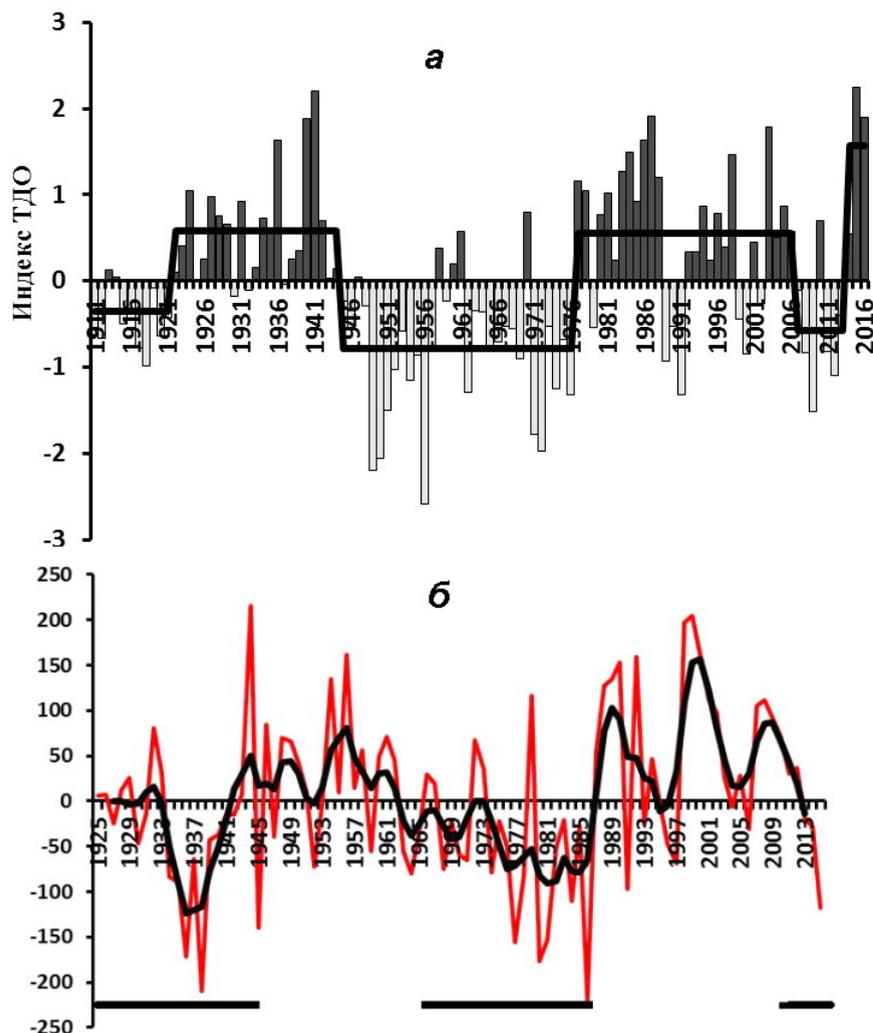
На рис. 4, в, г приведены карты пространственного распределения коэффициентов корреляции между индексом ТДО и полем АТПО в Северной Пацифике (январь–февраль) в периоды двух последних «сардинных эпох». Их сравнение с соответствующими картами на рис. 4, а, б свидетельствует о довольно большом сходстве, особенно в период 1972–1990 гг., когда коэффициент корреляции между уловами сардины и индексом ТДО составил  $0,65$  ( $\rho < 0,05$ ).

Полученный результат подтверждает предположение о важной роли ТДО в формировании «сардинных эпох», по крайней мере в XX столетии. Обе вспышки численности сардины в 1920-х–1930-х и 1970–1980-х гг. развивались по схожему сценарию на фоне преобладания положительной фазы

тихоокеанской декадной осцилляции в целом для Северной Пацифики (рис. 5, а), а также преобладания отрицательных аномалий температуры и снижения теплосодержания поверхностного слоя вод в пределах ЭКО (рис. 5, б). В первой половине прошлого века положительная фаза ТДО продолжалась с 1922 по 1945 гг., хотя резкое уменьшение значений ее индекса произошло уже в 1942 г., т.е. практически совпало с окончанием «сардинной эпохи» первой половины XX в. Новая положительная фаза ТДО установилась зимой 1976–1977 гг. и получила максимальное развитие в конце 1980-х гг. (рис. 5, а).

Следует отметить, что для первой «сардинной эпохи» XX в. коэффициент корреляции между уловами и индексом ТДО составил всего лишь  $0,25$ . Причиной такого низкого значения коэффициента стало влияние глобального потепления 1920-х–1930-х гг., прежде всего в высоких широтах Северного полушария (Overland et al., 1999), на изменчивость АТПО в Северной Пацифике. Оно обусловило потепление вод в северо-западной части океана и отразилось на структуре поля корреляций (рис. 4, а). Однако присутствие зоны отрицательных значений коэффициентов корреляции свидетельствует о важной роли ТДО в изменениях аномалий поверхностной температуры воды в пределах всей Северной Пацифики в 1920-е–1930-е гг.

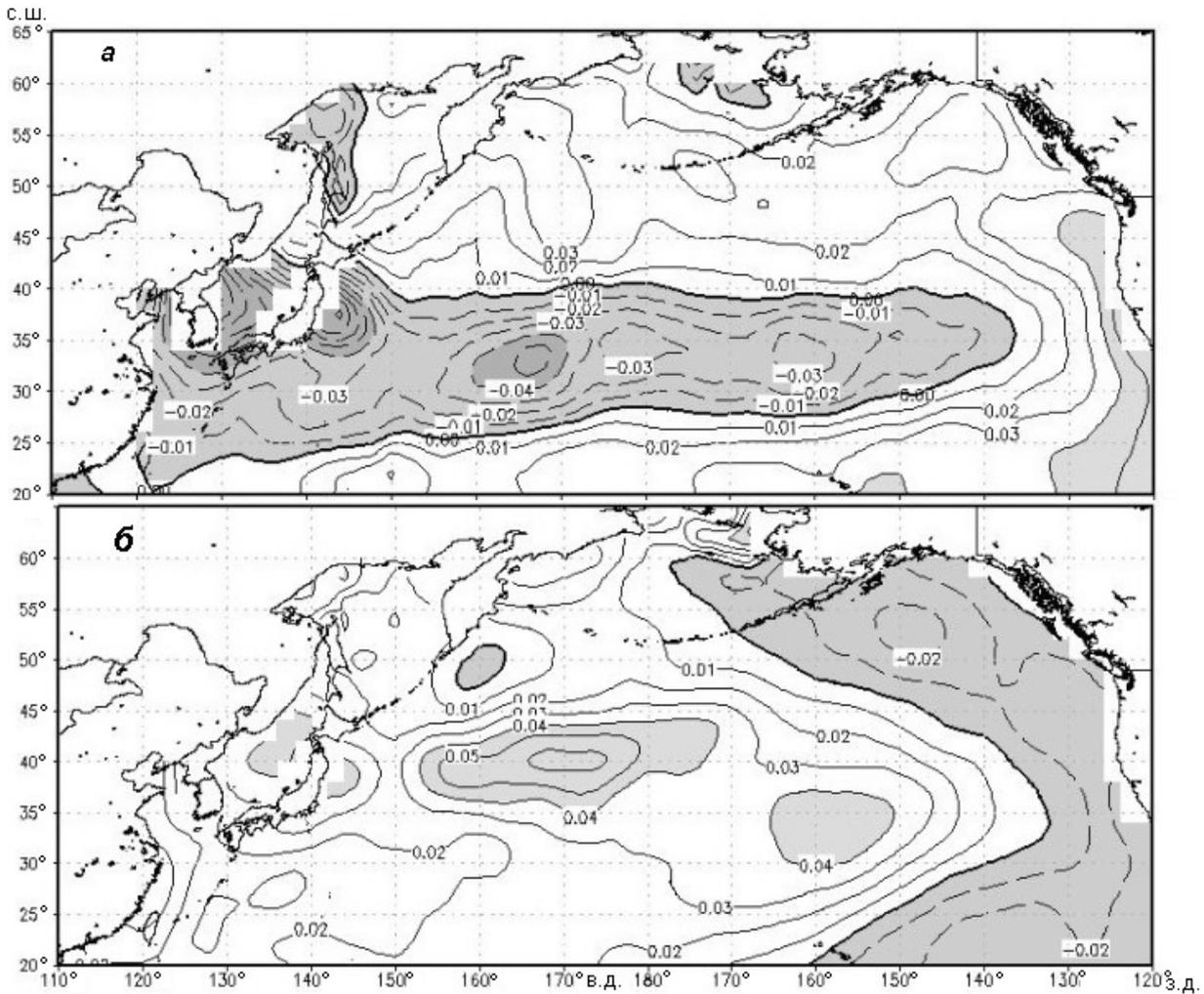
Хотя положительная фаза ТДО, установившаяся зимой 1976–1977 гг., продолжалась до 2006 г., последняя «сардинная эпоха» закончилась гораздо раньше — в конце 1980-х гг. Ее окончание совпало с установлением нового климатического режима в северной части Тихого океана вследствие ослабления влияния Алеутского минимума на климат региона и усиления роли северотихоокеанского колебания. В результате произошло смещение центра тяжести климатической изменчивости из восточной половины океана в западную, сопровождавшееся резким потеплением поверхностных вод в центральных и западных районах Северной Пацифики.



**Рис. 5.** Изменения индекса тихоокеанской декадной осцилляции (ТДО) (январь—февраль) в 1911–2016 гг. (а) и теплосодержания вод ( $\text{МДж}/\text{м}^2$ ) в слое 0–50 м в феврале к востоку от Японии ( $30^\circ\text{--}35^\circ$  с.ш.,  $145^\circ\text{--}180^\circ$  в.д.) в 1925–2015 гг. (б). Горизонтальными линиями показаны «сардинные эпохи».

На рис. 6 показано распределение величин линейных трендов среднезимних АТПО на акватории Северной Пацифики во время «сардинной эпохи» в 1921–1940 гг. и в период климатического режима, установившегося в 1988–2013 гг. Прежде всего, обращает на себя внимание сходство между полями линейных трендов температурных аномалий и полями коэффициентов корреляции уловов сардины с АТПО в 1921–1940 гг. (ср.: рис. 6, а и 4, а). При этом наиболее высокие темпы снижения поверхностной температуры воды (до  $0,05\text{--}0,07^\circ\text{C}/\text{г.}$ ) отмечались к востоку от о. Хонсю — практически в том же районе, где наблюдались максимальные по

абсолютным значениям коэффициенты корреляции. Таким образом, видно, что именно с понижением температуры поверхности океана создавались благоприятные условия для воспроизводства сардины. Тогда как климатический режим 1988–2013 гг., напротив, сопровождался потеплением вод в западной и центральной частях Северной Пацифики (рис. 6, б). К востоку от Японских островов темпы потепления достигали  $0,04\text{--}0,05^\circ\text{C}/\text{г.}$  В результате в районе ЭКО установился субтропический гидрометеорологический режим, оказавшийся неблагоприятным для успешного воспроизводства сардины.



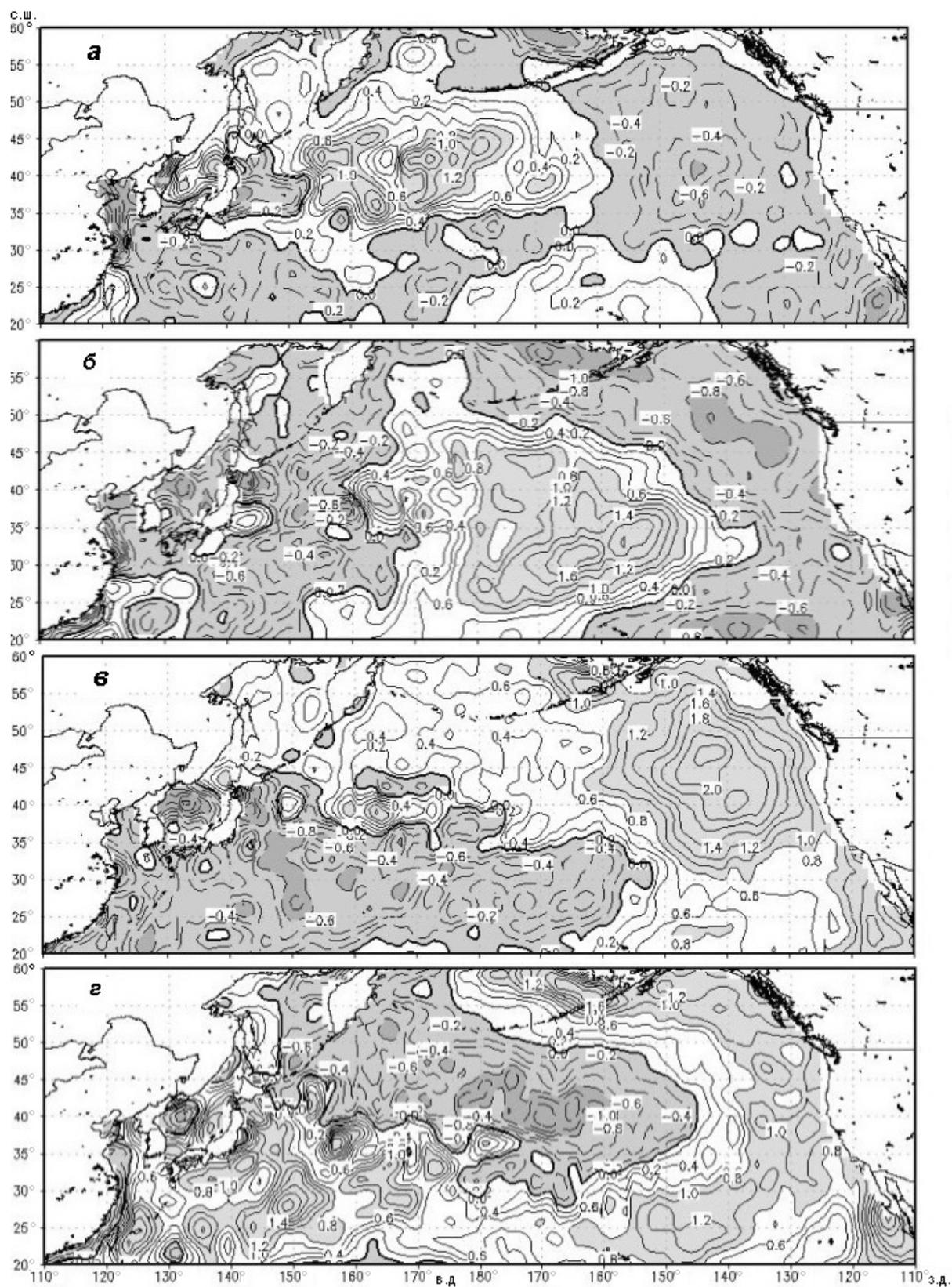
**Рис. 6.** Распределение величин линейных трендов ( $^{\circ}\text{C}/\text{г.}$ ) среднезимних (январь—март) аномалий температуры поверхности океана (АТПО) в Северной Пацифике для периодов 1921–1940 (а) и 1988–2013 гг. (б).

Рост численности сардины в 2010–2015 гг. и перспективы ее перехода в новую «сардинную эпоху». С 2010 г. начался некоторый рост биомассы сардины, вызванный появлением урожайных поколений. Впервые за многие годы в ЭЗ России объем учтенной нагульной сардины в 2016 г. составил 1700 тыс. т (по личному сообщению А.А. Батайлюка), значительно увеличившись по сравнению с предыдущими годами.

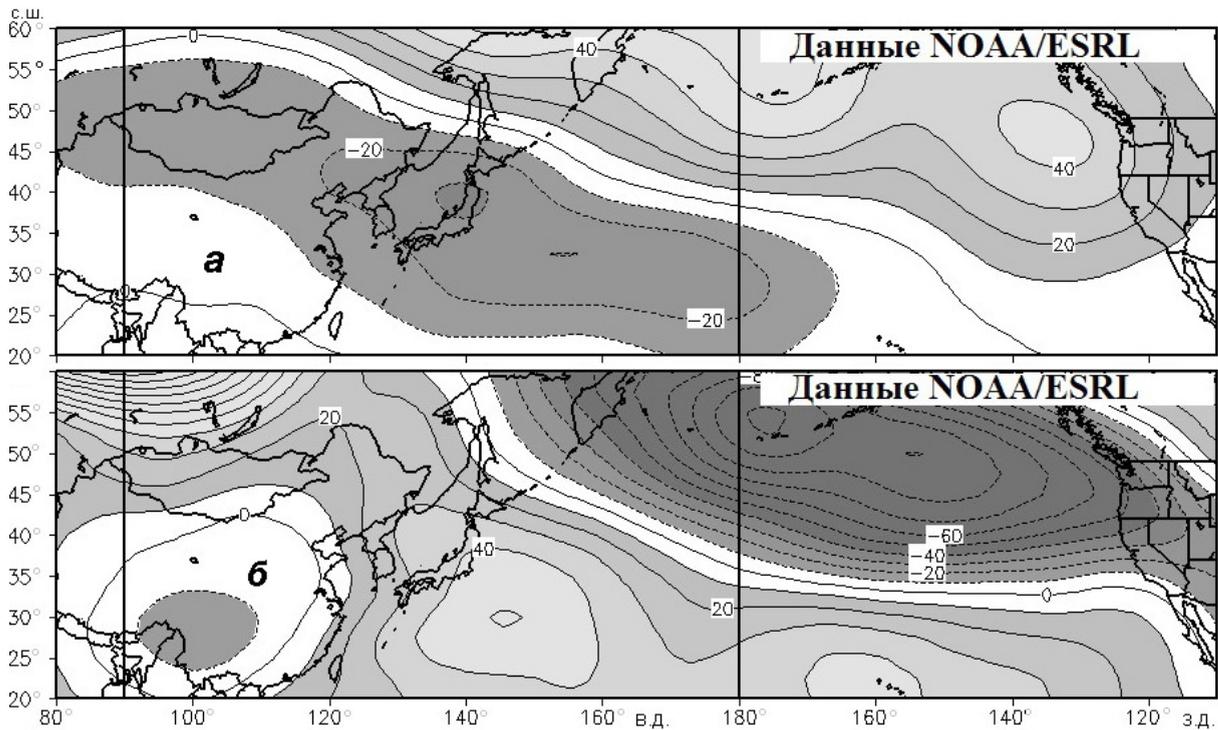
Увеличение запаса сардины после 2010 г. было, очевидно, обусловлено благоприятными абиотическими условиями для ее воспроизводства. Наблюдения показали, что в зимние периоды 2010–2015 гг. к востоку от Японии формировались отрицатель-

ные АТПО (рис. 7, а–в), причем от 2010 к 2015 гг. наблюдалась значительная интенсификация и расширение занимаемой площади (рис. 7, в).

Похолодание поверхностных вод было связано с усилением циклонической активности южнее  $40^{\circ}$ – $45^{\circ}$  с.ш. в начале зимних сезонов (декабрь—январь) 2009–2010 – 2014–2015 гг. (рис. 8, а), сопровождавшееся повышенной отдачей тепла с поверхности океана и ослаблением западного субтропического океанического круговорота. Это в конечном счете и привело к развитию отрицательных АТПО в районе нереста сардины и к формированию нового субарктического режима.



**Рис. 7.** Распределение аномалий температуры поверхности океана (АТПО) (январь—февраль) в северной части Тихого океана в 2010–2011 (а), 2012–2013 (б), 2014–2015 гг. (в) и 2016 г. (г).



**Рис. 8.** Распределение аномалий геопотенциальных высот (м) поверхности 500 гПа над северо-тихоокеанским регионом в декабре—январе 2009—2010 — 2014—2015 гг. (а) и 2015—2016 гг. (б).

Рост биомассы сардины в первой половине 2010-х гг. начался за несколько лет до установления положительной фазы ТДО в январе 2014 г. Схожие ситуации наблюдались в периоды развития «сардинных эпох» в 1920-е—1930-е и 1970-е—1980-е гг. Следовательно, по аналогии с XX столетием в ближайшие годы можно ожидать перехода высокой численности ряда поколений сардины в новую эпоху ее высокой биомассы и уловов? Насколько справедливо это предположение?

Следует отметить, что мощное Эль-Ниньо 2015—2016 гг. сопровождалось ростом геопотенциальных высот (рис. 8, б) и, соответственно, атмосферного давления на юго-западе Северной Пацифики и потеплением поверхностных вод к востоку от Японских островов в январе—феврале 2016 г. (рис. 7, з). Отсюда можно предположить, что появление урожайного поколения сардины в 2016 г. маловероятно. Неблагоприятные условия для воспроизводства могут сохраниться также зимой 2017 г.

Поэтому формирование двух подряд неурожайных поколений может сгладить эффект роста численности сардины, обусловленный поколениями 2010—2015 гг. рождения, учитывая тот факт, что биомасса нагульной сардины в районе восточнее южных Курильских о-вов летом 2016 г. оценена в 1,7 млн т (по личному сообщению А.А. Байталюка). Эта биомасса в 3—4 раза ниже, чем во второй половине 1970-х гг., когда рост запаса происходил по экспоненте. Следовательно, урожайные поколения 2010—2015 гг. не обеспечивают роста биомассы, характерного для «сардинных эпох». Данные ФАО указывают на относительно низкий уровень уловов сардины Японией в 2011—2014 гг. (180—200 тыс. т).

Кроме того, за последние 25 лет продолжительность циклов (фаз) ТДО уменьшилась с 20—30 до 5—10 лет (<http://meetings.pices.int/meetings/annual/2016/pices/Program>). Очевидно, что более частая смена фаз тихоокеанской декадной осцилляции окажется неблагоприятной для

развития «сардинных эпох» с продолжительностью порядка 20 лет. Следовательно, связь «сардинных эпох» с положительной фазой ТДО не столь однозначна в отличие от АТПО.

Окончание первой «сардинной эпохи» XX в. практически совпало с завершением периода положительной фазы ТДО. Вторая «сардинная эпоха» вследствие резкого потепления поверхностного слоя вод в западной и центральной частях океана с конца 1980-х гг. закончилась гораздо раньше, чем положительная фаза ТДО (2007 г.).

Следует отметить такую важнейшую особенность ТДО, как характеристика изменений ТПО в Северной Пацифике. Она представляет собой ведущую моду пространственной изменчивости аномалий поверхностной температуры воды во внетропических широтах северной части Тихого океана ( $20^{\circ}$ – $65^{\circ}$  с.ш.), полученную на основе статистического метода разложения поля АТПО на эмпирические ортогональные функции (метод ЭОФ), а ее индекс соответствует главной компоненте первой ЭОФ (Mantua, Nare, 2002). Поэтому ТДО представляет собой статистическую характеристику, отражающую лишь противофазность в колебаниях аномалий ТПО между восточной частью океана, с одной стороны, и его центральными и западными районами — с другой, а не фактические изменения температурных аномалий в Северной Пацифике. И, что самое важное, при положительных значениях индекса ТДО восточная часть океана теплее, чем центральная и западная части, а при отрицательных значениях ТДО, наоборот, холоднее восточная часть.

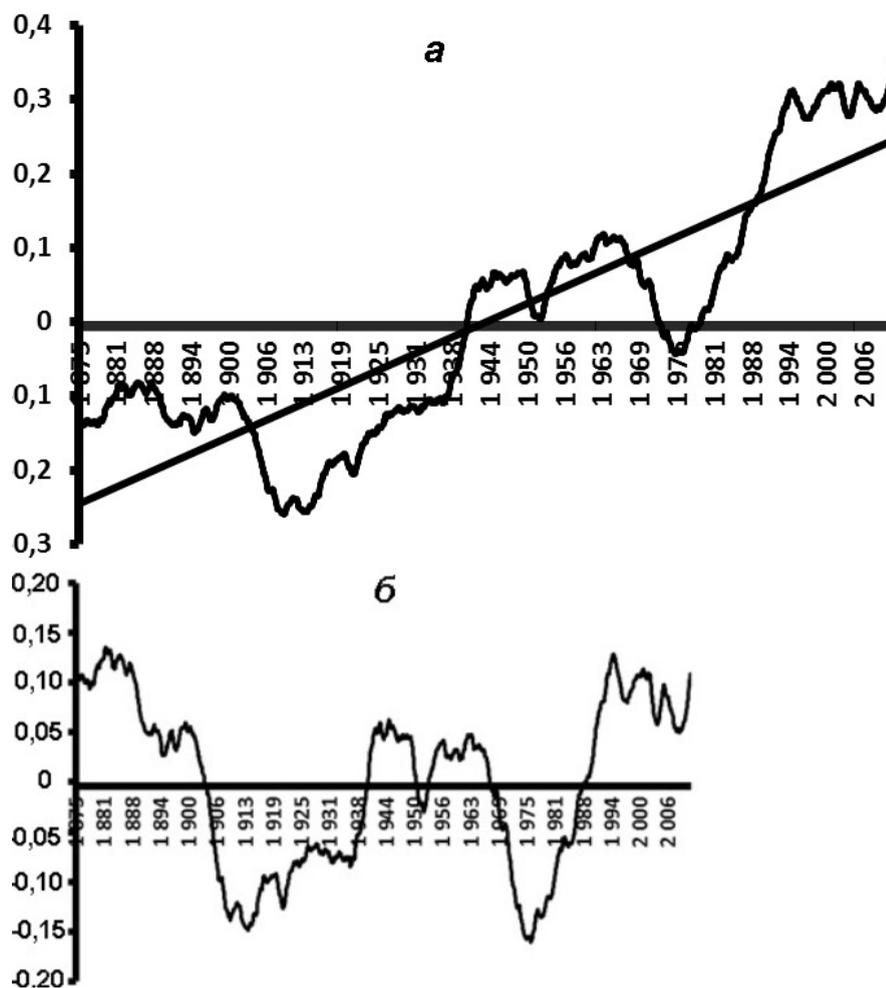
Характерная для ТДО противофазность в колебаниях АТПО между различными районами Северной Пацифики объясняется ее тесной связью с Алеутским минимумом атмосферного давления (Newman et al., 2003). Углубление минимума и расширение его площади сопровождается развитием положительной фазы ТДО с преобладанием аномальных южных ветров на северо-востоке океана, ветров северных румбов в районе

Японских островов и западного переноса к востоку от них. Такая ситуация, как правило, приводит к формированию отрицательных АТПО в районах нереста сардины и развития ее личинок, создавая благоприятные условия для воспроизводства, как это наблюдалось в периоды «сардинных эпох» прошлого столетия.

Однако в 1990-е гг., несмотря на продолжение положительной фазы ТДО, на западе океана в зимний период года формировались положительные АТПО, создавая неблагоприятные условия для воспроизводства сардины. Как отмечалось выше, развитие положительных температурных аномалий в западной половине Северной Пацифики было связано, прежде всего, с усилением роли северо-тихоокеанского колебания в изменчивости атмосферной циркуляции над северо-тихоокеанским регионом с конца 1980-х гг., которое сопровождалось интенсификацией западного субтропического антициклона и аномальных ветров южных румбов над районом ЭКО. Поэтому для прогноза сроков начала новой «сардинной эпохи» следует проанализировать фактические изменения АТПО на акватории Северной Пацифики за весь имеющийся период наблюдений.

На рис. 9 демонстрируются изменения среднемесячных значений АТПО на акватории Северной Пацифики ( $0^{\circ}$ – $65^{\circ}$  с.ш.,  $100^{\circ}$  в.д.— $100^{\circ}$  з.д.), сглаженных 121-месячным скользящим осреднением на основе данных с января 1864 г. по май 2016 г. Исходные данные взяты из массива HadISST1 ([www.metoffice.gov.uk](http://www.metoffice.gov.uk); Rayner et al., 2003).

Анализ изменчивости аномалий ТПО, представленный на рис. 9, а, показывает, что в одни последовательные десятилетия их колебания происходили выше линии тренда, а в другие — ниже, что свидетельствует о наличии так называемой многодекадной изменчивости на фоне общей длительной тенденции к потеплению поверхностных вод. Эти многодекадные колебания выражены гораздо лучше, если из исходных данных удалить линейный тренд (рис. 9, б).



**Рис. 9.** Изменения среднемесячных аномалий температуры поверхности океана (АТПО, °С) в Северной Пацифике, сглаженных 121-месячным скользящим осреднением по данным с января 1864 г. по май 2016 г.: а — фактические данные, б — после удаления линейного тренда.

При этом видно, что минимумы поверхностной температуры воды наблюдались в 1913–1915 и 1974–1976 гг., а максимумы — в 1944–1946 и в середине 1990-х гг. Однако если судить по исходным (несглаженным) данным, то последний максимум АТПО в Северной Пацифике наблюдался во второй половине первого десятилетия XXI в. Таким образом, период многодекадных колебаний АТПО в Северной Пацифике составляет около 60 лет. Сравнение периодов двух последних «сардинных эпох» с многодекадными циклами температурных аномалий в северной части Тихого океана свидетельствует о том, что начало роста запасов сардины примерно совпадало с

минимумами температуры, их дальнейшее увеличение происходило на восходящей ветви отрицательной фазы многодекадного цикла и заканчивалось с переходом к его положительной фазе. Если описанная закономерность в изменениях АТПО в Северной Пацифике сохранится в ближайшие десятилетия, то следующего температурного минимума и, соответственно, начала очередной «сардинной эпохи» следует ожидать примерно в конце 2020-х гг. — середине 2030-х гг. Поэтому рост запасов сардины, наблюдавшийся в 2010–2015 гг., вероятно, носит временный характер и вряд ли является предвестником новой «сардинной эпохи».

Необходимо отметить, что возможная продолжительность нового периода с высоким уровнем запасов сардины остается неопределенной. В случае сохранения линейного тренда к потеплению возможно сокращение периода отрицательной фазы многодекадного цикла АТПО и увеличение продолжительности его положительной фазы. Продолжительность «сардинной эпохи» при этом также может уменьшиться до 15–18 лет.

## ВЫВОДЫ

1. Выполненные исследования позволили установить, что благоприятные условия воспроизводства дальневосточной сардины наблюдались в периоды преобладания отрицательных АТПО в северо-западной части Тихого океана, свидетельствующих об установлении субарктического гидрометеорологического режима в водах ЭКО. Возникновение данных условий связано, прежде всего, с активизацией Алеутского минимума, сопровождающейся аномальным усилением северных и западных ветров в районе к востоку от Японских островов, интенсивной зимней конвекцией, повышением концентраций биогенных элементов в поверхностном слое вод, ростом первичной продукции и зоопланктона в зимне-весенний период, что обеспечивало высокую выживаемость личинок и молоди сардины.

2. Рост численности дальневосточной сардины, отмеченный в 2010–2015 гг. после многолетнего перерыва, объясняется появлением относительно урожайных поколений в результате похолодания поверхностных вод, вызванного усилением циклонической активности в районе ЭКО в зимние периоды 2009–2015 гг. Мощное Эль-Ниньо 2015–2016 гг. вызвало потепление поверхностных вод к востоку от Японских островов и создало неблагоприятные условия для появления урожайных поколений дальневосточной сардины.

3. Летом 2016 г. биомасса нагульной сардины в ИЭЗ России достигла

1700 тыс. т, однако темп ее роста по сравнению с 1970-ми гг. остается низким, что не характерно для «сардинных эпох». Кроме того, ухудшение условий воспроизводства в 2016 гг. позволяет ожидать резкого снижения ее запасов в ближайшие годы. В случае если наличие отрицательных аномалий температуры будет носить эпизодический характер, возможно появление в отдельные годы урожайных поколений сардины. По нашему мнению, новая «сардинная эпоха», с учетом ее цикличности, составляющей около 60 лет, может начаться не ранее чем через 10 лет.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Беляев В.А. Экосистема зоны течения Куроисио и ее динамика. Хабаровск: Хабаров. книж. изд-во, 2004. 383 с.

Беляев В.А., Кеня В.С. Состояние запасов и условия воспроизводства дальневосточной сардины в северо-западной части Тихого океана / Биологические ресурсы открытого океана. М.: Наука, 1987. С. 225–237.

Беляев В.А., Рыгалов В.Е. Распределение личинок и формирование численности поколений восточной скумбрии *Scomber japonicus* Houttuyn (Scombridae) в северо-западной части Тихого океана // *Вопр. ихтиологии*. 1986. Т. 26. Вып. 4. С. 593–599.

Ватанабе Т. Выживаемость японской сардины на ранних стадиях развития // *Изв. ТИНРО*. 1981. Т. 105. С. 92–107.

Иванов А.Н., Беляев В.А. Долгопериодные флюктуации тихоокеанской популяции скумбрии // *Рыб. хоз-во*. 1996. № 3. С. 19–22.

Кеня В.С., Соколовская Т.Г. Об увеличении запасов сардины в северо-западной части Тихого океана // Там же. 1977. № 12. С. 7.

Кляшторин Л.Б., Любушин А.А. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности. М.: Изд-во ВНИРО, 2005. 235 с.

- Кун М.С. Сезонные изменения в составе и распределении мезопланктона в зоне течения Куроисио летом и зимой 1965–1966 гг. // Изв. ТИНРО. 1969. Т. 68. С. 93–110.
- Кун М.С., Новиков Ю.В., Павлычев В.П. Влияние океанологических условий на формирование продуктивных зон и численность эпипелагических рыб в системе вод Куроисио // Биология моря. 1978. Т. 2. С. 32–39.
- Соколовская Т.Г. Икhtiопланктон системы течения Куроисио и прогнозирование тенденций изменения численности основных промысловых рыб // Изменчивость состава икhtiофауны, урожайность поколений и методы прогнозирования запасов рыб в северной части Тихого океана. Владивосток: Изд-во ТИНРО, 1988. С. 70–76.
- Федосова Р.А. Межгодовые изменения мезопланктона в районе к юго-востоку от побережья Японии // Там же. Владивосток: Изд-во ТИНРО, 1988. С. 77–83.
- Шунтов В.П. Состояние изученности многолетних циклических изменений численности рыб дальневосточных морей // Биология моря. 1986. № 3. С. 3–14.
- Шунтов В.П., Васильков В.П. Долгопериодные флюктуации численности северотихоокеанских сардин // Вопр. икhtiологии. 1981. Т. 21. Вып. 6. С. 963–975.
- Шунтов В.П., Васильков В.П. Долгопериодные флюктуации численности северотихоокеанских сардин // Там же. 1982. Т. 22. Вып. 1. С. 187–199.
- Шунтов В.П., Кеня В.С., Дударев В.А. Современное состояние численности дальневосточной сардины *Sardinops sagax melanosticta* (Schlegel) // Условия образования промысловых скоплений рыб. М.: Изд-во ВНИРО, 1984. С. 78–93.
- Alheit J., Bakun A. Population synchronies within and between ocean basins: Apparent teleconnections and implications as to physical-biological linkage mechanisms // J. Marine Systems. 2010. V. 79. P. 267–285.
- Caddy J.F., Gulland J.A. Historical patterns of fish stocks // Mar. Policy. 1983. V. 7. P. 267–278.
- Chaves F.P., Ryan J., Lluch-Cota S.E., Niqun M.C. From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean // Science. 2003. V. 299. P. 217–221.
- Hanawa K. Long-term variations in the physical environments in the Pacific ocean // Proc. Intern. Symp. Sendai, Japan, 1989. P. 19–28.
- Hiramoto K. Studies on the growth and life Japanese sardine *Sardinops melanostictus* (Temminck et Schlegel) in its Pacific Subpopulation found in Joban and Boso Regions // Bull. Chiba Prel. Fish. Expl. 1981. Stn. № 39. P. 1–127.
- Hiramoto K. The sardine fishery and ecology in the Joban and Boso waters of central Japan // Proc. Int. Symp. «Long-term variability of pelagic fish populations and their environment». L.: Pergamon Press, 1989. P. 117–128.
- Ito S. Fishery biology of the sardine, *Sardinops melanostictus* (Temminck and Schlegel) Long-term variations in the physical environments in the Pacific ocean, in the water around Japan // Bull. Jpn. Sea Region Fish. Res. Lab. 1961. № 9. P. 1–227.
- Kasai A., Kishi M., Sugimoto T. Influence of wind induced currents on the recruitment of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) eggs and larvae // Can. Spec. Publ. Fish. Acquac. Sci. 1995. V. 121. P. 547–552.
- Kasai A., Sugimoto T., Nakata H. The Dependence of yearly recruitment of japanese sardine *sardinops melanostictus* on survival in the Kuroshio-Oyashio Transition Region // Fish. Sci. 1997. V. 63. № 3. P. 372–377.
- Kawabata A., Honda S., Watanabe C., Kubota H. Stock assessment and evaluation for the Pacific stock of Japanese sardine (fiscal year 2012) // Marine stock fisheries stock assessment and evaluation for japanese waters (Fiscal Year 2012). Tokyo: Fish. Agency of Japan, 2013. P. 15–44.

- Kawasaki T.* Fluctuation in the abundance of the Far Eastern sardine (*Sardinops sagax melanosticta*) and the Kuroshio // Proc. Fourth CSK Symp. Tokyo, 1980. P. 806–818.
- Kawasaki T.* Recovery and collapse of the Far Eastern sardine // Fish. Oceanogr. 1993. V. 2. № 3–4. P. 244–253.
- Kawasaki T., Omori M.* Possible mechanisms underlying fluctuations in the Far Eastern sardine population inferred from time series of two biological traits // Ibid. 1995. V. 4. № 3. P. 238–242.
- Kishida T., Matsuda H.* Statistical analyses of intra- and interspecific density effects on recruitment of chub mackerel and sardine in Japan // Ibid. 1993. V. 2. № 3–4. P. 278–287.
- Kondo K.* The Recovery of the Japanese sardine the biological basis of stock-size fluctuations // Rapp. Reun. Cons. Int. Explor. Mer. P.-V. 1980. V. 177. P. 332–354.
- Krovnin A.S.* A comparative study of climatic changes in the North Pacific and North Atlantic and their relation to the abundance of fish stocks // Can. Spec. Publ. Fish Aquat. Sci. 1995. V. 121. P. 181–198.
- Kuroda K.* Studies on the recruitment process focusing on the early life history of the Japanese sardine // Bull. Nat. Res. Inst. Fish. Sci. 1991. № 3. P. 25–278.
- Lluch-Belda D., Crawford R.J.M., Kawasaki T. et al.* World-wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: the regime problem // South Afric. J. Marine Sci. 1989. V. 8. № 1. P. 195–205.
- Lluch-Cota D.B., Hernandez-Vazquez S., Lluch-Cota S.E.* Empirical investigation on the relationship between climate and small pelagic global regimes and el Nino-southern oscillation (ENSO) // FAO Fish. Circular. 1997. № 934. 48 p.
- Mantua N.J., Hare S.R.* The Pacific decadal oscillation // J. Oceanogr. 2002. V. 58. № 1. P. 35–44.
- Mantua N.R., Hare S.R., Zhang et al.* A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1997. V. 78. P. 1069–1079.
- Minobe S.* A 50–70 year climatic oscillation over the North Pacific and North America // Geophys. Res. Lett. 1997. V. 24. P. 683–686.
- Minobe S.* Resonance in bi-decadal and penta-decadal climate oscillations over the North Pacific: role in climate regime shifts // Ibid. 1999. V. 26. P. 855–858.
- Nakata H., Funakoshi S., Nakamura M.* Alternating dominance of postlarval sardine and anchovy caught by coastal fishery in relation to the Kuroshio meander in the Enshu-nada Sea // Fish. Oceanogr. 2000. V. 9. P. 248–258.
- Newman M., Compo G., Alexander M.* ENSO-forced variability of the Pacific decadal oscillation // J. Climate. 2003. V. 16. № 23. P. 3853–3857.
- Nishikawa H., Yasuda I., Itoh S.* Impact of winter-to-spring environmental variability along the Kuroshio jet on the recruitment of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) // Fish. Oceanogr. 2011. V. 20. P. 570–582.
- Noto M., Yasuda I.* Population decline of the Japanese sardine, *Sardinops melanostictus*, in relation to sea surface temperature in the Kuroshio Extension // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1999. V. 56. P. 973–983.
- Noto M., Yasuda I.* Empirical biomass model for the Japanese sardine, *Sardinops melanostictus*, with sea surface temperature in the Kuroshio Extension // Fish. Oceanogr. 2003. V. 12. P. 1–9.
- Odate K.* Zooplankton biomass and its long-term variation in the western North Pacific Ocean // Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab. 1994. V. 56. P. 115–173.
- Overland J.E., Adams J.M., Bond M.A.* Decadal variability of the Aleutian low and its relation to high-latitude circulation // J. Climate. 1999. V. 12. P. 1542–1548.
- Rayner N.A., Parker D.E., Horton E.B. et al.* Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century // J. Geophys. Res. 2003. V. 108. №. D14, 4407. doi:10.1029/2002JD002670.
- Sakuramoto K.* A recruitment forecasting model for the Pacific stock of the Japanese sardine

- (*Sardinops melanostictus*) that does not assume density dependent effects // *Agricult. Sci.* 2013. V. 4. P. 1–8.
- Sekine Y.* On variation in the subarctic circulation in the North Pacific // *Progr. Oceanogr.* 1999. V. 43. № 2-4. P. 192–203.
- Smith T.M., Reynolds R.W., Peterson T.C., Lawrimore J.* Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880–2006) // *J. Climate.* 2008. V. 21. P. 2283–2296.
- Spencer P.D., Collie J.S.* Patterns of population variability in marine fish stocks // *Fish. Oceanogr.* 1997. V. 6. № 3. P. 188–204.
- Sugimoto T., Kimura S., Tadokoro K.* Impact of El Nino events and climate regime shifts on living resources in the western North Pacific // *Progr. Oceanography.* 2001. V. 49 № 1–4. P. 113–128.
- Sugimoto T., Tadokoro K.* Interdecadal variations of plankton biomass and physical environment in the North Pacific // *Fish. Oceanogr.* 1998. V. 7. P. 289–299.
- Sugimoto T., Tadokoro K.* Long-term variations of low tropic production and its environment in the North Pacific // *Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr.* 2000. V. 64. P. 173–196.
- Sugisaki H., Nonaka M., Ishizaki S. et al.* Status and trends of the Kuroshio region, 2003–2008 // *Marine ecosystems of the North Pacific Ocean, 2003–2008* / Eds. McKinnell S.M., Dagg M.J. PICES Spec. Publ. 2010. V. 4. P. 330–359.
- Takahashi M., Watanabe Y., Yatsu A., Nishida H.* Contrasting responses in larval and juvenile growth to a climate–ocean regime shift between anchovy and sardine // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2009. V. 66. № 6. P. 972–982.
- Takasuka A., Oozeki Y., Aoki I.* Optimal growth temperature hypothesis: why do anchovy flourish and sardine collapse or vice versa under the same ocean regime? // *Ibid.* 2007. V. 64. P. 768–776.
- Takasuka A., Oozeki Y., Kubota H., Lluch-Cota S.E.* Contrasting spawning temperature optima: why are anchovy and sardine regime shifts synchronous across the North Pacific? // *Progr. Oceanography.* 2008. V. 77. P. 225–232.
- Tian Y., Uchikawa K., Ueda Y., Chend J.* Comparison of fluctuations in fish communities and trophic structures of ecosystems from three currents around Japan: synchronies and differences // *ICES J. Marine Sci.* 2014. V. 71. № 1. P. 19–34.
- Tomosada A., Odate K.* Long-term variability in zooplankton biomass and environment // *Umi-to-Sora.* 1995. V. 71. P. 1–7.
- Trenberth K.E.* Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 1990. V. 71. P. 988–993.
- Trenberth K.E., Hurrell J.W.* Decadal atmosphere – ocean variations in the Pacific // *Clim. Dyn.* 1994. V. 9. P. 303–319.
- Tsuboi M.* Japanese sardine spawning grounds circuiting around Honshu, Shikoku and Kyushu. *Sakana* // *Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.* 1987. P. 38–40.
- Uda M.* On the relation between the variation of the important fisheries conditions and the oceanographical conditions in the adjacent waters of Japan // *J. Univer. Fish.* 1952. V. 38. P. 363–389.
- Wada T., Jacobson L.D.* Regimes and stock-recruitment relationships in Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*), 1951–1995 // *Can. J. Fish. Aquatic Sci.* 1998. V. 55. № 11. P. 2455–2463.
- Wada T., Oozeki Y.* A population dynamics model for the Japanese sardine—why the sardine shows such large population fluctuations? // *Bull. Tohoku Natl. Fish. Res. Inst.* 1999. V. 62. P. 171–180.
- Watanabe T.* Stock assessment of common mackerel and Japanese sardine along the Pacific coast of Japan by spawning survey // *FAO Fish. Rep.* 1983. V. 29. P. 57–81.
- Watanabe Y.* Recruitment variability of small pelagic fish populations in the Kuroshio-Oyashio transition region of the Western North Pacific // *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 2009. V. 41. P. 197–204.

- Watanabe Y., Zenitani H., Kimura R. Population decline of the Japanese sardine *Sardinops melanostictus* owing to recruitment failures // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1995. V. 52. P. 1609–1616.
- Watanabe Y., Zenitani H., Kimura R. Offshore expansion of spawning of the Japanese sardine *Sardinops melanostictus*, and its implication for egg and larval survival // Ibid. 1996. V. 53. P. 55–61.
- Yasuda I., Sugisaki H., Watanabe Y. *et al.* Interdecadal variations in Japanese sardine and ocean climate // Fish. Oceanogr. 1999. V. 8. P. 18–24.
- Yatsu A., Chiba S., Yamanaka Y. *et al.* Climate forcing and Kuroshio/Oyashio ecosystem // ICES J. Marine Sci. 2013. V. 70. № 5. P. 922–933.
- Yatsu A., Watanabe T., Ishida M. *et al.* Environmental effects on recruitment and productivity of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) and chub mackerel (*Scomber japonicus*) with recommendations for management // Fish. Oceanogr. 2005. V. 14. P. 263–278.

**ON PROSPECTS OF A NEW «SARDINE EPOCH»  
IN THE NORTHWEST PACIFIC**

© 2016 y. O.A. Bulatov, B.N. Kotenev, A.S. Krovnin

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, 107140*

The results of present and previous studies have shown that favorable conditions for Japanese sardine reproduction in the Northwest Pacific were observed in periods with predominance of negative winter sea surface temperature anomalies associated with establishment of the «subarctic hydrometeorological regime» in the Kuroshio–Oyashio ecosystem waters. The increase in Japanese sardine abundance in 2010–2015 noted after a decades-long pause, is explained by formation of rather strong year classes as a result of surface water cooling caused by strengthening of cyclonic activity in the KOE area during the winter periods of 2009–2015. In summer, 2016 the sardine biomass was assessed in 1.7 mln t. However, the deterioration of reproduction conditions in winter season of 2016, which may continue also in winter of 2017, suggest a sharp decrease in sardine biomass during the next years. Apparently, a new “sardine epoch” will begin not earlier than 10 years from now, taking into account its 55–60-year repeating pattern.

*Keywords:* Japanese sardine *Sardinops melanostictus*, Kuroshio–Oyashio ecosystem, biomass, sea surface temperature anomalies.