

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ
METHODS OF INVESTIGATIONS**

Научная статья

УДК 597.552.511–135:57.087.23

DOI: 10.26428/1606-9919-2026-206-239-255

EDN: PMLVAJ

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО УЧЕТА
ПОКАТНОЙ МОЛОДИ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ
РОДА ONCORHYNCHUS В МАЛЫХ РЕКАХ САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ****А.А. Живоглядов***Сахалинский филиал ВНИРО (СахНИРО),
693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, 196

Аннотация. Проведен критический анализ методических подходов, применяемых сотрудниками СахНИРО при количественном учете молоди тихоокеанских лососей *Oncorhynchus* в реках Сахалинской области. Выявлены методические и логические проблемы, снижающие воспроизводимость результатов. Показано, что использование линейной интерполяции в качестве алгоритма для расчета поправки на время при оценке распределения молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* по сечению контрольной реки в ряде случаев может приводить к появлению отрицательных скорректированных значений, не имеющих биологического смысла при наличии ненулевых фактических уловов и указывающих на выход алгоритма за пределы области его применимости. Предложены направления доработки методики, включающие формализацию вычислительных процедур, введение контроля качества на разных этапах, верификации и валидации данных. Подчеркивается, что без реализации указанных мер методика не обеспечивает стандартизацию расчетов и не может служить надежной основой для мониторинга численности молоди.

Ключевые слова: тихоокеанские лососи, реки Сахалинской области, покатная молодь, горбуша, кета, покатная миграция, методика учета, численное интегрирование, воспроизводимость, контроль качества данных

Для цитирования: Живоглядов А.А. Методологические проблемы количественного учета покатной молоди тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus* в малых реках Сахалинской области // Изв. ТИНРО. — 2026. — Т. 206, вып. 1. — С. 239–255. DOI: 10.26428/1606-9919-2026-206-239-255. EDN: PMLVAJ.

* Живоглядов Андрей Александрович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, zhivoglyadovaa@sakhniro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-9955-6903.

© Живоглядов А.А., 2026

Methodological problems of quantitative assessment for downstream migrating juveniles of pacific salmon gen. *Oncorhynchus* in small rivers of the Sakhalin Region

Andrey A. Zhivoglyadov

Sakhalin branch of VNIRO (SakhNIRO),

196, Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023 Russia

Ph.D., leading researcher, zhivoglyadovaa@sakhniro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-9955-6903

Abstract. Methodological approaches used in the Sakhalin branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (SakhNIRO) for quantitative assessment of pacific salmon (*Oncorhynchus*) juveniles in the rivers of Sakhalin Region are analyzed critically. Methodic and logical problems are revealed that worsened the results reliability. The linear interpolation used for time correction of cross-sectional distribution for juveniles of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* in a control river gives sometimes unrealistic negative values when actual catches are not zero, that means the algorithm has limited applicability. Ways for methodological improvements are proposed, including formalization of computing procedures, implementation of quality control at certain stages, and data verification and validation. Without these measures implementation, the current methodology does not ensure standardization of calculations, so cannot serve as a reliable basis for monitoring the juveniles abundance.

Keywords: pacific salmon, Sakhalin, juvenile, pink salmon, chum salmon, downstream migration, assessment methodology, numerical integration, reliability, data quality control

For citation: Zhivoglyadov A.A. Methodological problems of quantitative assessment for downstream migrating juveniles of pacific salmon gen. *Oncorhynchus* in small rivers of the Sakhalin Region, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2026, vol. 206, no. 1, pp. 239–255. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2026-206-239-255. EDN: PMLVAJ.

Введение

Оценка численности мигрирующей из рек молоди — базовый элемент мониторинга эффективности воспроизводства и оценки запаса лососей Сахалинской области. В рамках ежегодных работ по отслеживанию численности молоди рода *Oncorhynchus* сотрудники СахНИРО на протяжении многих лет применяют так называемый «метод выборочных обловов на малых реках», исторически опирающийся на разработку А.Я. Таранца [1939], адаптированную к условиям Сахалинской области С.П. Воловиком [1967].

В 2010 г. была опубликована работа А.М. Каева [2010] (далее — Статья), в которой модифицированная автором методика изложена в полном виде.

Ключевое место в рассматриваемой методике, согласно Статье, занимают два этапа:

— *спецобловы (контрольный лов/обловы по сечению)* — производят для того, чтобы определить, сколько процентов мигрирующих мальков попадает в ловушку, выставленную на контрольной точке от общего числа мигрирующей через учетный створ молоди в минуту;

— *учетные (обычные) обловы* — для определения количества мигрирующей через контрольную точку молоди с определенной периодичностью, обычно один раз в 60 мин.

Поскольку при проведении контрольного лова невозможно одновременно поставить ловушки по всей ширине реки, в расчеты введен коэффициент для исключения влияния изменения ската по времени на результаты спецоблова (коэффициент k_1). Спецоблов производят с частотой 1 раз в 10 дней (при значимых изменениях уровня реки — чаще), учетные обловы ведут в режиме ночь через ночь.

Обобщенная схема проведения обловов представлена на рис. 1.

В 2011 г. А.М. Каевым данная методика (в несколько упрощенном виде) представлена в качестве методического руководства по количественному учету покатной молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* и кеты *Oncorhynchus keta* в малых реках методом выборочных обловов [Каев, 2011] (далее — Методика), одобренного затем Ученым советом СахНИРО и Дальневосточным лососевым советом. В данном варианте при



Рис. 1. Обобщенная схема размещения ловушек в поперечном профиле реки при проведении учетных и специальных обловов молоди тихоокеанских лососей: № 1–5 соответствуют позициям ловушек; центральная позиция К (№ 3, красная ловушка) — контрольная точка, используемая для определения динамики миграции при учетных обловах (К) и доли облова (р) при спецобловах (К₁–К₃), см. пояснения в разделе *Терминология*

Fig. 1. Scheme of traps mounting across a river for counting of pacific salmon juveniles: 1–5 — traps; K (red trap № 3) — control point for counting. See detailed explanation in *Terminology* section

расчетах результатов спецоблова отсутствует оценка поправочного коэффициента по времени k_r , хотя указано (п. 6.3), что в ряде случаев применение такого поправочного коэффициента (названного «специальный алгоритм») необходимо, в этих случаях следует обращаться к Статье.

Данная методика применяется в течение ряда лет в лаборатории лососевых рыб СахНИРО для расчета количественных показателей молоди тихоокеанских лососей (горбуши и кеты), мигрировавшей из рек Сахалинской области. В процессе применения методики выявлены существенные проблемы, которые препятствуют корректной оценке численности мигрирующей молоди тихоокеанских лососей.

Цель настоящей работы — дать критический анализ указанных источников, показать, где именно Методика допускает различные трактовки, осветить выявленные спорные методы расчетов, предложить шаги в части формализации вычислительных процедур, верификации и валидации получаемых результатов. Высказанные замечания относятся и к тексту Статьи, поскольку Методика в значительной степени дублирует указанную работу.

Материалы и методы

В качестве основного материала использована Методика. Наиболее внимательно анализировали основные смысловые разделы, оговаривающие порядок проведения «спецобловов по сечению» и «обычных учетных обловов», включая текстовые описания, примеры расчетов и иллюстративные схемы.

Работу А.М. Каева [2010] рассматривали как основу для Методики и как источник «специального алгоритма» для расчета временной поправки k_r .

Критерии оценки. Работа ориентирована на проверку следующих вопросов.

1. Полнота и непротиворечивость описания алгоритмов.
2. Соответствие текстовой части и иллюстраций.
3. Возможность однозначной реконструкции результата разными исполнителями по первичным данным.

Терминология. Используются следующие определения.

Метод трапеций — в контексте данной работы вариант интегрирования, заключающийся в осреднении соседних наблюдений, умноженный на шаг по поперечнику, пересчитанный на «позиции ловушки» в случае спецоблова, либо шаг по времени в случае учетного лова.

Учетный облов — регулярный лов в контрольной точке, выполняемый для построения временного ряда интенсивности ската.

Спецоблов (контрольный лов, лов по сечению) — серия постановок ловушек по всему поперечному профилю реки, выполняемая для определения доли мигрирующей молоди, проходящей через контрольную ловушку. Далее по тексту под контрольным ловом всегда понимается специальный лов по сечению реки (спецоблов).

Позиция лова (учетная вертикаль) — конкретная точка постановки ловушки (на практике обозначается метками на размеченном фале, натянутом через створ учета).

Шаг по поперечнику, м — расстояние между соседними учетными вертикалями (позициями лова).

Позиции ловушки — отрезок длиной 0,5 м (ширина стандартной мальковой ловушки), на который, согласно Методике, следует пересчитывать расстояние между позициями лова, т.е. шаг по поперечнику.

Шаг по времени, мин — фактический интервал между соседними постановками ловушки.

Поправка на глубину (h) — множитель, учитывающий неполное перекрытие вертикального профиля реки ловушкой.

Доля облова (p) — отношение интенсивности миграции молоди в контрольной точке к общей интенсивности по сечению, полученной по квадратурной формуле.

Коррекция по времени, временная поправка (k_t) — коэффициент, вычисляемый для приведения серии обловов по сечению, выполненных при проведении контрольного лова (спецоблова), к единому референтному моменту.

«Нулевая» позиция — фиктивная точка с нулевым уловом, вводимая на границах сечения русла для корректного проведения интегрирования по ширине русла.

Контрольная точка (K) — фиксированное место установки мальковой ловушки при учетном (обычном) облове (рис. 1).

Обловы на контрольной точке (K_1) — последовательные обловы, проводимые при спецоблове на контрольной точке (K). Выполняют по следующей схеме — в начале (K_1), середине (K_2) и конце (K_3) спецоблова.

Мгновенный скат через сектор (Q_s) — расчетное количество молоди, проходящее через отдельный сектор реки в минуту.

Мгновенная миграция молоди через сечение реки Q_s — суммарное расчетное количество молоди, проходящее через все сечение реки.

Интенсивность ската (N) — количество особей молоди, проходящих через ловушку за единицу времени (экз./мин).

θ — безразмерная величина, равная произведению $k_t \Delta t$, характеризующая относительную величину временной поправки (k_t), применяемой при корректировке результатов ловов на учетных вертикалях в ходе контрольного лова (спецоблова, лова по сечению) относительно момента выполнения облова на контрольной точке (K_1).

Δt — временной интервал (в минутах) между моментом выполнения облова на контрольной точке (K_1) и моментом выполнения облова на n-й учетной вертикали в ходе контрольного (специального) лова.

Результаты и их обсуждение

При критической оценке Методики [Каев, 2011] выявлен ряд смысловых пробелов и неточностей, существенно затрудняющих понимание последовательности действий и снижающих воспроизводимость результатов. Ниже приведены наиболее, на наш взгляд, значимые.

1. Несоответствия, противоречия и неопределенности

1.1. Терминологические несоответствия

В тексте Методики [Каев, 2011] наблюдается терминологический разнобой: «метод трапеций» и «расчет площади трапеций» используются как взаимозаменяемые с действиями простого осреднения. Между тем, строго говоря, это разные подходы, хотя и близкие по смыслу. Все они являются частными случаями численного интегрирования

[Бахвалов и др., 2006], тем не менее разделение данных операций представляется важным, потому что расплывчатая трактовка термина «метод трапеций» и отождествление данного метода с расчетом площади трапеции и простым осреднением приводят к неоднозначности выбора единиц измерения.

Так, логично предположить, что после упоминания площади трапеции при дальнейших вычислениях требуется использовать линейные меры длины, однако согласно Методике [Каев, 2011] необходимо использовать пересчет на «позиции ловушек» (имеется в виду стандартная мальковая ловушка со сторонами $0,5 \times 0,5$ м), что уместно в случае интегрирования, но не в случае применения формулы расчета площади геометрических фигур. Ситуация усугубляется тем, что в текстовой части раздела 6 «Контрольный лов по сечению» разъяснения по данному поводу отсутствуют.

Единственный намек на применение «позиций ловушек» можно увидеть только в примечании к рис. 3 Методики [Каев, 2011], к которому нет никаких отсылок. В результате исполнителю приходится гадать, на что же в дальнейшем делается пересчет — на метры, сантиметры или на количество «позиций ловушек» в метре.

Следствие. На практике применение расстояния, выраженного в метрах вместо рекомендованного неявным образом в Методике шага по поперечнику, пересчитанного на количество «позиций ловушек», приводит к кратному снижению оценки количества мигрировавшей молоди.

1.2. Противоречия и неопределенности при введении «нулевых» позиций

Отсутствие четкого регламента определения «нулевых» позиций. «Нулевые», или фиктивные, позиции представляют собой обязательный элемент расчетной процедуры, гарантирующий воспроизводимость результатов и сопоставимость. Указанные фиктивные позиции замыкают поперечный профиль русла, обеспечивая проведение интеграции по всей ширине — от берега до берега контрольной реки. При их отсутствии расчет фактически ограничивается лишь зоной облова, что приводит к усечению профиля и завышению оценок численности.

Между тем в п. 6.3 Методики предписано «*вести одну дополнительную начальную позицию «0» с нулевым уловом*», при этом в сопровождающей схеме расчетов (рис. 4) показаны две «нулевые» позиции — у обоих берегов.

Аналогичное противоречие отмечено и в п. 7 «Обычные учетные ловы»: в тексте отсутствует требование вводить «нулевые» точки, тогда как на рис. 5 их наличие четко обозначено. Таким образом, в обоих случаях исполнитель сталкивается с неопределенностью: что считать обязательным — текстовое описание или графическую часть.

Следствие. Подобные нестыковки между текстом и иллюстрациями снижают воспроизводимость расчетов и приводят к разночтениям на практике. В отсутствие единообразного регламента исполнитель оказывается перед необходимостью самостоятельно интерпретировать Методику, что увеличивает риск системных ошибок.

Отсутствие алгоритма выбора временного промежутка на «нулевых» точках. С «нулевыми» позициями связана еще одна существенная проблема. В Методике предписано вводить дополнительные точки с нулевым уловом (п. 6.3), однако отсутствует описание, каким образом задавать продолжительность облова в этом случае. Графическая часть Методики (рис. 4, 5) подразумевает наличие «нулевых» точек на границах учетного интервала (у обоих берегов или в начале/конце суточного цикла), но текст Методики не содержит алгоритма выбора временных параметров подобных фиктивных точек. Казалось бы, уместно использовать промежутки времени, равнозначные продолжительности основных обловов или спецобловов, но, к примеру, на рис. 5 Методики приведен пример, когда начальная «нулевая» точка имеет экспозицию 60 мин, а конечная — 120 мин, тогда как продолжительность основных обловов варьирует от 30 до 60 мин. Какие-либо пояснения в тексте Методики отсутствуют, выбор «фиктивной» экспозиции, очевидно,

предлагается производить самостоятельно. В результате исполнитель сталкивается с неопределенностью:

— если «нулевая» точка приписывается к моменту до первого облова, то интеграл по ночи расширяется на произвольную длительность, что может искусственно завысить оценку;

— если же «нулевая» точка располагается только в пределах фактических экспозиций, то роль граничного условия исчезает и учетный интервал сокращается.

Следствие. Отсутствие формализованного алгоритма (например, фиксированного расширения интервала на 30, 60 или 120 мин до и после облова либо привязки к астрономической границе дня и ночи, как вариант, к так называемым «гражданским сумеркам», астрономическим сумеркам и т.п.) является методическим пробелом, который снижает сопоставимость результатов. Для устранения неопределенности требуется нормативное закрепление способа задания временного положения «нулевых» точек.

1.3. Поправка на глубину (h) и ее ограничения

В ряде случаев при постановке ловушки высота водного столба превышает высоту орудия лова, в результате часть молоди может миновать створ ловушки. Для компенсации указанного момента в п. 6.3 Методики при расчетах результатов контрольного лова по сечению (спецоблова) предписана корректировка на глубину водного потока в случае, если глубина погружения ловушки превышает ее высоту. Эта поправка фактически основана на гипотезе о равномерном распределении плотности мигрирующей молоди по вертикали (линейная интерполяция).

Однако для р. Поронай (о. Сахалин) Н.П. Есаулов и Л.Н. Федорова [1963] приводят следующие данные. При прозрачности воды 2,0–10,0 см и глубине реки в месте учета 2,5 м (верхний слой — 0,5 м, средний и нижний слои — по 1,0 м) молодь горбуши распределялась в ночной период следующим образом: 30,4; 34,8; 34,8 %. При увеличении прозрачности воды до 50,0 см распределение в ночной период имело вид 47,0; 41,2; 11,8 %, т.е. в случае увеличения прозрачности водного потока распределение молоди горбуши перестало быть равномерным.

Согласно неопубликованным материалам С.А. Салмина* на р. Очепуха (о. Сахалин) в ночной период основная масса молоди скатывалась в среднем и нижнем слоях водного потока. При этом в светлые ночи отмечена тенденция молоди прижиматься ко дну, тогда как в темные ночи большая ее часть обнаруживалась в верхнем слое. К утру с увеличением освещенности в верхнем слое скат практически прекращался. Отмечено, что на вертикальное распределение молоди влияла скорость течения и наличие растительности, затеняющей поверхность воды.

Таким образом, как следует из работ сотрудников СахНИРО, вертикальное распределение молоди горбуши зависит от ряда факторов (освещенность, скорость течения, затененность участка) и не является монотонным, как предполагает гипотеза равномерного распределения молоди по вертикали.

Следствие. Поправка на глубину (h) основана на упрощенной гипотезе, не подтвержденной фактическими наблюдениями: в реальности распределение молоди по глубине изменчиво и определяется комплексом факторов. В отсутствие математического обоснования эффективность подобной корректировки остается под вопросом.

1.4. Неопределенность распределения коэффициентов доли улова в ловушке по дням учета

В действующей Методике отсутствуют указания, каким образом следует распространять коэффициенты доли уловов в ловушке, полученные по результатам спецобловов, на периоды между спецобловами. На практике исполнители вынуждены выбирать один из нескольких вариантов:

— «ступенчатая» схема — коэффициент, рассчитанный в день спецоблова, применяется неизменно до следующего спецоблова;

* Рухлов Ф.Н., Перова С.Л., Островская О.Л., Салмин С.А. Состояние запасов и воспроизводство горбуши в 1970 году : отчет о НИР / СахТИНРО. № ГР 68043088. Антоново, 1970. 30 с.

— *линейная интерполяция* — коэффициент изменяется плавно от одного спецоблова к другому;

— *смешанный подход* — часть интервала закрепляется за значением последнего спецоблова, оставшаяся часть корректируется в сторону следующего, между сменой интервалов происходит осреднение;

— *периодическое осреднение* — коэффициенты осредняются по более крупным интервалам (декадам, неделям) и применяются в сглаженном виде.

Следствие. Разнообразие возможных трактовок снижает воспроизводимость расчетов и может приводить к значительным расхождениям итоговых оценок. Для сопоставимости результатов требуется либо жестко регламентировать способ распределения коэффициентов, либо как минимум фиксировать выбранный подход в отчетных документах.

1.5. Неопределенность обработки дней без учета

Методика не содержит указаний, как рассчитывать данные за дни, когда обловы не проводили (что необходимо при режиме ночь через ночь). Если контрольную точку не меняли, стандартным решением является осреднение итоговых цифр между соседними датами учета. При этом возможны варианты:

— *простое осреднение* (базовый вариант);

— *взвешенное осреднение* с учетом экспозиции или интенсивности миграции;

— *копирование значения* ближайшей учетной ночи;

— *восстановление* по вспомогательным данным (температура, уровень воды, интенсивность миграции на других точках).

Если же контрольную точку меняли, осреднение напрямую некорректно. Возможные решения:

— *сегментный подход*: считать дни внутри каждого участка отдельно, без склейки;

— *пересчет* через переходный коэффициент при наличии перекрывающего облова;

— *нормализация* по вспомогательным данным, если перекрытия нет.

Следствие. Выбор способа обработки дней без учета существенно влияет на итоговые оценки. Для воспроизводимости необходимо регламентировать порядок осреднения и правила стыковки данных при смене точки либо четко фиксировать выбранный вариант в отчетных материалах.

1.6. Неопределенность доли уловов в ловушке при редких спецобловах

Методика не рассматривает ситуацию, когда спецобловы проводят редко или между ними возникают длительные интервалы. В подобных случаях коэффициенты доли уловов в ловушке экстраполируют на пропущенные периоды с высокой неопределенностью. Возможные варианты:

— *фиксация последнего коэффициента* — значение применяют до следующего спецоблова (или до конца периода);

— *осреднение имеющихся коэффициентов* — единичные значения осредняют по укрупненным интервалам (неделя, декада, сезон);

— *задание диапазона* — вместо единственного значения используется интервал \min – \max из имеющихся спецобловов.

Особый случай возникает при смене контрольной точки на фоне редких спецобловов:

— *если был перекрывающий облов* — необходимо рассчитать переходный коэффициент и уже к нему применять вышеописанные варианты;

— *если перекрытия не было* — корректная экстраполяция невозможна и данные разных точек следует трактовать как *несопоставимые сегменты*. В этом случае есть смысл итоговые оценки представлять с расширенной неопределенностью, указывая разрыв в сопоставимости.

Следствие. В случае совмещения редких спецобловов и смены контрольных точек происходит резкое снижение достоверности и воспроизводимости коэффициентов доли

от общего улова в ловушке и, как следствие, итоговых оценок. Для воспроизводимости расчетов необходимо:

1. Регламентировать минимальное число спецобловов для каждого контрольного участка.
2. При смене точки обеспечивать хотя бы один перекрывающийся облов.
3. При невозможности такой калибровки — фиксировать в отчетах наличие разрыва и представлять результаты в виде диапазонов, а не точечных оценок.

1.7. Неопределенности при аппроксимации горизонтального распределения молоди

Применение в Методике операций численного интегрирования, очевидно, предполагает линейное изменение плотности мигрирующей молоди между учетными вертикалями — так называемая кусочно-линейная интерполяция [Бахвалов и др., 2006].

Однако в реальности распределение молоди в потоке не соответствует данной гипотезе. В частности, в ряде работ описано неравномерное распределение покатонок в поперечном сечении русла реки: наибольшее число молоди сосредоточено в стрежневой части потока, тогда как в прибрежье, в зоне замедленного стока, покатонок встречаются единично [Гриценко, 2002; Каев, Игнатъев, 2015; Павлов и др., 2015; и др.]. Таким образом, и распределение между учетными вертикалями также не будет соответствовать линейному закону.

Данную неопределенность в Методике предполагается устранять посредством спецобловов, однако насколько указанный подход эффективен, ни в Методике, ни в Статье нет никаких оценок.

Следствие. Корректировки, заложенные в методике для компенсации неопределенностей, вызванных неравномерным распределением молоди в потоке, остаются методически не верифицированными: отсутствует математическое обоснование и оценка эффективности. Поэтому нельзя однозначно утверждать, что используемый автором метод корректировки действительно компенсирует стохастические искажения и неравномерность горизонтального распределения плотности молоди в потоке воды.

2. Математические и логические проблемы расчета временной поправки (коэффициента k_t)

Поскольку при проведении контрольного лова невозможно одновременно поставить ловушки по всей ширине реки, а интенсивность и плотность ската меняются с ходом времени, в Статье утверждается, что на этапе расчетов результатов специальных обловов необходимо ввести коэффициент (для краткости обозначенный нами как коэффициент k_t) для исключения влияния изменения ската по времени на результаты спецоблова. При этом вопрос о том, насколько такая корректировка обоснована математически, ни в Статье, ни в Методике не рассмотрен.

В Методике описание алгоритма расчета коэффициента (k_t) отсутствует, хотя в п. 6.3 указано, что в ряде случаев применение поправочного коэффициента (названного «специальный алгоритм») необходимо, и в этих случаях следует обращаться к Статье.

Поскольку в Статье ход расчета коэффициента k_t практически никак не раскрыт и обозначен только схемой на рис. 8, ниже приведена пошаговая реконструкция логики вычислений. Необходимо уточнить, что в рамках данной работы рассмотрен только вариант расчета коэффициента (k_t), явно приведенный в Статье для случая, когда интенсивность уловов последовательно снижается от K_1 к K_3 . Альтернативные варианты в Методике и Статье не формализованы и потому в данной статье не рассматриваются. Анализ представленной на рис. 8 схемы позволяет заключить, что используемый автором алгоритм основан на гипотезе о равномерном изменении интенсивности хода между последовательными контрольными обловами (линейная интерполяция), т.е. в пределах каждого временного интервала между контрольными точками (K_1-K_2 , K_2-K_3) интенсивность ската, согласно предположению автора, изменяется по прямолинейному закону.

Иными словами, для каждого временного промежутка между контрольными обловами (K_1-K_2 , K_2-K_3) строится линейный участок, на котором предполагается постоянная скорость изменения интенсивности миграции.

Вычисления выполняют в следующей последовательности:

1. Определяют исходную интенсивность ската (N_0 , экз./мин) — количество молоди, прошедшей через ловушку на каждой учетной вертикали за единицу времени (минуту). При необходимости (в случае, если глубина превышает высоту ловушки) полученную величину приводят к глубине (h).

2. Для двух соседних контрольных обловов (K_1 , K_2) с известными значениями уловов (nK_1 , nK_2) и известным временем (t_1 , t_2) определяют среднюю скорость изменения интенсивности миграции (k):

$$k = (nK_2 - nK_1)/(t_2 - t_1).$$

Аналогичную операцию проводят для двух других контрольных обловов (K_2 , K_3).

3. Для каждой вертикали облова, кроме контрольных точек, вычисляют время между вторым обловом в контрольной точке t_{K_2} и данным обловом $t_{\text{облов}}$ (Δt), мин:

$$\Delta t = t_{K_2} - t_{\text{облов}}.$$

4. Исходную интенсивность улова N_0 на каждой вертикали, кроме контрольных точек, корректируют с учетом вычисленного сдвига Δt , экз./мин

$$N_t = N_0 - N_0 k_t \Delta t,$$

где N_t — скорректированная интенсивность. При этом коэффициент k_t используется в нормированной (относительной) форме и отражает направление и скорость изменения интенсивности миграции.

5. Скорректированные значения улова (N_t) для соседних вертикалей складывают, делят на два и умножают на количество ловушек между ними, т.е. проводят стандартную для Методики операцию интегрирования, получая величину «мгновенного ската через сектор» (Q_s , экз./мин). При этом необходимо введение фиктивных точек с нулевым уловом (в начале и в конце сектора) для замыкания сектора облова.

6. Полученные величины по секторам суммируют, формируя величину «мгновенной миграции молоди через сечение реки» (Q_Σ , экз./мин).

В итоге получают следующую матрицу расчетов (табл. 1).

В целом алгоритм расчета временной поправки, предложенный А.М. Каевым [2010], может быть интерпретирован как кусочно-линейная интерполяция [Бахвалов и др., 2006] функции интенсивности миграции через сечение реки N_t , при которой коэффициент k_t отражает среднюю скорость изменения миграционной активности между контрольными обловами. Такая интерпретация позволяет формализовать принцип расчета данной поправки.

Примечательно, что в Статье пример расчетов приведен только для одного варианта — когда происходит равномерное падение уловов при обловах от K_1 к K_3 с небольшой кратностью, понимаемой как отношение значений интенсивности уловов в последовательных обловах (K_1, K_2, K_3) на контрольной точке K . Между тем на практике вариантов как минимум три:

- последовательное падение уловов на контрольных точках (K_1-K_3);
- последовательный рост уловов на K_1-K_3 ;
- нелинейное распределение величин уловов на K_1-K_3 .

При этом колебания уловов и кратность значений в контрольных точках, в отличие от приведенного в Статье примера, могут быть довольно существенными.

Отсутствие других примеров в Статье, судя по всему, не случайно. Как выясняется при критическом рассмотрении, формула, предложенная автором, корректна только как приближение к реальной ситуации на коротких временных интервалах, когда изменение интенсивности хода можно считать почти линейным. Как только произведение средней скорости изменения уловов в контрольных точках (k_t) на временной промежуток между

Таблица 1

Пример матрицы расчетов коэффициента (k_i) по данным, приведенным на рис. 8 Статьи

Table 1

Example of a matrix for calculation the coefficient k_i on the data presented at Fig. 8 of the Article

Контрольные точки	№ позиции	Позиция, расстояние, м	Глубина, см	Время начала	Экспозиция, мин	Улов, экз. (факт)	Улов, экз. (с учетом глубины и высоты ловушки 50 см)	Улов, экз./мин	Расстояние от предыдущей вертикали, м	Кол-во позиций ловушек между вертикалями	Период между двумя учетами в контрольной точке, мин	Прирост/убыль ската за 1 мин между двумя учетами в контрольной точке, экз.	Расчет поправочного коэффициента	Время до/от второго учета в контрольной точке, мин	Скорректированные улов, экз./мин	Скат через сектор, экз./мин	Скат через сектор, экз./мин (округленные до десятых)
K ₁	15	—	60	0:20	3	50	60,0	20,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3	1,5	5	0:30	3	3	3,0	1,0	1,5	3	—	—	—	40	0,80	1,200	1,2
	6	3,0	10	0:40	3	12	12,0	4,0	1,5	3	—	—	—	30	3,40	6,300	6,3
	9	4,5	15	0:50	3	24	24,0	8,0	1,5	3	—	—	—	20	7,20	15,900	15,9
	12	6,0	30	1:00	3	45	45,0	15,0	1,5	3	—	—	—	10	14,25	32,175	32,2
K ₂	15	7,5	60	1:10	3	40	48,0	16,0	1,5	3	50	0,080	0,005	—	16,0	45,375	45,4
	18	9,0	55	1:20	3	39	42,9	14,3	1,5	3	—	—	—	10	15,73	47,595	47,6
	21	10,5	45	1:30	3	30	30,0	10,0	1,5	3	—	—	—	20	12,0	41,595	41,6
	24	12,0	40	1:40	3	21	21,0	7,0	1,5	3	—	—	—	30	9,10	31,650	31,7
	27	13,5	20	1:50	3	9	9,0	3,0	1,5	3	—	—	—	40	4,20	19,950	20,0
K ₃	15	—	60	2:00	3	20	24,0	8,0	—	—	50	0,160	0,010	—	6,300	248,0	248,2

контрольными обловами Δt превышает 1 (данную величину можно обозначить как θ), выражение в формуле принимает отрицательное значение. В ряде случаев, когда исходные уловы малы, появление отрицательных значений возможно даже до достижения $\theta = 1$. В результате расчет начинает давать «минус-уловы», которые математически допустимы, однако требуют биологической интерпретации. В частности, в прибрежных секторах такие значения могут указывать на фактическое прекращение ската в данном секторе до момента контрольного облова K_2 . В ситуациях, когда в ловушке фиксируется ненулевой фактический улов, появление отрицательных расчетных значений не имеет биологического смысла и указывает на выход расчетной схемы за пределы области применимости.

В качестве примера рассмотрим гипотетическую ситуацию, основанную на примере расчета из рис. 8 Статьи. Ограничим рассматриваемые примеры временным промежутком K_1-K_2 . Допустим,

на контрольной точке K_1 интенсивность ската, как и в примере из Статьи, составляет 50 экз./3 мин, а через 50 мин на следующем контроле K_2 меньше, не 40 экз./3 мин, как в примере, а, например, 20 экз./3 мин. Это означает снижение интенсивности на 60 % за 50 мин, т.е. примерно на 1,2 % в минуту. Если теперь, согласно рекомендациям Статьи, применить «специальный алгоритм», то значение поправочного коэффициента при таком падении составит 0,03 (3 %), а на вертикали № 3 (где отмечен минимальный улов в пространстве K_1-K_2) получаем отрицательное значение скорректированного улова $-0,2$, при этом общее значение ската через сектор 0–3 м составит $-0,3$ («минус-улов»), что биологически бессмысленно.

Количество и величина получаемых отрицательных значений растет с увеличением кратности между уловами в контрольных точках. Так, если на K_1 фактический улов будет не 50 экз./3 мин, а, к примеру, 80 экз./3 мин, то, при условии, что на K_2 остается улов на уровне 20 экз./3 мин, временной промежуток между обловами прежний — 50 мин, уже на вертикалях № 3, 6, 9 возникнут отрицательные скорректированные значения уловов — соответственно $-1,4$, $-3,2$, $-1,6$ экз./мин, значения ската через сектора составят для сектора 0–3 м — $-2,1$, для сектора 3–6 м — $-6,9$, для сектора 6–9 м — $-7,2$ экз./мин (табл. 2).

Проиллюстрировать это можно через уже упоминавшуюся величину θ , представляющую собой безразмерный вариант произведения $k_t \Delta t$ и характеризующую относительную величину временной поправки в пределах рассматриваемого интервала между контрольными точками K_1 и K_2 .

При умеренных различиях между контрольными уловами в K_1 и K_2 ($R \leq 2$) и коротких временных интервалах между обловами на K_2 , а также учетных вертикалях ($\Delta t \leq 10-20$ мин) значения величины θ остаются низкими ($\theta < 0,4$) (небольшие маркеры светлого цвета на рис. 2). Однако при увеличении кратности уловов до $R > 3$ и временного сдвига свыше 30–40 мин значения θ быстро возрастают (рис. 2, крупные, интенсивно окрашенные маркеры), и при относительно невысоких исходных уловах линейная формула вычисления k_t начинает давать отрицательные скорректированные значения.

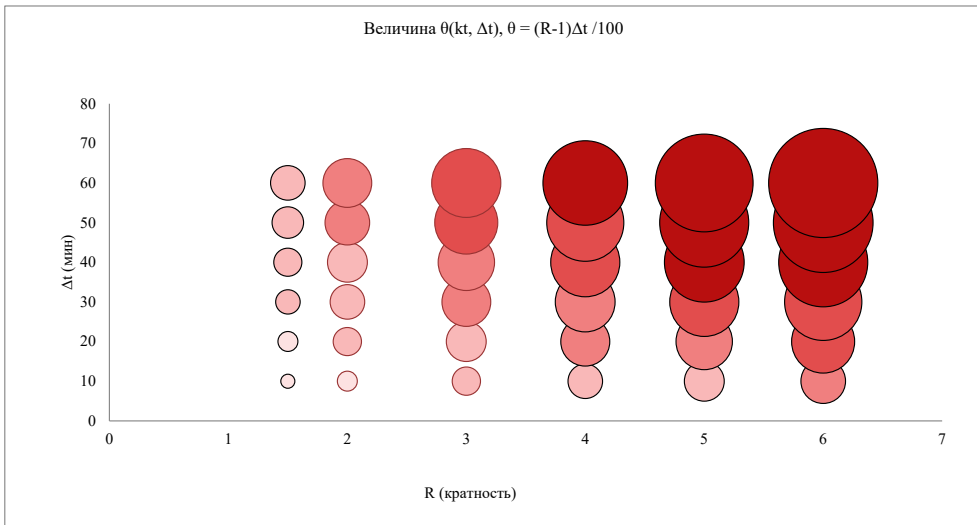


Рис. 2. Зависимость величины θ ($k_t \Delta t$) от кратности R между обловами K_1-K_2 и временного интервала Δt между обловами на учетных вертикалях и контрольным обловом K_2 при расчете временной поправки k_t . Размер кружков пропорционален величине $\theta = k_t \Delta t$; интенсивность цвета отражает вероятность появления отрицательных скорректированных уловов при росте кратности R и увеличении временного интервала Δt

Fig. 2. Dependence of θ ($k_t \Delta t$) on multiplicity R between catches K_1-K_2 and the time interval Δt between the catches at counting verticals and the control catch K_2 for calculating the temporal correction factor k_t . Size of circles is proportional to $\theta = k_t \Delta t$; color intensity reflects the probability of negative values for corrected catches in case of increasing multiplicity R and time interval Δt

Таблица 2

Примеры отрицательных значений, полученных при одном из вариантов расчета по «специальному алгоритму»

Table 2

Examples of negative values obtained by the algorithm with linear interpolation

Контрольные точки	№ позиции	Позиция, расстояние, м	Глубина, см	Время начала	Экспозиция, мин	Улов, экз. (факт)	Улов, экз. (с учетом глубины и высоты ловушки 50 см)	Улов, экз./мин	Расстояние от предыдущей вертикали, м	Кол-во позиций ловушек между вертикалями	Период между двумя учетами в контрольной точке, мин	Продолжительность ската за 1 мин между двумя учетами в контрольной точке, экз.	Расчет поправочного коэффициента	Время до/от второго учета в контрольной точке, мин	Скорректированные улов, экз./мин	Скат через сектор, экз./мин.	Скат через сектор, экз./мин (округленные до десятых)
K ₁	15	–	60	0:20	3	80	96,0	32,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	3	1,5	5	0:30	3	3	3,0	1,0	1,5	3	3	3	–	40	–1,4	–2,10	–2,1
	6	3,0	10	0:40	3	12	12,0	4,0	1,5	3	3	3	–	30	–3,2	–6,90	–6,9
	9	4,5	15	0:50	3	24	24,0	8,0	1,5	3	3	3	–	20	–1,6	–7,20	–7,2
	12	6,0	30	1:00	3	45	45,0	15,0	1,5	3	3	3	–	10	6,0	6,60	6,6
	15	7,5	60	1:10	3	20	24,0	8,0	1,5	3	50	0,480	0,060	10	8,0	21,0	21,0
K ₂	18	9,0	55	1:20	3	39	42,9	14,3	1,5	3	3	–	20	14,3	33,45	33,5	
	21	10,5	45	1:30	3	30	30,0	10,0	1,5	3	3	–	20	10,0	36,45	36,5	
	24	12,0	40	1:40	3	21	21,0	7,0	1,5	3	3	–	30	7,0	25,50	25,5	
	27	13,5	20	1:50	3	9	9,0	3,0	1,5	3	3	–	40	3,0	15,0	15,0	
	15	–	60	2:00	3	20	24,0	8,0	–	–	50	0,000	0	40	4,50	4,5	4,5
K ₃															126,30	126,4	

Таким образом, рассматриваемый «специальный алгоритм» применим в сравнительно узком диапазоне. В примере из Статьи это интервал кратности между уловами на контрольных точках не более 3 раз при временном промежутке между обловами на K₂ и обловами на учетных вертикалях не более 30–40 мин. При больших различиях и интервалах вероятность появления артефактов расчета резко возрастает (рис. 2).

Иными словами, формула, приведенная в Статье, допустима лишь как локальное приближение внутри короткого временного участка между контрольными обловами и не может рассматриваться как универсальный инструмент коррекции результатов спецоблова. Чем сильнее падает улов между контрольными точками (двукратное, трехкратное, пятикратное падение), тем через меньший временной промежуток между обловом на контрольной точке, к которой приводится расчет, и обловами на учетных вертикалях возникают отрицательные значения.

Для молодежи горбуши, динамика ската которой характеризуется существенной суточной изменчивостью, подобная схема неприемлема: при сильных колебаниях интенсивности миграции она приводит к систематическим искажениям и появлению бессмысленных с точки зрения практики значений (отрицательных уловов, «минус-уловов»).

Вероятно, именно наличие подобных артефактов не позволило автору привести примеры подсчета по рассмотренной формуле для других случаев динамики уловов в контрольных точках.

Следствие. Применение линейной интерполяции в качестве временной поправки при расчетах результатов специальных обловов допустимо лишь в пределах коротких временных интервалов и при умеренной кратности уловов между контрольными точками — не более чем в два раза. При большем расхождении между величинами уловов (в 3–5 раз и более) и увеличении временного промежутка между контрольными обловами модель, основанная на линейном изменении интенсивности, начинает давать математически корректные, но биологически бессмысленные результаты — отрицательные («минусовые») значения скорректированных уловов.

Вероятность появления подобных артефактов возрастает пропорционально кратности и амплитуде колебаний интенсивности миграции. Для молодежи горбуши, динамика миграции которой характеризуется выраженной изменчивостью, использование коэффициента k_t в предлагаемом виде в ряде случаев методически некорректно: это может исказить реальную динамику миграционного потока.

Следовательно, алгоритм расчета временной поправки, основанный на линейной интерполяции, можно рассматривать только как один из вариантов, применимый в условиях плавного изменения интенсивности ската и минимальных временных сдвигов между контрольными обловами. При более сложной динамике миграции применение данного метода расчета требует осторожной интерпретации.

3. Отсутствие методов контроля качества, верификации и валидации

В действующей Методике процедуры проверки и подтверждения достоверности данных отсутствуют. Однако для получения надежных и воспроизводимых оценок численности покатной молодежи необходимо проводить систематическую проверку качества исходных данных: верификацию, проверку методов и валидацию, проверку устойчивости расчетов и диапазона неопределенности. Подобные процедуры предусмотрены международными стандартами экологического мониторинга и прикладной гидробиологии [U.S. Environmental..., 2002*; ISO 5667-16:2017**, ISO 5667-1:2020***; Charman, Sullivan, 2022; National Oceanic..., 2022****] и все шире применяются в отечественной экологии [Белюченко и др., 2015].

3.1. Проверка качества исходных данных

Первым этапом является проверка достоверности первичных данных — контроль корректности измерений, записей и переноса информации в расчетные таблицы.

В контексте выполняемых работ данный этап может выглядеть следующим образом:

1. Проверка заполнения полевых журналов и сопоставление с электронными формами.
2. Исключение и проверка выбросов значений, пропусков, дублированных строк, ошибок единиц измерений (м, мин, экз./мин).
3. Сверка таблиц спецобловов и учетных ловов, согласование временных рядов.

* U.S. Environmental Protection Agency (EPA). A Review of the Reference Dose and Reference Concentration Processes. Washington, DC: Risk Assessment Forum, U.S. EPA, 2002. 192 p.

** ISO 5667-16:2017. Water quality — Sampling. Part 16: Guidance on biotesting of samples. Geneva: ISO, 2017. 24 p.

*** ISO 5667-1:2020. Water quality — Sampling. Part 1: Guidance on the design of sampling programmes and sampling techniques. Geneva: ISO, 2020. 39 p.

**** National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Implementation Monitoring Guide (Tier 1 Monitoring Guide). Silver Spring, MD: U.S. Dept. of Commerce, NOAA, 2022. 84 p.

Такая ревизия позволит выявлять систематические ошибки до этапа анализа и соответствует базовым принципам контроля качества. В отечественной практике аналогичные подходы описаны в работах по статистике экологических данных [Белюченко и др., 2015; Новоселов, 2024].

3.2. Верификация распределения данных и выбор метода статистического анализа

Данный этап не является частью методики количественного учета и приведен в качестве одного из вариантов подхода к анализу данных, полученных в ходе мониторинговых работ. Временные ряды численности покатной молоди могут обладать высокой вариабельностью и автокорреляцией, что требует осознанного выбора статистических методов при их интерпретации. С учетом сказанного необходима проверка распределения данных на нормальность, от чего зависит дальнейший выбор методов.

Для временных рядов, подобных тем, что получают при проведении мониторинга миграции молоди лососей, требуется выполнить тестирование нормальности любым из известных способов (Шапиро–Уилка, Андерсона–Дарлинга, Жарке–Бера и т.п.) [Субботина, Гржибовский, 2014; Schreiber et al., 2022].

1. Если распределение близко к нормальному, корректным является применение параметрических оценок (среднее, σ , t-интервалы и т.п.).

2. При отклонениях от нормального распределения корректно применять непараметрические методы: бутстрэп-оценки, перцентильные интервалы или байесовские МСМС-модели и др. [Haas et al., 2024; McDowell et al., 2024]. Для временных рядов с автокорреляцией рекомендуются блок-бутстрэп и сглаживающие сплайны [Березовский, 2004; Бюльман, 2007].

Эти проверки позволяют исключить ошибочные выводы при сильных колебаниях интенсивности ската и повышают устойчивость расчетов.

3.3. Оценка методической чувствительности

Для оценки влияния выбранных методических допущений целесообразно включить этап проверки чувствительности. Данный этап может выглядеть следующим образом:

1. Пересчет итоговых оценок численности молоди при разных вариантах расчета (одно- или двусторонние «нулевые» позиции, с/без поправкой на глубину, наличие-отсутствие поправки на время).

2. Фиксация всех использованных допущений в журнале расчетов.

Варианты расчетов, дающие наибольшие расхождения итоговых оценок численности, определяют диапазон методической неопределенности. Такой подход соответствует рекомендациям ISO 5667-16:2017* и И.С. Белюченко с соавторами [2015].

3.4. Валидация результатов и формирование коридора достоверности

Целесообразно представлять итоговые результаты не в виде неких фиксированных оценок, а в виде «коридора достоверности», объединяющего статистическую и методическую неопределенности. Итоговые оценки могут выглядеть следующим образом:

1. Точечная оценка итоговой численности мигрировавшей молоди — базовый расчет по основным формулам Методики.

2. 95 %-ный доверительный интервал — статистическая вариабельность итоговой оценки численности молоди.

3. Диапазон чувствительности — границы между минимальным и максимальным результатом при разных сценариях расчета.

4. Итоговый коридор достоверности — объединенный диапазон, в котором с высокой вероятностью находится истинное значение.

Такое представление повышает прозрачность и сопоставимость результатов, а также позволяет объективно оценивать корректность выводов [U.S. Environmental..., 2002**; Chapman, Sullivan, 2022].

* ISO 5667-16:2017. Water quality..., 2017.

** U.S. Environmental Protection Agency (EPA)..., 2002.

Заключение

Проведенный критический разбор Методики и Статьи показал, что в существующем виде указанные источники не могут использоваться как нормативные документы при выполнении количественного учета покатной молодежи тихоокеанских лососей. Наличие системных методических ошибок практически исключает получение сопоставимых данных и воспроизводимых результатов.

К числу ключевых проблем относятся многочисленности неопределенности и разночтения в алгоритмах, а также отсутствие формализованных правил при вычислениях. Усугубляет ситуацию то, что Методика в существующем виде полностью игнорирует требования контроля качества данных, верификации методов, валидации результатов и погрешности вычислений.

Особого внимания заслуживает алгоритм расчета временной поправки (коэффициента k_t), приведенный в Статье. Фактически в данном случае используется линейная интерполяция интенсивности миграции между последовательными контрольными обловами, что предполагает постоянную скорость изменения интенсивности покатной миграции. Однако при типичных для молодежи горбуши резких колебаниях интенсивности миграции такая модель в ряде случаев ведет к появлению скорректированных отрицательных значений, некорректных с практической точки зрения.

Совокупность указанных недостатков приводит к высокой вариабельности результатов: различия итоговых оценок при выполнении расчетов разными исполнителями могут достигать кратных значений. В результате Методика не обеспечивает ни прозрачности алгоритмов, ни стандартизации расчетов и не может быть использована для получения официальных данных по численности молодежи без глубокой переработки.

Для исправления ситуации необходимо выполнить следующие шаги.

1. Разработать унифицированные цифровые шаблоны расчетных таблиц для обеспечения трассируемости данных.

2. Формализовать вычислительные процедуры (расчет шага по поперечнику, Δt , поправки на глубину h и др.) с однозначными единицами измерения и четкими алгоритмами.

3. Ввести процедуры последующего статистического анализа итоговых результатов, направленные на оценку вариабельности и устойчивости.

4. Ввести обязательные процедуры верификации, валидации и контроля качества.

Без реализации указанных мер Методика останется внутренне противоречивым и нефункциональным документом, применение которого ведет к получению недостоверных и непроверяемых результатов.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор выражает благодарность рецензентам за ценные замечания, способствовавшие улучшению рукописи, а также всем сотрудникам СакhНИРО, принимавшим участие в полевых работах и обсуждении результатов.

The author is grateful to all colleagues in SakhNIRO who took part in the field surveys and discussed the results, and to anonymous reviewers of the manuscript for their valuable comments.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена в рамках бюджетного финансирования.

The study had budget funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все приемлемые национальные, институциональные и международные этические принципы соблюдены. Автор заявляет, что у них нет конфликта интересов.

All applicable national, institutional and international ethical guidelines are implemented. The author declares that he has no conflict of interests.

Список литературы

- Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М.** Численные методы : учеб. пособие. — 4-е изд. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. — 636 с.
- Белюченко И.С., Смагин А.В., Попок Л.Б., Попок Л.Е.** Анализ данных и математическое моделирование в экологии и природопользовании : учеб. пособие. — Краснодар : КубГАУ, 2015. — 313 с.
- Березовский М.В.** Сглаживающие изогеометрические и робастные сплайны: методы и алгоритмы : дис. ... канд. техн. наук. — Новосибирск, 2004. — 167 с.
- Бюльман П.** Бутстрап-схемы для временных рядов // Квантиль. — 2007. — № 3. — С. 37–56.
- Воловик С.П.** Методы учета и некоторые особенности поведения покатной молоди горбуши в реках Сахалина // Изв. ТИНРО. — 1967. — Т. 61. — С. 104–117.
- Гриценко О.Ф.** Проходные рыбы острова Сахалин (систематика, экология, промысел) : моногр. — М. : ВНИРО, 2002. — 248 с.
- Есаулов Н.П., Федорова Л.Н.** Некоторые особенности ската молоди лососей в реках Сахалина // Рыб. хоз-во. — 1963. — № 12. — С. 18–20.
- Каев А.М.** Методические аспекты количественного учета покатной молоди лососей в реках Сахалино-Курильского региона // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 162. — С. 194–206. EDN: NDOQSF.
- Каев А.М.** Методическое руководство по количественному учету покатной молоди горбуши и кеты в малых реках методом выборочных обловов. — Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2011. — 16 с.
- Каев А.М., Игнатъев Ю.И.** О распределении покатной молоди горбуши в потоке небольшой сахалинской реки // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 180. — С. 93–98. EDN: TUERYZ.
- Новоселов А.С.** Статистические методы в экологии : учеб.-метод. пособие. — Вологда : ВоГУ, 2024. — 67 с.
- Павлов Д.С., Кириллов П.И., Кириллова Е.А., Черешкевич Ф.Г.** Покатная миграция молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) в реке Малая Хузи (северо-восток острова Сахалин) // Биология внутренних вод. — 2015. — № 4. — С. 64–75. DOI: 10.7868/S0320965215040129.
- Субботина А.В., Гржибовский А.М.** Описательная статистика и проверка нормальности распределения количественных данных // Экология человека. — 2014. — № 2. — С. 51–57. EDN: RYIEVZ.
- Таранец А.Я.** Исследование нерестилиц кеты и горбуши в р. Иски // Рыб. хоз-во. — 1939. — № 12. — С. 14–18.
- Chapman D.V., Sullivan T.** The role of water quality monitoring in the sustainable use of ambient waters // One Earth. — 2022. — Vol. 5, № 2. — P. 132–137. DOI: 10.1016/j.oneear.2022.01.008. EDN: HVODQB.
- Haas C., Thumser P.K., Hellmair M et al.** Monitoring of Fish Migration in Fishways and Rivers — the Infrared Fish Counter “Riverwatcher” as a Suitable Tool for Long-Term Monitoring // Water. — 2024. — Vol. 16, № 477. — P. 1–15. DOI: 10.3390/w16030477. EDN: HQXTMX.
- McDowell R.W., Noble A., Kittridge M. et al.** Monitoring to detect changes in water quality to meet policy objectives // Sci. Rep. — 2024. — Vol. 14, № 1914. — P. 1–13. DOI: 10.1038/s41598-024-52512-7. EDN: YQYCQT.
- Schreiber S.G., Schreibe S., Tanna R.N. et al.** Statistical tools for water quality assessment and monitoring in river ecosystems — a scoping review and recommendations for data analysis // Water Quality Research Journal. — 2022. — Vol. 57, № 1. — P. 40–57. DOI: 10.2166/wqrj.2022.028. EDN: KTVTXT.

References

- Bakhvalov, N.S., Zhidkov, N.P., and Kobelkov, G.M.,** *Chislennyye metody* (Numerical methods), 4th ed., Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2006.
- Belyuchenko, I.S., Smagin, A.V., Popok, L.B., and Popok, L.Ye.,** *Analiz dannykh i matematicheskoye modelirovaniye v ekologii i prirodopol'zovanii* (Data analysis and mathematical modeling in ecology and nature management), Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2015.

Berezovsky, M.V., Smoothing isogeometric and robust splines: methods and algorithms, *Cand. Sci. (Tech.) Dissertation*, Novosibirsk, 2004.

Bühlmann, P., Bootstraps for time series, *Statistical Science*, 2002, vol. 17, no. 1, pp. 52–72.

Volovik, S.P., Methods of accounting and some features of the behavior of downstream pink salmon juveniles in the Sakhalin rivers, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1967, vol. 61, pp. 104–117.

Gritsenko, O.F., *Prokhnodnye ryby ostrova Sakhalin (sistematika, ekologiya, promysel)* (Diadromous Fishes of Sakhalin (Systematics, Ecology, Fisheries)), Moscow: VNIRO, 2002.

Esaulov, N.P. and Fedorova, L.N., Patterns of seaward migration of salmonid fish juveniles in the rivers of Sakhalin, *Rybn. Khoz.*, 1963, no. 12, pp. 18–20.

Kaev, A.M., Methodic aspects for quantitative count of fry salmon downstream migrants in the rivers of Sakhalin-Kuril Region, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 162, pp. 194–206. EDN: NDOQSF

Kaev, A.M., *Metodicheskoye rukovodstvo po kolichestvennomu uchetu pokatnoy molodi gorbushi i kety v malykh rekakh metodom vyborochnykh oblovov* (A methodological guide to the quantitative registration of downstream juvenile pink and chum salmon in small rivers by the method of selective fishing), Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO, 2011.

Kaev, A.M. and Ignatyev, Yu.I., On distribution of migratory fry of pink salmon in the stream of a small Sakhalin river, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 180, pp. 93–98. EDN: TUERYZ

Novoselov, A.S., *Statisticheskiye metody v ekologii* (Statistical methods in ecology), Vologda: Vologodskiy gosudarstvennyy universitet, 2024.

Pavlov, D.S., Kirillov, P.I., Kirillova, E.A., and Chereshevich, F.G., Downstream migration of fry of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) in the Malaya Huzi River (northeastern Sakhalin), *Inland Water Biology*, 2015, vol. 8, no. 4, pp. 384–394. doi 10.1134/S1995082915040124

Subbotina, A.V. and Grjibovski, A.M., Descriptive statistics and normality testing for quantitative data, *Ekologiya cheloveka*, 2014, no. 1, pp. 51–57. EDN: RYIEVZ

Taranets, A.Ya., A study of spawning grounds of chum and pink salmon in the Iski River, *Rybn. Khoz.*, 1939, no. 12, pp. 14–18.

Chapman, D.V. and Sullivan, T., The role of water quality monitoring in the sustainable use of ambient waters, *One Earth*, 2022, vol. 5, no. 2, pp. 132–137. doi 10.1016/j.oneear.2022.01.008. EDN: HVODQB

Haas, C., Thumser, P.K., Hellmair, M., Pilger, T.J., and Schletterer, M., Monitoring of Fish Migration in Fishways and Rivers — the Infrared Fish Counter “Riverwatcher” as a Suitable Tool for Long-Term Monitoring, *Water*, 2024, vol. 16, no. 477, pp. 1–15. doi 10.3390/w16030477. EDN: HQXTMX

McDowell, R.W., Noble, A., Kittridge, M., Ausseil, O., Doscher, C., and Hamilton, D.P., Monitoring to detect changes in water quality to meet policy objectives, *Sci. Rep.*, 2024, vol. 14, no. 1914, pp. 1–13. doi 10.1038/s41598-024-52512-7. EDN: YQYCQT

Schreiber, S.G., Schreibe, S., Tanna, R.N., Roberts, D.R., and Arciszewsk, T.J., Statistical tools for water quality assessment and monitoring in river ecosystems — a scoping review and recommendations for data analysis, *Water Quality Research Journal*, 2022, vol. 57, no. 1, pp. 40–57. doi 10.2166/wqrj.2022.028. EDN: KTVTXT

Rukhlov, F.N., Perova, S.L., Ostrovskaya, O.L., and Salmin, S.A., *Otchet Nauchno-Issled. Rab. “Sostoyaniye zapasov i razmnozheniye gorbushi v 1970 godu»* (Res. Rep. “Status of stocks and reproduction of pink salmon in 1970»), Available from SakhTINRO, 1970, Antonovo, no. GR 68043088.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA), A Review of the Reference Dose and Reference Concentration Processes, Washington, DC: Risk Assessment Forum, U.S. EPA, 2002.

ISO 5667-16:2017. Water quality — Sampling, Part 16: Guidance on biotesting of samples, Geneva: ISO, 2017.

ISO 5667-1:2020. Water quality — Sampling, Part 1: Guidance on the design of sampling programmes and sampling techniques, Geneva: ISO, 2020.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Implementation Monitoring Guide (Tier 1 Monitoring Guide), Silver Spring, MD: U.S. Dept. of Commerce, NOAA, 2022.

Поступила в редакцию 2.12.2025 г.

После доработки 5.03.2026 г.

Принята к публикации 6.03.2026 г.

The article was submitted 2.12.2025; approved after reviewing 5.03.2026; accepted for publication 6.03.2026