



УДК 597.552.511:575.174(265.53)

Промысловые виды и их биология

Генетическая идентификация молоди кеты бассейна Охотского моря в смешанных траловых уловах

А.Д. Денисенко, Е.А. Бугаева, В.В. Савенков, О.В. Зикунова, О.А. Пильганчук, У.О. Муравская, Д.В. Бабушкин, М.В. Крупенева, Н.Ю. Шпигальская

Камчатский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («КамчатНИРО»), ул. Набережная, 18, г. Петропавловск-Камчатский, 683000
E-mail: a.denisenko@kamniro.vniro.ru

SPIN-коды: Денисенко А.Д. – 2733-3165; Савенков В.В. – 2485-8694; Зикунова О.В. – 9511-1667; Пильганчук О.А. – 2822-8604; Муравская У.О. – 6087-9569; Крупенева М.В. – 5772-8217; Шпигальская Н.Ю. – 5031-4912

Целью работы является проведение региональной генетической идентификации молоди кеты в смешанных скоплениях в Охотском море по материалам осенней траловой съёмки 2021 г. для оценки численности и прогноза возвратов поколения 2020 г. **Методы исследования** включали анализ полиморфизма восьми микросателлитных локусов (*Ssa 20.19*, *One 101*, *Oke 3*, *Oki1b*, *Oki 23*, *Ogo 2G*, *Oke 11*, *Ots 102*), а также проведение статистического анализа и генетической идентификации с применением референсной базы данных частот аллелей кеты Охотоморского бассейна и программ Cervus, GDA, ONCOR и GenClass2. **Результаты** генетической идентификации позволили определить доли молоди кеты из основных нерестовых регионов Охотоморского бассейна: с преобладанием рыб из рек о. Сахалин (31%), а также особей из бассейна р. Амур (27%), о. Итуруп (22%) и Западной Камчатки с северной частью материкового побережья Охотского моря (19%). На основе идентификации рассчитана ожидаемая численность возврата производителей кеты Западной Камчатки поколения 2020 г., которая соответствует уже зарегистрированному подходу возрастной группы 3+ и предварительной оценке для группы 4+. Это свидетельствует о положительной согласованности генетически основанных оценок с фактическими данными на текущем этапе работы при том, что окончательные выводы о надёжности подхода потребуют накопления многолетних наблюдений. **Практическая значимость** исследования состоит в повышении точности мониторинга запасов кеты и уточнении прогнозных оценок возвратов производителей, что способствует разработке более обоснованных рекомендаций по рациональному использованию лососевых ресурсов в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне.

Ключевые слова: кета *Oncorhynchus keta*, Охотоморский бассейн, смешанные скопления, генетическая идентификация, прогноз нерестовых возвратов.

Genetic identification of juvenile chum salmon of the Okhotsk Sea basin in mixed trawl catches

Anastasiia D. Denisenko, Ekaterina A. Bugaeva, Vladimir V. Savenkov, Olga V. Zikunova, Oksana A. Pilganchuk, Uliana O. Muravskaya, Daniil V. Babushkin, Mariia V. Krupeneva, Nina Iu. Shpigalskaia
Kamchatka branch of VNIRO («KamchatNIRO»), 18, Naberezhnaya st., Petropavlovsk Kamchatsky, 683000, Russia

The objective of this study was to conduct regional genetic identification of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) within mixed aggregations in the Okhotsk Sea based on materials from the autumn trawl survey of 2021, in order to estimate stock abundance and forecast returns of the 2020 year-class. **The research methods** included analysis of polymorphism at eight microsatellite loci (*Ssa20.19*, *One101*, *Oke3*, *Oki1b*, *Oki23*, *Ogo2G*, *Oke11*, *Ots102*), as well as statistical analysis and genetic identification using a reference database of allele frequencies for chum salmon populations from the Okhotsk Sea basin and the software packages Cervus, GDA, ONCOR, and GenClass2. **The results** of genetic identification made it possible to determine the proportions of juvenile chum salmon originating from the main spawning regions of the Okhotsk Sea basin, with a predominance of individuals from Sakhalin Island (31%), followed by the Amur River basin (27%), Iturup Island (22%), and Western Kamchatka together with the northern mainland coast of the Okhotsk Sea (19%). Based on the identification results, the expected number of returning adult chum salmon from the 2020 year-class of Western Kamchatka origin was estimated. These estimates correspond to the already observed returns of age group 3+ and the preliminary evaluations for group 4+. This indicates a positive consistency between genetically derived estimates and the actual data at the current stage of research, while final conclusions regarding the reliability of the approach will require accumulation of multi-year observations. **The practical significance** of the study lies in improving the accuracy of chum salmon stock monitoring and refining the predictive assessments of spawning returns, thereby contributing to the development of more scientifically grounded recommendations for the sustainable management of salmon resources in the Far Eastern fisheries basin.

Keywords: chum salmon *Oncorhynchus keta*, Okhotsk Basin, mixed aggregations, genetic identification, spawning returns forecast.

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно специалисты Тихоокеанского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО») проводят траловые съёмки по учёту численности откочёвывающей молоди тихоокеанских лососей в Охотском море. Учётные работы позволяют в короткие сроки охватить наибольшую часть нагульной акватории смешанных скоплений молоди лососей, прежде всего, сеголеток горбуши и кеты. При проведении данных съёмок учитывается численность тихоокеанских лососей в период их посткатадромной миграции к местам нагула [Гордеев и др., 2019; Сомов А.А. и др., 2023]. Полученные данные применяются для осуществления мониторинга и разработки рекомендаций по рациональному использованию лососевых ресурсов в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне.

Поскольку учтённая в Охотском море молодь тихоокеанских лососей образует смешанные скопления различных региональных стад (западнокамчатского, континентального побережья, восточносахалинского, южных Курильских островов, японского происхождения), важной задачей является дифференциация учтённого запаса на региональные составляющие [Лососи – 2023, 2023¹].

В связи с этим с 2009 г. на регулярной основе проводится генетическая идентификация молоди горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792)) в Охотском море, результаты которой используются для расчета ожидаемой величины возвратов вида и разработке перспективных прогнозов [Шпигальская и др., 2023; Косицына и др., 2022]. В отношении охотоморской молоди кеты (*O. keta* (Walbaum, 1792)) подобные работы в Камчатском филиале ГНЦ РФ «ВНИРО» (КамчатНИРО) впервые апробированы в 2018 г. [Денисенко и др., 2023 b]. Для полноценного внедрения результатов региональной идентификации молоди кеты в состав прогнозов предстоит накопить и проанализировать материал не менее 10 полностью вернувшихся поколений, что позволит сформировать регрессионную модель «учёт в море – возврат», по аналогии с охотоморской горбушей. Однако, имеющаяся информация по идентификации уже привлекается в качестве индикаторной в экспериментальном порядке при определении уровня численности поколений западнокамчатской кеты, от которых в будущие годы ожидается возврат.

Особую актуальность данные исследования приобрели после проведения учётной съёмки в 2021 г.,

в ходе которой была зафиксирована беспрецедентно высокая общая численность сеголеток кеты – 1184 млн экз., что более чем вдвое превысило среднемноголетний уровень предшествующего 10-летнего периода (2011-2020 гг.) – 431 млн экз. Столь значительный объём учтённой молоди в смешанных скоплениях обуславливает прямую необходимость их региональной дифференциации для объективной оценки состояния запасов отдельных стад, прежде всего – промыслово-значимой кеты Западной Камчатки.

Кроме того, накопленные к настоящему времени данные о фактических возвратах производителей возрастной группы 3+ в 2024 г. открывают возможность для верификации метода на примере конкретного регионального стада. Сопоставление результатов генетической идентификации поколения 2020 г. с реальными показателями подходов позволяет оценить точность прогностических моделей и проанализировать согласованность генетически основанных оценок с фактическим состоянием запасов на текущем этапе исследований.

Исходя из вышеизложенного, целью настоящей работы является проведение региональной генетической идентификации молоди кеты в смешанных скоплениях в Охотском море (по материалам съёмки 2021 г.) для определения долевого вклада основных нерестовых регионов и последующей оценки численности и прогноза возвратов производителей поколения 2020 г. западнокамчатской кеты.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В 2021 г. материал для региональной идентификации молоди кеты по данным осенней траловой съёмки в Охотском море, выполненной на НИС «Профессор Кагановский» и НИС «ТИНРО», собран сотрудниками «КамчатНИРО» 03.10-28.10.2021 г. Характеристика собранного материала, даты и места сбора выборок представлены на рис. 1 и в табл. 1. Всего исследованы выборки из уловов 16-ти тралений. Суммарный объём проанализированного материала составил 768 экз. сеголеток кеты.

ДНК выделяли из ткани сердечной мышцы и плавника, фенол-хлороформным методом [Маниатис и др., 1984; Sambrook et al., 1989].

В анализе использованы восемь микросателлитных локусов: *Ssa 2019* [Sánchez et al., 1996], *One101* [Olsen et al., 2000], *Oki1b*, *Oki23* [Smith et al., 1998], *Ogo2G* [Olsen et al., 1998], *Oke3*, *Oke11* [Buchholtz et al., 2001] и *Ots102* [Nelson, Beacham, 1999]. ПЦП проводили по следующей схеме: денатурация в течение 2 мин. при 94 °C, затем – 8 циклов, включающих 1 мин. при t = 94 °C, 30 с отжига праймеров при 54-68 °C, 15

¹ Лососи – 2023 (путинный прогноз). 2023. Владивосток: ТИНРО. 104 с.

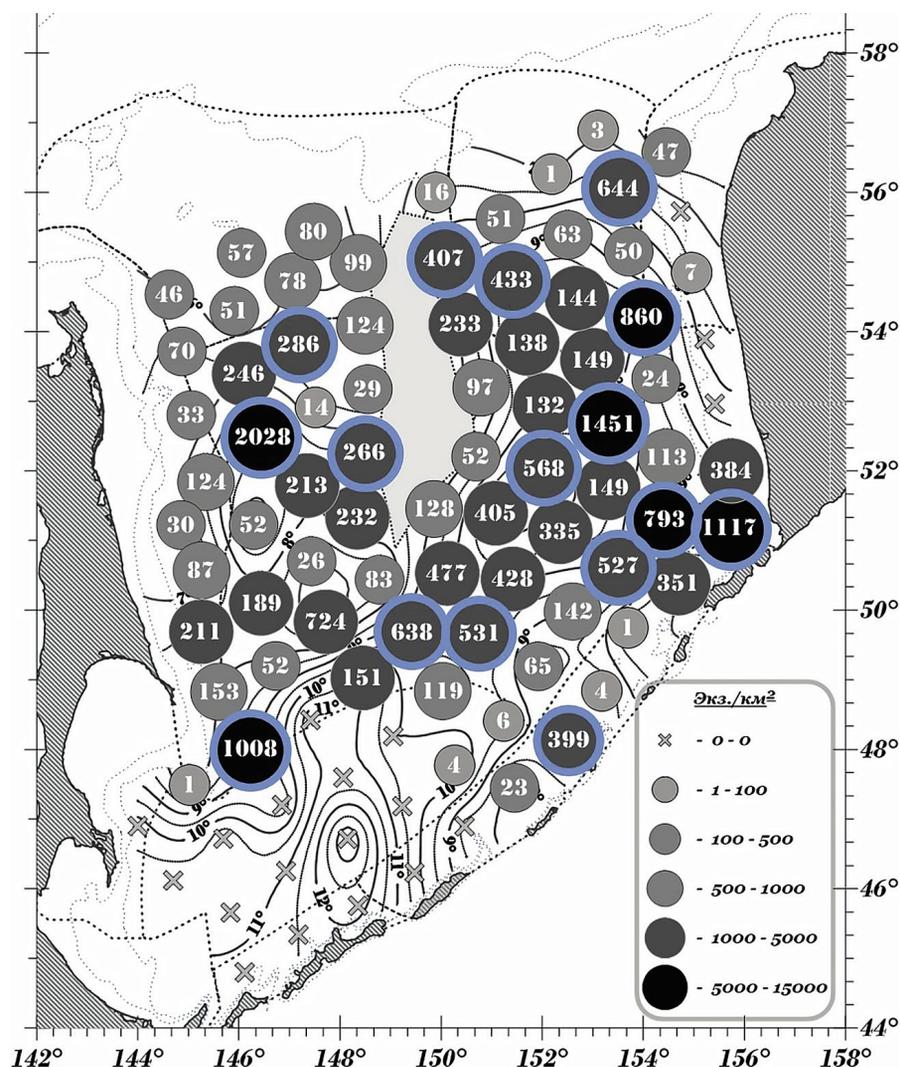


Рис. 1. Распределение уловов молоди кеты (экз./траление) по данным траловой съёмки, выполненной в период 03-28 октября 2021 г. на НИС «Профессор Кагановский» и «ТИНРО»; синим цветом обозначены станции и указаны номера тралений, выборки из уловов которых включены в анализ

Fig. 1. Distribution of juvenile chum salmon catches (ind./trawl) based on trawl survey data collected from 3 to 28 October 2021 on the research vessels Professor Kaganovsky and TINRO; stations shown in blue indicate trawls whose catch subsamples were included in the analysis

с элонгация при 72 °С, завершающая элонгация 3 мин. при 4 °С.

Продукты амплификации разделяли путём электрофореза в вертикальном блоке 6%-ного полиакриламидного геля в 0,5×TBE-буфере. В качестве маркеров длин фрагментов использовали ДНК плазмиды *pBR322*, обработанную рестриктазами *Hpa*II. Электрофореграммы визуализировали в результате окрашивания бромидом этидия и фотографировали в проходящем ультрафиолетовом свете.

В программном приложении Cervus 3.0.7 рассчитывали частоту аллелей, ожидаемую (H_e) и наблюдаемую (H_o) гетерозиготности, среднее число аллелей на locus [Gruber, Adamack, 2015]. Индекс фиксации f

рассчитан в программном пакете GDA [Lewis, Zaykin, 2001]².

Генетическую идентификацию проводили с использованием референсной базы данных частот микросателлитных локусов кеты Охотоморского бассейна, созданной в лаборатории молекулярной генетики КамчатНИРО. Проанализированы частоты аллелей вышеуказанных локусов в 27 выборках из различных регионов воспроизводства кеты в охотоморском бассейне. Всего в базе насчитывается 1354 экз. [Денисенко и др., 2023 а].

² Lewis P.O., Zaykin D. 2001 GDA (Genetic Data Analysis): Computer Program for the Analysis of Allelic Data. Versión 1.1, University of Connecticut, Storrs. <http://phylogeny.uconn.edu/software/> 27.01.2025.

Таблица 1. Характеристика материала, собранного для региональной генетической идентификации смешанных скоплений молоди кеты в Охотском море в период проведения осенней траловой съёмки на НИС «Профессор Кагановский» и НИС «ТИНРО» в 2021 г.

Table 1. Characteristics of samples collected for regional genetic identification of mixed aggregations of juvenile chum salmon in the Sea of Okhotsk during the 2021 autumn trawl survey on the research vessels Professor Kaganovsky and TINRO

№ выборки	№ траления	Координаты	Экз./траление	Кол-во исследованных образцов
НИС «ТИНРО»				
1	191	(48°00'6 N 146°13'0 E)	1008	48
2	184	(52°29'1 N 146°28'9 E)	2028	48
3	163	(49°40'9 N 149°26'0 E)	638	48
4	149	(48°08'2 N 152°31'9 E)	399	48
5	182	(53°48'9 N 147°11'2 E)	286	48
6	164	(49°40'2 N 150°46'0 E)	531	48
7	171	(52°16'0 N 148°29'2 E)	266	48
НИС «Профессор Кагановский»				
8	184	(51°18'2 N 154°25'4 E)	793	48
9	188	(52°40'3 N 153°18'3 E)	1451	48
10	185	(51°11'2 N 155°42'5 E)	1117	48
11	204	(56°03'3 N 153°30'6 E)	644	48
12	197	(54°44'4 N 151°23'9 E)	433	48
13	195	(54°12'5 N 153°58'0 E)	860	48
14	179	(50°38'3 N 153°30'9 E)	527	48
15	182	(52°01'9 N 152°02'4 E)	568	48
16	208	(54°06'4 N 150°23'2 E)	407	48

Оценка точности идентификации региональных групп выполнена с использованием программы ONCOR [Anderson et al., 2007]. Тест на принадлежность к популяции рассчитывали в программе GenClass2 [Piry et al., 2004].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе полученных ранее данных анализа изменчивости микросателлитных локусов кеты были сформированы 4 референсные группы для идентификации смешанных скоплений: Западная Камчатка и северная часть материкового побережья Охотского моря (ЗК и СчМПОМ), о. Сахалин, о. Итуруп (Курильские о-ва), бассейн р. Амур [Денисенко и др., 2023 с]. При этом наибольшее своеобразие выявлено у кеты о. Итуруп и бассейна р. Амур.

В качестве проверки перспективы применения созданной референсной базы данных при определении регионального состава смешанных выборок кеты были рассчитаны вероятностные оценки точности идентификации. Разрешающая способность референсной базы находится в пределах 74,9-94,6%. Молодь кеты Курильских о-вов и бассейна реки Амур определяется с максимальной точностью (94,6% и 84,4%) соответственно. Точность идентификации

для популяций кеты из рек о. Сахалин – 75,4%, для Западной Камчатки и СчМПОМ – 74,9% (табл. 2).

Таблица 2. Вероятностные оценки определения региональной принадлежности особей из смешанных выборок кеты бассейна Охотского моря

Table 2. Probabilistic estimates of regional origin for individuals from mixed samples of chum salmon from the Sea of Okhotsk basin

Локализация и год сбора выборки	Региональная группа	Точность идентификации в %
р. Опала (2014) р. Большая (2013) р. Кихчик (2014) р. Воровская (2013) р. Колпакова (2014) р. Крутогорова (2014) р. Облуковина (2014) р. Палана (2008) р. Пенжина (2014) р. Наяхан (2010) р. Яма (2011) р. Иня (2011) р. Тауй (2011) р. Кухтуй (2011) р. Охота (2011)	Западная Камчатка и северная часть материкового побережья Охотского моря	74,9

Окончание табл. 2

Локализация и год сбора выборок	Региональная группа	Точность идентификации в %
р. Лангры (2009) р. Тымь (2004) р. Лангери (2018) р. Житная (2005) р. Найба (2009)	О. Сахалин	75,4
р. Рейдовая (2016) р. Курилка (2016) ЛРЗ «Китовый» (2016) ЛРЗ «Бухта Оля» (2016)	О. Итуруп (Курильские о-ва)	94,6
р. Амур (летняя) (2010) р. Амур (осенняя) (2010)	Бассейн р. Амур	84,4

В ходе исследования траловых выборок молоди кеты по восьми микросателлитным локусам выявлено 92 аллельных вариантов. Наибольшее число аллелей обнаружено в локусе *One101* (31) (табл. 3). Самым низкополиморфным локусом оказался *Oki1b* с числом аллелей, равным 4. Среднее число аллелей на локус составило 12. Максимальное значение наблюдаемой гетерозиготности отмечено в локусе *Ogo2G* (0,566), а минимальное в локусе *Oki23* (0,299). Значительный дефицит гетерозигот был отмечен в двух локусах: *Oke3* (индекс фиксации 0,432) и *One101* (индекс фиксации 0,385).

Анализ результатов генетической идентификации в индивидуальных выборках позволил выявить характерную динамику регионального состава молоди кеты в широтном аспекте. При продвижении с севера на юг наблюдается закономерная смена доминирующих группировок: в северной части моря (севернее 52° с. ш.) преобладает молодь из бассейна р. Амур

(32%), тогда как доля рыб с о. Итуруп минимальна (13%). В южных районах акватории ситуация меняется на противоположную – доля амурской кеты снижается до 14%, а особи итурупской группировки начинают доминировать, составляя 39%. При этом показатели представленности стад Западной Камчатки и о. Сахалин остаются относительно стабильными по всей исследованной акватории (рис. 2)

Для изучения пространственной структуры скоплений выборки были объединены в четыре региональных комплекса (рис. 3). Группировка проводилась по географическому принципу с учётом пространственной близости станций и локализации зон повышенной плотности концентрации молоди, выявленных в ходе траловой съёмки. В состав этих групп вошли: «северо-восточная» (тр. № 197, 204, 195, 208), «юго-восточная» (тр. № 188, 184К, 185, 182К, 179), «западная» (тр. № 182, 184Т, 191, 171) и «центральная» (тр. № 163, 164) (рис. 3). Станция вблизи Курильских островов (трал № 149) рассматривалась как самостоятельная единица анализа, не включённая в состав объединённых комплексов; основу её региональной структуры составила молодь кеты о. Итуруп (68%) (рис. 2).

Региональная идентификация смешанных выборок кеты показала, что в «северо-восточной» группе преобладали особи из рек Западной Камчатки + СчМПОМ и о. Сахалин, причём почти в равных долях – 32% и 28%. Молодь бас. р. Амур определена второй по встречаемости (26%). Кета Курильских о-вов составила 14%. В «юго-восточной» группе выборок большинство молоди относится к о. Итуруп (41%). Особи с о. Сахалин определены в меньшем количестве (33%). Кета Западной Камчатки + СчМПОМ и бассейне р.

Таблица 3. Характеристика микросателлитных локусов кеты бассейна Охотского моря
Table 3. Characteristics of microsatellite loci in chum salmon from the Sea of Okhotsk basin

Локус	Число исследованных экз.	Число аллелей	Размер фрагмента, п. н.	H_o	H_e	f
<i>Ssa20.19</i>	753	6	76-90	0,343	0,469	0,167
<i>Oki23</i>	738	9	131-171	0,299	0,323	0,025
<i>Oke3</i>	726	13	205-322	0,423	0,794	0,432
<i>Ogo2G</i>	742	13	87-121	0,566	0,718	0,180
<i>Oke11</i>	734	7	92-102	0,361	0,393	0,048
<i>Oki1b</i>	749	4	92-102	0,454	0,492	0,044
<i>Ots102</i>	752	9	151-207	0,535	0,616	0,105
<i>One101</i>	714	31	128-254	0,492	0,837	0,385
Среднее		12		0,434	0,580	0,173

Примечание: п. н. – пары нуклеотидов; H_o – средняя наблюдаемая гетерозиготность; H_e – средняя ожидаемая гетерозиготность; f – индекс фиксации [Вейр, 1995].

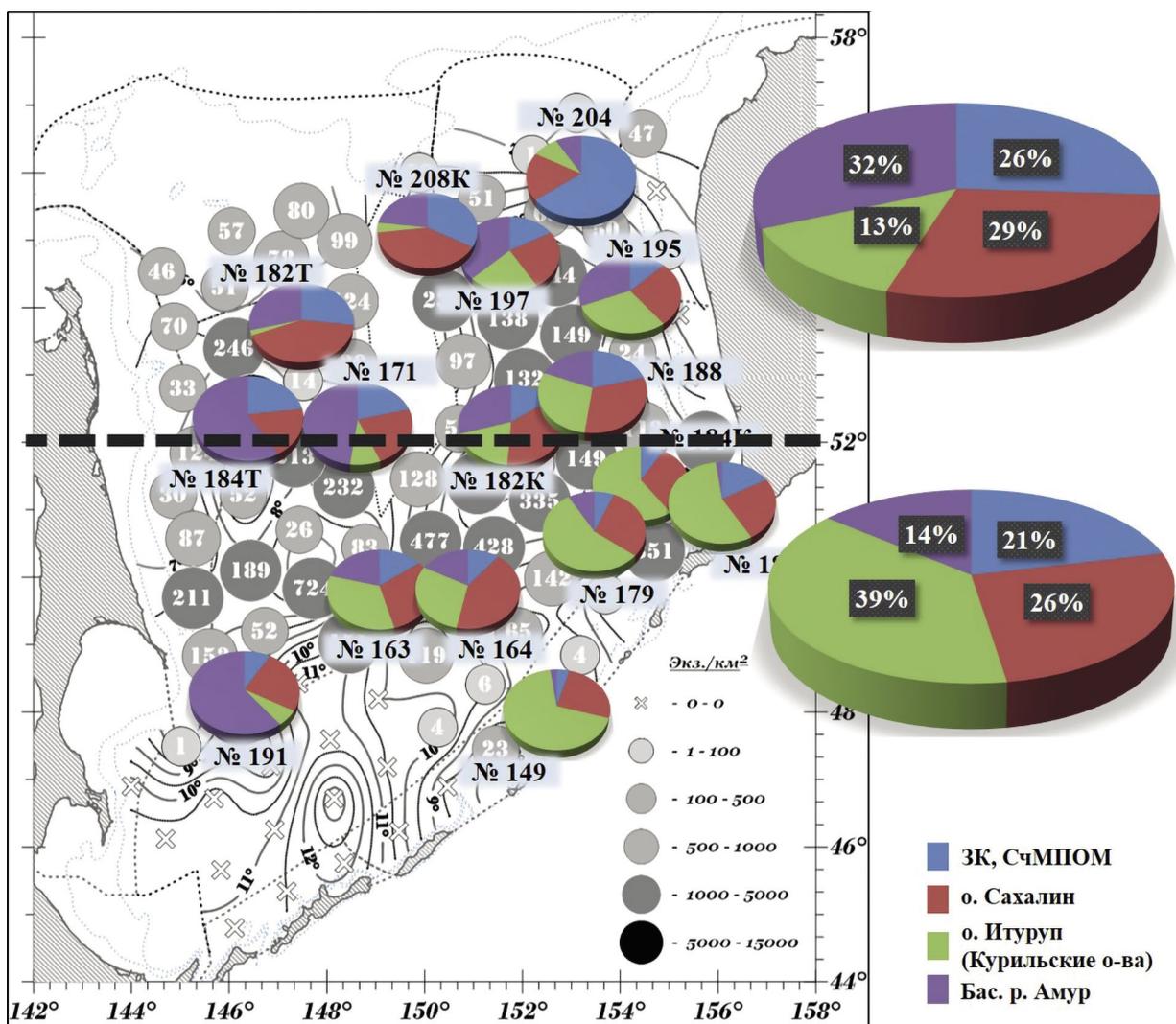


Рис. 2. Процентное соотношение молоди кеты различных регионов охотоморского бассейна в уловах осенней траловой съёмки 2021 г. в северной (севернее 52° с. ш.) и южной частях Охотского моря

Fig. 2. Percentage composition of juvenile chum salmon from various regions of the Okhotsk Sea basin in the catches of the 2021 autumn trawl survey in the northern (north of 52° N) and southern parts of the Sea of Okhotsk

Амур составила 14 и 12%, соответственно. Для «западной» группы характерным является преобладание молоди из бассейна р. Амур (49%). Так же в значимом количестве (27% и 20%) выявлены особи о-ва Сахалин и Западной Камчатки + СчМПОМ. В центральной части Охотского моря доминировали две группы молоди: о. Сахалин (37%) и о. Итуруп (31%), в долях 19% и 13% выявлены особи бассейна р. Амур и Западной Камчатки + СчМПОМ. В улове трала № 149 (46 с. ш., вблизи Курильской гряды) в подавляющем большинстве была выявлена молодь кеты о. Итуруп (68%).

В общем составе молоди кеты из нерестовых регионов охотоморского бассейна, незначительно преобладает доля особей из рек о. Сахалин (31%). В меньшем количестве, но в тоже время в значимой доле в объединённой выборке представлены рыбы

бассейна р. Амур (27%), о. Итуруп (22%) и Западной Камчатки + СчМПОМ (19%) (рис. 3).

При интерпретации полученных данных региональной идентификации необходимо учитывать сведения о генетической близости стад кеты различных регионов. В частности, ранее было установлено, что заводская кета японского происхождения (о-ва Хоккайдо и Хонсю) обладает значительным генетическим сходством с популяциями о. Итуруп [Денисенко и др., 2023 а]. Данный факт имеет принципиальное значение для анализа пространственного распределения, поскольку, по данным многолетних исследований отолитного маркирования, японская молодь присутствует не только в южной части Охотского моря, но и проникает в его северные районы (севернее 54° с. ш.) [Чистякова, Бугаев, 2016; Бугаев и др., 2020; Буга-

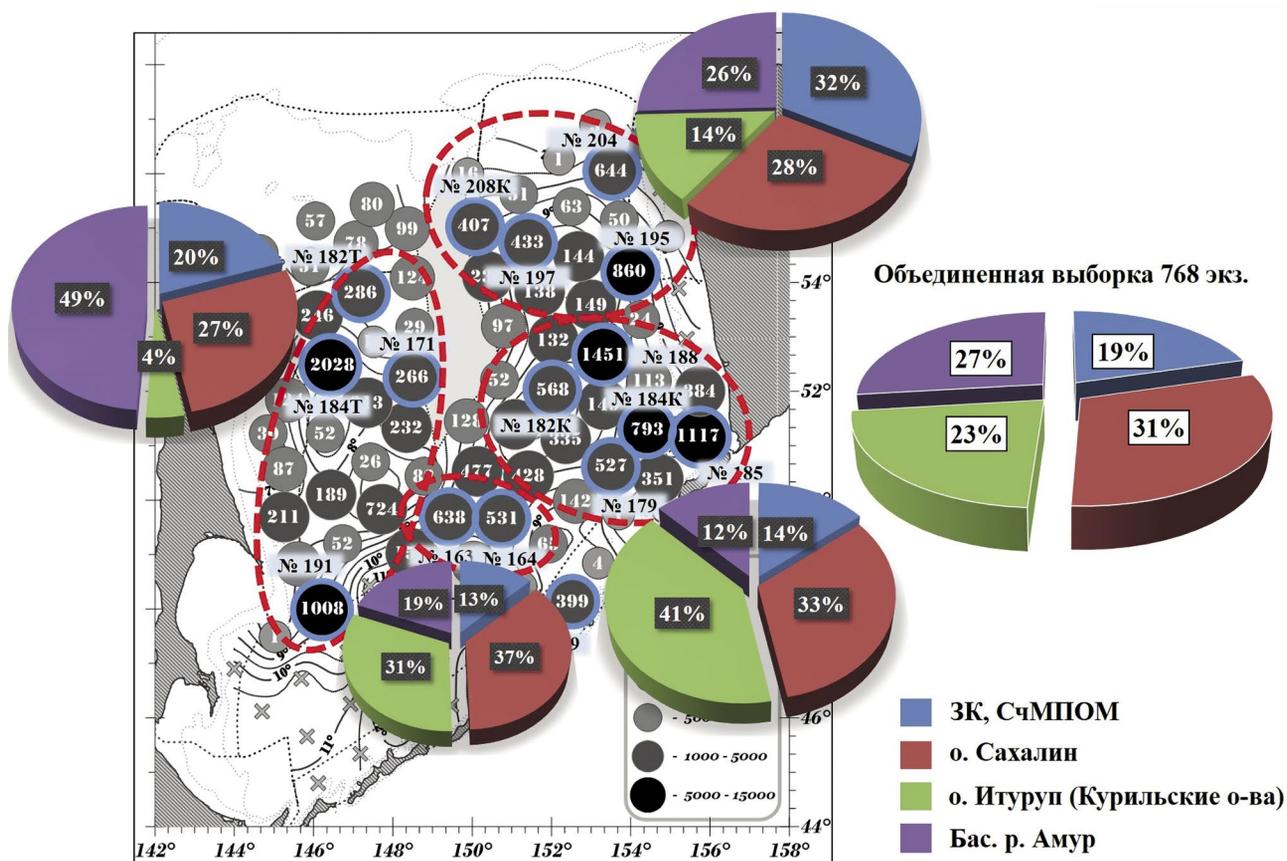


Рис. 3. Процентное соотношение молоди кеты в объединённых выборках из уловов осенней траловой съёмки 2021 года
Fig. 3. Percentage composition of juvenile chum salmon in combined catch subsamples from the 2021 autumn trawl survey

ев, Герлиц, 2023]. Таким образом, часть рыб, отнесённая в настоящем исследовании по генетическим признакам к группе о. Итуруп, фактически может являться молодью японских ЛРЗ, что следует принимать во внимание при оценке вклада курильских стад в общую численность смешанных скоплений.

Согласно результатам генетической идентификации установлено, что в 2021 г. от учётной численности сеголеток кеты, равной 1,184 млрд, нагуливавшихся в смешанных скоплениях в Охотском море, 19% или 225 млн скатилось из рек Западной Камчатки и северной части материкового побережья Охотского моря.

Однако в ходе траловой съёмки в северо-восточной части района работ было отмечено одно сверхрезультативное траление (2028 экз. кеты), которое было окружено малыми уловами. В итоговых материалах по анализу съёмки, во избежание завышения расчётной оценки возвратов, специалистами ТИПРО было принято решение ограничить численность учётных сеголеток кеты до 1 млрд. Таким образом, с учётом проведённой генетической идентификации, порядка 190 млн сеголеток может быть отнесено

к запасам кеты Западной Камчатки и северной части материкового побережья Охотского моря.

Для определения возможной численности ожидаемых к возврату в 2023-2026 гг. производителей поколения 2020 г., от 190 млн учётных сеголеток ЗК и СчМПОМ в Охотском море в 2021 г., привлекли имеющиеся данные по ранее полученным коэффициентам возврата для поколений 2017 и 2018 гг. (съёмки 2018 и 2019 гг.) [Денисенко, 2023b], которые составили 3 и 6%, соответственно. Определили, что суммарная численность вернувшихся производителей в два дальневосточных региона может составить от 5,7 до 11,4 млн рыб, в среднем 8,5 млн. Согласно официальным данным по вылову³, долевым вкладом в формирование запаса вида кластера ЗК и СчМПОМ равнозначный, в связи с этим распределили полученную оценку возврата на две равные части для каждого региона, т. е. по 4,25 млн производителей к возврату. Отметим, что данная оценочная численность поколения ниже среднемноголетней численности последних

³ NPAFC Statistics: Pacific Salmonid Catch and Hatchery Release Data <https://www.npafc.org/statistics/> 20.03.2025

Таблица 4. Процентное соотношение молоди кеты различных регионов охотоморского бассейна в выборках из уловов осенней траловой съёмки на НИС «Профессор Кагановский» и НИС «ТИНРО» в 2021 г.

Table 4. Percentage composition of juvenile chum salmon from various regions of the Okhotsk Sea basin in catch subsamples from the 2021 autumn trawl survey on the research vessels Professor Kaganovsky and TINRO

Выборка	Регион	ЗК и СчМПОМ (%)	о. Сахалин (%)	о. Итуруп (Курильские о-ва) (%)	Бассейн р. Амур (%)
НИС «ТИНРО», Тр. № 191		8	25	6	61
НИС «ТИНРО», Тр. № 184Т		23	19	0	58
НИС «Проф. Каган.», Тр. № 184К		8	32	60	0
НИС «Проф. Каган.», Тр. № 188		21	31	29	19
НИС «Проф. Каган.», Тр. № 185		17	25	56	2
НИС «Проф. Каган.», Тр. № 204		65	19	8	8
НИС «Проф. Каган.», Тр. № 197		17	25	21	37
НИС «ТИНРО», Тр. № 163		15	31	33	21
НИС «ТИНРО», Тр. № 149		4	26	68	2
НИС «ТИНРО», Тр. № 182		27	42	2	29
НИС «Проф. Каган.», Тр. № 195		13	27	29	31
НИС «ТИНРО», Тр. № 164		11	42	30	17
НИС «Проф. Каган.», Тр. № 179		6	29	56	9
НИС «Проф. Каган.», Тр. № 182К		15	36	19	30
НИС «Проф. Каган.», Тр. № 208К		33	40	4	23
НИС «ТИНРО», Тр. № 171		21	23	8	48

пяти (2015-2019 гг.) вернувшихся поколений западно-камчатской кеты – 5,27 млн рыб (2,78-7,24 млн). Соответственно, можно заключить, что общее количество производителей от нереста родителей 2020 г. будет характеризоваться невысокой численностью – ниже среднемноголетней величины.

Известно, что кета возвращается в нерестовые реки в возрасте от 2+ до 6+ лет. Подавляющее большинство особей одного поколения, формируют рыбы двух возрастов – 3+ и 4+ лет. Доля трёх – (2+), шести – (5+) и особенно семилетних рыбы в возвратах незначительна. Фактическое соотношение групп 3+ и 4+ в поколениях составляет 56 и 39% соответственно (5% суммарно группы 2+ и 5+). Таким образом, исходя из расчётной величины всего поколения равной 4,25 млн, порядка 2,38 млн должны вернуться в возрасте 3+ и 1,66 млн – в возрасте 4+.

В 2024 г. уже состоялся возврат кеты от поколения 2020 г. в возрасте 3+ в количестве 2,35 млн рыб. Следовательно, данная величина полностью соотносится с полученной расчётной численностью – 2,38 млн. Возврат второй по значимости возрастной группы – 4+ состоится в 2025 г., фактическая численность которой будет также сопоставлена с оценкой, полученной с помощью генетической идентификации. На данном этапе отметим, что согласно материалам, обосновывающих объём прогнозируемого вылова кеты на Западной

Камчатке в 2025 г., потенциальный возврат группы 4+ спрогнозирован на уровне 1,36 млн, что в целом, также согласуется с расчётной оценкой – 1,66 млн.

Подытоживая вышеизложенное, подчеркнём, что проведённый современный метод генетического исследования кеты позволит расширить знания о распределении и путях нагульных миграций кеты в морской и океанический периоды жизни, определить коэффициенты возврата и смертности поколений, а в перспективе повысит точность прогнозов подходов и вылова вида как в Камчатском крае, так и в других дальневосточных регионах. На текущий момент данный блок информации уже используется при подготовке материалов прогнозов кеты Западной Камчатки в качестве индикаторной информации. По мере накопления результатов генетических исследований (рядов данных) к данному блоку информации будет применяться аналитический подход, в частности, построение модели типа «учёт в море – возврат».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По материалам осенних траловых съёмок, помимо учтённой численности сеголеток тихоокеанских лососей, для подготовки обоснования прогноза величины нерестовых возвратов в настоящее время активно используются результаты молекулярно-генетических исследований.

В представленной работе на основе референсной базы данных частот микросателлитных локусов кеты определён региональный состав смешанных скоплений в 2021 г. В общем процентном соотношении смешанных выборок молоди кеты по результатам генетической идентификации не выявлено как явно доминирующей группы, так и группы с заметно низкой оценкой количества особей.

Доля западнокамчатской молоди в Охотском море позволила оценить вклад этого региона в общем запасе и спрогнозировать величину поколения 2020 г. на основе коэффициентов возврата предыдущих поколений. Полученные расчёты демонстрируют высокую степень соответствия с фактическими подходами группы 3+ в 2024 г., что демонстрирует высокий уровень информативности генетической идентификации, для корректировки материалов прогноза возвратов производителей.

Для повышения точности идентификации особенно важно обратить внимание на регионы с низкой разрешающей способностью, такие как о. Сахалин и Западная Камчатка + СЧМПОМ. Планируется апробация новых наборов генетических маркеров для поиска дифференцирующих вариантов аллелей. Параллельно ведётся работа по расширению референсной базы данных выборок кеты из основных нерестовых рек охотоморского бассейна.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации для ФГБНУ «ВНИРО» (ГНЦ РФ) № 076-00005-25-00.

ЛИТЕРАТУРА

- Бугаев А.В., Герлиц А.И. 2023. Характеристика нагульных миграций заводской молоди тихоокеанских лососей в бассейне Охотского моря и прилегающих водах Тихого океана в осенне-зимний период (региональная идентификация, численность и распределение уловов, биологические показатели, оценки смертности) // Известия ТИНРО. Т. 203. № 1. С. 16-45. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-16-45
- Бугаев А.В., Чистякова А.И., Урава С. 2020. Многолетние тенденции распределения и регионального состава заводской молоди горбуши и кеты в период осенних миграций в бассейне Охотского моря // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 57. С. 67-98. DOI: 10.15853/2072-8212.2020.57.67-98
- Гордеев И.И., Шевляков В.А., Курносов Д.С., Пономарев С.С., Кожевников А.В., Чистякова Т.А., Безверхняя А.О., Жильцов А.Е., Свидерский В.А., Шейбак А.Ю. 2019. Траловая учётная съёмка тихоокеанских лососей на НИС «Профессор Кагановский» в Беринговом и Охотском морях (сентябрь-октябрь 2019 г.) // Труды ВНИРО. Т. 178. С. 200-205. DOI: 10.36038/2307-3497-2019-178-200-205
- Денисенко А.Д., Герлиц А.И., Бугаева Е.А., Савенков В.В., Пильганчук О.А., Муравская У.О., Шпигальская Н.Ю., Бугаев А.В. 2023 а. Генетическая характеристика молоди кеты с меткой японских ЛРЗ из траловых уловов учётных съёмов 2016-2021 гг. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 71. С. 47-59. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.71.47-59
- Денисенко А.Д., Зикунцова О.В., Пильганчук О.А., Савенков В.В. 2023 б. Применение результатов генетической идентификации при определении смертности молоди кеты (*Oncorhynchus keta*) Западной Камчатки по материалам осенней траловой съёмки 2018 г. // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса. Мат. XI межд. науч.-практ. конф. молодых учёных и специалистов. М.: ВНИРО. С. 75-77.
- Денисенко А.Д., Муравская У.О., Пильганчук О.А., Шпигальская Н.Ю., Савенков В.В., Зикунцова О.В. 2023 с. Оценка регионального состава смешанных скоплений молоди кеты в Охотском море по результатам генетических исследований // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. Части Тихого океана. Вып. 70. С. 5-26. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.70.5-26
- Косицына А.И., Шпигальская Н.Ю., Сергеев А.А., Сошина В.А., Савенков В.В., Денисенко А.Д., Муравская У.О., Зеленина Д.А. 2022. Генетическая идентификация молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) Охотоморского бассейна по результатам рестрикционного анализа митохондриальной ДНК и анализа однонуклеотидных полиморфизмов // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. № 66. С. 52-67. DOI: 10.15853/2072-8212.2022.66.52-67.
- Маниатис Т., Фрич Э., Сэмбрук Дж. 1984. Молекулярное клонирование. М.: Мир. 479 с. ((*Maniatis T., Fritsch E.F., Sambrook J.* 1982. *Molecular Cloning: A Laboratory Manual.* Cold Spring Harbor. N. Y.))
- Сомов А.А., Шевляков Е.А., Старовойтов А.Н., Шевляков В.А., Дедерер Н.А., Мельников И.В. 2023. Перспективы промысла горбуши в дальневосточных регионах Берингова и Охотского морей в 2023 г. по результатам анализа траловых съёмов молоди на НИС «ТИНРО» и «Профессор Кагановский» осенью 2022 г. // Бюл. № 17 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО. С. 87-100. DOI: 10.26428/losos_bull17-2023-87-100. EDN: SVAJWC.
- Чистякова А.И., Бугаев А.В. 2016. Оценка происхождения и пути миграций заводской молоди горбуши и кеты в бассейне Охотского моря в осенний период

- 2011-2014 гг. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 40. С. 5-23. DOI: 10.15853/2072-8212.2016.40.5-23
- Шпигальская Н.Ю., Зеленина Д.А., Пильганчук О.А., Сошникова В.А., Муравская У.О., Денисенко А.Д., Савенков В.В., Бугаева Е.А. 2023. Генетическая идентификация молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) нечётной линии воспроизводства по результатам рестрикционного анализа митохондриальной ДНК и анализа однонуклеотидных полиморфизмов // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 71. С. 5-22. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.71.5-22
- Anderson E.C., Waples R.S., Kalinowski S.T. 2008. An improved method for estimating the accuracy of genetic stock identification // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 65 (7). P. 1475-1486. DOI: 10.1139/F08-049
- Buchholtz W.G., Miller S.J., Spearman W.J. 2001. Isolation and characterization of chum salmon microsatellite loci and use across species // Animal Genetics. V. 32. № 3. P. 162-165. DOI: 10.1046/j.1365-2052.2001.0723b.x
- Gruber B., Adamack A.T. 2015. Landgenreport: A new R function to simplify landscape genetic analysis using resistance surface layers // Mol. Ecol. Resour. V. 15(5). P. 1172-1178. DOI: 10.1111/1755-0998.12381
- Nelson R.J. D., Beacham T.D., 1999. Isolation and cross species amplification of microsatellite loci useful for study of Pacific salmon // Animal Genetics. V. 30. P. 228-229. DOI: 10.1046/j.1365-2052.1999.00404-4.x
- Olsen J.B., Bentzen P., Seeb J.E., 1998. Characterization of seven microsatellite loci derived from pink salmon // Molecular Ecology. V. 7. P. 1083-1090. PMID: 9711869
- Olsen J.B., Wilson S.L., Kretschmer E.J., Jones K.C., Seeb J.E., 2000. Characterization of 14 tetranucleotide microsatellite loci derived from sockeye salmon // Molecular Ecology. V. 9. P. 2185-2187. DOI: 10.1046/j.1365-294x.2000.105317.x
- Piry S., Alapetite A., Cornuet J.-M., Paetkau D., Baudouin L., Estoup A. 2004. GeneClass2: A software for genetic assignment and first-generation migrant detection // Journal of Heredity. Vol. 95. P. 536-539. DOI: 10.1093/jhered/esh074
- Sambrook J., Fritsch E.F., Maniatis T. 1989. Molecular Cloning: A Laboratory Manual. N.Y. Cold Spring Harbor Lab. Press. 1626 p.
- Sánchez J.A., Clabby C., Ramos D., Blanco G., Vazquez E., Powell R. 1996. Protein and microsatellite single locus variability in *Salmo salar* L. (Atlantic salmon) // Heredity. V. 77. P. 423-432. DOI: 10.1038/hdy.1996.162
- Smith C.T., Koop B.F., Nelson R.J., 1998. Isolation and characterization of Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) microsatellites and their use in other salmonids // Molecular Ecology. V. 7. P. 1613-1621. PMID: 9819912
- in the Okhotsk Sea basin and adjacent Pacific waters during the autumn–winter period (regional identification, abundance and distribution of catches, biological characteristics, mortality estimates) // Izvestiya TINRO. 203(1). P. 16-45. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-16-45. (In Russ.).
- Bugaev A.V., Chistyakova A.I., Urabe S. 2020. Long-term trends in the distribution and regional composition of hatchery-origin juvenile pink and chum salmon during autumn migrations in the Okhotsk Sea basin // Studies of Aquatic Biological Resources of Kamchatka and the Northwestern Part of the Pacific Ocean. V. 57. P. 67-98. DOI: 10.15853/2072-8212.2020.57.67-98. (In Russ.).
- Gordeev I.I., Shevlyakov V.A., Kurnosov D.S., Ponomarev S.S., Kozhevnikov A.V., Chistyakova T.A., Bezverkhnyaya A.O., Zhiltsov A.E., Svidersky V.A., Sheibak A.Yu. 2019. Trawl survey of Pacific salmon using the R/V Professor Kaganovsky in the Bering and Okhotsk Seas (September–October 2019) // Trudy VNIRO. 178. P. 200-205. DOI: 10.36038/2307-3497-2019-178-200-205. (In Russ.).
- Denisenko A.D., Gerlits A.I., Bugaeva E.A., Savenkov V.V., Pilganchuk O.A., Muravskaya U.O., Shpigalskaya N.Yu., Bugaev A.V. 2023 a. Genetic characterization of juvenile chum salmon marked at Japanese hatcheries from trawl catches of monitoring surveys in 2016–2021 // Studies of Aquatic Biological Resources of Kamchatka and the Northwestern Part of the Pacific Ocean. V. 71. P. 47-59. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.71.47-59. (In Russ.).
- Denisenko A.D., Zikunova O.V., Pilganchuk O.A., Savenkov V.V. 2023 b. Application of genetic identification results in assessing mortality of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) from Western Kamchatka based on materials from the 2018 autumn trawl survey // Modern Problems and Prospects for the Development of the Fisheries Complex. Proc. of the XI Intern. Scient. and Pract. Conf. of Young Scientists and Specialists. Moscow: VNIRO Publish. P. 75-77. (In Russ.).
- Denisenko A.D., Muravskaya U.O., Pilganchuk O.A., Shpigalskaya N.Yu., Savenkov V.V., Zikunova O.V. 2023 c. Assessment of the regional composition of mixed aggregations of juvenile chum salmon in the Okhotsk Sea based on genetic studies // Studies of Aquatic Biological Resources of Kamchatka and the Northwestern Part of the Pacific Ocean. V. 70. P. 5-26. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.70.5-26. (In Russ.).
- Kositsyna A.I., Shpigalskaya N.Yu., Sergeev A.A., Soshnina V.A., Savenkov V.V., Denisenko A.D., Muravskaya U.O., Zelenina D.A. 2022. Genetic identification of juvenile pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) from the Okhotsk Sea basin based on restriction analysis of mitochondrial DNA and single-nucleotide polymorphism analysis // Studies of Aquatic Biological Resources of Kamchatka and the Northwestern Part of the Pacific Ocean. V. 66. P. 52-67. DOI: 10.15853/2072-8212.2022.66.52-67. (In Russ.).
- Maniatis T., Fritsch E., Sambrook J. 1984. Molecular Cloning: A Laboratory Manual. Moscow: Mir. 479 p. (Maniatis T., Fritsch E.F., Sambrook J. 1982. Molecular Cloning: A Laboratory Manual. Cold Spring Harbor. N. Y.)

REFERENCES

Bugaev A.V., Gerlits A.I. 2023. Characteristics of feeding migrations of hatchery-origin juvenile Pacific salmon

- Somov A.A., Shevlyakov E.A., Starovoitov A.N., Shevlyakov V.A., Dederer N.A., Melnikov I.V.* 2023. Prospects for pink salmon fishing in the Far Eastern regions of the Bering and Okhotsk Seas in 2023 based on the results of juvenile trawl surveys with the R/V TINRO and Professor Kaganovsky in autumn 2022 // Bulletin No. 17 on the Study of Pacific Salmon in the Russian Far East. Vladivostok: TINRO Publish. P. 87-100. DOI: 10.26428/losos_bull17-2023-87-100. (In Russ.).
- Chistyakova A.I., Bugaev A.V.* 2016. Assessment of the origin and migration routes of hatchery-origin juvenile pink and chum salmon in the Okhotsk Sea basin during the autumn period of 2011-2014 // Studies of Aquatic Biological Resources of Kamchatka and the Northwestern Part of the Pacific Ocean. V. 40. P. 5-23. DOI: 10.15853/2072-8212.2016.40.5-23. (In Russ.).
- Shpigalskaya N.Yu., Zelenina D.A., Pilganchuk O.A., Soshnina V.A., Muravskaya U.O., Denisenko A.D., Savenkov V.V., Bugaeva E.A.* 2023. Genetic identification of juvenile pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) of the odd-year brood line based on restriction analysis of mitochondrial DNA and single-nucleotide polymorphism analysis // Studies of Aquatic Biological Resources of Kamchatka and the Northwestern Part of the Pacific Ocean. V. 71. P. 5-22. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.71.5-22. (In Russ.).
- Anderson E.C., Waples R.S., Kalinowski S.T.* 2008. An improved method for estimating the accuracy of genetic stock identification // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 65 (7). P. 1475-1486. DOI: 10.1139/F08-049
- Buchholtz W.G., Miller S.J., Spearman W.J.* 2001. Isolation and characterization of chum salmon microsatellite loci and use across species // Animal Genetics. V. 32. № 3. P. 162-165. DOI: 10.1046/j.1365-2052.2001.0723b.x
- Gruber B., Adamack A.T.* 2015. Landgenreport: A new R function to simplify landscape genetic analysis using resistance surface layers // Mol. Ecol. Resour. V. 15(5). P. 1172-1178. DOI: 10.1111/1755-0998.12381
- Nelson R.J.D., Beacham T.D.*, 1999. Isolation and cross species amplification of microsatellite loci useful for study of Pacific salmon // Animal Genetics. V. 30. P. 228-229. DOI: 10.1046/j.1365-2052.1999.00404-4.x
- Olsen J.B., Bentzen P., Seeb J.E.*, 1998. Characterization of seven microsatellite loci derived from pink salmon // Molecular Ecology. V. 7. P. 1083-1090. PMID: 9711869
- Olsen J.B., Wilson S.L., Kretschmer E.J., Jones K.C., Seeb J.E.*, 2000. Characterization of 14 tetranucleotide microsatellite loci derived from sockeye salmon // Molecular Ecology. V. 9. P. 2185-2187. DOI: 10.1046/j.1365-294x.2000.105317.x
- Piry S., Alapetite A., Cornuet J.-M., Paetkau D., Baudouin L., Estoup A.* 2004. GeneClass2: A software for genetic assignment and first-generation migrant detection // Journal of Heredity. Vol. 95. P. 536-539. DOI: 10.1093/jhered/esh074
- Sambrook J., Fritsch E.F., Maniatis T.* 1989. Molecular Cloning: A Laboratory Manual. N.Y. Cold Spring Harbor Lab. Press. 1626 p.
- Sánchez J.A., Clabby C., Ramos D., Blanco G., Vazquez E., Powell R.* 1996. Protein and microsatellite single locus variability in *Salmo salar* L. (Atlantic salmon) // Heredity. V. 77. P. 423-432. DOI: 10.1038/hdy.1996.162
- Smith C.T., Koop B.F., Nelson R.J.*, 1998. Isolation and characterization of Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) microsatellites and their use in other salmonids // Molecular Ecology. V. 7. P. 1613-1621. PMID: 9819912

Поступила в редакцию 04.12.2025 г.
Принята после рецензий 26.12.2025 г.