



Краткое сообщение / Short communication article

УДК 597.552.511:639.3

doi:10.15853/2072-8212.2025.78.59-65

EDN: EOUNOR



НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ОТОЛИТОВ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ НА РАННИХ СТАДИЯХ ОНТОГЕНЕЗА В ЗАВОДСКИХ УСЛОВИЯХ

Литанюк Евгения Ярославовна, Калякина Мария Евгеньевна

Магаданский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства
и океанографии (МагаданНИРО), Магадан, Россия, Litanyukey@magadan.vniro.ru,
kalyakiname@magadan.vniro.ru

Аннотация. Целью данной работы является краткий обзор формирования различных типов слуховых камешков (Sagitta, Lapillus, Asteriscus) у тихоокеанских лососей, выращиваемых в целях искусственного воспроизводства — кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum, 1792) и горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792), специфическая морфология которых напрямую влияет на применимость и сроки реализации «сухого» отолитного маркирования в условиях конкретного рыбоводного завода. Проведена актуализация данных ранее проводимых исследований.

Ключевые слова: тихоокеанские лососи, инкубационный материал, морфометрия отолита, «сухое» маркирование

Благодарности: авторы выражают признательность за содействие в предоставлении инкубационного материала тихоокеанских лососей сотрудникам Охотского филиала ФГБУ «Главрыбвод» Ольской экспериментальной производственно-акклиматизационной базы.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Литанюк Е.Я., Калякина М.Е. Некоторые особенности развития отолитов тихоокеанских лососей на ранних стадиях онтогенеза в заводских условиях // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2025. Вып. 78. С. 59–65. EDN: EOUNOR. doi:10.15853/2072-8212.2025.78.59-65

SOME FEATURES OF PACIFIC SALMON OTOLITH DEVELOPMENT AT THE EARLY ONTOGENETIC STAGES IN CONDITIONS OF HATCHERY REARING

Evgeniya Y. Litanyuk, Maria E. Kalyakina

Magadan Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (MagadanNIRO),
Magadan, Russia, Litanyukey@magadan.vniro.ru, kalyakiname@magadan.vniro.ru

Abstract. The aim of this study is to provide a brief overview of the formation of various types of ear stones (Sagitta, Lapillus, Asteriscus) in hatchery-reared Pacific salmon – chum salmon *Oncorhynchus keta* (Walbaum, 1792) and pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792), whose specific morphology directly influences the applicability and timing of dry otolith marking in each particular hatchery. Data from previous studies has been updated.

Keywords: Pacific salmon, incubation material, otolith morphometry, “dry” marking

Acknowledgements: the authors express their gratitude to the staff of the Okhotsk Branch of the Federal state budgetary institution “Glavrybvod” of the Ola experimental rearing and acclimation base for their assistance in providing Pacific salmon incubation material.

Funding. The study was not sponsored.

For citation: Litanyuk E.Y., Kalyakina M.E. Some features of Pacific salmon otolith development at the early ontogenetic stages in conditions of hatchery rearing // The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2025. Vol. 78. P. 59–65. (In Russ.) EDN: EOUNOR. doi:10.15853/2072-8212.2025.78.59-65

В рыбохозяйственной практике изучение регистрирующих возраст структур представляет собой один из важнейших инструментов исследований биологических особенностей водных биоресурсов. Характерные изменения, об-

разующиеся на отолитах вследствие воздействия некоторых внешних факторов окружающей среды, позволяют установить возраст, ключевые моменты развития и жизни, а их маркирование — определить вклад искусствен-

ного воспроизводства в пополнение природных популяций рыб (Фурсенко, Бурлаченко, 2023). В Магаданской области активное изучение отолигов дальневосточных лососей началось в период разработки и внедрения метода «сухого» маркирования на государственных региональных рыбоводных предприятиях. Проводилась поэтапная описательная работа формирования слуховых структур у икры закладываемых видов, с целью корректировок процессов отолитного мечения и повышения качества получаемых меток (Сафроненков и др., 2000).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Описанные в статье результаты получены на основе биологических материалов (икры, личинок и молоди) кеты и горбуши поколения 2024 г., заложенных с базовой реки Ольской экспериментальной производственно-акклиматизационной базой (ОЭПАБ). Всего в рамках исследования было обработано 12 проб в количестве 180 пар сагитт и 60 пар лапиллусов горбуши и столько же кеты. Оба вида были заложены на инкубацию в один день, обследуемый диапазон возраста для партий составил от 282,2/32 до 691,2/164 градусо-дней, со средним интервалом пробоотбора 55 градусо-дней, начиная со стадии появления глазка, когда отолиги достаточно сформированы для того, чтобы вытащить их с минимальными повреждениями. У эмбрионов, извлеченных из икринок, личинок и молоди, удалялись черепные кости и мозг перед изъятием отолигов. Наибольшие по размеру структуры продолговатой формы интерпретировали как сагитты, меньшие, дис-

ковидные (листовидные) — как лапиллусы. Самые маленькие — астерискусы — имели удлинненную форму и были найдены лишь у молоди кеты старших возрастных групп (Fey et al., 2018). Извлеченные отолиги очищались от мягких тканей и обрабатывались в соответствии с общепринятыми методиками отолитометрических исследований, принятых в системе рыбохозяйственных институтов (Secor et al., 1991).

Известно, что образование центров роста (примордиев) нуклеуса не происходит одновременно, поэтому выбор точки отсчета для измерений всегда в той или иной мере субъективен (Акиничева, 2006). Промер объектов проводили по их цифровым фотографиям с использованием программы для анализа и обработки изображений ImageJ, где определяли следующие параметры: OL — длина в передне-заднем направлении, OW — ширина в дорсо-вентральном направлении у сагитты и лапиллуса (рис. 1).

Для количественного описания формы сагитты и лапиллуса рассчитывалось отношение длины к ширине по формуле: Ar (aspect ratio) = OL/OW (Чесалин, 2021; Павлов, Касумян, 2024).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Специфика формирования отолигов и время их образования отличны не только для различных видовых популяций дальневосточных лососей, но и стадий индивидуального развития даже при одинаковых условиях инкубации (Stevenson, Campana, 1992). Показатель динамики роста является одним из инструментов научного сопровождения искусственного вос-

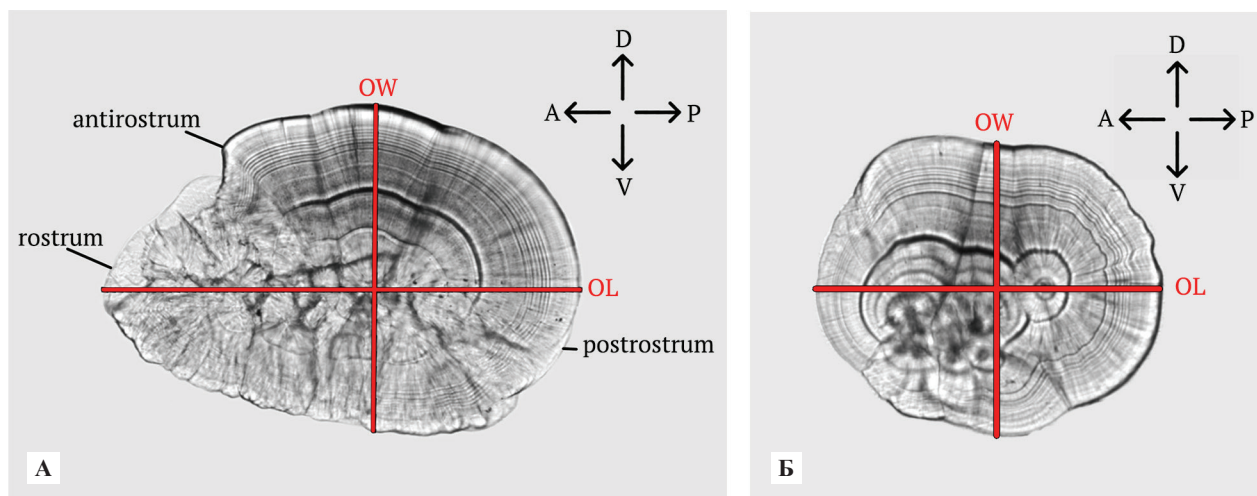


Рис. 1. Морфология и схема измерений длины (OL) и ширины (OW) на примере сагитты (А) и лапиллуса (Б) личинки кеты. Стрелками указаны стороны отолита: D — дорсальная, V — вентральная, A — передняя, P — задняя
Fig. 1. Morphology and scheme of the otolith length (OL) and width (OW) measuring by example of sagitta (A) and lapillus (B) of chum salmon larva. The arrows mark otolith sides: D — dorsal, V — ventral, A — anterior, P — posterior

производства на любом лососевом рыбоводном заводе и зачастую направлен на определение готовности развивающегося отолита к мечению, что нельзя наверняка определить по внешним изменениям эмбриона.

Температура окружающей среды оказывает существенное влияние на скорость метаболизма организма и, соответственно, на отложение кальция в отолите (наслоение отолита). ОЭПАБ относится к заводам холодноводного типа, функционирующим на воде из глубинной скважины. Характерная черта данного предприятия — высокая температура воды в период закладки икры на инкубацию и низкие при переходе молоди на экзогенное питание (Хованская, 2008). Поскольку такая особенность на начальных этапах онтогенеза способствует ускоренному развитию, раннему выклеву и вследствие этого раннему поднятию молоди на плав, ЛРЗ практикует принудительную задержку развития в эмбриональный период развития понижением температурных показателей системной воды, иногда даже в период реализации «сухого» маркирования (Хованская, 2014).

Горбуша (*O. gorbuscha*). У горбуши слияние зачатков отолита и формирование центральной его части (нуклеуса) происходит на этапе пигментации глаз, но несколько позже, чем у других инкубируемых видов лососей. Частой ошибкой сотрудников магаданских рыбоводных предприятий является стремление к маркированию отолитов сразу после появления пигментированного глаза. Поэтому наблюдение за изменениями структуры отолитов горбуши начато в возрасте 282,2/32 градусо-дней, соответствующем первой пороговой перестройке в эмбриональном периоде. У большинства изъятых сагитт наблюдалось активное слияние зачатков центра, но в то же время до 20% эмбрионов содержали еще разрозненные слуховые структуры, непригодные для микроскопии и тем более для нанесения оригинальной метки (рис. 2).

Оценка морфологии исследуемых возрастов горбуши показала на многих отолитах присутствие «перетяжки» середины основания, получаемой, вероятно, в процессе слияния основных групп примордиев будущего центра. Такое очертание отолита не классифицирует его принадлежность к виду, но может считаться его характерной особенностью. Рассчитанная изменчивость формы описывается отрицательной аллометрией средней величины индекса Ar . По мере нарастания вытянутое тело отолита округлялось, выравнивалась краевая линия, указывая на слабую развитость таких признаков, как рострум, антирострум, дорсальной и вентральной частей (рис. 3, табл. 1). На старте закладки икра горбуши содержалась при 11–10 °C, а далее системную воду охлаждали до показателей 6–5 °C, что отчасти коррелирует с динамикой прироста отолита. Маркирование при такой инкубации должно происходить после стабилизации температур на производстве и угасания активных физиологических перестроек у икры. Для горбуши на ОЭПАБ рекомендовано «сухое» маркирование при достижении возраста 400 градусо-дней, что в рыбноводном цикле 2024–2025 гг. на выходе показало высокое качество метки у обследованных проб.

Также в анализе участвовали лапиллусы старших возрастных групп, в связи с интересом их практической применимости в работе. На них не акцентируют внимание в части научного сопровождения маркирования рыбноводных предприятий или идентификации заводских популяций тихоокеанских лососей на разных этапах жизненного цикла, потому как традиционно анализируемой слуховой костью является сагиттальный отолит. Структуры в целом не обладали схожей морфологией, но просматриваемость меток на шлифах сагитты и лапиллуса молоди горбуши стадии поднятия на плав (691,2/164 градусо-дней) не различалась (рис. 4).

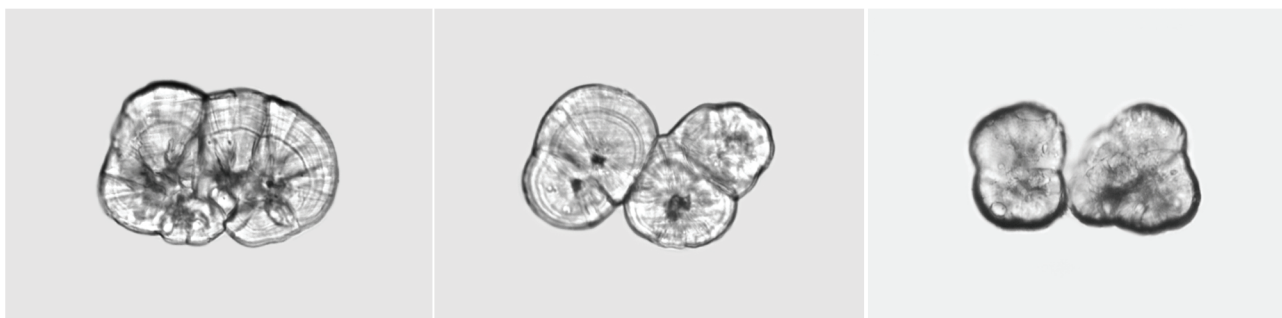


Рис. 2. Визуальный ряд отолитов эмбрионов горбуши на стадии появления глазка
Fig. 2. Visual sequence of the otoliths of pink salmon embryos at the eye stage

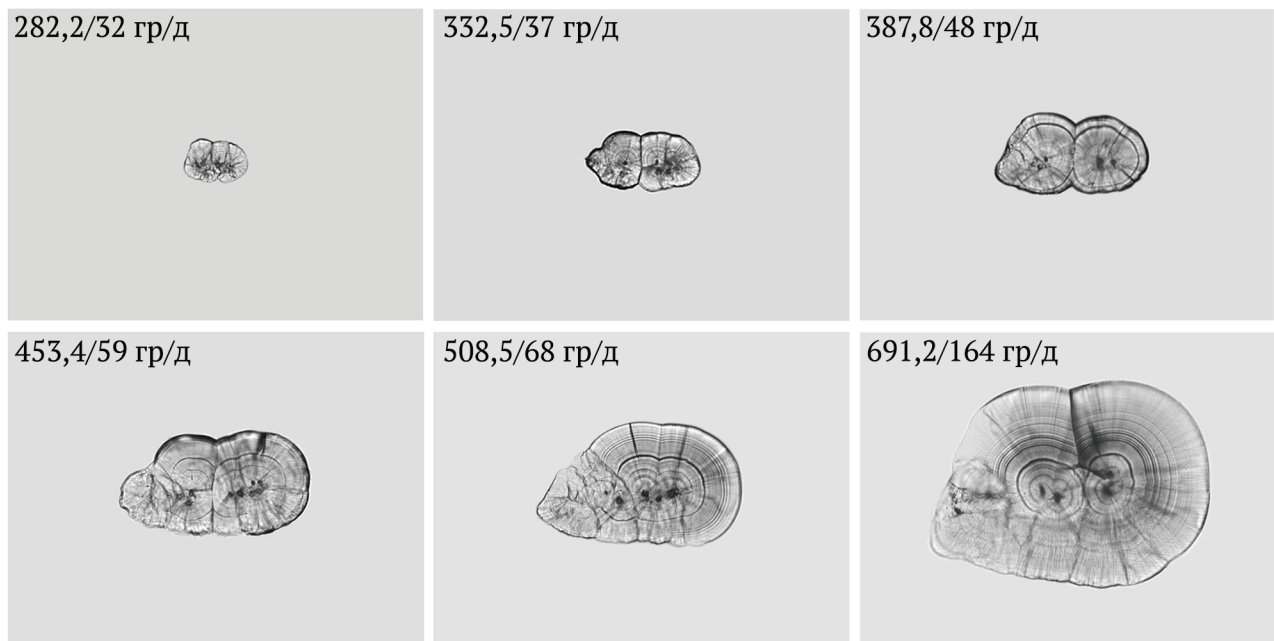


Рис. 3. Структура и прирост отолигов горбуши на разных стадиях развития, увеличение $\times 20$
 Fig. 3. Pink salmon otolith structure and increments at different stages of ontogenesis, magnification $\times 20$

Таблица 1. Результаты измерений отолигов инкубационного материала горбуши
 Table 1. Results of the otolith measurements from pink salmon incubation material

№ отбора Sample number	Возраст, гр/д Age, degree days	t, инкуб. Incubation temperature	Sagitta			Lapillus		
			OL ср., мкм Mean OL, μm	OW ср., мкм Mean OW, μm	AR ср., мкм Mean AR, μm	OL ср., мкм Mean OL, μm	OW ср., мкм Mean OW, μm	AR ср., мкм Mean AR, μm
1	282,2/32	10,8	96,0	58,3	1,7	—	—	—
2	332,5/37	9,7	170,0	84,0	2,0	—	—	—
3	387,8/48	5,4	235,2	115,1	2,1	—	—	—
4	453,4/59	6,5	268,7	151,0	1,8	—	—	—
5	508,5/68	5,9	323,6	180,7	1,8	157,3	136,9	1,2
6	691,2/164	0,4	458,3	309,6	1,5	202,6	224,9	0,9

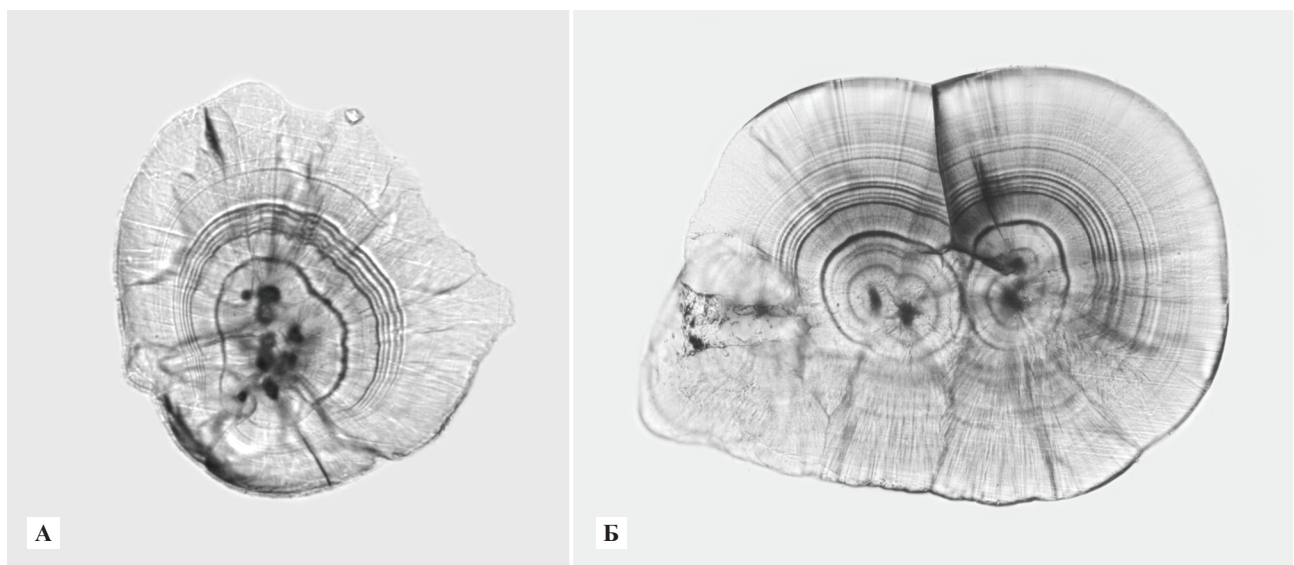


Рис. 4. Лапиллус (А) и сагитта (Б) молоди горбуши с заводской меткой 3,2Н
 Fig. 4. The lapillus (A) and sagitta (B) of juvenile pink salmon with the hatchery mark 3,2H

Кета (*O. keta*). Принцип формирования отолитов заводской кеты в период инкубации сходен с развитием горбуши, но с некоторыми видовыми особенностями. Пигментация глаз у эмбрионов наступила при аналогичном возрасте (через 32 дня после оплодотворения), проанализированные нами сагитты обладали целостностью центров роста, но все еще недостаточно развитой структурой для начала проведения мечения. Средняя расчетная величина наложения отолитов у кеты была значительно выше, чем у горбуши, что заметно даже при визуальном сравнении. Слуховые структуры разных стадий развития в целом отличались более правильной овальной формой, с хорошо выраженным рострумом (рис. 5, табл. 2).

Морфометрическая дифференциация также затронула и лапиллусы кеты, внешне они напоминали структуры дисковидной формы. Маркирование данной партии проводилось по

достижении икрой возраста 410,3/52–453,4/59 градусо-дней, что соответствовало рекомендованному для вида «окну» маркирования. На взятых в анализ отолитах четко прослеживалась полученная однозначно считываемая метка, поэтому данный вид отолитов тоже может быть использован в оценке качества проведенных работ на ЛРЗ (рис. 6).

Самый редко встречаемый в материалах отолит — астерискус — у пяти первых исследованных возрастных групп кеты обнаружен не был. В возрасте 691,2/164 градусо-дней извлеченные астерискусы имели структуру, соответствующую начальной стадии формирования, крайне хрупкую и неинформативную для электронной микроскопии. Учитывая, что данный вид отолита формируется в слуховой капсуле задолго после выклева эмбриона, изучать их в рамках мониторинга искусственного воспроизводства не целесообразно.

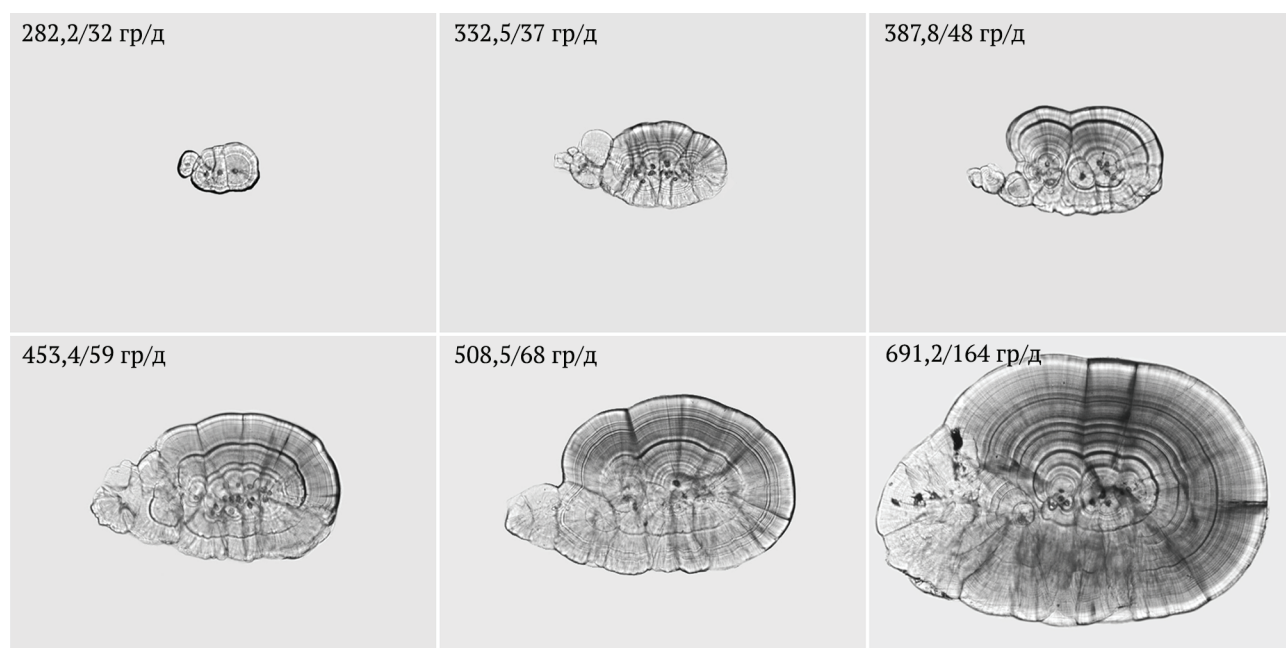


Рис. 5. Структура и прирост отолитов кеты на разных стадиях развития, увеличение $\times 20$
Fig. 5. Chum salmon structure and increments at different stages of ontogenesis, magnification $\times 20$

Таблица 2. Результаты измерений отолитов инкубационного материала кеты
Table 2. Results of the otolith measurements from chum salmon incubation material

№ отбора Sample number	Возраст, гр/д Age, degree days	t, инкуб. Incubation temperature	Sagitta			Lapillus		
			OL ср., мкм Mean OL, μm	OW ср., мкм Mean OW, μm	AR ср., мкм Mean AR, μm	OL ср., мкм Mean OL, μm	OW ср., мкм Mean OW, μm	AR ср., мкм Mean AR, μm
1	282,2/32	10,8	139,6	78,3	1,8	—	—	—
2	332,5/37	9,7	196,8	108,7	1,8	—	—	—
3	387,8/48	5,4	274,1	162,6	1,7	—	—	—
4	453,4/59	6,5	338,1	201,5	1,7	—	—	—
5	508,5/68	5,9	400,1	236,1	1,7	210,7	179,9	1,2
6	691,2/164	0,4	575,5	397,0	1,4	316,9	243,0	1,3

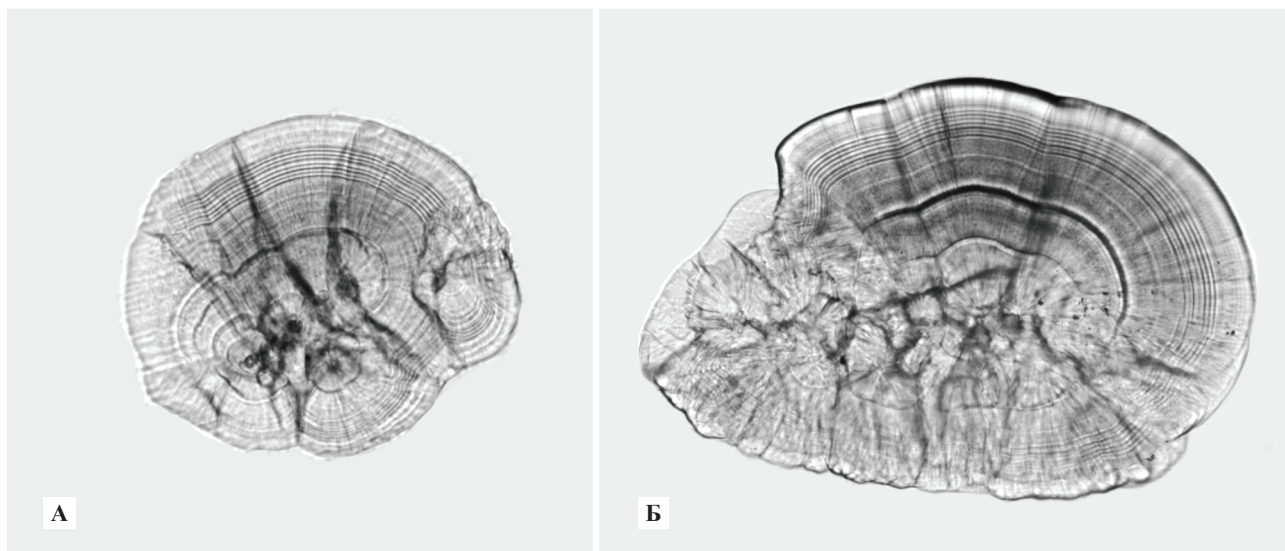


Рис. 6. Лапиллус (А) и сагитта (Б) личинки кеты с заводской меткой 8nH
Fig. 6. The lapillus (A) and sagitta (B) of juvenile chum salmon with the hatchery mark 8nH

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отолитометрия служит одним из инструментов анализа, изучения и классифицирования различных признаков водных биологических ресурсов на любом этапе жизненного цикла, а также посредством которого создаются практические базы для видов, выращиваемых в искусственной среде.

Ради успешной интеграции любого способа маркирования необходимы исследования на производстве по выяснению закономерностей и сроков формирования слуховых костей, начиная с ранних этапов онтогенеза. Для каждого вида возрастные показатели и режимы мечения подбираются только после всестороннего мониторинга условий и морфологии отоли- тов. Наше наблюдение показало, что даже при идентичных показателях инкубации и закладки нельзя ориентировать сроки маркирования одного вида под другой.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Акиничева Е.Г. 2006. Особенности сухого маркирования тихоокеанских лососей // Современные проблемы лососевых рыбоводных заводов Дальнего Востока : Матер. Междунар. науч.-практ. семинара. С. 224–234. EDN: LXAGQW.
Павлов Д.А., Касумян А.О. 2024. Морфология внутреннего уха и отоли- тов анабаса *Anabas testudineus* (Anabantidae) // Вопр. ихтиологии. Т. 64, № 1. С. 12–27. EDN: AIESCW. doi:10.31857/S0042875224010029
Сафроненков Б.П., Акиничева Е.Г., Рогатных А.Ю. 2000. Способ массового мечения рыб. Патент RU 2150827 С1. Бюл. № 17. EDN: XLDRIJ.

Хованская Л.Л. 2008. Научные основы лососеводства в Магаданской области. Магадан: СВНЦ ДВО РАН. 167 с. EDN: QKZVXJ.

Хованская Л.Л. 2014. Руководство по искусственному разведению тихоокеанских лососей на рыбоводных заводах Магаданской области. Магадан: Кордис. 147 с. EDN: YVDRKZ.

Фурсенко Е.Б., Бурлаченко И.В. 2023. О формировании отоли- тов у щуки // Тр. ВНИРО. Т. 194. С. 71–78. EDN: HCFSGH. doi:10.36038/2307-3497-2023-194-71-78

Чесалин М.В. 2021. Сравнительный анализ формы отоли- тов у ставриды *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) (Perciformes: Carangidae) из прибрежных вод Севастополя и Балаклавы (Черное море) // Биология моря. Т. 47, № 3. С. 167–175. EDN: SFIDVI. doi:10.31857/S0134347521030049

Fey D.P., Lejk A.M., Greszkiewicz M. 2018. Daily deposition of growth increments in sagittae and lapilli of laboratory-reared larval northern pike (*Esox lucius*) // Fishery Bulletin. Vol. 116. P. 302–309.

Secor D.H., Dean J.M., Laban E.H. 1991. Manual for Otolith Removal and Preparation for Microstructural Examination. Columbia: Belle W. Baruch and Electric Power Research Institute, 85 p.

Stevenson D.K., Campana S.E. (Eds.) 1992. Otolith microstructure examination and analysis. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 117. 126 p.

REFERENCES

Akinicheva E.G. Features of dry marking of Pacific salmon. *Modern problems of salmon hatcheries in the Far East: Proc. of the International scientific and practical seminar*, pp. 224–234, 2006. (In Russ.) EDN: LXAGQW.

Pavlov D.A., Kasumyan A.O. Morphology of the inner ear and otoliths of the climbing perch *Anabas testudineus* (Anabantidae). *Journal of Ichthyology*, 2024, vol. 64, no. 1, pp. 12–27. EDN: AIESCW. doi:10.31857/S0042875224010029

Safronenkov B.P., Akinicheva E.G., Rogatnykh A.Ju. Fish mass marking method. Patent RU 2150827 C1.Bull. № 17. (In Russ.) EDN: XLDRIJ.

Khovanskaya L.L. *Nauchnyye osnovy lososevodstva v Magadanskoj oblasti* [Scientific foundations for salmon management in Magadan Region]. Magadan, 2008, 167 p. EDN: QKZVXJ.

Khovanskaya L.L. *Rukovodstvo po iskusstvennomu razvedeniyu tikhookeanskikh lososey na rybovodnykh zavodakh Magadanskoj oblasti* [Guide to artificial breeding of Pacific salmon at fish hatcheries of the Magadan Region]. Magadan: Kordis, 2014, 147 p. EDN: YVDRKZ.

Fursenko E.B., Burlachenko I.V. On the formation of the pike otoliths. *Trudy VNIRO*, 2023, 194:71–78. (In Russ.) EDN: HCFSGH. <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2023-194-71-78>

Chesalin M.V. Otolith shape analysis of the mediterranean horse mackerel, *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) (Perciformes: Carangidae) from the coastal waters of Sevastopol and Balaklava (the Black Sea). *Russian Journal of Marine Biology*, 2021, vol. 47, no. 3, pp. 176–184. EDN: PORCAM. doi:10.1134/S1063074021030044

Fey D.P., Lejk A.M., Greszkiewicz M. Daily deposition of growth increments in sagittae and lapilli of laboratory-reared larval northern pike (*Esox lucius*). *Fishery Bulletin*, 2018, vol. 116, pp. 302–309.

Secor D.H., Dean J.M., Laban E.H. Manual for Otolith Removal and Preparation for Microstructural Examination. Columbia: Belle W. Baruch and Electric Power Research Institute, 1991, 85 p.

Stevenson D.K., Campana S.E. (Eds.) Otolith microstructure examination and analysis. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1992, pp. 117–126.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ / COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Сбор материала и его обработка не противоречили международным нормам обращения с животными, соответствующим Директиве 2010/63/EU Европейского Парламента и Совета Европейского союза от 22.09.2010 по охране животных, используемых в научных целях (https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf).

The collection of material and its processing did not contradict international standards for the treatment of animals, corresponding to Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of the European Union of 22.09.2010 on the protection of animals used for scientific purposes.

ИНФОРМАЦИЯ О ВКЛАДЕ АВТОРОВ AUTHORS CONTRIBUTION INFORMATION

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

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

Информация об авторах

Е.Я. Литанюк — вед. специалист группы аквакультуры лаборатории лососевых рыб и аквакультуры Магаданского филиала ВНИРО (МагаданНИРО).

М.Е. Калякина — вед. специалист лаборатории лососевых рыб и аквакультуры Магаданского филиала ВНИРО (МагаданНИРО).

Information about the authors

Evgeniya Y. Litanyuk – Leading Specialist of the Aquaculture Group of the Salmon Fish and Aquaculture Lab. (MagadanNIRO).

Maria E. Kalyakina – Leading Specialist of the Salmon Fish and Aquaculture Lab. (MagadanNIRO).

Статья поступила в редакцию / Received: 23.11.2025

Одобрена после рецензирования / Revised: 26.11.2025

Статья принята к публикации / Accepted: 26.11.2025