

Научная статья / Original article  
УДК 597.552.511:639.2.053.8(282.257.166)  
doi:10.15853/2072-8212.2025.76.57-69  
EDN: QZCFNY



## О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПОДХОДОВ НЕРКИ *ONCORHYNCHUS NERKA* Р. ОЗЕРНОЙ (ЗАПАДНАЯ КАМЧАТКА) НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ КОГОРТНОГО АНАЛИЗА

Ильин Олег Игоревич✉, Бугаев Александр Викторович,  
Дубынин Владимир Александрович, Зикунова Ольга Владимировна

Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, o.ilin@kamniro.vniro.ru✉

**Аннотация.** В работе рассматривается один из возможных подходов к моделированию динамики возрастной структуры нерки р. Озерной (Западная Камчатка). Представленная модель является своего рода статистической когортной моделью для указанной единицы запаса. По данным о возрастной структуре производителей в уловах и на нерестилищах, а также численности ската, она позволяет, при заданных условиях, восстановить численность каждой возрастной группы нерки в ретроспективе, оценить долю зрелых рыб и дать вероятностный прогноз подхода производителей нерки р. Озерной на краткосрочную перспективу (1–2 года).

**Ключевые слова:** нерка, р. Озерная, динамика численности, возрастная структура, прогноз, когортная модель

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Ильин О.И., Бугаев А.В., Дубынин В.А., Зикунова О.В. О прогнозировании подходов нерки *Oncorhynchus nerka* р. Озерной (Западная Камчатка) на основе методологии когортного анализа // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2025. Вып. 76. С. 57–69. EDN: QZCFNY. doi:10.15853/2072-8212.2025.76.57-69

## ON PREDICTING SOCKEYE SALMON *ONCORHYNCHUS NERKA* RUNS IN THE OZERNAYA RIVER (WESTERN KAMCHATKA) BASED ON COHORT ANALYSIS METHODOLOGY

Oleg I. Ilyin✉, Alexandr V. Bugaev, Vladimir A. Dubynin, Olga V. Zikunova

Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, o.ilin@kamniro.vniro.ru✉

**Abstract.** One of possible approaches to modeling sockeye salmon age structure dynamics in the Ozernaya River (Western Kamchatka) is analyzed. The model discussed is a kind of statistical cohort model for mentioned stock unit. Using the abundance of juvenile escapement and the data on the age structure of spawners in the catches and in spawning grounds it allows under given conditions to obtain retrospective abundances for all age groups of sockeye salmon, to evaluate mature stock and to make probabilistic forecast for sockeye salmon run in the Ozernaya River for a short-term feature period (1–2 years).

**Keywords:** sockeye salmon, Ozernaya River, stock abundance dynamics, age structure, forecast, cohort model

**Funding.** The study was not sponsored.

**For citation:** Ilyin O.I., Bugaev A.V., Dubynin V.A., Zikunova O.V. On predicting sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* runs in the Ozernaya River (Western Kamchatka) based on cohort analysis methodology // The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2025. Vol. 76. P. 57–69. (In Russ.) EDN: QZCFNY. doi:10.15853/2072-8212.2025.76.57-69

Стадо нерки *Oncorhynchus nerka* р. Озерной является крупнейшим в азиатской части ареала вида (Бугаев и др., 2009; Бугаев, 2011; Дубынин, 2023). В 2000–2020-е гг. его доля в общем вылове нерки в пределах Камчатского края на среднемноголетнем уровне составляла около 60% (32–79%). Непосредственно на западном побережье полуострова, к которому по геогра-

фическому принципу относится бассейн р. Озерной, вклад данного стада в региональный промысел вида для обозначенного периода соответствовал приблизительно 85% (57–96%). В фактическом выражении это составляло 19 (11–30) тыс. т вылова.

Учитывая экономическую ценность указанного водного биологического ресурса, специали-

стами Камчатского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (КамчатНИРО) ежегодно ведется биологический мониторинг данной единицы запаса. Начало выполнения комплексных исследований биологии и динамики численности стада нерки р. Озерной датируется еще периодом 1930–1940-х гг. Практическим результатом многолетнего мониторинга являются разработанные меры по регулированию промысла, позволяющие сочетать эффективное воспроизводство и развитие стабильного рыболовства в отношении указанной единицы запаса вида. При этом краеугольным камнем управления запасами любого ценного водного биологического ресурса остается прогнозирование динамики его численности.

В истории прогнозирования динамики запасов нерки р. Озерной значимый вклад сделали Ф.В. Крогиус (1940–1950-е гг.), Т.В. Егорова (1960–1970-е гг.) и М.М. Селифонов (1970–1980-е гг.). Этими специалистами были заложены основы прогнозирования данного стада с учетом возрастной структуры и оценки численности поколений. Начиная с середины 1990-х гг. и до настоящего времени подготовкой прогнозов численности нерки р. Озерной занимается В.А. Дубынин. Им вместе с соавторами были разработаны и внедрены в практику методы прогнозирования запаса на основе оценок кратности возвратов производителей и учета численности молоди во время покатной (катадромной) миграции (Дубынин и др., 2007; Дубынин, Травин, 2020). В настоящее время все указанные методы применяются при подготовке ежегодных материалов прогнозов. Однако по мере накопления новых данных появляются возможности для расширения методологии прогнозирования нерки р. Озерной. Представляет интерес (в т. ч. и самостоятельный) разработка методологии моделирования динамики возрастной структуры и прогнозирования на ее основе состояния запаса нерки р. Озерной. Это и является целью настоящей работы.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе использованы данные о возрастной структуре и статистике по динамике численности нерки р. Озерной в 2004–2023 гг. Кроме того, включены оценки численности смолтов, полученные в период их ската из оз. Курильского. Информация о величине нерестового запаса и интенсивности покатной миграции нерки базировалась на данных с рыбоучетного заграждения (РУЗ), расположенного в истоке р. Озерной. Использованная промысловая ста-

тистика предоставлена Северо-Восточным территориальным управлением Росрыболовства. Данные о вылове нерки р. Озерной дрейферными судами в исключительной экономической зоне Российской Федерации в 2004–2016 гг. получены в результате многолетних популяционно-биологических исследований вида в период преднерестовых миграций (Бугаев, 2015).

Отметим, что численность пропущенной на нерест нерки р. Озерной в многолетнем режиме оценивается одним методом — прямой учет на РУЗ при заходе производителей в оз. Курильское. Это позволяет стандартизировать оценки нерестового запаса по годам наблюдений. Фактический среднемноголетний пропуск нерки р. Озерной на нерест в 2004–2024 гг. составил 1,8 (1,1–5,0) млн рыб. Это составляет приблизительно 15% от средней величины подхода — 10,0 (6,3–13,4) млн рыб.

В настоящем исследовании выполнено моделирование динамики численности возрастных групп нерки  $N_{i,k}$ ,  $i = 1, 2, 3$ ;  $k = 0, 1, 2, 3, 4$ , т. е. тех возрастных групп (всего — 15), что представлены в наблюдениях 2004–2023 гг. Где  $i$  — пресноводный возраст,  $k$  — длительность жизни в море в годах. Включение в модель численности возрастных групп смолтов  $N_{i,0}$ ,  $i = 1, 2, 3$  продиктовано не только желанием использовать данные ежегодного мониторинга по скату, но и перспективной возможностью включения в модель зависимости «запас — пополнение» с учетом или без каких-либо биотических и абиотических факторов.

Предполагается, что все источники данных, кроме данных по вылову нерки дрейферными судами, содержат шум.

Динамика возрастной структуры нерки может быть описана следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} N_{2,0}^t &= (1 - p_1)N_{1,0}^{t-1}e^{-M_r}, N_{3,0}^t = (1 - p_2)N_{2,0}^{t-1}e^{-M_r}; \\ N_{1,1}^t &= p_1N_{1,0}^{t-1}e^{-M_1}, N_{2,1}^t = p_2N_{2,0}^{t-1}e^{-M_1}, N_{3,1}^t = p_3N_{3,0}^{t-1}e^{-M_1}; \\ N_{1,k}^t &= (1 - \mu_{1,k-1})N_{1,k-1}^{t-1}e^{-M}, N_{2,k}^t = (1 - \mu_{2,k-1})N_{2,k-1}^{t-1}e^{-M}, \\ N_{3,k}^t &= (1 - \mu_{3,k-1})N_{3,k-1}^{t-1}e^{-M}, k = 2, 3, 4; \end{aligned}$$

где  $t$  — год;  $M_r$  — среднемноголетний мгновенный коэффициент естественной смертности в реке/озере;  $M_1, M$  — среднемноголетние мгновенные коэффициенты естественной смертности в первый и последующие годы жизни в море соответственно;  $p_i$  — вероятность «скатиться» в возрасте  $i, 0$ ;  $\mu_{i,k}$  — среднемноголетняя доля половозрелых рыб в возрасте  $i, k$ . Каждый год  $t$  соответствует периоду преднерестовых миграций нерки в прибрежных водах Камчатки.

В соответствии с изложенным выше, численность возвратившихся производителей в возрасте  $i.k$  записывается как  $\mu_{i,k} N_{i,k}^t (1 - \varphi_d^t)$ , где

$$\varphi_d^t = \frac{\widehat{C}_d^t}{\sum_{i,k} \mu_{i,k} N_{i,k}^t}$$

— промысловая убыль от дрефтерных сетей,  $\widehat{C}_d^t$  — фактический годовой улов нерки р. Озерной дрефтерными сетями в год  $t$ .

Далее в модели годовой вылов  $C_{Fi,k}^t$  возвратившихся производителей в возрасте  $i.k$  морскими неводами и на речных рыбопромысловых участках в год  $t$  определяется как:

$$C_{Fi,k}^t = \mu_{i,k} N_{i,k}^t (1 - \varphi_d^t) \varphi_F^t,$$

где  $\varphi_F^t$  — убыль от промысла морскими неводами и на речных рыбопромысловых участках. Если же предполагать, что данные наблюдений об общем годовом вылове нерки морскими неводами и на речных рыбопромысловых участках  $\widehat{C}_F^t$  точны, тогда

$$\varphi_F^t = \frac{\widehat{C}_F^t}{\sum_{i,k} \mu_{i,k} N_{i,k}^t (1 - \varphi_d^t)}.$$

И, наконец, численность производителей  $SSN_{i,k}^t$ , прошедших на нерест в год  $t$ , выражается следующим образом:

$$SSN_{i,k}^t = \mu_{i,k} N_{i,k}^t (1 - \varphi_d^t) (1 - \varphi_F^t).$$

Здесь мы предполагаем, что естественная смертность при миграции производителей нерки вверх по течению реки незначительна, и ей можно пренебречь в расчетах.

Модельная учтенная численность скатившихся в год  $t$  рыб в возрасте  $i + ,0$  определяется следующим образом:

$$S_i^t = q_i p_i N_{i,0}^t,$$

где  $q_i$  — коэффициент пропорциональности.

Представленная модель является своего рода статистической когортной моделью для нерки. Оценки неизвестных параметров  $\theta$  находятся из условия наилучшего приближения модели к данным наблюдений, в соответствии с допущениями относительно распределений ошибок. Целевая функция может представлять собой логарифм функции правдоподобия:

$$LL(\theta | Data) = LL_{CF} + LL_{SSN} + LL_S + LL_{SS} + LL_C \xrightarrow{\theta} \max,$$

$$LL_S = \sum_{i,t} \left( -\ln(\sigma_s) - 0,5 \ln(2\pi) - \frac{(S_i^t - \widehat{S}_i^t)^2}{2\sigma_s^2} \right),$$

$$LL_{SS} = \sum_t \left( -\ln(\sigma_{SS}) - 0,5 \ln(2\pi) - \frac{(SS^t - \widehat{SS}^t)^2}{2\sigma_{SS}^2} \right),$$

$$LL_C = \sum_t \left( -\ln(\sigma_C) - 0,5 \ln(2\pi) - \frac{(SS_F^t - \widehat{C}_F^t)^2}{2\sigma_C^2} \right).$$

Здесь  $SS^t = \sum_{i,k} SSN_{i,k}^t$ ,  $C_F^t = \sum_{i,k} C_{Fi,k}^t$ , а  $\widehat{SS}^t$  и  $\widehat{S}_i^t$  — наблюдаемые суммарная численность пропущенных на нерест производителей и численность смолтов в возрасте  $i.0$  в год  $t$  соответственно.

Для подгонки данных уловов и численности пропущенных производителей по возрастам можно использовать, к примеру, робастное мультиномиальное распределение (Fournier et al., 1990):

$$LL_{CF} = -0,5 \sum_t \sum_{i,k} \ln \left( \frac{2\pi (P_{Fi,k}^t (1 - P_{Fi,k}^t) + \frac{0,1}{12})}{n_F} \right) +$$

$$+ \sum_t \sum_{i,k} \ln \left( \exp \left( -\frac{(P_{Fi,k}^t - \widehat{P}_{Fi,k}^t)^2}{2(P_{Fi,k}^t (1 - P_{Fi,k}^t) + \frac{0,1}{12})} \right) + 0,01 \right),$$

$$LL_{SSN} = -0,5 \sum_t \sum_{i,k} \ln \left( \frac{2\pi (P_{SSNi,k}^t (1 - P_{SSNi,k}^t) + \frac{0,1}{12})}{n_{SSN}} \right) +$$

$$+ \sum_t \sum_{i,k} \ln \left( \exp \left( -\frac{(P_{SSNi,k}^t - \widehat{P}_{SSNi,k}^t)^2}{2(P_{SSNi,k}^t (1 - P_{SSNi,k}^t) + \frac{0,1}{12})} \right) + 0,01 \right),$$

возможны и другие варианты (Francis, 2014). В последних двух формулах введены обозначения для долей возрастного состава

$$P_{Fi,k}^t = \frac{C_{Fi,k}^t}{C_F^t}, \widehat{P}_{Fi,k}^t = \frac{\widehat{C}_{Fi,k}^t}{\widehat{C}_F^t},$$

$$P_{SSNi,k}^t = \frac{SSN_{i,k}^t}{SS^t}, \widehat{P}_{SSNi,k}^t = \frac{\widehat{SSN}_{i,k}^t}{\widehat{SS}^t},$$

где  $\widehat{C}_{Fi,k}^t$ ,  $\widehat{SSN}_{i,k}^t$  — наблюдаемые данные уловов и численности пропущенных производителей по возрастам;  $n_F$  и  $n_{SSN}$  — «эффективные размеры выборок» для данных о возрастном составе уловов и численности пропущенных на нерестилища производителей.

По имеющимся в настоящее время наблюдениям в модели невозможно оценить одновременно численность  $N_{i,k}^t$ , параметры  $M$  и  $\mu$ , а также  $p$ ,  $M_1$  и  $M_r$ . По этой причине расчеты проводились при значениях  $M = 0,2 \text{ год}^{-1}$  (Pore,

1975),  $M_1 = M_r = 0,9 \text{ год}^{-1}$  (это значение соответствует  $\approx 60\%$  убыли и близко к оценкам, полученным ранее (Крогиус и др., 1987)).

Предполагается, что,  $p_3 = 1$ , т. е. что вероятность «скатиться» в возрасте 3.0 мало отличается от 100%. Считается, что коэффициенты  $\mu_{i,k}$  почти не зависят от пресноводного возраста, а именно:  $\mu_{i,k} = \mu_k$ ,  $k = 1,2,3,4$  для  $i = 2,3$  и  $\mu_{1,1} = 0$ ,  $\mu_{1,k} = \mu_k$ ,  $k = 2,3,4$ . Также предполагается, что  $\mu_{i,4} = 1$ , т. е. доля незрелых рыб после 4 лет жизни в море ничтожна. Таким образом, неизвестными параметрами здесь являются  $\mu_k$ ,  $k = 1,2,3$ .

Касательно параметров распределений в настоящей работе принимается  $\sigma_{SS} = \sigma_C = 0,1$ , так как данные по вылову и пропуску заслуживают наибольшего доверия. Остальные параметры используемых распределений оцениваются в модели. Доверительные интервалы оценок построены по результатам статистического моделирования методом Монте-Карло.

Прогноз подходов нерки р. Озерной на 2024 и 2025 гг. строился исходя из полученных в расчетах терминальных оценок численности возрастных групп нерки по представленным выше формулам модели.

Всю статистическую обработку и анализ первичных данных осуществляли в программных средах MS Excel и R.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Нерка р. Озерной возвращается для нереста в возрасте 3+...7+ лет с различными комбинациями речного и морского возраста. Подходы 2012–2024 гг. формировали рыбы преимущественно в возрасте 5+ (57,8%). Второй по численности являлась группа производителей, вернувшихся на нерест в возрасте 4+ (23,6%). Кроме того, многочисленна в подходах была нерка старшего возраста, 6+. В среднем доля семилетних рыб в родительских стадах последних лет (2012–2024 гг.) составляла 16,1%. Производители в возрасте четырех (3+) и восьми (7+) лет в сумме не превышали 5,1%, а в среднем их доля в подходах равна 2,5%.

За всю историю изучения нерки данного стада количество встреченных возрастных групп достигло 15 (Селифонов, 1975; Бугаев, Дубынин, 2002; Бугаев и др., 2009; Дубынин, 2023). По среднемноголетним данным, порядка 90% занимают всего четыре возрастные группы — 2.2, 2.3, 3.2 и 3.3. Это характерно для «озерных» популяций нерки, молодь которых нагуливается 2–3 года в относительно крупных озерах со стабильной трофической системой. Приме-

нительно к бассейну р. Озерной подобным нагульно-нерестовым водоемом является оз. Курильское.

Ниже представлены результаты, полученные с использованием робастного мультиномиального распределения для данных по возрастному составу уловов и пропущенных производителей нерки р. Озерной. Здесь вектором оцениваемых параметров является:

$$\bar{\theta} = \left( \{N_{i,k}^{2004}, i = 1,2,3; k = 0...4\}, \{N_{1,0}^t, t = 2005...2023\}, p_1, p_2, \{\varphi_F^t, t = 2004...2023\}, \mu_1, \mu_2, \mu_3, q_1, q_2, q_3, \sigma_S \right),$$

а «эффективные размеры выборок»  $n_F = 68$  и  $n_{SSN} = 198$  оценивались итеративно (McAllister, Ianelli, 1997).

Полученные оценки параметров и их коэффициенты вариации представлены в таблице 1. Оценка  $N_{1,0}^{2023}$  получена по одному наблюдению (скат) и не должна вводить в заблуждение.

Полученные оценки вероятности ската  $p_1$  и  $p_2$  и доли половозрелых рыб  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  и  $\mu_3$  вполне адекватно описывают биологическую ситуацию с неркой р. Озерной в пресноводный и морской/океанический периоды жизни. Вероятность ската молоди в возрасте 1.0 ( $p_1$ ) или помимки неполовозрелых особей в море в возрасте  $n.1$  ( $p_1$ ), крайне мала. Соответственно, молодь в возрасте 2.0 составляет основу покатников нерки р. Озерной. Следовательно, вероятность ската этой возрастной группы молоди значительно возрастает. Оставшаяся незначительная часть молоди скатится в возрасте 3.0. У половозрелых рыб наблюдается аналогичная зависимость, так как по мере созревания возрастает фактор ее убыли за счет промысловой смертности.

Оценки коэффициентов  $q_1$ ,  $q_2$  и  $q_3$  в какой-то степени можно интерпретировать как коэффициенты улавливаемости для покатной молоди. Расчетные оценки коэффициентов  $q_1$ ,  $q_2$  и  $q_3$  подтверждают наши представления о том, что улавливаемость учетного орудия лова будет наибольшей для рыб в возрасте 1.0, а рыбы старшего возраста могут активнее избегать его.

Модельные оценки численности всех оставшихся возрастных групп (рис. 1), а также численности возвратившихся производителей (рис. 2 и 4) и численности скатившихся рыб вычисляются по уравнениям модели при значениях параметров из таблицы 1.

Обращает на себя внимание полученный большой разброс оценок численности возрастных групп 1.1, 1.2, 1.3 и 1.4, а также численности

возврата нерки р. Озерной от возрастных групп 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 и 2.1, 3.1. Причиной этого является довольно большой коэффициент вариации оценок параметров  $p_1$ ,  $\mu_1$  и  $q_1$ , прежде всего из-за невысокой численности данных возрастных групп (табл. 1).

Модельную возрастную структуру уловов и пропуска за последние 3 года (2021–2023 гг.) в сравнении с фактическими данными иллюстрирует рисунок 3. Здесь на примере 2023 г. можно видеть, что большие отклонения в возрастном составе между модельными оценками и наблюдениями могут быть объяснены несоответствием самих наблюдений возрастного состава в уловах и на пропуске в озеро (возрастные группы 2.2 и 2.3).

На рисунке 4А представлена модельная динамика численности возвратившихся производителей в сравнении с данными наблюдений. Качественно модель повторяет динамику наблюдений, а различия в оценках в 2016–2018 гг. обусловлены большими отклонениями в оценках возрастного состава уловов. Значение коэффициента корреляции Спирмена между модельными оценками и наблюдениями составляет для данных по годовому вылову 0,83, для пропуска производителей — 0,98.

Сравнение модельной учтенной численности скатившихся рыб по возрастам с данными наблюдений иллюстрирует рисунок 5. Наибольшие отклонения между моделью и наблюдениями — в возрастной группе 1.0, наименьшие — в возрастной группе 2.0.

Поскольку в выражении целевой функции модели предполагается нормальное распределение отклонений логарифмов наблюдений от их прогнозов по модели, необходимо было проверить эти предположения. Проверка гипотез о нормальности распределения и равенстве нулю математических ожиданий отклонений осуществлялась с помощью тестов Шапиро–Уилка и Стьюдента. На уровне значимости  $p < 0,05$  не было оснований отвергнуть эти гипотезы, как для данных по вылову и пропуску, так и для данных по скату.

Как видно из рисунка 6, говорить о какой-либо ярко выраженной модельной зависимости «запас – пополнение» рикеровского типа (Ricker, 1954) без привлечения факторов среды не приходится. В интервале пропуска 1,2–2,0 млн рыб вполне адекватным прогнозом для численности пополнения (возраст 1.0) может быть ее среднемноголетнее значение. В представленной модели прогноз численности пополнения может оказать сколько-нибудь существенное влияние на прогноз подхода нерки через три года.

Исходя из полученных в расчетах оценок численности возрастных групп нерки в терминальном 2023 г., по формулам модели был сделан прогноз численности производителей, которые возвратятся в 2024 и 2025 гг. На рисунках 4В, С, D представлены модельные прогнозные оценки численности возврата в 2024 г. по возрастным группам. На рисунке 7 — модельная оценка общей численности подхода в

Таблица 1. Оценки параметров модели и их коэффициенты вариации  
Table 1. Estimates of model parameters and coefficients of variation

Параметр Parameter	Оценка Estimate	CV	Параметр Parameter	Оценка Estimate	CV	Параметр Parameter	Оценка Estimate	CV
$N^{2004}_{1.1}$	16.1	6.334	$N^{2011}_{1.0}$	152748.6	0.081	$\phi F_{2010}$	0.866	0.017
$N^{2004}_{1.2}$	7.1	9.031	$N^{2012}_{1.0}$	161071.7	0.077	$\phi F_{2011}$	0.828	0.022
$N^{2004}_{1.3}$	36.4	1.251	$N^{2013}_{1.0}$	142302.7	0.082	$\phi F_{2012}$	0.842	0.020
$N^{2004}_{1.4}$	1.0	19.684	$N^{2014}_{1.0}$	158485.7	0.073	$\phi F_{2013}$	0.860	0.018
$N^{2004}_{2.0}$	73255.9	0.054	$N^{2015}_{1.0}$	125219.4	0.074	$\phi F_{2014}$	0.818	0.023
$N^{2004}_{2.1}$	12336.7	0.070	$N^{2016}_{1.0}$	84481.6	0.074	$\phi F_{2015}$	0.846	0.020
$N^{2004}_{2.2}$	6237.6	0.073	$N^{2017}_{1.0}$	61603.8	0.075	$\phi F_{2016}$	0.862	0.018
$N^{2004}_{2.3}$	3199.7	0.085	$N^{2018}_{1.0}$	85376.3	0.068	$\phi F_{2017}$	0.811	0.026
$N^{2004}_{2.4}$	150.0	0.473	$N^{2019}_{1.0}$	92807.9	0.088	$\phi F_{2018}$	0.867	0.017
$N^{2004}_{3.0}$	4438.6	0.198	$N^{2020}_{1.0}$	142388.9	0.174	$\phi F_{2019}$	0.840	0.020
$N^{2004}_{3.1}$	2149.9	0.169	$N^{2021}_{1.0}$	71849.5	0.682	$\phi F_{2020}$	0.815	0.024
$N^{2004}_{3.2}$	2861.5	0.110	$N^{2022}_{1.0}$	8546.2	0.861	$\phi F_{2021}$	0.770	0.029
$N^{2004}_{3.3}$	1054.0	0.155	$N^{2023}_{1.0}$	945777.6	1.220	$\phi F_{2022}$	0.796	0.027
$N^{2004}_{3.4}$	22.2	1.802	$p_1$	0.002	0.388	$\phi F_{2023}$	0.834	0.022
$N^{2005}_{1.0}$	111052.7	0.068	$p_2$	0.639	0.016	$\mu_1$	0.004	0.285
$N^{2005}_{1.0}$	59172.5	0.081	$\phi F_{2004}$	0.772	0.031	$\mu_2$	0.220	0.026
$N^{2006}_{1.0}$	131831.2	0.060	$\phi F_{2005}$	0.786	0.028	$\mu_3$	0.956	0.005
$N^{2007}_{1.0}$	130538.6	0.062	$\phi F_{2006}$	0.875	0.016	$q_1$	0.594	0.490
$N^{2008}_{1.0}$	140763.7	0.066	$\phi F_{2007}$	0.616	0.052	$q_2$	0.160	0.271
$N^{2009}_{1.0}$	176333.3	0.060	$\phi F_{2008}$	0.867	0.017	$q_3$	0.082	0.270
$N^{2010}_{1.0}$	94197.8	0.077	$\phi F_{2009}$	0.833	0.021	$\sigma_s$	1.181	0.094

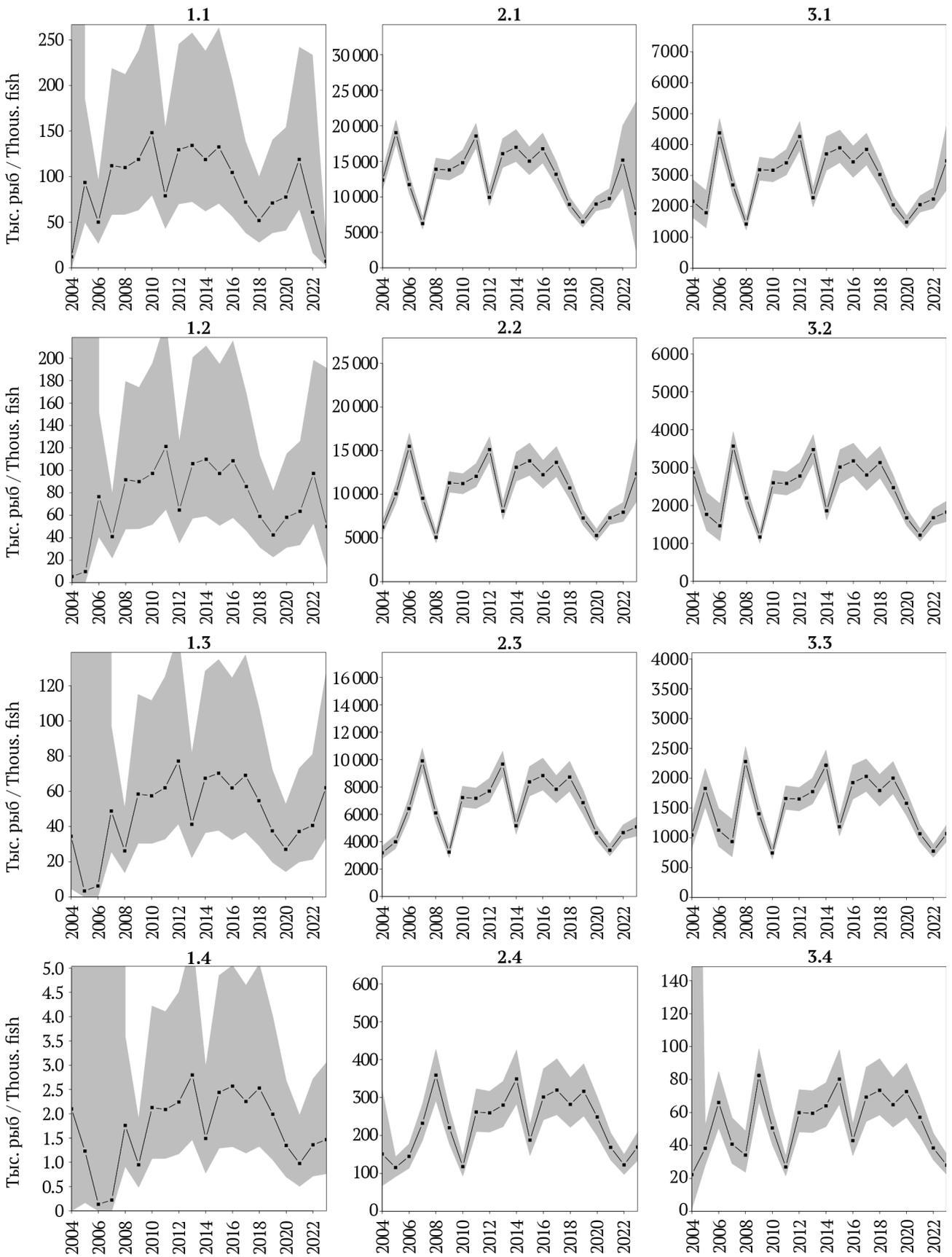


Рис. 1. Модельная динамика численности возрастных групп нерки р. Озерной  
 Fig. 1. Model dynamics of the abundance of sockeye salmon age groups in the Ozernaya River population

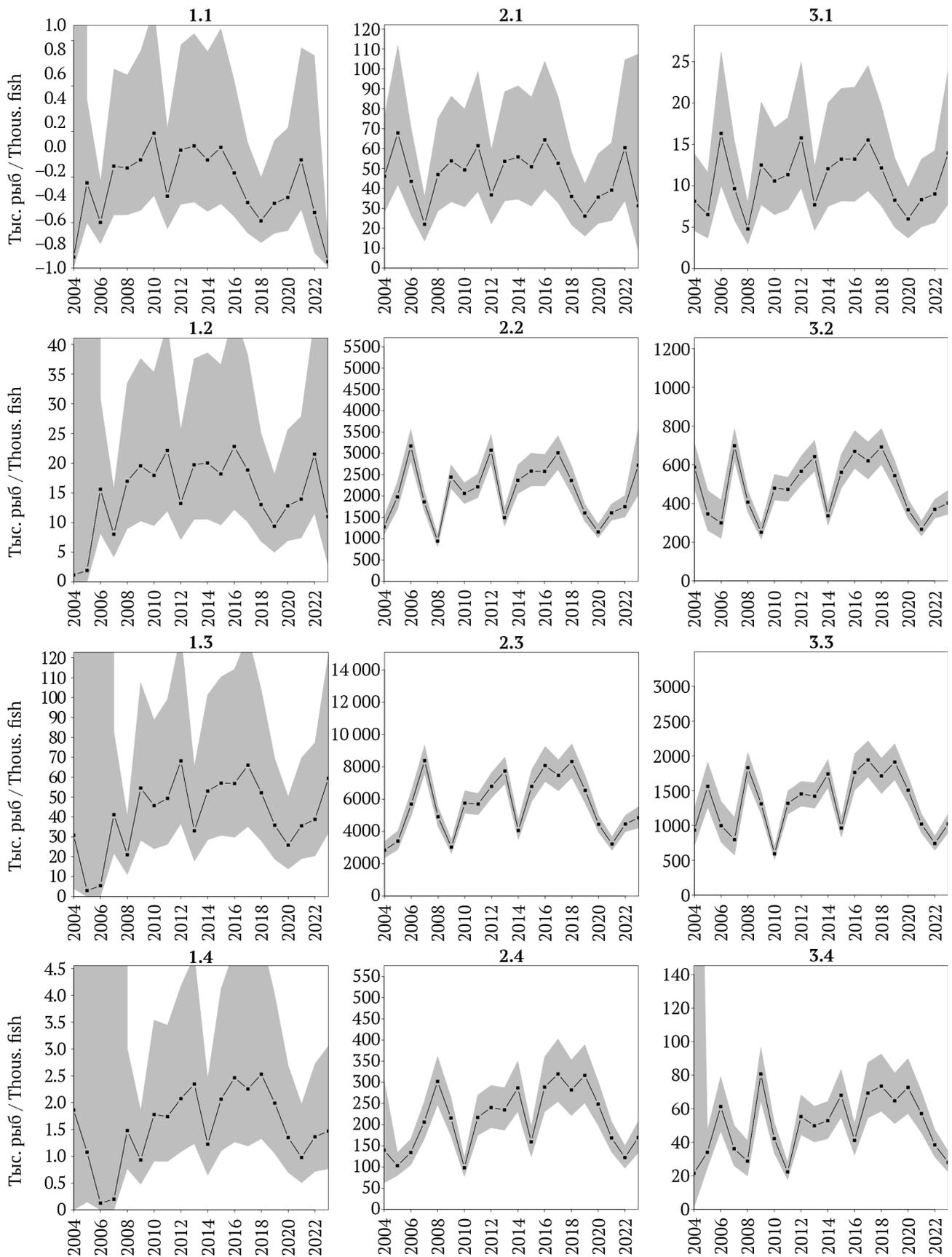


Рис. 2. Модельная динамика численности возврата нерки р. Озерной по возрастным группам  
 Fig. 2. Model dynamics of the abundance of sockeye salmon returns by age groups in the Ozernaya River population

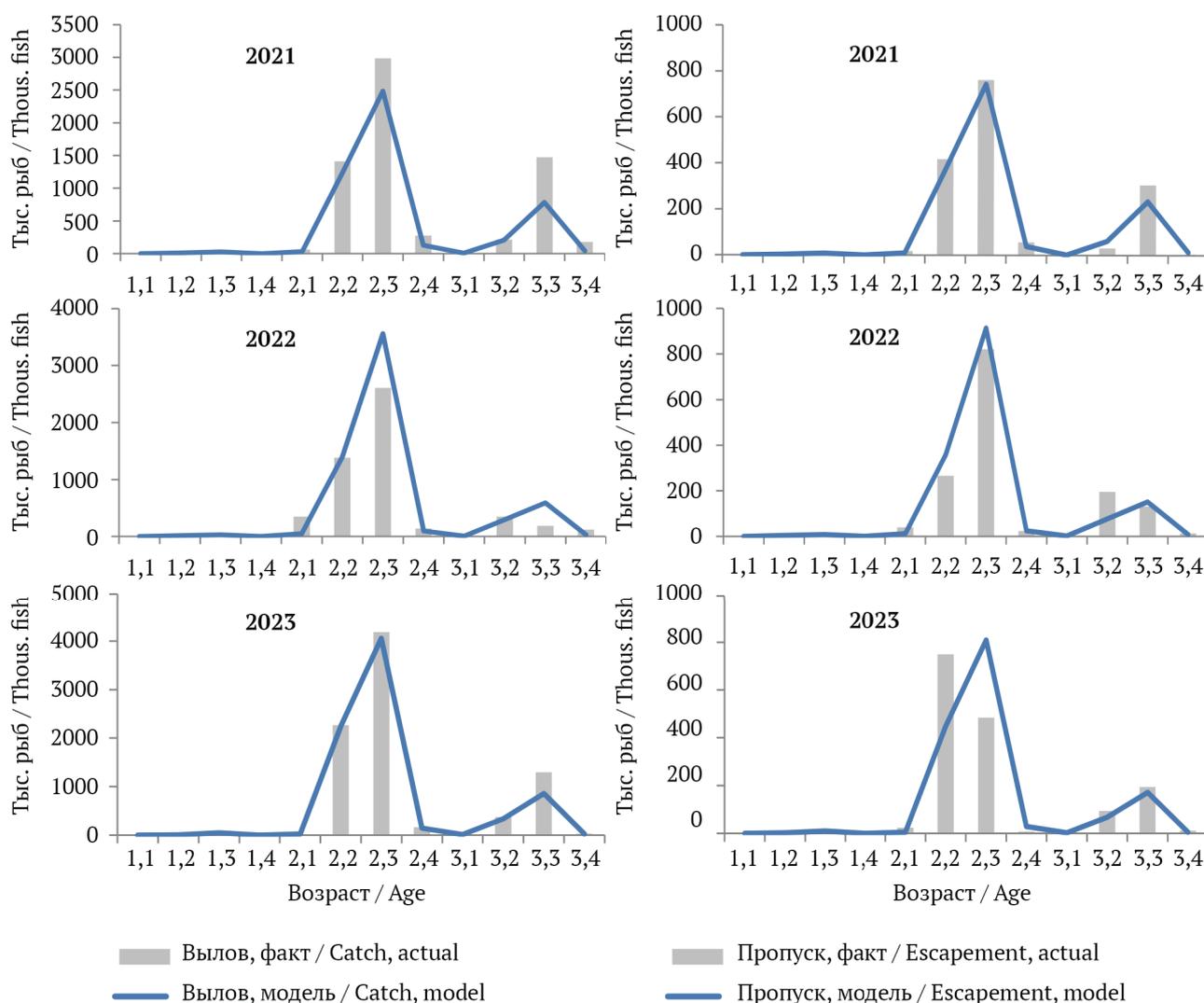


Рис. 3. Возрастная структура уловов (слева) и пропуска (справа) в 2021–2023 гг.  
 Fig. 3. Age structure of the catches (left) and escapement (right) in 2021–2023

2023 г. и ее вероятностный прогноз в 2024 и 2025 гг. Медиана оценок численности подхода производителей в 2024 г. составляет 11,2 млн рыб, а в 2025 г. — 7,5 млн рыб. Как видно из рисунка 4В, согласно модельным оценкам, основу подхода в 2024 г. должна была составить возрастная группа 2,3, относящаяся к нересту 2018 г., что соответствует фактическим результатам — 71,7% от подхода, или 9,04 млн рыб. Численность возврата поколения 2018 г. достигла на 2024 г. 12,50 млн рыб. Возврат этого высокочисленного поколения завершится в 2026 г. и, скорее всего, превысит 14,50 млн рыб. Модельная оценка численности следующего за ним поколения от нереста 2019 г. — почти в полтора раза ниже. Этим и объясняется столь существенное снижение прогнозной оценки численности подхода нерки р. Озерной в 2025 г.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе методологии когортного анализа построена модель динамики возрастной структуры запаса нерки р. Озерной. Модель позволила спрогнозировать численность подхода в 2024 г. на уровне 11,2 млн рыб, причем верхняя граница межквартильного интервала (10,0–12,6 млн рыб) соответствует фактическому подходу — 12,6 млн рыб. В качестве экспериментального варианта представлен прогноз подхода на два года вперед — на 2025 г., без фактических данных, полученных в 2024 г. Так, медианное значение численности подхода нерки р. Озерной в 2025 г. спрогнозировано на уровне 7,5 млн рыб (межквартильный интервал 5,8–10,4 млн рыб). Однако следует подчеркнуть, что расчет подхода на 2025 г. представлен не с целью прогнозирования, а для проработки алгоритмов и возможностей метода.

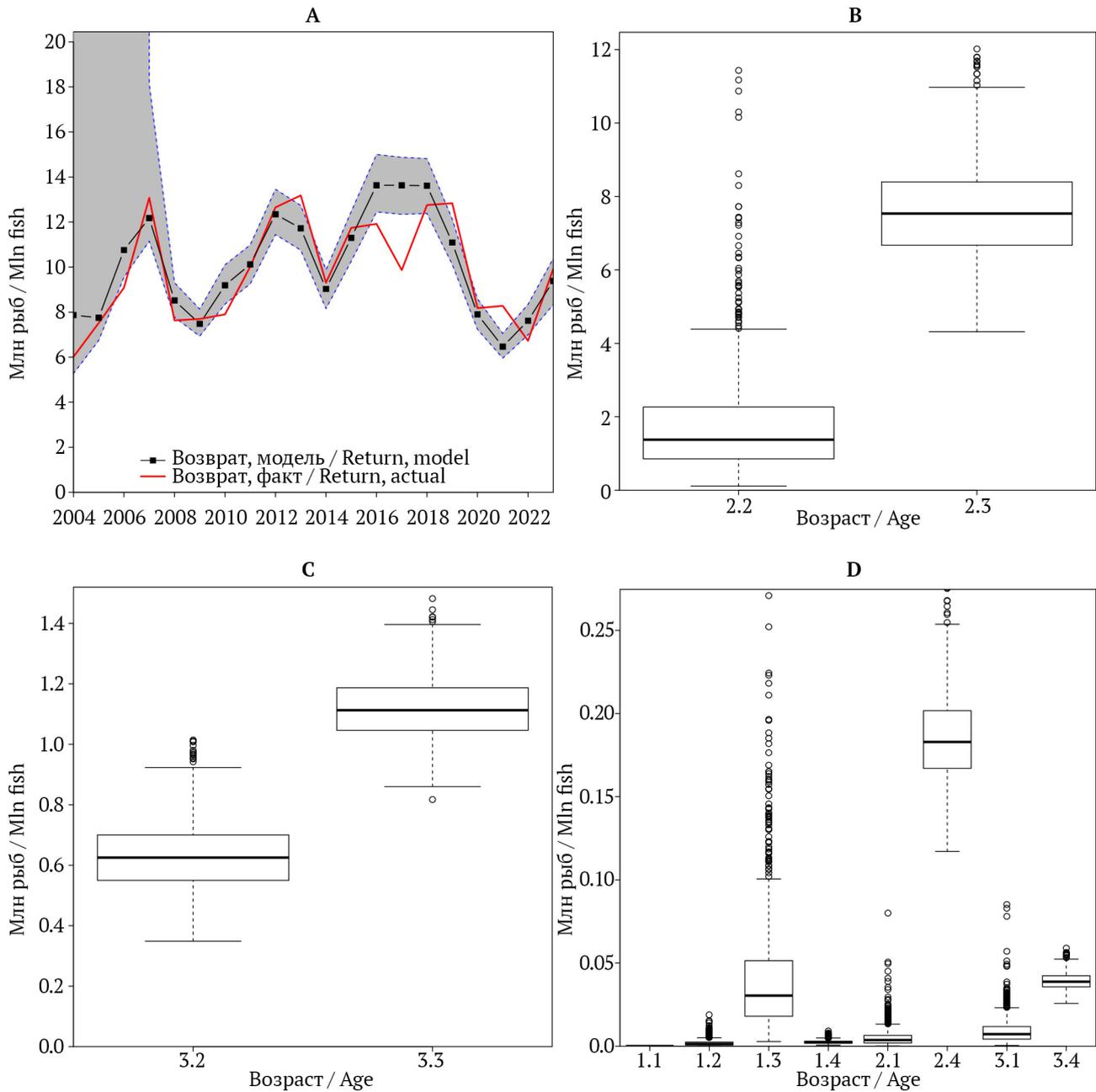


Рис. 4. Динамика возврата в 2004–2023 гг. (А), модельная численность возврата нерки р. Озерной в 2024 г. по возрастным группам (В, С, D)  
 Fig. 4. Return dynamics in 2004–2023 (A), model abundance of sockeye salmon return in the Ozeraya River in 2024 by age groups (B, C, D)

Представленный модельный подход к прогнозированию динамики численности нерки р. Озерной демонстрирует высокую степень соответствия прогнозных величин с фактическими данными. Так, результаты, полученные моделированием для рыб основной возрастной группы 2.3, вернувшихся в 2024 г., полностью соответствуют реальным данным, что также характерно для величины подхода в целом. Таким образом, полагаем возможным использование описанного метода прогнозирования динамики возрастной

структуры нерки р. Озерной в качестве дополнительного инструмента к уже применяемым методам.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Бугаев А.В. 2015. Преднерестовые миграции тихоокеанских лососей в экономической зоне России. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 416 с.  
 Бугаев В.Ф. 2011. Азиатская нерка – 2 (биологическая структура и динамика численности локальных стад в конце XX – начале XXI вв.).

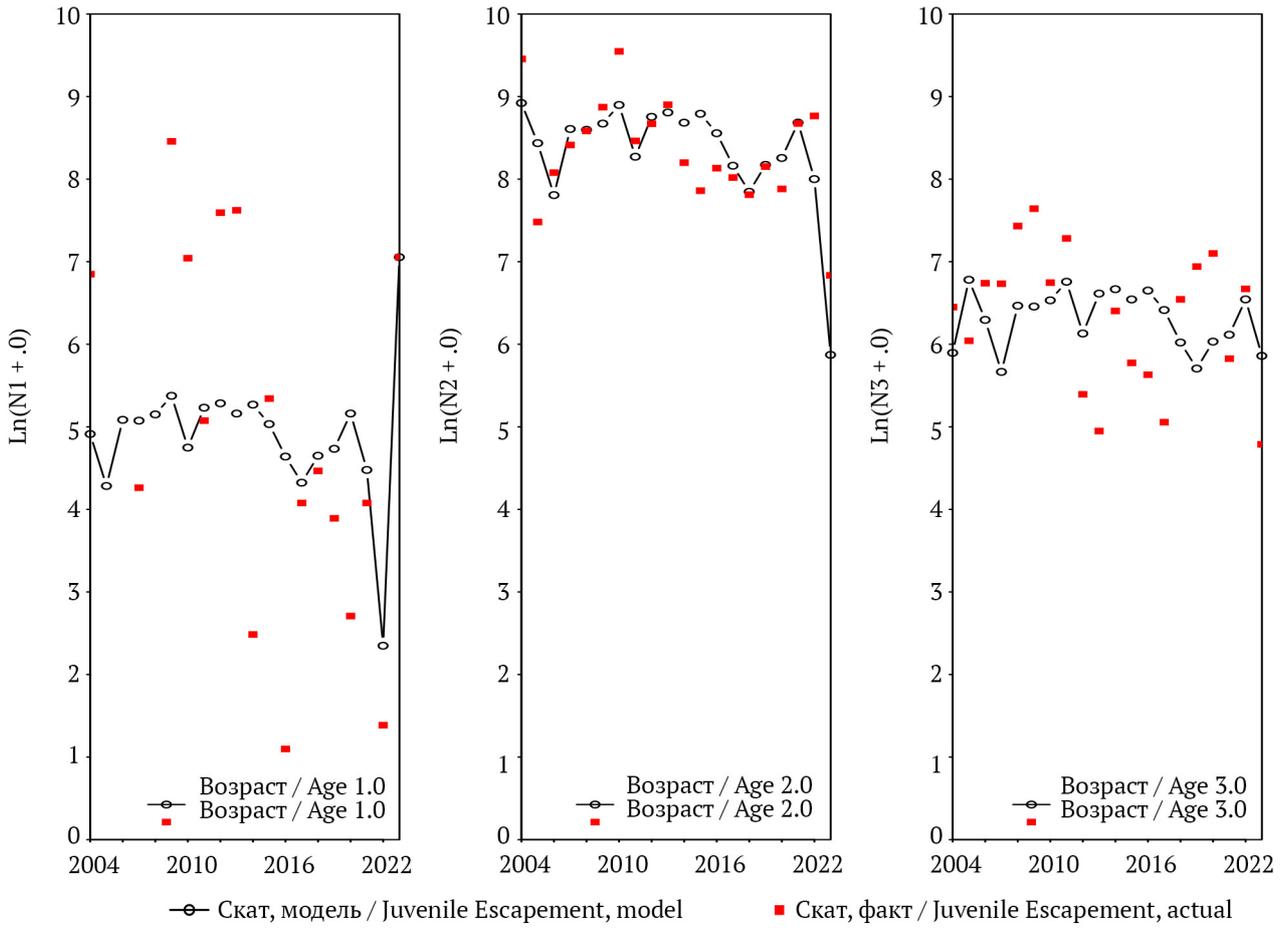


Рис. 5. Модельный и фактический скат молоди нерки р. Озерной (в логарифмической шкале)  
 Fig. 5. Model and actual juvenile escapement of sockeye salmon in the Ozernaya River (on a logarithmic scale)

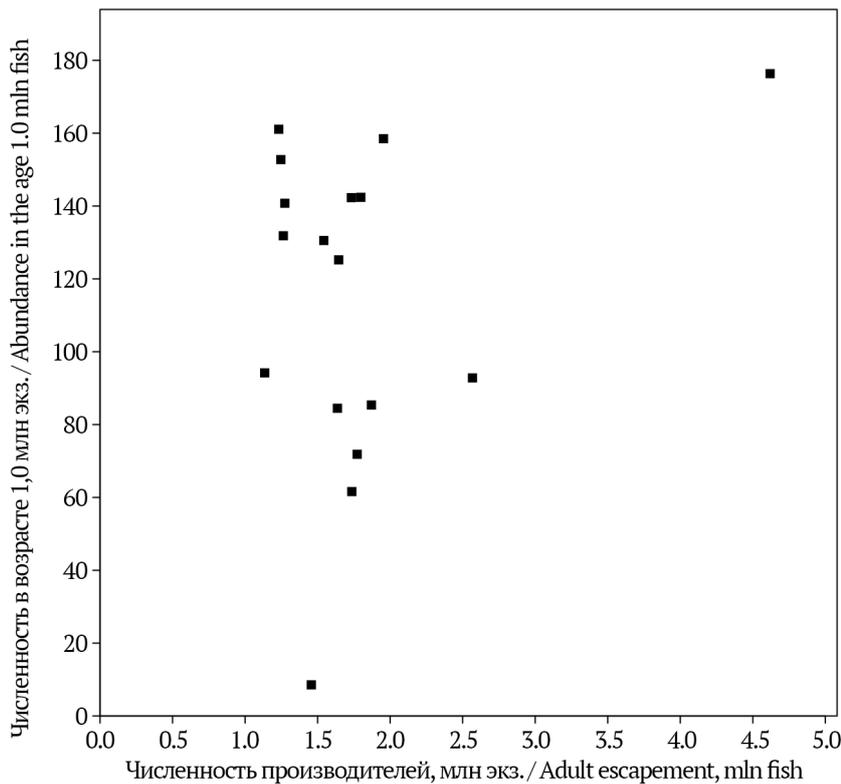


Рис. 6. Модельная зависимость численности пополнения от численности зашедших на нерест производителей нерки р. Озерной  
 Fig. 6. Model dependence of sockeye salmon recruitment abundance on adult escapement in the Ozernaya River

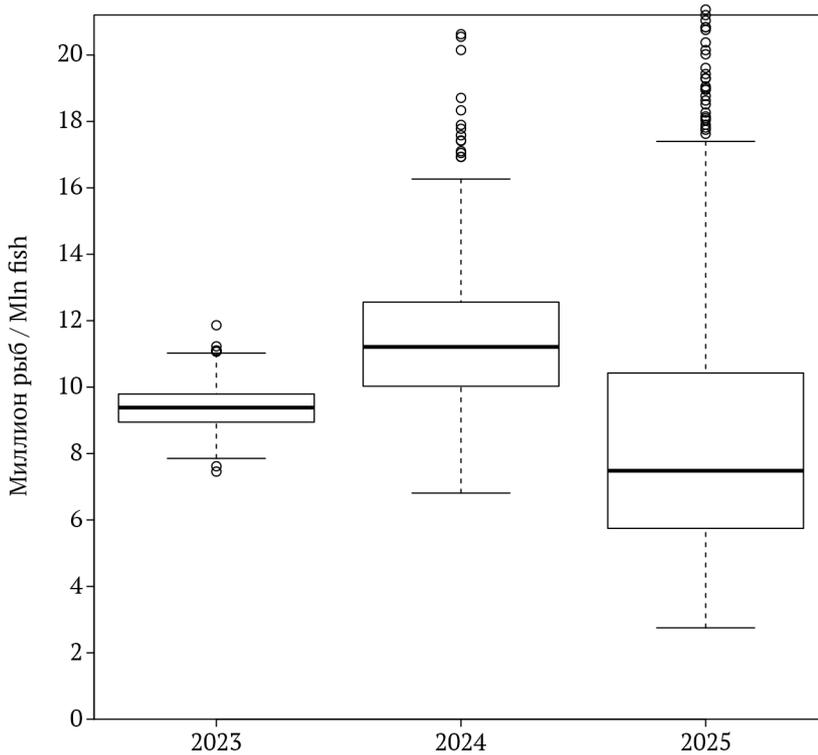


Рис. 7. Модельная оценка численности подхода нерки р. Озерной в 2023 г. и прогноз численности подхода в 2024–2025 гг.  
Fig. 7. Model abundance of sockeye salmon run in the Ozernaya River in 2023 and forecast abundance of the run for 2024–2025

Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. 380 с.

Бугаев В.Ф., Дубынин В.А. 2002. Факторы, влияющие на биологические показатели и динамику численности нерки *Oncorhynchus nerka* рек Озерная и Камчатка // Изв. ТИНРО. Т. 130, ч. 2. С. 679–757.

Бугаев В.Ф., Маслов А.В., Дубынин В.А. 2009. Озерновская нерка (биология, численность, промысел). Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. 156 с.

Дубынин В.А. 2023. Изменчивость биологических показателей и динамика численности нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) стада р. Озерной в современный период (1971–2020 гг.) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 71. С. 60–79. EDN: TXGEJJ. doi: 10.15853/2072-8212.2023.71.60-79

Дубынин В.А., Травин С.А. 2020. Количественный учет смолтов и использование данных учета при перспективном прогнозировании подходов половозрелой нерки *Oncorhynchus nerka* стада р. Озерной (Западная Камчатка) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 58. С. 22–41. EDN: VKQQXV. doi:10.15853/2072-8212.2020.57.22-41

Дубынин В.А., Шевляков Е.А., Ильин О.И. 2007. К методике прогнозирования численности поколений нерки *Oncorhynchus nerka* стада р. Озерной // Изв. ТИНРО. Т. 149. С. 219–225.

Крогиус Ф.В., Крохин Е.М., Менишуткин В.В. 1987. Тихоокеанский лосось – нерка (красная) в экологической системе оз. Дальнего (Камчатка). Л.: Наука. 198 с.

Селифонов М.М. 1975. Промысел и воспроизводство красной бассейна р. Озерной : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток: ТИНРО. 23 с.

Fournier D.A., Sibert J.R., Majkowski J., Hampton J. 1990. MULTIFAN a likelihood-based method for estimating growth parameters and age composition from multiple lengthfrequency data sets illustrated using data for southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* // Can. J. Fish. Aquat. Sci. № 47 (2). P. 301–317.

Francis R.I.C.C. 2014. Replacing the multinomial in stock assessment models: a first step // Fish. Res. № 151. P. 70–84.

McAllister M.K., Ianelli J.N. 1997. Bayesian stock assessment using catch-age data and the sampling: importance resampling algorithm // Can. J. Fish. Aquat. Sci. № 54. P. 284–300.

Pope J.G. 1975. Estimation of unknown natural mortality. International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries Dumm. Doc. 75/2.

Ricker W.E. 1954. Stock and recruitment // J. Fish. Res. Bd. of Canada. Vol. 11 (5). P. 559–623.

#### REFERENCES

Bugaev A.V. *Pre-spawning migrations of Pacific salmon in the Exclusive Economic Zone of Russia*. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2015, 416 p. (In Russ.)

- Bugaev V.F. Asian sockeye salmon – 2 (biological structure and abundance *dynamics* of *local stocks* at the *end* of the 20th – *beginning* of the 21st *centuries*). Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2011, 380 p.
- Bugaev V.F., Dubynin V.A. Factors influencing on biological parameters and population dynamics of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* from the Ozernaya and Kamchatka Rivers. *Izvestiya TINRO*, 2002, vol. 130, pp. 679–757. (In Russ.)
- Bugaev V.F., Maslov A.V., Dubynin V.A. *Ozernovskaya nerka (biologiya, chuslennost, promysel)* [The Sockeye salmon of the Ozernaya River: biology, numbers, and fishery]. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2009, 156 p.
- Dubynin V.A. Variability of biological indices and abundance dynamics of the Ozernaya River sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) stock in the modern period (1971–2020). *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2023, vol. 71, pp. 60–79. (In Russ.). EDN: TXGEJJ. doi:10.15853/2072-8212.2023.71.60-79
- Dubynin V.A., Travin S.A. Counting smolts and using the results in prospective forecasting of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) spawning runs into the Ozernaya River (Western Kamchatka) in 2004–2018. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2020, vol. 58, pp. 22–41. (In Russ.) EDN: VKQQXV. doi:10.15853/2072-8212.2020.57.22-41
- Dubynin V.A., Shevlyakov E.A., Ilyin O.E. On the forecast method of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* generation abundance for the Ozernaya River stock. *Izvestiya TINRO*, 2007, vol. 149, pp. 219–225. (In Russ.)
- Krogus F.V., Krokhin E.M., Menshutkin V.V. *Tikhookeanskii losos nerka v ekologicheskoi sisteme ozera Dalnee (Kamchatka)* [Pacific salmon sockeye salmon in the ecosystem of Dalneye Lake (Kamchatka)]. Leningrad: Nayka, 1987, 198 p.
- Selifonov M.M. *Promysel i vosпроизводство krasnoi basseina r. Ozernoi : Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Catches and reproduction of sockeye salmon in the basin of the Ozernaya River: Author's abstract. Dis. ... cand. biol. sci.]. Vladivostok: TINRO, 1975, 23 p.
- Fournier D.A., Sibert J.R., Majkowski J., Hampton J. 1990. MULTIFAN a likelihood-based method for estimating growth parameters and age composition from multiple lengthfrequency data sets illustrated using data for southern bluefin tuna *Thunnus*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1990, no. 47 (2), pp. 301–317.
- Francis R.I.C.C. Replacing the multinomial in stock assessment models: a first step. *Fish. Res.*, 2014, no. 151, pp. 70–84.
- McAllister M.K., Ianelli J.N. Bayesian stock assessment using catch-age data and the sampling: importance resampling algorithm. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1997, no. 54, pp. 284–300.
- Pope J.G. Estimation of unknown natural mortality. *International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries Dumm.*, 1975, doc. 75/2.
- Ricker W.E. Stock and recruitment. *J. Fish. Res. Bd. of Canada*, 1954, vol. 11 (5), pp. 559–623.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ / COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Авторы заявляют, что данный обзор не содержит собственных экспериментальных данных, полученных с использованием животных или с участием людей. Библиографические ссылки на все использованные в обзоре данные оформлены в соответствии с ГОСТом. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

The authors declare that this review does not contain their own experimental data obtained using animals or involving humans. Bibliographic references to all data used in the review are formatted in accordance with GOST (the Russian State Standard). The authors declare that they have no conflict of interest.

#### ИНФОРМАЦИЯ О ВКЛАДЕ АВТОРОВ AUTHOR CONTRIBUTION

Авторы в равной мере участвовали в сборе и обработке данных, обсуждении полученных результатов и написании статьи.

The authors jointly collected, processed and analyzed the data, discussed the results and wrote the text of article, with equal contribution.

#### **Информация об авторах**

О.И. Ильин — канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотрудник, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО)

А.В. Бугаев — докт. биол. наук, зам. руководителя, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО).  
ORCID: 0000-0001-6646-3241

В.А. Дубынин — гл. специалист, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО)

О.В. Зикунова — канд. биол. наук, зав. лабораторией лососевых рыб, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО).  
ORCID: 0009-0007-6173-5667

***Information about the authors***

Oleg I. Ilyin – Ph. D. (Physics and Mathematics),

Leading Researcher (KamchatNIRO)

Alexandr V. Bugaev – D. Sc. (Biology),

Deputy Head (KamchatNIRO).

ORCID: 0000-0001-6646-3241

Vladimir A. Dubynin – Principal Specialist

(KamchatNIRO)

Olga V. Zikunova – Ph. D. (Biology),

Head of the Lab. of Salmonid Fishes

(KamchatNIRO).

ORCID: 0009-0007-6173-5667

*Статья поступила в редакцию / Received:*

27.12.2024

*Одобрена после рецензирования / Revised:*

20.01.2025

*Статья принята к публикации / Accepted:*

05.03.2025