

**АНОМАЛИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ
В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОЙ ПАЦИФИКИ —
ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ КЛИМАТИЧЕСКИЙ
ПРЕДИКТОР ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ
ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ КАМЧАТКИ**

© 2021 г. А.В. Бугаев, М.Г. Фельдман, О.Б. Тепнин, М.В. Коваль

*Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), г. Петропавловск-
Камчатский, 683600
E-mail: Bugaev.a.v@kamniro.ru*

Поступила в редакцию 23.08.2021

В работе представлен анализ взаимосвязи изменчивости аномалии температуры поверхности воды (аТПМ/аТПО) в районах осенне-зимних миграций молоди тихоокеанских лососей Восточной и Западной Камчатки с динамикой численности уловов их производителей. Ряды наблюдений включают период 1971–2020 гг. Полигон сбора данных аТПМ/аТПО охватывает акватории западной части Берингова моря, южной части Охотского моря и северо-западной части Тихого океана. Результаты исследований показали, что в зонах массового нагула молоди горбуши, кеты и нерки показатели аТПМ/аТПО имеют устойчивую взаимосвязь с численностью уловов этих видов. Большинство достоверных связей обозначено умеренными коэффициентами корреляций на уровне $r = 0,30–0,60$. Закономерность прослеживается для всех видов лососей на значительной части рассматриваемой акватории в осенний период (сентябрь–октябрь). В зимний период взаимосвязь наблюдается значительно реже. Предлагается использовать накопленные ряды аТПМ/аТПО для многомерного моделирования прогнозов возвратов тихоокеанских лососей Камчатки. В качестве основных моделей планируется включение этих данных в базы общей регрессионной модели (ОРМ) и *Random Forest*. Основным объектом прогнозирования будет горбуша Восточной и Западной Камчатки. Кроме того, оперативно получаемые данные аТПМ/аТПО в осенний период года предшествующего году промысла, позволят использовать этот показатель в качестве индикаторной информации, характеризующей условия нагула молоди лососей.

Ключевые слова: тихоокеанские лососи, прогнозирование численности возвратов, температурная аномалия воды, нагульные миграции.

ВВЕДЕНИЕ

На Дальнем Востоке России в течение почти 100-летнего периода (1925–2020 гг.) ежегодно в среднем добывали около 170 тыс. т лососей, из которых приблизительно 110 тыс. т (данные 1971–2020 гг.) составляли камчатские стада (рис. 1). Порядка 60–70% уловов представлено одним видом — горбушей. На долю кеты и нерки приходится

25% и 10%, соответственно. Остальные виды в уловах занимают менее 5%. На Камчатке среднегодовалая доля кеты в уловах, относительно Дальнего Востока России, несколько ниже — до 15%, а нерки, наоборот, выше — более 15%.

Причем, в последнее десятилетие (2011–2020 гг.) годовые уловы камчатских лососей в среднем превышали 252 тыс. т. Минимальный улов в этот период был зафиксирован в 2013 г. (око-

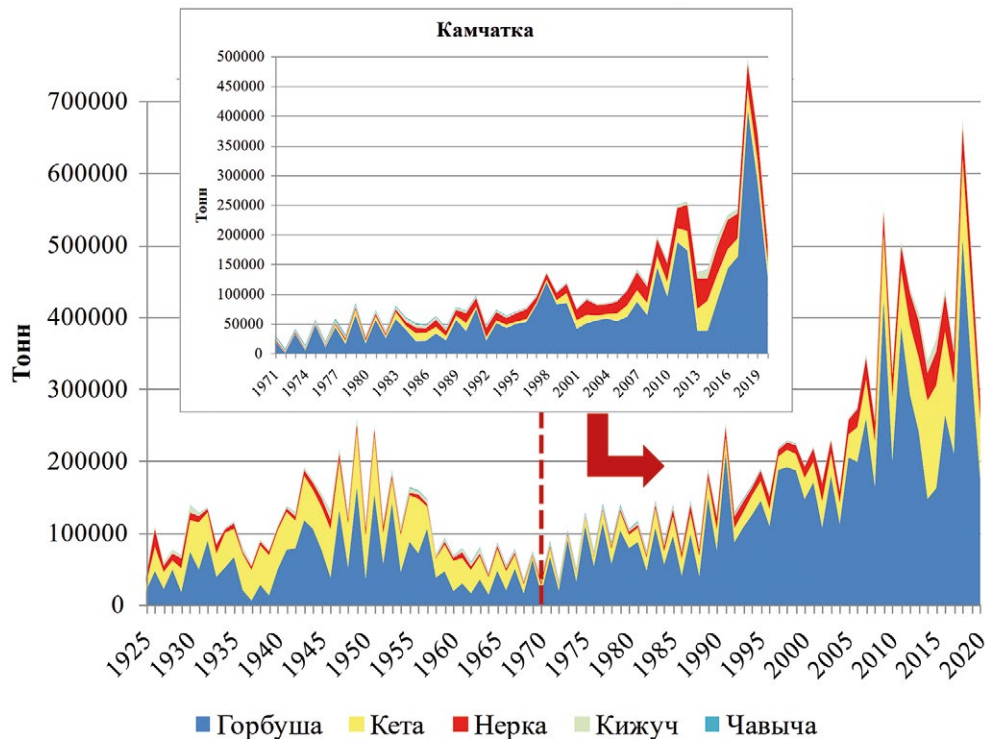


Рис. 1. Динамика уловов тихоокеанских лососей Дальнего Востока России (1925–2020 гг.) и Камчатки (1971–2020 гг.).

ло 138 тыс. т), а максимальный в 2018 г. (почти 498 тыс. т). Это указывает на исторический пик численности тихоокеанских лососей Камчатки, зафиксированный в XX и начале XXI вв.

Столь значимые запасы камчатских лососей являются стратегическим возобновляемым ресурсом государства, управление которым относится к приоритетным задачам рыбохозяйственной науки. Соответственно, одним из основных этапов рационального использования данного ресурса считается прогнозирование динамики численности стад лососей, представляющих основные региональные единицы промысловых запасов отдельных видов.

В качестве инструментов прогнозирования динамики численности камчатских стад тихоокеанских лососей в большинстве случаев используют моделирование на основе известных закономерностей взаимосвязи «родители — потомство» (Ricker, 1954;

Shepherd, 1982), а также имеющиеся зависимости изменчивости численности поколений по возрастным группам (метод сиблингов) (Peterman, 1982). Последний метод применяется исключительно для лососей с продолжительным периодом жизни (кета, нерка, кижуч, чавыча). В качестве эмпирических оценок, для отдельных видов (горбуша, кета), применяются данные учётных траловых съёмок в юго-западной части Берингова моря и Охотском море в период осенней откочёвки молоди от побережья — модель взаимосвязи «учёт молоди в море — возврат поколения». Кроме того, в прогнозах учитывают оценки численности покаторной молоди лососей, рассчитанные в результате учётно-мальковых работ в реперных (контрольных) реках Восточной и Западной Камчатки. В отдельных случаях оценку потенциальных фоновых условий нагула в пресноводный/ранний морской этапы жизненного цикла

лососей выполняют на основе доступной индикаторной гидрологической и гидробиологической информации (экологические индикаторы). Это позволяет корректировать решения при принятии прогнозных оценок, получаемых методами математического моделирования.

Следует уточнить, что в реальных условиях роль экологических индикаторов для принятия решения о величине прогнозируемого объёма добычи (вылова) водных биоресурсов, может быть, весьма высока. Дело в том, что математическое моделирование прогнозов численности любых видов биоресурсов всегда ограничено определенным количеством используемых предикторов, а также методической погрешностью. Причем, в качестве основного предиктора, а зачастую и единственного, вступает численность объекта прогнозирования. Однако, в этом случае, не учитывается многофакторность среды, в которой непосредственно происходит формирование продукционных показателей конкретной единицы промыслового запаса. Это значительно снижает информативность прогнозов. В случае с тихоокеанскими лососями данное обстоятельство было подмечено специалистами различных стран, где занимаются вопросами прогнозирования численности их запасов (Urawa et al., 2016).

Целью исследований является оценка возможности использования аномалии температуры поверхности воды (аТПМ — море / аТПО — океан) в западной части Северной Пацифики (Охотское и Берингова моря, северо-западная часть Тихого океана) в качестве климатического предиктора для потенциального моделирования прогнозов численности тихоокеанских лососей Камчатки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В качестве промыслового статистического материала были использованы официальные данные о численности уловов тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке России, принятые международной Комиссией по анадромным рыбам северной части Тихого океана (NPAFC — North Pacific Anadromous Fish Commission, <http://www.npafc.org>). Полный ряд имеющейся промысловой статистики включает период 1925–2020 гг. Непосредственно в работе использованы данные о вылове лососей Камчатки в 1971–2020 гг. Более короткий ряд наблюдений связан с тем, что в базах NPAFC до 1971 г. отсутствует корректная промысловая статистика для отдельных дальневосточных географических центров воспроизводства тихоокеанских лососей.

Зонирование районов исследований было выполнено, исходя из известных закономерностей осенних и зимних нагульных миграций тихоокеанских лососей Восточной и Западной Камчатки на раннем этапе (1-й год) морского/океанического периода жизни (Бирман, 1985; Шунтов, Темных, 2008, 2011). На рисунке 2 представлена схема квадратов (картографических трапеций), по которым были рассчитаны средние показатели аТПМ/аТПО за период 1971–2020 гг. Схема была ранее разработана камчатскими специалистами для оценки влияния гидрологических условий в бассейне Северной Пацифики на продуктивность тихоокеанских лососей Азии и Северной Америки (Бугаев, Тепнин, 2015; Бугаев и др., 2018; Bugaev et al., 2016, 2018).

Использованные в работе ряды наблюдений аТПМ/аТПО на регулярной сетке с шагом $5 \times 5^\circ$ по широте и долготе, получены с сайта https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.kaplan_sst.html. Набор

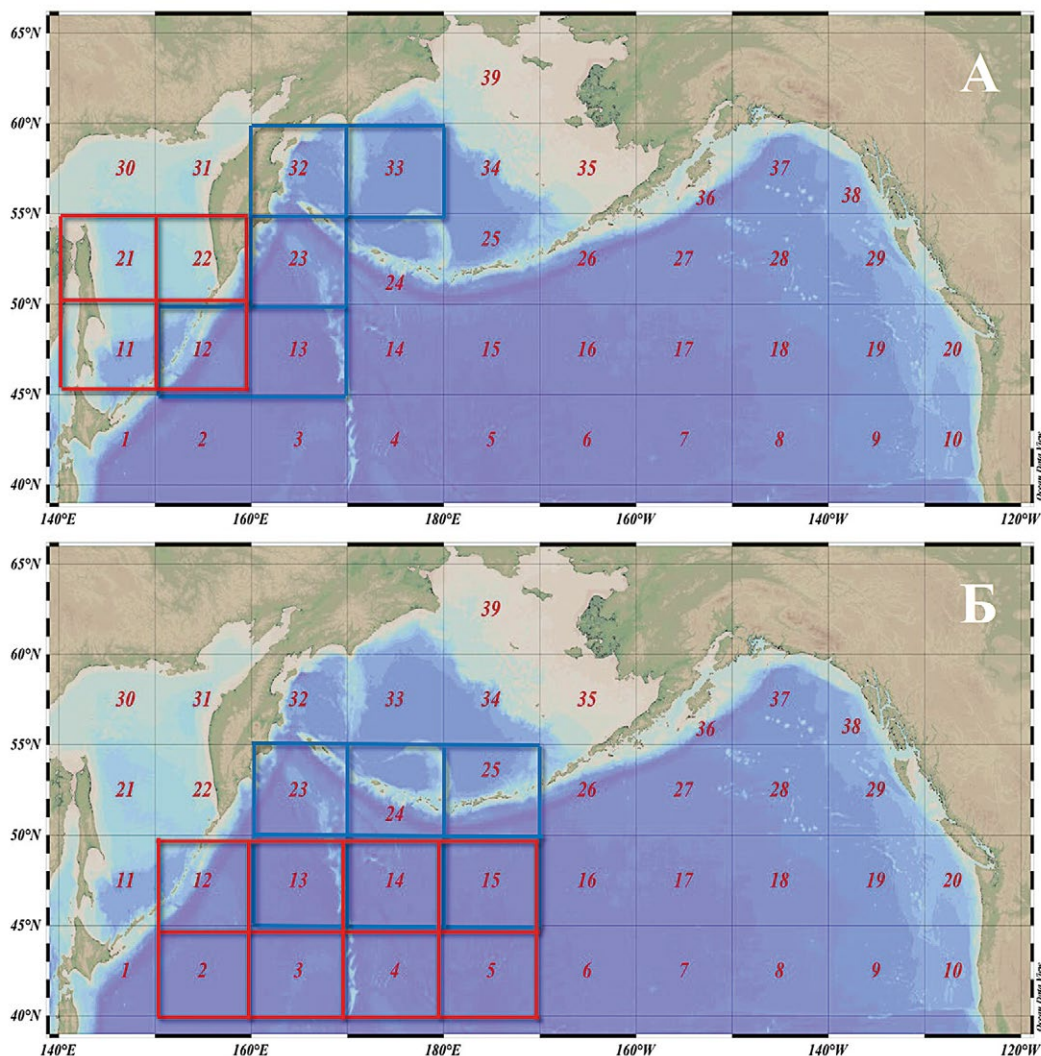


Рис. 2. Карта-схема основных зон осеннего (А) и зимнего (Б) нагула тихоокеанских лососей Восточной и Западной Камчатки в бассейне Северной Пацифики: цифры — порядковая нумерация картографических трапеций ($5 \times 10^\circ$), являющихся зонами расчёта средних значений аТПМ/аТПО; синие линии — восточнокамчатские стада; красные линии — западнокамчатские стада

данных о среднемесячных показателях аномалии представляет собой комбинированный ряд значений с 1856 г. и по настоящее время. Данные для временного отрезка с 1856 по 1981 гг. были первоначально рассчитаны на основе судовых наблюдений из базы Британского метеорологического бюро (UK MetOffice, <https://www.metoffice.gov.uk>) (Parker et al., 1994; Kaplan et al., 1998). Данные, после 1981 г., взяты из анализа Национальных центров экологического прогнозирования США (NCEP, <https://www.ncer.noaa.gov>).

с использованием алгоритма оптимальной интерполяции, который объединяет судовые наблюдения с дистанционным зондированием поверхности океана на сетке $1 \times 1^\circ$ (Reynolds, Smith, 1994). Базовым периодом для расчета аномалий является ряд наблюдений 1951–1980 гг. В работе проводили осреднение значений среднемесячной аТПМ/аТПО из двух соседних 5-градусных трапеций.

Обращаем внимание, что коэффициенты корреляций Пирсона (r) были

рассчитаны, исходя из хронологического соответствия показателей рядов наблюдений обоих массивов данных (аТПМ/аТПО — улов). Например, сентябрьские данные аТПМ/аТПО 2019 г. сопоставляли с уловами горбуши 2020 г. Аналогичный подход был применен к кете и нерке. Однако в данном случае учитывали массовый возраст созревания производителей после морского/океанического нагула. У кеты основу возвратов составляют рыбы в возрасте 0.3 и 0.4 (около 90%) (Заварина, 2008; Макоедов и др., 2009). Поэтому временной лаг составил 4–5 лет, начиная от возраста сеголетка (0.0). Параметр численности (улов) рассчитывали, как скользящее среднее, учитывая значимость обоих возрастных групп кеты (0.3 и 0.4) в подходах.

Таким образом, сентябрьский показатель аТПМ/аТПО 2016 г. сопоставляли со значениями скользящего среднего численности уловов вида в 2019–2020 гг. Аналогичный подход был применен и к нерке. Но, в этом случае, лаг составил 3–4 года, так как массовый морской/океанический нагул этого вида продолжается 2–3 года (более 95%) — от возраста $n.0$ до $n.2$ и $n.3$ (n — количество лет пресноводного нагула, обычно 0–3 года) (Бугаев, 1995, 2011).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализируя современные методы прогнозирования тихоокеанских лососей Камчатки, отметим, что, начиная с 2016 г., специалисты «КамчатНИРО» для подготовки прогнозов стали применять многомерную модель, учитывающую уровни выживаемости тихоокеанских лососей в зависимости от условий воспроизводства и раннего морского нагула, по методологии общей регрессии (Neter et al., 1990). В данном случае в качестве предикторов использовали, как непосредственно количественные оцен-

ки нерестовых запасов лососей (данные авиаучетов «КамчатНИРО»), так и экологические индикаторы (климатические индексы), отражающие потенциальное влияние среды на смертность рыб на различных этапах онтогенеза. С 2018 г. математический аппарат прогнозирования численности камчатских лососей был расширен с помощью метода машинного обучения *Random Forest* (случайный «лес») (Breiman, 2001; Фельдман, 2020).

В настоящее время для обоих методов в качестве основных климатических индикаторов выступают ежемесячные показания следующих климатических индексов:

1) PDO — Тихоокеанская декадная осцилляция (<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/>);

2) WP — индекс циклонической активности западной Пацифики (<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/wp.shtml>);

3) АО — индекс Арктической осцилляции (https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao.shtml).

Методически, при использовании общей регрессионной модели (ОРМ), использовали 4–5 климатических предикторов, имеющих наибольшие корреляции с натуральным логарифмом индекса выживаемости рыб (отношения родителей и потомков — $\ln R/S$). Как правило, это помесечные климатические индексы в критические стадии онтогенеза лососей, включающие нерест, инкубацию икры, скат и ранний морской период жизни (Фельдман, Шевляков, 2015). Полученные модели достаточно хорошо улавливают тенденции выживаемости поколений, однако за счет потенцирования интервального прогноза логарифма индекса выживаемости, имеют широкие доверительные интервалы рассчитыва-

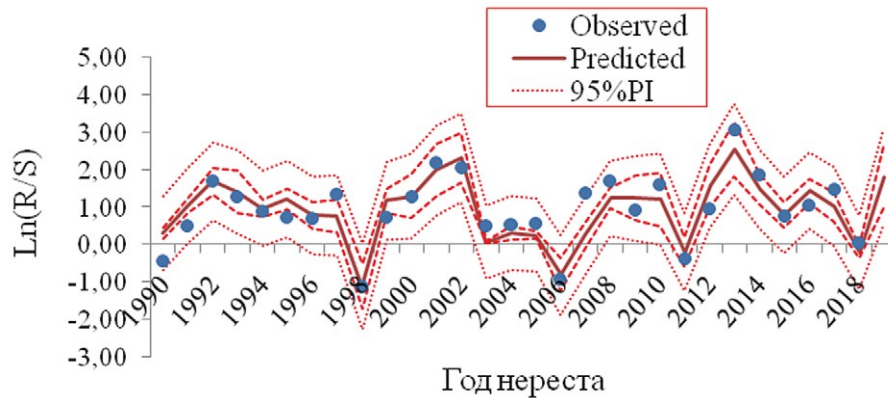


Рис. 3. Наблюдаемый и модельный ряды ($R^2 = 0,89$; $p < 0,001$) логарифма индекса выживаемости $\ln(R/S)$ (на примере регионального комплекса стад горбуши северо-востока Камчатки).

емых оценок численности, что снижает их прогностическую ценность (рис. 3).

Более точным методом прогнозирования уровня численности лососей является решение задачи на классификацию по стратифицированной модели *Random Forest* (Фельдман, 2020). Как и в случае с оценкой выживаемости регрессионными методами в данном подходе в качестве предикторов выступают данные климатических индексов. Однако в качестве зависимой переменной выступает страта (отдельная модель для

каждого уровня воспроизводства), к которой относится то или иное наблюдение, имеющее не числовое, а категориальное значение (рис. 4).

В отличие от регрессионного анализа, где корреляции можно отобрать на предварительном этапе разведки, в задаче на классификацию важны, не столько корреляции, сколько само расположение классов, в зависимости от предикторов. Поэтому для отбора предикторов используется программный циклический алгоритм. Это позволяет выявить наи-

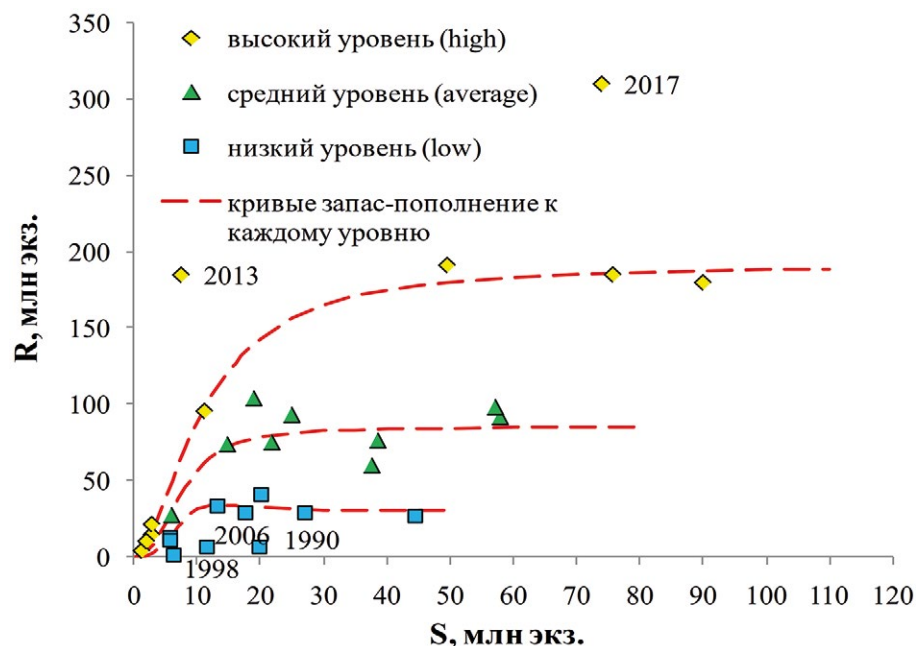


Рис. 4. Стратифицированная модель «запас — пополнение» (на примере регионального комплекса стад горбуши северо-востока Камчатки) по данным 1990–2017 гг.

более значимые из них для принятия консенсуса по окончательному прогнозу (рис. 5).

Обращаем внимание, что в настоящее время модельные методы прогнозирования ОРМ и *Random Forest* применяются камчатскими специалистами только для одного вида тихоокеанских лососей — горбуши. Это вполне объяснимо тем, что у короткоциклового вида рыб формирование запаса в большей степени зависит от изменчивости экологических параметров среды, что требует более углубленных методов их прогнозирования.

Одной из практических задач прогнозирования численности тихоокеанских лососей является подбор доступных предикторов, которые отражали бы влияние среды на условия их нагула и, в конечном итоге, на выживаемость. Особенно это актуально для раннего морского периода жизни, когда формируется их основной промысловый запас (Бирман, 1985; Шунтов, Темных, 2008, 2011; The ocean ecology of pacific salmon and trout, 2018).

Ранее камчатскими специалистами был представлен ряд научных публикаций, в которых рассматривается проблема комплексного влияния различных климатических факторов на численность возвратов азиатских стад лососей (Бугаев, Тепнин, 2011; Бугаев и др., 2018; Bugaev, Tepnin, 2012; Bugaev et al., 2018). Работы были выполнены в рамках программы по изучению влияния климатических изменений на продуктивность тихоокеанских лососей и стальноголовой форели, инициируемой в последнее десятилетие XXI в. Комиссией по анадромным рыбам северной части Тихого океана (NPAFC, www.npafc.org) и рабочей группой Международный год лосося (Story of IYS, 2017).

В ходе исследований было выявлено, что во многих случаях наблюдается комплексная взаимосвязь изменчивости климатических факторов и динамики численности лососей. При этом отмечено, что в подавляющем большинстве случаев, одним из ключевых факторов связи, выступает планетар-

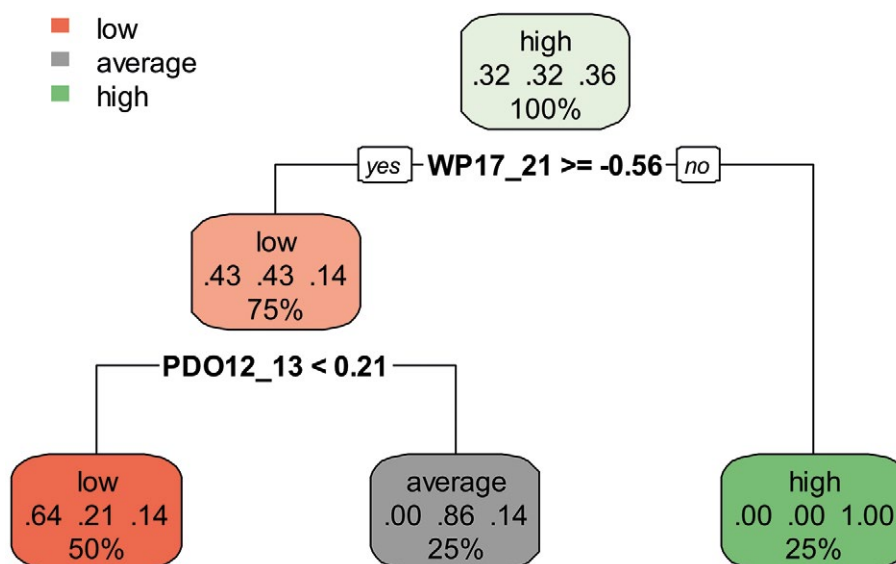


Рис. 5. Дерево решений в модели *Random Forest* с признаками WP17_21 (май-сентябрь — скат и ранний морской период) и PDO12_13 (декабрь-январь — период инкубации икры) (на примере регионального комплекса стад горбуши северо-востока Камчатки) по данным 1990–2017 гг.

ная глобальная температурная аномалия (ГТа). Этот индекс рассчитывается по данным всех доступных метеорологических станций Земли (включая Антарктические), с учетом реконструкции показателей температуры поверхности моря (ERSST v4), принимаемых как отклонение от среднего за период с 1951 по 1980 гг. В представленных выше работах камчатских специалистов были задействованы два индекса ГТа — N. HEMI+dSST (для Северного полушария Земли) и GLB.Ts+dSST (для всей планеты Земля) (<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata/>).

По данным 1925–2020 гг. изменчивость ГТа и численности лососей имеет достаточно схожую многолетнюю динамику, как в целом для планеты Земля, так и для северного полушария Земли (рис. 5). Аналогичные наблюдения были

представлены и в известной монографии Л.Б. Кляшторина и А.А. Любушина (2005). При этом авторы определили, что цикличность Глобальной dT (осредненная по всем пунктам измерений средняя температурная аномалия приземного слоя воздуха Земли — Global dT) составляет порядка 50–60 лет и достаточно близка глобальной многолетней динамике тихоокеанских лососей Дальнего Востока России. Однако, необходимо признать, что имеющийся ряд промысловой статистики по добыче лососей, как непосредственно в России, так и других странах Северной Пацифики, недостаточен для подтверждения этой теории, так как системный период наблюдений составляет всего около 100 лет.

Наличие четкой взаимосвязи ГТа с динамикой численности лососей по-

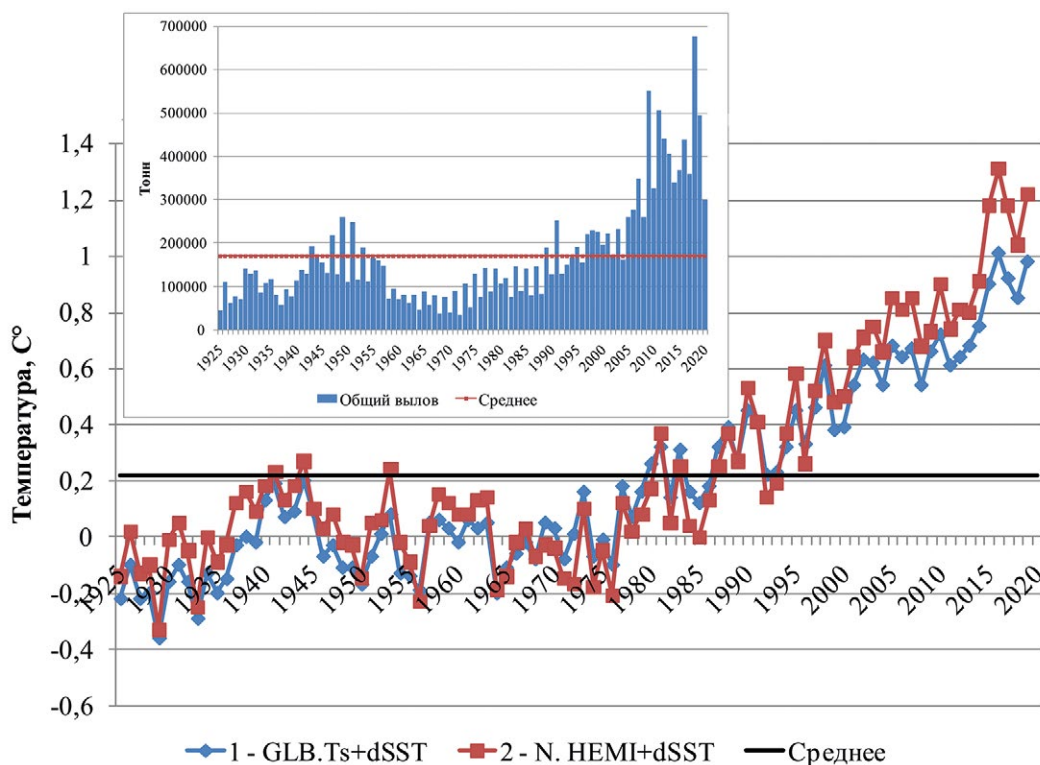


Рис. 5. Динамика индекса глобальной температурной аномалии в сравнении с условиями тихоокеанских лососей Дальнего Востока России (вставка) по данным 1925–2020 гг.: GLB.Ts+dSST — планета Земля; N. HEMI+dSST — Северное полушарие Земли (<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata/>).

служило отправной точкой по изучению зонального влияния аномалии температуры поверхности воды в бассейне Северной Пацифики на региональные запасы этой группы рыб. Отечественными специалистами был представлен ряд публикаций по данной тематике (Котенев и др., 2010, 2015; Бугаев, Тепнин, 2015; Бугаев и др., 2018; Bugaev et al., 2016, 2018), в которых выявлены закономерности взаимосвязи изменчивости аТПМ/аТПО с продуктивностью лососей (численность промысловых уловов) Дальнего Востока России.

В результате выполненных исследований по данным 1971–2020 гг. были определены коэффициенты корреляций Пирсона (r), отражающие взаимосвязь аТПМ/аТПО с численностью уловов массовых видов лососей (горбуша, кета, нерка) Восточной и Западной Камчатки (рис. 6).

Из полученных результатов видно, что большинство достоверных взаимосвязей обозначено умеренными коэффициентами корреляций на уровне $r = 0,30–0,60$. Можно четко определить, что связь прослеживается для большинства видов лососей на значительной части рассматриваемой акватории в осенний период (сентябрь–октябрь). В зимний период взаимосвязь наблюдается реже. Тем не менее, в отдельных районах (квadrатах), она также фиксируется. Исключением является только горбуша Западной Камчатки (ниже пояснение по этой единице запаса).

Анализируя полученные результаты, следует подчеркнуть, что определенная зависимость «аТПМ/аТПО — численность уловов» с учётом пространственной структуры и закономерностей нагульных миграций камчатских лососей на 1-м году морского/океанического нагула, не может быть случайной. Системная закономерность распределения

полученных достоверных коэффициентов корреляций для всех видов говорит о том, что температурный режим вод реально влияет на формирование запасов стад лососей Камчатки.

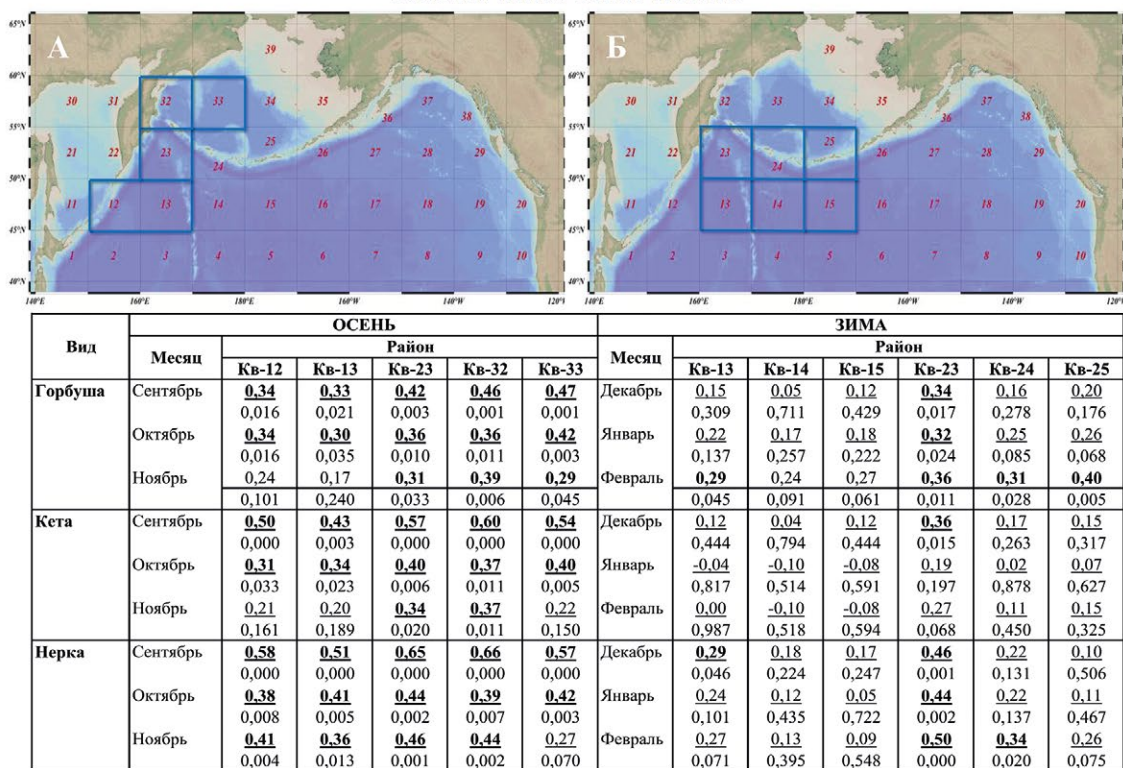
При этом, необходимо учитывать, что в рассматриваемом случае уровень взаимосвязи предиктора и искомого параметра не должен быть сильно высоким, поскольку гидрологический фактор может оказывать лишь опосредованное воздействие на формирование продукционных показателей рыб. Известно, что в данном процессе основными лимитирующими условиями выступают обеспеченность кормовыми ресурсами и воздействие хищников.

В качестве примера предлагаем рассмотреть график динамики аТПМ/аТПО (рис. 7) и взаимосвязи «аТПМ/аТПО — численность уловов» в районах (квadrатах), в которых коэффициенты корреляций имели максимальные значения (рис. 8).

Из графиков, отражающих межгодовую изменчивость сентябрьских значений аТПМ/аТПО, видно, что в период 1971–2020 гг. для всех районов наблюдений имеется четкий тренд на увеличение данного показателя. Это согласуется с общей динамикой уловов тихоокеанских лососей Камчатки для этого же временного ряда (рис. 1). При этом аномалия температуры в среднем варьирует в пределах от $-1,5$ до $2,0$ °C.

Представленные графики зависимости «аТПМ/аТПО — численность уловов» отражают структуру связей, в которой максимальные уловы тихоокеанских лососей наблюдаются при аТПМ/аТПО на уровне от $0,5$ до $2,0$ °C. Следует признать, что, в целом, полученные достоверные корреляции, недостаточно высоки — $r \sim 0,5–0,7$. В этом случае объяснение признака составляет около 25–45%, исходя из расчетного коэффи-

Восточная Камчатка



Западная Камчатка

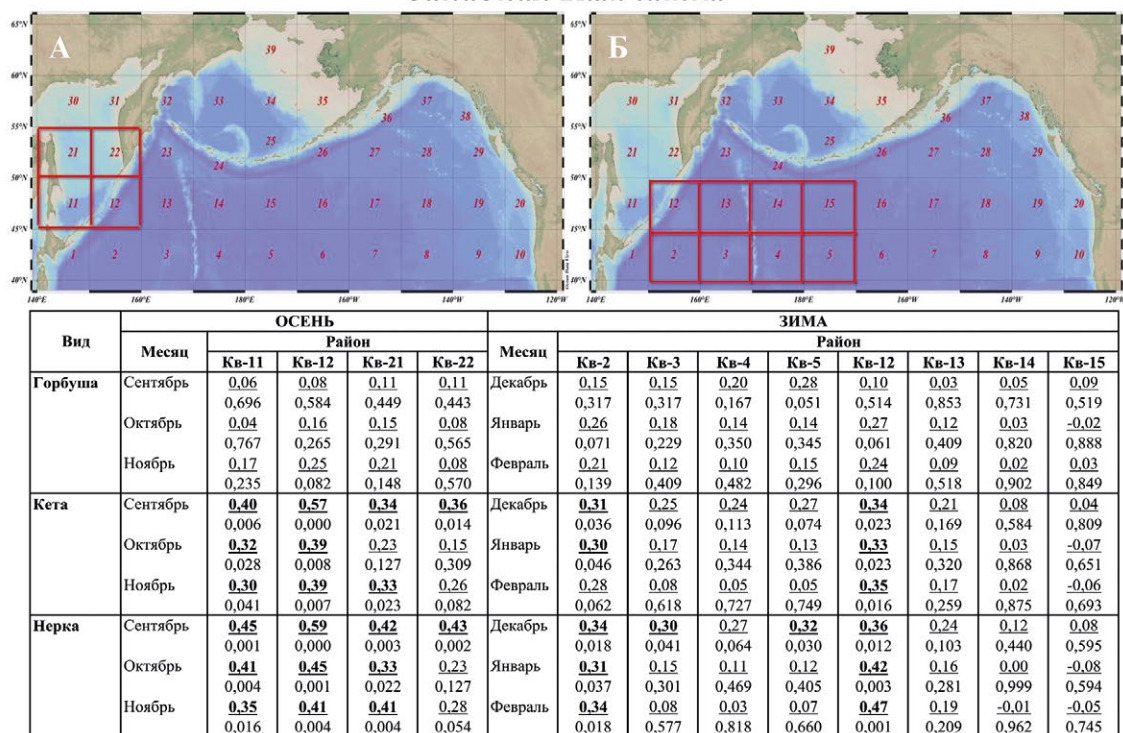


Рис. 6. Значения коэффициентов корреляций Пирсона и доверительной вероятности (r/p), отражающие зависимость изменчивости численности уловов тихоокеанских лососей Восточной и Западной Камчатки от показателей аТПМ/аТПО в зонах их массовых нагульных миграций (осенне-зимний период 1-го года морского/океанического этапа жизни) по данным 1971–2020 гг.: А — район осеннего нагула; Б — район зимнего нагула, жирным выделены доверительные коэффициенты корреляций.

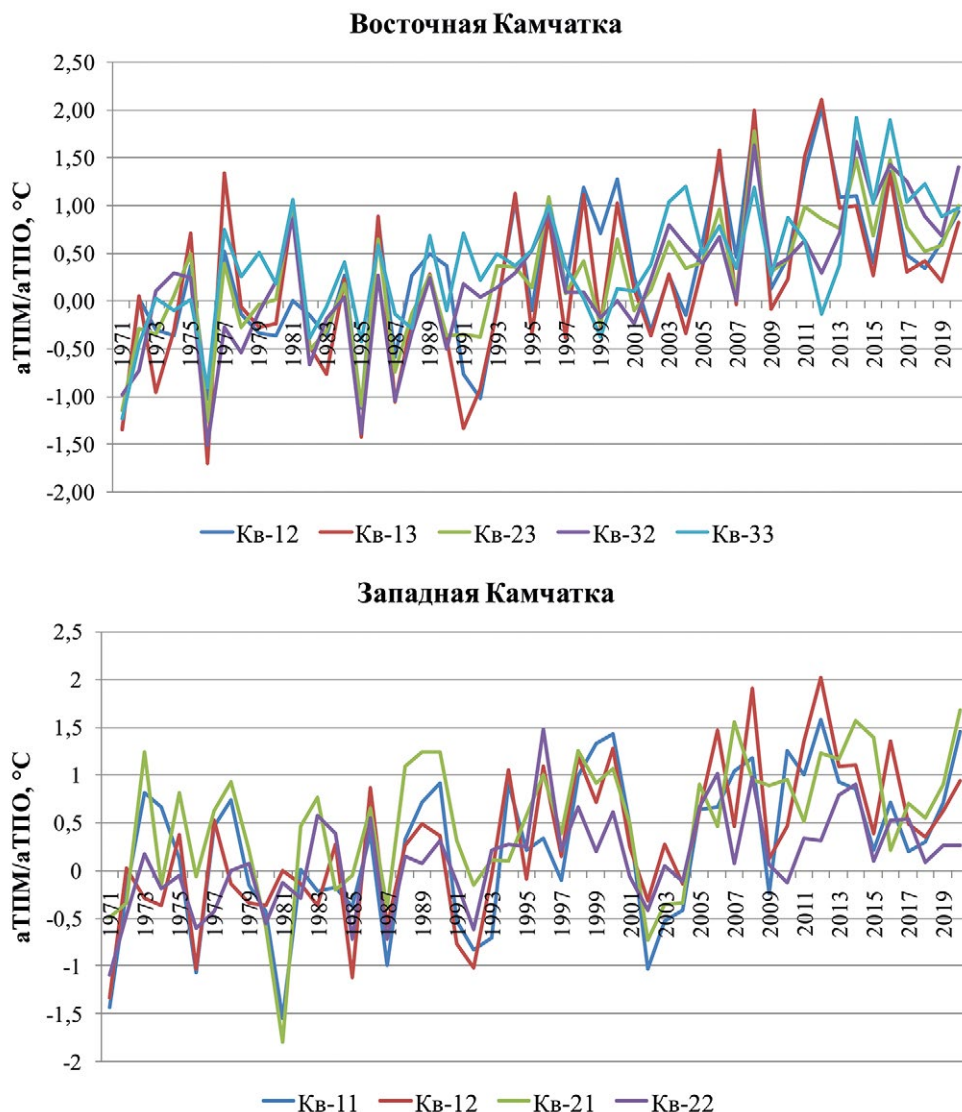


Рис. 7. Динамика аТПМ/аТПО в зонах (квадратах) массовых нагульных миграций тихоокеанских лососей Камчатки в сентябре 1-го года морского/океанического этапа жизни по данным 1971–2020 гг.

циента детерминации для данного уровня корреляций ($R^2 \sim 0,25\text{--}0,45$). Поэтому исходные данные аТПМ/аТПО при оценке их прямого воздействия на численность запасов лососей, могут рассматриваться только в качестве индикаторной информации.

Однако, наличие устойчивой умеренной связи «аТПМ/аТПО — численность уловов» для значительной части нагульной акватории в осенний период, открывает перспективы для многомерного моделирования прогнозов дина-

мики численности тихоокеанских лососей Камчатки. Дальнейшая статистическая разведка рядов наблюдений аТПМ/аТПО по районам (квадратам), позволит определить наиболее активные периоды и зоны, температурные показатели которых демонстрируют заметную реакцию на изменчивость переменных рядов уловов в многомерном пространстве. Это позволит включить данные ряды аТПМ/аТПО в анализ с помощью ОРМ и *Random Forest* наряду с другими климатическими индексами. Обращаем

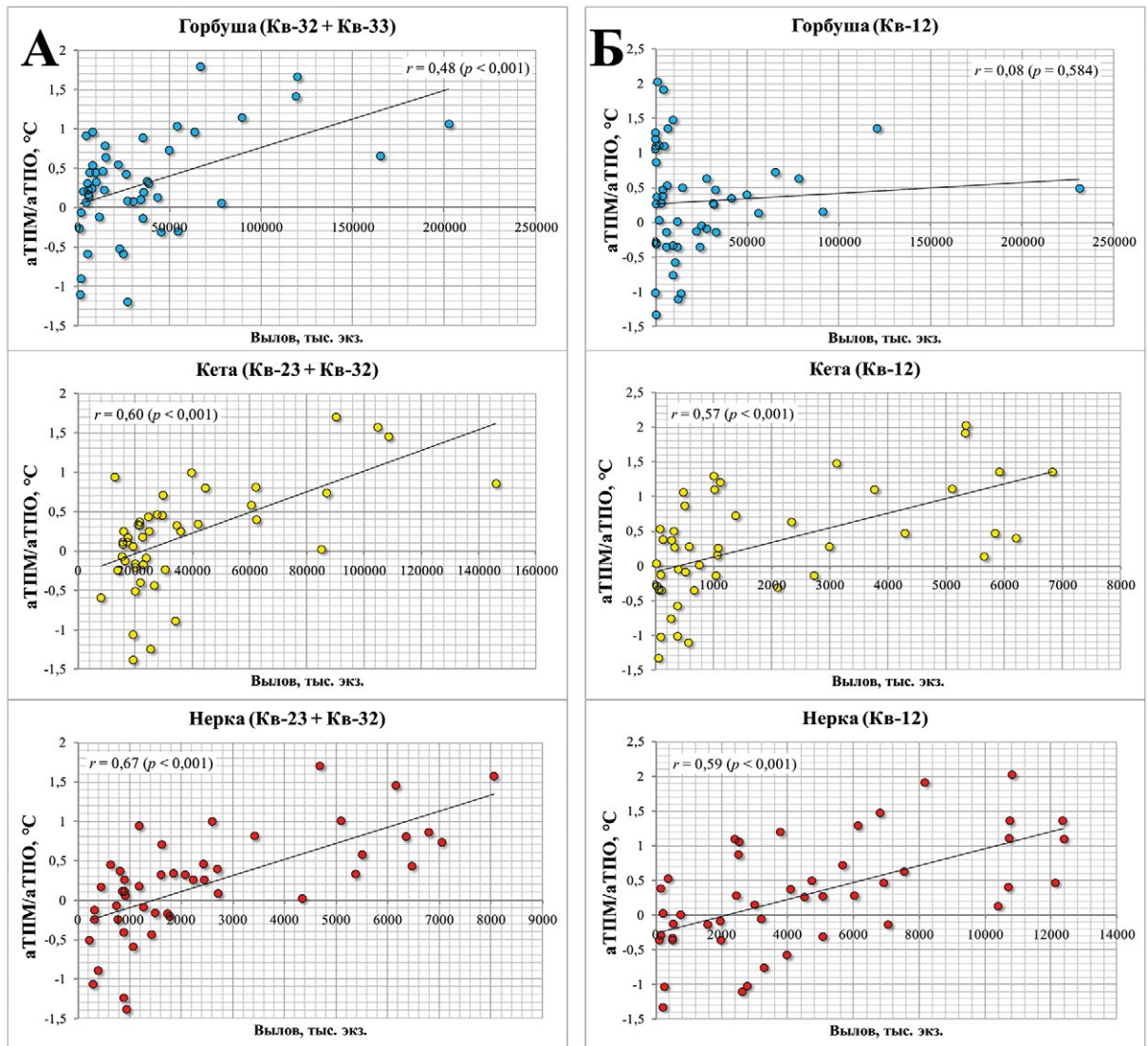


Рис. 8. Взаимосвязь изменчивости численности уловов тихоокеанских лососей Восточной (А) и Западной (Б) Камчатки от показателей аТПМ/аТПО в зонах (квадратах) их массовых нагульных миграций в сентябре 1-го года морского/океанического этапа жизни по данным 1971–2020 гг.

внимание на то, что имеющиеся ряды аТПМ/аТПО для зимнего периода, несмотря на слабовыраженную прямую взаимосвязь с численностью уловов лососей, также могут демонстрировать неплохую реакцию в многомерном поле.

Отдельно необходимо рассмотреть перспективы включения рядов наблюдений аТПМ/аТПО для прогнозирования численности горбуши Восточной и Западной Камчатки. Понятно, что формирование численности этого вида в значительной степени зависит от эндоген-

ных причин. Речь идет о флуктуациях численности нечётных и чётных поколений горбуши. Теоретически условия водной среды должны одинаково воздействовать на рыб обоих поколений. Однако наличие высокой или низкой численности того или иного поколения может создавать дополнительные условия по обеспечению выживания горбуши. Естественная смертность рыб может меняться в зависимости от плотностного фактора и, соответственно, доступности корма и активности хищников.

Поэтому при практическом прогнозировании динамики запасов горбуши зачастую производят оценку отдельно для каждой линии поколений воспроизводства.

На рисунках 9 и 10 показаны графики взаимосвязи «аТПМ/аТПО — численность уловов» для горбуши нечётных и чётных лет воспроизводства с использованием фактических и прологарифмированных данных уловов.

Необходимо отметить, что ранее для горбуши Западной Камчатки было зафиксировано отсутствие рассматриваемой зависимости для полного ряда наблюдений. В данном варианте для рыб чётной (урожайной) линии лет просматривается искомая связь — $r = 0,41$ (фактические данные уловов) и $r = 0,54$ (прологарифмированные данные уловов). Это указывает на то, что возмож-

но использование имеющихся рядов наблюдений аТПМ/аТПО в моделировании прогнозов отдельно для этого поколения западнокамчатской горбуши. В отношении рыб нечётной линии лет подобной взаимосвязи не прослеживается. Наиболее вероятно, что для данной линии поколений горбуши определяющими факторами при формировании численности являются не температурные условия в открытых водах Охотского моря. Не исключено, что здесь максимальное воздействие происходит в экосистеме прибрежной зоны Западной Камчатки.

У восточнокамчатского комплекса стад этого вида равноценная зависимость наблюдается для обоих поколений (нечётные годы — $r = 0,56$; чётные годы — $r = 0,55$). Причем, логарифмическое преобразование рядов уловов заметно усиливает связи, составившие

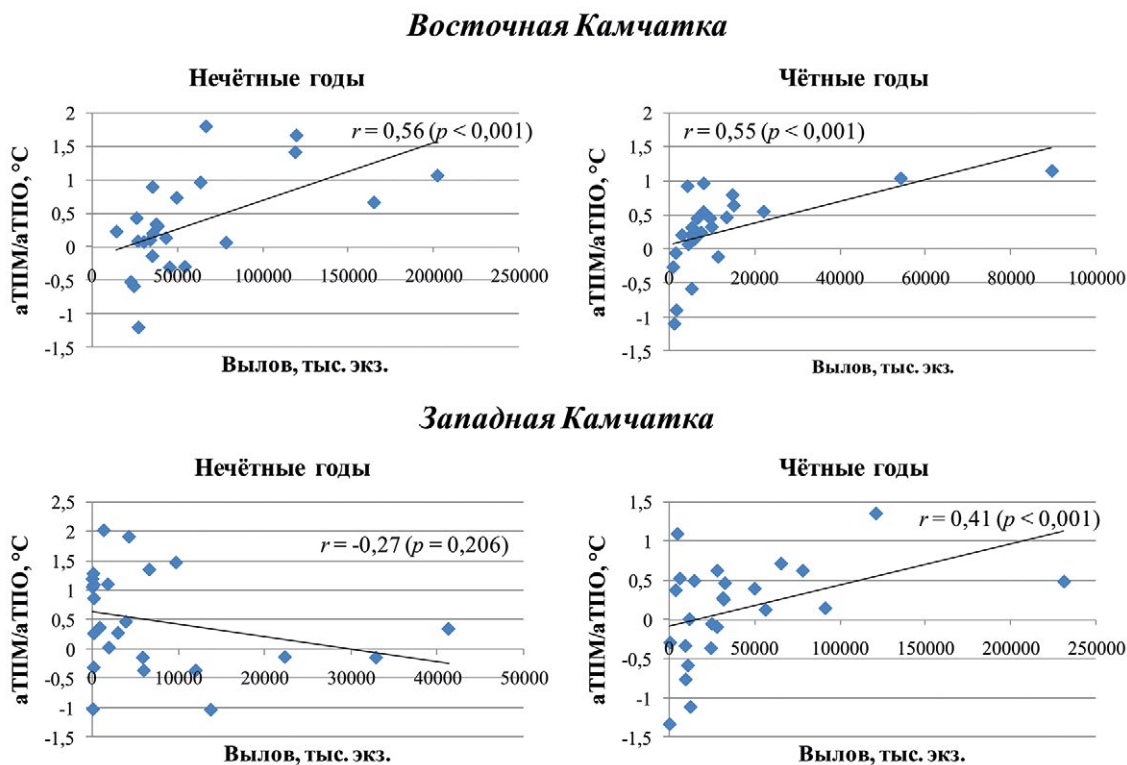
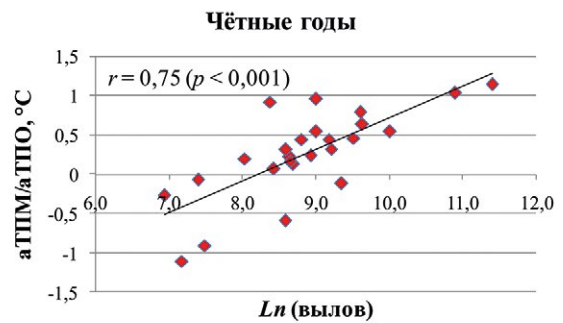
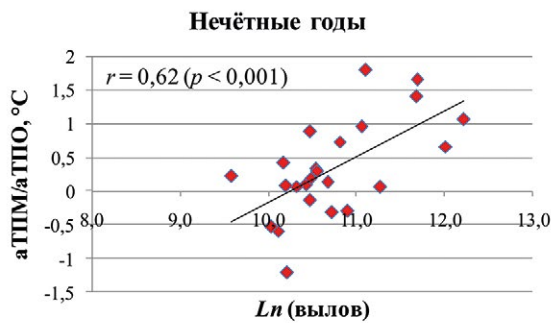


Рис. 9. Взаимосвязь изменчивости численности уловов горбуши в нечётные и чётные годы от показателей аТПМ/аТПО в районах (Восточная Камчатка — квадраты 32 и 33; Западная Камчатка — квадрат 12) их активных нагульных миграций в сентябре 1-го года морского/океанического этапа жизни по данным 1971–2020 гг.

Восточная Камчатка



Западная Камчатка

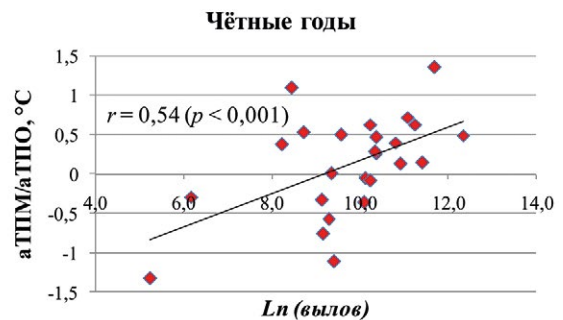
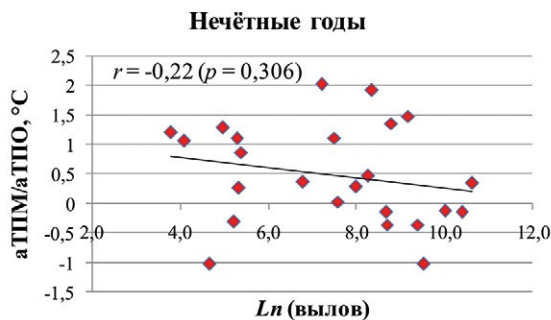


Рис. 10. Взаимосвязь логарифма изменчивости численности уловов горбуши в нечётные и чётные годы от показателей аТПМ/аТПО в районах (Восточная Камчатка — квадраты 32 и 33; Западная Камчатка — квадрат 12) их активных нагульных миграций в сентябре 1-го года морского/океанического этапа жизни по данным 1971–2020 гг.

$r = 0,62$ и $r = 0,75$, соответственно. Это, также указывает на возможные вариации работы с рядами наблюдений при создании прогностических моделей.

В качестве индикаторной информации, дополнительно отметим, что в сентябре 2020 г. в квадратах 12, 13, 23, 32 и 33 (для горбуши Восточной Камчатки) средняя аТПМ/аТПО составила 1,03 °С, что превышает среднееголетний показатель 2011–2020 гг. — 0,96 °С. При этом, подчеркнем, что в 2019 г., когда происходил нагул восточнокамчатской горбуши возврата 2020 г., показатель аТПМ/аТПО был минимальным за последние 10 лет — 0,60 °С. В акватории квадратов 11, 12, 21 и 22 (для горбуши Западной Камчатки) средний показатель аТПМ/аТПО в сентябре 2020 г. составил 1,09 °С. Это заметно выше регионального среднееголетнего показателя

аТПО (2011–2020 гг.) — 0,80 °С. В свою очередь в указанных районах аТПМ/аТПО в сентябре 2019 г., также был относительно низок — 0,63 °С. Однако отклонение этого показателя в меньшую сторону, относительно среднееголетнего значения, было заметно меньше, чем в предыдущем случае.

Таким образом, исходя из представленных данных, можно предположить, что температурные условия нагула камчатских стад горбуши в сентябре 2020 г. были благоприятными. Аналогичные тенденции характерны для октября и ноября. Это может свидетельствовать о повышенном уровне возвратов камчатской горбуши в 2021 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты исследований показывают наличие устойчи-

вых взаимосвязей численности уловов тихоокеанских лососей с показателями аномалий температуры поверхности (аТПМ/аТПО) в зонах ранних морских/океанических миграций молоди в осенний и зимний период в водах Берингова и Охотского морей, а также в водах Субарктического фронта западной части Тихого океана. Это подтверждает возможность использования имеющихся рядов наблюдений аТПМ/аТПО для математического моделирования прогнозов возвратов лососей Восточной и Западной Камчатки. Полученные данные послужат в качестве дополнительного климатического индикатора. Это позволит расширить возможности моделей ОРМ (общая регрессионная) и *Random Forest*, используемых при прогнозировании динамики запасов камчатских лососей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бирман И.Б. Морской период жизни и вопросы динамики численности стада тихоокеанских лососей: монография. М.: Агропромиздат, 1985. 208 с.
- Бугаев А.В., Тепнин О.Б. Оценка влияния некоторых климатических факторов на численность азиатских стад горбуши и кеты // Изв. ТИНРО. 2011. Т. 166. С. 67–87.
- Бугаев А.В., Тепнин О.Б. Продуктивность тихоокеанских лососей: влияние термических условий вод в период первой зимы в бассейне Северной Пацифики // Труды ВНИРО. 2015. Т. 158. С. 89–111.
- Бугаев А.В., Тепнин О.Б., Радченко В.И. Климатическая изменчивость и продуктивность тихоокеанских лососей Дальнего Востока России // Иссл. водн. биол. ресурсов Камчатки и Сев.-Зап. Части Тихого океана. 2018. Вып. 49. С. 5–50.
- Бугаев В.Ф. Азиатская нерка (пресноводный период жизни, структура локальных стад, динамика численности): монография. М.: Колос, 1995. 464 с.
- Бугаев В.Ф. Азиатская нерка — 2 (биологическая структура и динамика численности локальных стад в конце XX — начале XXI вв.): монография. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2011. 380 с.
- Заварина Л.О. Биология и динамика численности кеты *Oncorhynchus keta* северо-восточного побережья Камчатки: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: ВНИРО, 2008. 25 с.
- Кляшторин Л.Б., Любушин А.А. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности: монография. М.: ВНИРО, 2005. 235 с.
- Котенев Б.Н., Богданов М.А., Кровнин А.С., Мурый Г.П. Изменения климата и динамика вылова дальневосточных лососей // Вопр. промысловой океанологии. 2010. Вып. 7. № 1. С. 60–92.
- Котенев Б.Н., Кровнин А.С., Кловач Н.В., Мордасова Н.В., Мурый Г.П. Влияние климато-океанологических факторов на состояние основных запасов горбуши в 1950–2015 гг. // Труды ВНИРО. 2015. Т. 158. С. 143–161.
- Макоедов А.Н., Коротаев Ю.А., Антонов Н.П. Азиатская кета: монография. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2009. 356 с.
- Фельдман М.Г. Использование метода случайных лесов деревьев решений *Random Forest* в целях прогнозирования подходов восточнокамчатской горбуши // Иссл. водн. биол. ресурсов Камчатки и Сев.-Зап. Части Тихого океана. 2020. Вып. 59. С. 76–96.
- Фельдман М.Г., Шевляков Е.А. Выживаемость камчатской горбуши как результат совокупного воздействия плотностной регуляции и факторов внешней среды // Изв. ТИНРО. 2015. Т. 182. С. 88–114.
- Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах: монография. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2008. Т. 1. 481 с.
- Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах: монография. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2011. Т. 2. 473 с.

- Beverton R.J.H., Holt S.J.* Dynamics of exploited fish population // *Fish. Invest.* 1957. Ser. II. № 19. 533 p.
- Breiman L.* «Random Forests» // *Machine Learning*. 2001. № 45 (1). P. 5–32.
- Bugaev A.V., Tepnin O.B.* Estimation of influence of some climatic factors on the abundance of Asian pink and chum salmon // *NPAFC, Technical report*. 2012. № 8. P. 103–106.
- Bugaev A.V., Tepnin O.B., Myers K.W.* Correlation between winter sea surface temperatures in the north Pacific ocean and continental-scale commercial catches of pacific salmon, 1983–2013 // *NPAFC, Bull.* 2016. № 6. P. 189–205.
- Bugaev A.V., Tepnin O.B., Radchenko V.I.* Climate Change and Pacific Salmon Productivity on the Russian Far East // *NPAFC, Technical report*. 2018. № 11. P. 73–79.
- Kaplan A., Cane M., Kushnir Y., Clement A., Blumenthal M., Rajagopalan B.* Analyses of global sea surface temperature 1856–1991 // *J. of Geophysical Research*. 1998. № 103. P. 18567–18589.
- Neter J., Wasserman W., Kutner M.H.* Applied linear statistical models: regression, analysis of variance, and experimental designs (3rd ed.). Burr Ridge: Irwin, 1990. 1181 c.
- Parker D.E., Jones P.D., Folland C.K., Bevan A.* Interdecadal changes of surface temperature since the late nineteenth century // *J. Geophys. Res.* 1994. № 99. P. 14373–14399.
- Peterman R.M.* Model of salmon age structure and its use in preseason forecasting and studies of marine survival // *Canadian J. of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1982. № 39. P. 1444–1452.
- Reynolds R.W., Smith T.M.* Improved global sea surface temperature analyses // *J. Climate*. 1994. № 7. P. 929–948.
- Ricker W.* Stock and recruitment // *J. of the fisheries research board of Canada*. 1954. V. 11. № 5. P. 559–623.
- Shepherd J.G.* A family of general production curves for exploited populations // *Math. Biosci.* 1982. V. 59. P. 77–93.
- Story of International Year of the Salmon: concept to lunch* // *NPAFC, Technical report*. 2017. № 10. 142 p.
- The ocean ecology of pacific salmon and trout* / Ed. R.J. Beamish. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 2018. 1147 p.
- Urawa S., Irvine J.R., Kim J.K. et al.* Forecasting Pacific Salmon Production in a Changing Climate: A Review of the 2011–2015 NPAFC Science Plan // *NPAFC, Bull.* 2016. № 6. P. 501–534.

DYNAMICS OF ABUNDANCE

**ON THE USE OF THE DATA OF THE ANOMALY OF THE
WATER SURFACE TEMPERATURE IN THE WESTERN
PART OF THE NORTHERN PACIFIC AS A POTENTIAL
CLIMATIC PREDICTOR FOR PREDICTING THE
NUMBER OF PACIFIC SALMON OF KAMCHATKA**

© 2021 y. A.V. Bugaev, M.G. Pheldman, O.B. Tepnin, M.V. Koval

*Kamchatka branch Russian Federal research institute of the Fisheries
and Oceanography, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683600*

The paper presents an analysis of the relationship between the variability of sea surface temperature anomalies (SSTa) in the areas of autumn-winter migrations of young Pacific salmon from Eastern and Western Kamchatka and the dynamics of the number of catches of their producers. The series of observations includes the period 1971–2020. The SSTa data collection site covers the waters of the western part of the Bering Sea, the southern part of the Sea of Okhotsk and the northwestern part of the Pacific Ocean.

The results of the studies showed that in the areas of mass feeding of juvenile pink salmon, chum salmon and sockeye salmon, the SSTa indicators have a stable relationship with the number of catches of these species. Most of the reliable relationships are indicated by moderate correlation coefficients at the level of $r = 0,30-0,60$. The pattern is observed for all salmon species in a significant part of the considered water area in the autumn period (September-October). In winter, the relationship is observed much less frequently. It is proposed to use the accumulated SSTa series for multidimensional modeling

In addition, the promptly obtained SSTa data in the autumn period of the year preceding the year of fishing, will allow using this indicator as an indicator information characterizing the conditions of feeding of juvenile salmon.

Ключевые слова: pacific salmon, prediction of the number of returns, temperature anomaly of water, feeding migrations