



Федеральное агентство по рыболовству

**Государственный научный центр
Российской Федерации**

**Федеральное государственное
бюджетное научное учреждение**

**«Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии»**



**III Международная
научно-практическая конференция**

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

(17-21 ноября 2025 г.)

Издательство ВНИРО

МОСКВА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
ГНЦ РФ ФГБНУ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ»

**«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И
РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ
БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ»**

Материалы III международной научно-практической
конференции

Москва, ФГБНУ «ВНИРО», 17-21 ноября 2025 г.

Издательство ВНИРО

17.11.2025

Издательство ВНИРО

Москва, 2026

УДК 574.55:502:517.088.1

Рецензенты:

Антонов Н.П., д.б.н., руководитель департамента морских и пресноводных рыб России ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО».

Криксунов Е.А., член-корр. РАН, д.б.н., профессор кафедры ихтиологии биологического факультета ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В.Ломоносова»

Современные методы оценки и рационального использования водных биологических ресурсов. Материалы III Международной научно-практической конференции, Москва, ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», 17-21 ноября 2025 г. / Авторы-составители: Д.А. Васильев, А.Е. Бобырев, А.И. Михайлов, Н.Г. Западаева, В.Р. Соколовский. М.: Изд-во ВНИРО. 2026. 159 с.

ISBN 978-5-85382-586-4

© ФГБНУ «ВНИРО», 2026

© Д.А. Васильев, А.Е. Бобырев, А.И. Михайлов,
Н.Г. Западаева, В.Р. Соколовский, 2026

Оглавление

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕКОМЕНДОВАННОГО ВЫЛОВА КАМБАЛЫ-ТЮРБО В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ, В.М. Амосова	6
МОДЕЛИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДОВ (SDM) ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНВАЗИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА ГИДРОБИОНТОВ, С.В. Баканев	10
АНАЛИЗ ТЕМПОВ РОСТА БРЮХОНОГИХ МОЛЛЮСКОВ <i>B. OSAGAWAI</i> В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТОЛИТОВ КАК РЕГИСТРИРУЮЩИХ СТРУКТУР, А.С. Блохина, О.А. Хорошуткина, Ю.А. Щербакова, Ф.В. Лищенко	14
О ПАРАДОКСЕ ПИТАНИЯ КАШАЛОТА И ПРОДУКТИВНОСТИ ГЛУБОКИХ ВОД МИРОВОГО ОКЕАНА, А.И. Болтнев	18
ДИНАМИКА ВОЗРАСТНОГО СОСТАВА УЛОВОВ ГРЕБЕНЧАТОЙ КРЕВЕТКИ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТАТАРСКОГО ПРОЛИВА, А.И. Буяновский, Д.Н. Юрьев	21
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАССЫ ТЕЛА ОСЕТРА РУССКОГО <i>ACIPENSER GUELDENSTAEDTII</i> В АЗОВСКОМ МОРЕ В 1974 И 2024 ГОДАХ, А.Б. Васёв	25
ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ НЕКОТОРЫХ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ БАССЕЙНА ПРИУСТЬЕВОЙ ЧАСТИ Р. ПРЕГОЛИ, Э.К. Верникович, Е.А. Севостьянова, Н.А. Цупикова	28
О МНОГОВИДОВЫХ КОГОРТНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКОГО ПОДХОДА, М.Б. Габбасов, К.Б. Исбеков, Л.Б. Мейрамбекова, К.А. Смбаев, К.М. Шапен	31
О КАЧЕСТВЕ И БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ РЫБ Р. ДОН В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД, Л.И. Горгола, И.В. Кораблина, А.А. Петренко	35
ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОСТА ЕВРОПЕЙСКОГО АНЧОУСА (<i>ENGRAULIS ENCRASICOLUS</i> , L., 1758), ЗИМУЮЩЕГО В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ АБХАЗИИ, ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ, Р.С. Дбар, П.Д. Гамахария	39
ОБЩИЕ ЭКОСИСТЕМНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУБЛИТОРАЛЬНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛЬНЫХ РАЙОНОВ ДВУХ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ РОССИИ, А.А. Дуленин	43
РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА ОХОТСКОГО И БЕРИНГОВА МОРЕЙ (ГЛУБОКОВОДНЫЕ РАЙОНЫ), Е.П. Дулепова	46
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА, А.А. Егоркин, Н.А. Андреева	50
РАЗВИТИЕ ЗООПЛАНКТОНА РЕКИ ЦНА В 2023 ГОДУ, И.А. Жернаков, Д.Ю. Тюлин, А.И. Никитенко, А.В. Солодовник, Д.В. Горячев	54

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗООБЕНОСА ВОЛГО-БАЛТИЙСКОГО ВОДНОГО ПУТИ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2025 ГОДА, К.Н. Ивичева, И.В. Филоненко	57
О МОДЕЛИРОВАНИИ ДИНАМИКИ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ НЕРКИ <i>ONCORHYNCHUS NERKA</i> Р. ОЗЕРНОЙ (ЗАПАДНАЯ КАМЧАТКА), О.И. Ильин ...	60
СПЕЦИФИКА ДИНАМИКИ ГИДРОБИОЦЕНОЗОВ В РАЗНЫХ ЧАСТЯХ АКВАТОРИИ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА, К.В. Исакова	63
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА, Н.М. Калинин, К.В. Исакова, Д.С. Коновалов, А.В. Коросов, Е.М. Макарова, А.И. Сидорова, Ю.Л. Сластина, В.С. Смирнова, М.Т. Сярки, Е.В. Теканова	66
АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ПРОГНОЗА ПОПОЛНЕНИЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АРКТИЧЕСКОЙ ТРЕСКИ, Ю.А. Ковалев, А.А. Четыркин, А.Г. Трофимов	69
ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ РЫБНОГО СТАДА ЭВТРОФНОГО ОЗЕРА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЗАРЫБЛЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ РЫБОЛОВСТВОМ, В.Г. Костоусов, О.Д. Апсолихова, Б.В. Адамович	73
МАКСИМАЛЬНЫЕ ГОДОВЫЕ ОБЪЕМЫ ВЫПУСКА ИСКУССТВЕННО ВОСПРОИЗВОДИМЫХ ВИДОВ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ: ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ И ВОЗМОЖНЫЕ СПОСОБЫ ИХ РЕШЕНИЯ, Б.Г. Котегов, Д.Ф. Афанасьев	77
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТОЛИТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТА И РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА РОСТА ЕВРОПЕЙСКОЙ РЯПУШКИ ОЗЕРА ВИШТЫНЕЦКОГО (КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ), Е.В. Кривоускова, О.А. Новожилов	80
ВЛИЯНИЕ РАЗДЕЛЬНОГО УЧЁТА ПАРАМЕТРОВ РОСТА ЧЁРНОГО ПАЛТУСА ПО РАЙОНАМ ОХОТСКОГО МОРЯ И ПОЛАМ НА ОЦЕНКУ СОСТОЯНИЯ ЕГО ЗАПАСОВ, В.В. Кулик, О.З. Бадаев	84
ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ И СУДОВЫМ ДАННЫМ НА ПРИМЕРЕ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА, А.В. Кутузов	88
ОСНОВНЫЕ РИСКИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ ПРИМОРСКОГО ГРЕБЕШКА В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ НА ФОНЕ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА, С.А. Ляшенко	91
АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ПОДВОДНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАПАСА <i>GAMMARUS LACUSTRIS</i> (CRUSTACEA: AMPHIPODA) В ПОДЛЁДНЫЙ ПЕРИОД, Д.В. Матафонов	94
МОНИТОРИНГ ПЛОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ И ЧИСЛЕННОСТИ БОЛЬШОГО БАКЛАНА В АКВАТОРИИ И ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ, Ю.И. Мельников, Я.В. Николаев	96

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОПУЛЯЦИЙ ГИДРОБИОНТОВ, А.И. Михайлов, Г.А. Волошин, В.А. Крючков, А.Е. Бобырев, Д.А. Шереметьев	100
О РЕАЛИЗОВАННОЙ ПЛОДОВИТОСТИ КРАБА ХАРРИСА, <i>RHITHROPANOPEUS HARRISII</i> (GOULD, 1841) (BRACHYURA: PANOPEIDAE) ИЗ ТАМАНСКОГО ЗАЛИВА В 2011 Г., А.С. Овчарук, С.А. Судник ,	102
К МЕТОДИКЕ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЛОВУШЕЧНОГО ЛОВА ГИДРОБИОНТОВ, А.Ю. Огурцов, С.И. Моисеев, Л.К. Сидоров	106
МЕТОД ЯВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛАБОГО ЭФФЕКТА ОЛЛИ В ДИНАМИКЕ ПОПУЛЯЦИЙ НА ОСНОВЕ РАЗРЫВНЫХ УРАВНЕНИЙ, А.Ю. Переварюха	110
К ВОПРОСУ УЧЕТА ЧИСЛЕННОСТИ ШПРОТА В РОССИЙСКИХ ВОДАХ ФИНСКОГО ЗАЛИВА, И.А. Пожинская	113
К ОБОСНОВАНИЮ КОНЦЕПЦИИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ РАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕДООСВАИВАЕМЫХ МОРСКИХ РЫБНЫХ РЕСУРСОВ ПОДЗОНЫ ПРИМОРЬЕ Б.И. Покровский, Д.Л. Шабельский, А.М. Кайко	116
СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ОЦЕНКЕ ЧИСЛЕННОСТИ РЕЧНЫХ РАКОВ (PONTOASTACUS) И ОПРЕДЕЛЕНИИ ИХ ОДУ (ОБЗОР МЕТОДОВ И МЕТОДИК), Ю.А. Северов	119
О МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ ЧИСЛЕННОСТИ БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА, Л.К. Сидоров, В.А. Бизиков	123
МЕЧЕНИЕ СИГОВЫХ РЫБ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ, Н.В. Смешливая, С.М. Семенченко	127
СОСТОЯНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В КЛЯЗЬМИНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ ВЕСНОЙ 2023 И 2025 ГГ., А.В. Солодовник, Д.Ю. Тюлин, А.И. Никитенко, И.А. Жернаков, Г.И. Христенко	130
ТРАНСФОРМАЦИЯ ПИЩЕВЫХ СВЯЗЕЙ ХИЩНЫХ РЫБ В АЛАКОЛЬСКОЙ СИСТЕМЕ ОЗЕР И ПРОБЛЕМА ВЫЖИВАНИЯ БАЛХАШСКОГО ОКУНЯ, В.Р. Соколовский, В.А. Скакун, К.Б. Исбеков, Ж.О. Мажибаева	133
ОСЕДАНИЕ СПАТА НА КОЛЛЕКТОР И ЧИСЛЕННОСТЬ ПРИМОРСКОГО ГРЕБЕШКА В ПОСЕЛЕНИИ ПРОЛИВА СТАРКА В 2014-2025 ГГ., И.С. Турабжанова, И.Ю. Сухин	137
KERATELLA QUADRATA (MÜLLER, 1786) КАК МОДЕЛЬ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ НАПРАВЛЕННОЙ АСИММЕТРИИ, Д.Ю. Тюлин, А.И., Никитенко, И.А. Жернаков	140
РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА СИСТЕМЫ ОНЕЖСКОЕ ОЗЕРО-ВОДОСБОР, Н.Н. Филатов, Ю.Н. Лукина, Н.Е. Галахина, Н.М. Калинкина	143

О РАЗРАБОТКЕ ПРАВИЛА РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫЛОВА НОРВЕЖСКО- БАРЕНЦЕВОМОРСКОГО ОКУНЯ-КЛЮВАЧА (<i>SEBASTES MENTELLA</i>), А.А. Филин	147
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА НЕРЕСТОВОГО ХОДА ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ТАУЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО КЛАССА: РЕЗУЛЬТАТЫ 2023–2024 ГГ., П.В. Хабаров, В.Г. Григоров	150
МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ АМУРСКОГО САЗАНА В ОЗЕРЕ ХАНКА, М.Е. Шаповалов, Д.Л. Шабельский	153
ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ОСЕДАНИЯ ПРИМОРСКОГО ГРЕБЕШКА НА ИСКУССТВЕННЫЕ СУБСТРАТЫ В БУХТЕ КИЕВКА (ЯПОНСКОЕ МОРЕ), Н.В. Щербакова, И.С. Турабжанова	157

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕКОМЕНДОВАННОГО ВЫЛОВА КАМБАЛЫ-ТЮРБО В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ

В.М. Амосова

*Атлантический филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»),
Калининград, Россия*

E-mail: amosova@atlant.vniro.ru

Ключевые слова: камбала-тюрбо, Балтийское море, рекомендованный вылов.

В российской акватории 26 подрайона Балтийского моря камбала-тюрбо (*Scophthalmus maximus*, L., 1758) не относится к массовым промысловым видам рыб. В период активного развития внутреннего туризма в Калининградскую область камбала-тюрбо приобрела важную роль в экономике малого бизнеса региона, обладая особой пищевой ценностью и, в отличие от речной камбалы, будучи гастрономически привлекательной.

Наибольший вылов камбалы-тюрбо в Балтийском море отмечался в 1993–1994 гг. – 1167 и 1024 т, и в 1996–1997 гг. – 1206 и 1043 т, соответственно. В последние пять лет общий вылов тюрбо колебался от 134 до 209 т (в среднем 177 т). Основными странами, ведущими промысел запаса тюрбо в эти годы, традиционно явились страны, добывающие вид в западной части моря (22–25 подрайоны): Дания (35%), Польша (34% вылова) и Германия (15%). Доля вылова вида в 26 подрайоне в 2013–2023 гг. колебалась от 2,5 до 16,1% и в среднем за десять лет составила 7% от общего вылова запаса. В 2023–2024 гг. вылов в 26 подрайоне всеми странами остался на низком уровне, его доля вылова от вылова 22–32 подрайонов – около 6%. Значительный объем неспециализированной добычи тюрбо в странах ЕС осуществлялся сетями в качестве прилова при ведении промысла трески. В связи с запретом на специализированный вылов трески снизился и прилов камбалы-тюрбо [Draganik et al., 2005; ICES, 2024].

Российский промысел осуществляется в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) и территориальном море Российской Федерации 26 подрайона Балтийского моря. Вылов России в 2024 г. превысил уровень 2019–2023 гг. (в среднем – 0,514 т) и составил 5,811 т. Освоение отечественного объема рекомендованного вылова (РВ) по камбале-тюрбо в эти годы было невелико и составило около 7%. Специализированный промысел вида (сетной лов маломерными судами типа ТБ, РК) ведется в короткий промежуток времени, основная его добыча приходится на вторую половину мая. В настоящее время он осуществляется одним-двумя судами. Низкий уровень прогрева прибрежных вод в последние годы оказывал негативное влияние на промысел. В мае камбала-тюрбо не образовывала традиционных преднерестовых скоплений. На фоне снижения величины индикаторной биомассы запаса камбалы-тюрбо, отмечаются и более поздние сроки образования преднерестовых скоплений вида в прибрежной части моря. Сроки массового нереста также сдвинулись. Специалистами АтлантНИРО своевременно было подготовлено обоснование переноса даты начала запрета на промысел камбалы-тюрбо с 1 на 15 июня. Соответствующие изменения правил рыболовства для Западного рыбохозяйственного бассейна были приняты. Возвращение объемов добычи вида в 2024 г. к среднему уровню 2014–2018 гг. было обусловлено такими сдвигами сроков запретного периода.

Запасы рыб Балтийского моря являются трансграничными. Поэтому в отношении камбалы-тюрбо традиционно проводилась оценка состояния всей единицы запаса 22–32 подрайонов Балтийского моря. Использованы научные материалы из литературных

источников [Амосова, Иванов, Гулюгин, 2024; ICES, 2024], научно-исследовательских рейсов и промысловых данных 1965-2025 гг. Недостаточная полнота и качество доступной информации для обоснования РВ камбалы-тюрбо исключают возможность использования моделей эксплуатируемого запаса. Обоснование РВ строится на индикаторном и трендовом методах (III уровень информационного обеспечения) [Бабаян и др., 2018]. Качественное состояние запаса определяли методом расчета относительных показателей (индикаторов) длины (метод LBI). Расчеты производились с использованием программного модуля LBIndicator_shiny [LBIndicator Application, electronic resource; Амосова, Иванов, Гулюгин, 2024]. Исходные данные – размерный состав промысловых российских уловов (частота встречаемости размерных групп в уловах, в %) и средние массы на размерную группу за период 2021-2024 гг. Биологические характеристики рассчитаны по данным донных траловых съемок первого и четвертого кварталов года (BITS Q1 и BITS Q4) и учитывали только самок. Предельная теоретическая длина (L_{inf}) составила 54,7 см (средняя за период 2002–2018 гг.). Длина 50% созревания (L_{mat}) – 20,5 см (средняя за период 2002-2018 гг.).

Состояние запаса камбалы-тюрбо и ее промысел в 22–32 подрайонах Балтийского моря представлены на Рисунке 1, результаты расчетов методом LBI представлены в Таблице 1.

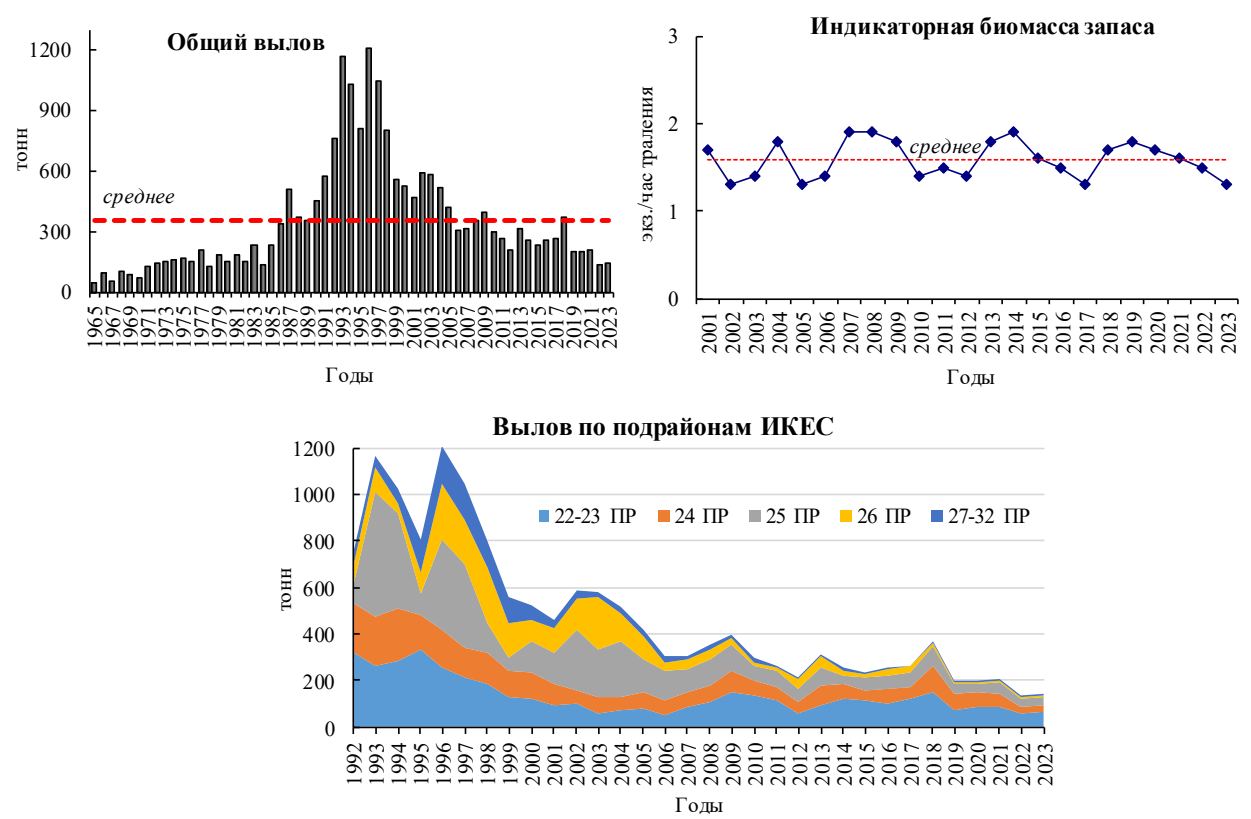


Рисунок 1. Состояние запаса камбалы-тюрбо и ее промысел в 22–32 подрайонах Балтийского моря

Таблица 1. Статус запаса камбалы-тюрбо согласно индикаторным ориентирам по длине в 2021-2024 гг.

Год	Сохранение				Оптимальный улов	MSY подход
	L_c / L_{mat}	$L_{25\%} / L_{mat}$	$L_{max\ 5\%} / L_{inf}$	P_{mega}	L_{mean} / L_{opt}	$L_{mean} / L_F = M$
2021	1,59	1,49	0,86	0,11	0,99	0,95

Год	Сохранение				Оптимальный улов	MSY подход
	L_c / L_{mat}	$L_{25\%} / L_{mat}$	$L_{max\ 5\%} / L_{inf}$	P_{mega}	L_{mean} / L_{opt}	$L_{mean} / L_{F=M}$
2022	1,49	1,54	0,77	0,04	0,94	0,94
2023	1,49	1,54	0,78	0,04	0,95	0,95
2024	1,44	1,49	0,85	0,08	0,95	0,97

Из таблицы видно, что доля крупных особей (P_{mega}) намного меньше, чем 30% улова. Этот параметр находится на крайне низком уровне (<10%) уже третий год, что, вероятно, вызвано не только отсутствием таких рыб в запасе, но и большим количеством более мелкой камбалы-тюрбо в уловах, а также обусловлено районами добычи вида. В 2024 г. отмечено некоторое увеличение наибольшей длины тела обловленных особей ($L_{max5\%}/L_{inf}$). При этом промысел не оказывает влияния на неполовозрелых рыб, индикаторы L_c/L_{mat} и $L_{25\%}/L_{mat}$ находятся в зеленой зоне. Российский промысел ведется на уровне, близком к целевой длине, обеспечивающей устойчивые уловы (индикатор L_{mean}/L_{opt} – в зеленой зоне). Запас камбалы-тюрбо находится в удовлетворительном состоянии.

Прогнозирование РВ проводилось с помощью схем управления, оперирующих только данными о динамике вылова. Использовались наиболее простые опции пакета DLMTool (Рисунок 2).

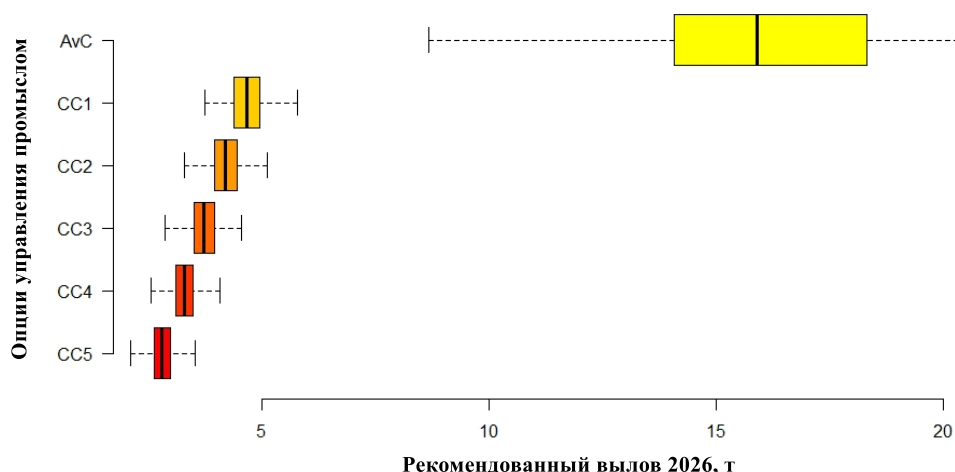


Рисунок 2. Камбала-тюрбо в ИЭЗ и территориальном море РФ 26 подрайона Балтийского моря. Регулирование промысла с помощью различных схем управления: AvC – промысел типа «*Status quo*», в соответствии с которой РВ определен как средний вылов за период 1995–2025 гг.; CC1–CC5 – стратегии, где РВ определен как средний вылов за последние 5 лет и зафиксирован на определенном уровне (соответственно от 100 до 60%)

С учетом удовлетворительного состояния запаса камбалы-тюрбо для рекомендаций его вылова в исключительной экономической зоне и территориальном море России 26 подрайона на 2026 г. применена схема промысла типа «*Status quo*» (AvC). Рассчитанная пакетом DLMtool величина при схеме управления AvC составила около 16 т. Принимая во внимание регулярное недоосвоение вылова, состояние запаса и т.д., целесообразным является установление рекомендованного вылова на уровне 2025 г., т.е. не более 16 т.

Представленный подход оценки состояния запаса и вылова камбалы-тюрбо может быть применен для других ВБР, обоснование РВ которых строится на индикаторном и трендовом методах.

Список литературы

Амосова В.М., Иванов С.В., Гулюгин С.Ю. 2024. Немодельный метод оценивания состояния и прогнозирования вылова запаса речной камбалы 26+28 подрайона ИКЕС Балтийского моря. Труды ВНИРО. Т. 196. С. 124–133. DOI: 10.36038/2307-3497-2024-196-124-133.

Бабаян В.К., Бобырев А.Е., Булгакова Т.И., Васильев Д.А., Ильин О.И., Ковалев Ю.А., Михайлов А.И., Михеев А.А., Петухова Н.Г., Сафаралиев И.А., Четыркин А.А., Шереметьев А.Д. 2018. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. М.: Изд-во ВНИРО. 312 с.

Draganik B., Maksimov Yu., Ivanov S., Psuty-Lipska I. 2005. The status of the turbot *Psetta maxima* (L.) stock supporting the Baltic fishery. Bulletin of the Sea Fisheries Institute, Gdynia, Poland. № 1(164). P. 23–53

ICES. 2024. Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS). ICES Scientific Reports. 6:53. 584 pp. DOI: 10.17895/ices.pub.25764978.

LBIndicator Application – [Electronnic resource]. URL: https://scott.shinyapps.io/LBIndicator_shiny/ (дата обращения: 05.09.2025 г.)

МОДЕЛИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДОВ (SDM) ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНВАЗИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА ГИДРОБИОНТОВ

С.В. Баканев

Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича),
Мурманск, Россия

E-mail: bakanev@pinro.vniro.ru

Ключевые слова: Баренцево море, модели пространственного распределения видов, инвазивный потенциал, климатические сценарии, бореальные виды, методология, ансамблевое моделирование, биофизические переменные.

Современные климатические изменения, проявляющиеся в Баренцевом море через процессы атлантификации, потепления вод и сокращения ледового покрова, создают предпосылки для трансформации биоценозов и возможной инвазии бореальных видов. Для количественной оценки инвазивного потенциала промысловых беспозвоночных в условиях неопределенности климатических сценариев все шире применяются модели пространственного распределения видов (SDM), которые позволяют прогнозировать пространственно-временные изменения ареалов организмов под влиянием климатических и океанографических факторов. В данной работе представлены методологические аспекты применения SDM для оценки перспектив колонизации шельфа Баренцева моря бореальными гидробионтами, включая съедобную устрицу (*Ostrea edulis*), большого гребешка (*Pecten maximus*), съедобного краба (*Cancer pagurus*), норвежского лангустина (*Nephrops norvegicus*) и европейского омара (*Homarus gammarus*).

Методологическая основа исследования закладывается на этапе подготовки данных, который представляет собой комплексную процедуру "очистки" и структурирования информации. Для начала создается регулярная сетка с пространственным разрешением $0,05^\circ$, соответствующая координатам акватории Баренцева моря (5° - 65° з.д. и 68° - 82° с.ш.). Все исходные данные агрегируются на эту сетку, при этом исключаются ячейки, соответствующие суше, и рассчитывается расстояние до ближайшего берега как дополнительный пространственный предиктор. Ключевым этапом является извлечение биофизических переменных репозитория Bio-ORACLE [Assis et al., 2024; Bio-ORACLE, electronic resource], который предоставляет более сотни параметров, объединенных в 19 основных физических, химических и биологических переменных. Этот процесс включает обработку многолетних данных за период 2000-2020 гг. и сценарных прогнозов на период 2025-2100 гг., полученных с использованием глобальных климатических моделей CMIP6 [Eyring et al., 2016]. Для минимизации пространственной автокорреляции записи о встречаемости видов фильтруются с разрешением $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ с использованием специализированных инструментов, что позволяет создать корректную обучающую выборку для последующего моделирования.

Учитывая высокую размерность входных данных и потенциальную мультиколлинеарность между переменными, на этапе выбора предикторов используется комбинация методов отбора признаков, включающая алгоритм Boruta, основанный на алгоритме Random Forest, и регуляризацию LASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator), которая автоматически исключает малозначимые предикторы. Особое внимание уделяется борьбе с переобучением моделей, для чего применяется стратифицированная 100-кратная перекрестная проверка с разделением данных на обучающую (70%) и тестовую (30%) выборки. Для оценки качества моделей используются несколько метрик,

включая площадь под кривой операционной характеристики приемника (AUC-ROC), статистику истинного навыка (TSS), чувствительность и специфичность. В финальный ансамбль включаются только те модели, которые демонстрируют $AUC > 0.8$ и $TSS > 0.6$, что соответствует стандартам воспроизводимости в экологическом моделировании. Такой комплексный подход к отбору предикторов и оценке моделей позволяет минимизировать влияние шума и получить устойчивые к вариациям данных прогнозы.

Следующий этап включает непосредственное моделирование, ансамблирование и проекцию результатов на будущие климатические сценарии. Поскольку ни одна отдельная модель не может учесть все аспекты сложных экологических взаимодействий, применяется ансамблевый подход, объединяющий результаты 11 различных алгоритмов, включая обобщенные линейные и аддитивные модели (GLM, GAM), Random Forest, MaxEnt, а также другие методы машинного обучения. Такое ансамблирование минимизирует неопределенности, связанные с выбором единичной модели, и повышает точность прогнозов за счет усреднения результатов. Для оценки инвазивного потенциала гидробионтов модели проецируются на три социально-экономических сценария (Shared Socio-Economic Pathways): SSP1-1.9 (оптимистический, предполагающий углеродную нейтральность к 2050 г.), SSP2-4.5 (умеренный, отражающий постепенное снижение выбросов после 2050 г.) и SSP5-8.5 (экстремальный, характеризующийся сохранением углеродоемкой экономической модели). Особое внимание уделяется оценке рисков экстраполяции за пределы диапазона условий, использованных при обучении моделей, для чего применяется MESS-анализ (Multivariate Environmental Similarity Surface), позволяющий выявить области с экологическими условиями, существенно отличающимися от тех, в которых виды встречаются в нативных ареалах. Визуализация результатов осуществляется с использованием современных инструментов геоинформационного анализа, что позволяет не только количественно оценить площадь потенциального распределения видов, но и пространственно локализовать наиболее перспективные для колонизации районы.

Полная реализация методологии SDM выполняется в статистической среде R с использованием специализированной библиотеки biomod2 [Thuiller, Lafourcade, Araújo, 2023], которая предоставляет унифицированную платформу для построения и оценки различных типов моделей распределения видов. Все этапы обработки данных, от подготовки регулярной сетки и агрегирования биофизических переменных до ансамблирования моделей и визуализации результатов, реализованы в виде воспроизводимого рабочего процесса. Исходный скрипт, содержащий полную методологию исследования, доступен для скачивания на ресурсе «Оценка водных биоресурсов при недостатке данных в среде R» [Оценка водных биоресурсов ..., электронный ресурс], что обеспечивает прозрачность методов и позволяет другим исследователям адаптировать предложенный подход к оценке инвазивного потенциала гидробионтов в различных регионах Мирового океана.

Результаты применения описанной методологии демонстрируют, что при текущих условиях ареалы бореальных промысловых беспозвоночных на баренцевоморском шельфе ограничены узкой прибрежной зоной северной Норвегии (Рисунок 1). Однако при экстремальном сценарии SSP5-8.5 (повышение придонной температуры на 3°C к 2100 г.) площадь пригодных акваторий, например, для *Cancer pagurus* достигнет 76,3 тыс. км², для *Nephrops norvegicus* – 67,9 тыс. км², а для *Homarus gammarus* – 8,5 тыс. км². При этом важно отметить, что распространение видов будет существенно зависеть не только от температурных факторов, но и от доступности подходящих субстратов: *Cancer pagurus* и *Nephrops norvegicus* демонстрируют облигатную связь с рыхлыми осадками, тогда как *Homarus gammarus* требует каменистых биотопов, что ограничивает его потенциальный ареал 1-2 тыс. км². Кроме того, конкуренция с камчатским крабом (*Paralithodes camtschaticus*) может создавать биотические барьеры, хотя прогнозируемое смещение его

ареала в северо-восточном направлении к концу XXI века может снизить давление на юго-западные районы, открывая «экологические коридоры» для бореальных видов.

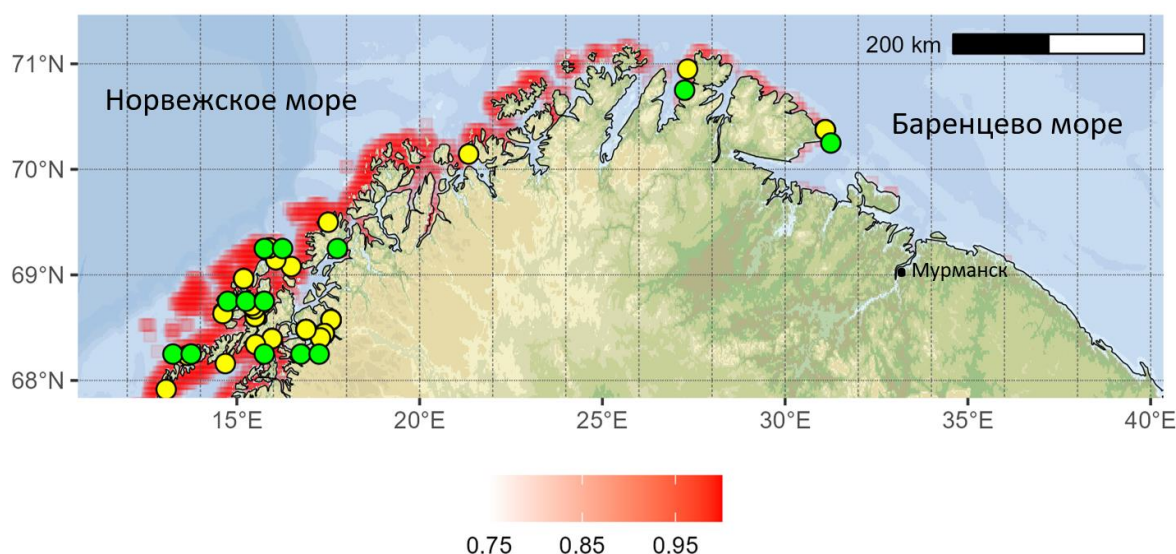


Рисунок 1. Места поимок большого гребешка по данным базы AQUAMAPS (зеленые точки) и норвежского банка данных о биоразнообразии (желтые точки) и индекс пригодности среды обитания по данным SDM в прибрежных водах Северной Норвегии и Кольского полуострова

Представленная методология SDM-моделирования обеспечивает инструмент для прогнозирования ареалов в условиях климатической неопределенности, что подтверждает ее потенциальную ценность для управления биоресурсами и экологического мониторинга в Баренцевом море [Баканев, 2015; 2025]. Комбинированный учет абиотических факторов (температура, соленость, кислородный режим) и биотических взаимодействий (конкуренция, хищничество) позволяет получить более реалистичные прогнозы инвазивного потенциала гидробионтов. Будущие исследования должны быть направлены на дальнейшее совершенствование методов отбора предикторов, интеграцию данных о биотических взаимодействиях в модели и разработку адаптивных стратегий управления биоресурсами, способных реагировать на динамичные изменения экосистемы Баренцева моря в условиях ускоренной климатической трансформации.

Список литературы

- Баканев С.В. 2015. Расселение и оценка возможного ареала краба-стригуна (*Chionoecetes opilio*) в Баренцевом море. Принципы экологии. № 3 (15). С. 27–39.
- Баканев С.В. 2025. Оценка инвазионного потенциала бореальных ракообразных в Баренцевом море в условиях климатических изменений. Журнал общей биологии. Т. 86. № 3. С. 227–238.
- Оценка водных биоресурсов при недостатке данных в среде R (для начинающих) – [Электронный ресурс]. URL: <https://mombus.github.io/cRab/> (дата обращения: 05.09.2025).
- Assis J., Tyberghein L., Bosch S., et al. 2024. Bio-ORACLE v3.0: Expanding marine data layers for biogeographical modelling. Global Ecology and Biogeography. V. 33(4). P. 123–135.
- Bio-ORACLE – [Electronic resource]. URL: <https://bio-oracle.org/> (дата обращения: 29.08.2025).

Eyring V., Bony S., Meehl G.A., et al. 2016. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization // Geoscientific Model Development. V. 9. P. 1937–1958.

Thuiller W., Lafourcade B., Araújo M.B. 2023. BIOMOD2: ensemble platform for species distribution modeling. Journal of Statistical Software. V. 105(1). P. 1–27.

АНАЛИЗ ТЕМПОВ РОСТА БРЮХОНОГИХ МОЛЛЮСКОВ *B. OSAGAWAI* В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТОЛИТОВ КАК РЕГИСТРИРУЮЩИХ СТРУКТУР

А.С. Блохина^{1*}, О.А. Хорошуткина², Ю. А. Щербакова³, Ф.В. Лищенко^{4,5}

¹ ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва, Россия

² ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия

³ Магаданский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («МагаданНИРО»), Магадан, Россия

⁴ ФГБУН ИПЭЭ им. А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия

⁵ Приморское отделение Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра, Нячанг, Вьетнам

*E-mail: anna2816732@mail.ru

Ключевые слова: брюхоногие моллюски, рост, регистрирующие структуры, статолит, оперкулум.

Для проведения комплексной оценки динамики популяций брюхоногих моллюсков необходимо определение индивидуального возраста особей. Выделяют ряд методов определения возраста гастропод, ни один из которых нельзя назвать универсальным [Hollyman, Laptikhovsky, Richardson, 2018]. Непосредственно к исследуемому виду применим метод определения возраста по годовым отметкам роста на внешних регистрирующих структурах, – раковине или оперкуле – отметки на которых зачастую плохо читаются. Однако применяется и метод определения возраста по статолитам – внутренним регистрирующим структурам [Hollyman, Laptikhovsky, Richardson, 2018; Hollyman et al., 2018; Хорошуткина, 2023; Хорошуткина, Ботнев, Лищенко, 2025]. Отметки остановки роста на статолитах хорошо видны и легко идентифицируемы, так как благодаря своему анатомическому расположению статолиты не подвержены влиянию внешней среды, что положительно сказывается на качестве отметок. Способ определения индивидуального возраста по отметкам остановки роста на статолитах продемонстрирован на видах рода *Buccinum*, в том числе на исследуемом виде *Buccinum osagawai* Habe and Ito, 1968 [Хорошуткина, Ботнев, Лищенко, 2025].

Цель данной работы – определение индивидуального возраста с использованием внутренних регистрирующих структур – статолитов и исследование темпов роста *B. osagawai*.

100 экземпляров *B. osagawai* были собраны в мае-июне 2023 г. на глубине 137-167 м в ходе ловушечного промысла и 80 экземпляров – в июле 2024 г. на глубине 118 – 225 м в ходе донной траловой съемки в северной части Охотского моря. Отбор велся случайным образом, моллюски принадлежали к разным размерным классам. Был выполнен биологический анализ моллюсков. Извлеченные статолиты очищались от окружающих тканей, закреплялись на предметном стекле и шлифовались до центральной плоскости. При помощи программы «TourView 4.11.» проводились измерения диаметров статолита и отметок остановки роста. Возраст моллюска определялся путём подсчёта количества отметок на шлифе статолита, также подсчитывались отметки на оперкулах.

Для оценки достоверности различий между группами использовался тест Манна-Уитни, нормальность распределения оценивали тестом Колмогорова-Смирнова. Модели, описывающие взаимосвязь между диаметрами отметок остановки и порядковыми номерами отметок, а также взаимосвязь между высотой раковины и возрастом особи, подбирались по величине информационного критерия Акаике. Статистическая обработка проводилась в программах «Excel», «Past» и «Statistica 12.0».

Проведенный статистический анализ показал следующее:

1) Для особей, собранных в 2023 г., статистически достоверные различия между самцами и самками обнаружены лишь по показателям высоты раковины (тест Манна-Уитни: $U = 689$; $Z = 1,8$; $p = 0,07$), а при сравнении наименьших диаметров статолитов самок и самцов *Buccinum osagawai* из выборки 2023 г. статистически значимых различий не выявлено (тест Манна-Уитни, $p > 0,05$). Минимальное значение диаметра составляет 168 мкм, максимальное – 333,9 мкм, а среднее значение – $284,59 \pm 2,6$ мкм. Между наименьшими диаметрами левых и правых статолитов достоверных различий не найдено.

2) Для экземпляров, собранных в 2024 г., достоверными оказались различия между полами по наименьшим диаметрам статолитов (тест Манна-Уитни: $U = 432$; $Z = 2,48$; $p = 0,01$), а также различия по диаметрам годовых отметок от 3 до 9. Между наименьшими диаметрами левых и правых статолитов достоверных различий так же не найдено.

В связи с вышеперечисленным, дальнейший анализ темпов роста моллюсков проводился по выборкам самцов и самок отдельно.

Сами статолиты *B. osagawai* имеют микроструктуру, схожую с таковой у других представителей рода. Поверхность у них гладкая, а форма близка к сферической. При рассмотрении шлифа статолита хорошо различимы узкие темные зоны – непосредственно отметки остановки роста – и широкие светлые зоны приростов. В центре статолита находится ядро, ограниченное первой отметкой выклева.

В ходе исследования был произведен анализ взаимосвязи между диаметром возрастной отметки и ее порядковым номером. Данный анализ проводился для обеих выборок отдельно и показал следующее:

1) Анализ проводился для всех особей совместно без разделения по полу. Взаимосвязь между диаметрами отметок и их порядковыми номерами у экземпляров 2023 г. описывается квадратичной функцией:

$$D_{inc} = 48,05 + 25,67 \times N_{inc} - 0,60 \times N_{inc}^2,$$

где D_{inc} – диаметр отметки, N_{inc} – порядковый номер отметки;

2) В связи с тем, что в выборке 2024 г. был обнаружен половой диморфизм относительно размеров наименьших диаметров статолитов, анализ проводился для двух полов по-отдельности. Взаимосвязь в обоих случаях описывается степенными функциями:

$$D_{inc} = 46,27 \times N_{inc}^{0,62} + 64,58 \text{ – для самок,}$$

$$D_{inc} = 41,46 \times N_{inc}^{0,65} + 66,56 \text{ – для самцов соответственно,}$$

где D_{inc} – диаметр отметки, N_{inc} – порядковый номер отметки.

На основании предварительного статистического анализа и обнаруженного полового диморфизма по высоте раковины для выборки 2023 г. и морфометрическим показателям статолитов для выборки 2024 г. было принято решение объединить самок и самцов обеих выборок для дальнейшего анализа роста исследуемого вида. По-видимому, половой диморфизм по обоим вышеперечисленным признакам имеет место быть, однако может быть не заметен для применяемых статистических методов ввиду ограниченного размера самой выборки.

Таким образом, были построены две модели роста *B. osagawai* для самок и самцов, но из уже объединенной выборки 2023-2024 гг. (Рисунок 1):

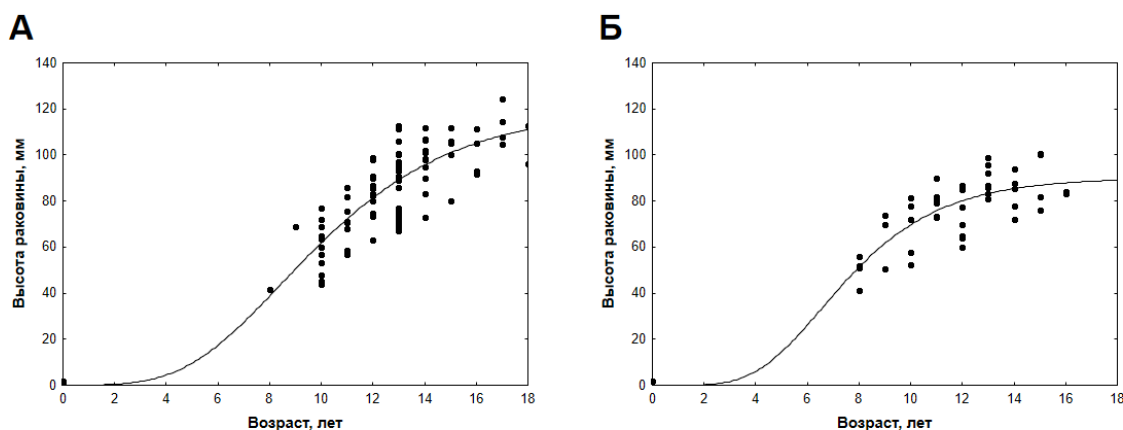


Рисунок 1. Модель роста, описывающая рост *B. osagawai* смешанной выборки 2023 и 2024 года. А – самки, Б – самцы

Функции Гомпретца, описывающие данные модели, выглядят следующим образом:

$$L_t = 120,16 \times \exp^{-\exp^{-0,10 \times e \times (t-8,47)}} \text{ – для самок,}$$

$$L_t = 90,06 \times \exp^{-\exp^{-0,14 \times e \times (t-6,54)}} \text{ – для самцов, соответственно.}$$

Исходя из полученных данных, половой диморфизм в характере роста *Buccinum osagawai* можно описать, как сильно выраженный.

Определение индивидуального возраста моллюсков было также произведено путем подсчета отметок остановки роста на оперкулах, после чего был произведен подсчет коэффициента вариации (CV) для двух методик определения возраста. Для выборки 2023 г. он составил в среднем $CV_{cp} = 12,4\%$, а для 2024 г. – $12,5\%$.

Таким образом, в ходе данной работы показано, что на основе анализа внутренних регистрирующих структур, таких как статолиты, удастся оценить размерно-возрастные характеристики и описать рост охотоморской популяции брюхоногого моллюска *Buccinum osagawai*.

Список литературы

- Голиков А.Н. 1980. Моллюски Buccininae Мирового океана. Л.: Наука, 466 с.
- Хорошутина О.А. 2023. Статолиты брюхоногих моллюсков и их использование в качестве регистрирующих структур. Зоологический журнал. Т. 102. № 2. С. 123–140. DOI: 10.31857/S0044513423020083.
- Хорошутина О.А., Ботнев Д.А., Лищенко Ф.В. 2025. Микроструктура статолитов *Buccinum osagawai* (Gastropoda, Neogastropoda, Buccinidae): использование статолитов для определения возраста. Ruthenica. Vol. 35. No. 1: 31–37. DOI: 10.35885/ruthenica.2025.35(1).3.
- Овсянников В.П., Островский В.И. 2008. Закономерности роста брюхоногого моллюска *Buccinum osagawai* в северной части Охотского моря. Изв. ТИНРО. Т. 154. С. 37–45.
- Hollyman P., Laptikhovsky V., Richardson C. 2018. Techniques for Estimating the Age and Growth of Molluscs: Gastropoda. J. of Shellfish Research. Vol. 37. P. 773–782. DOI: 10.2983/035.037.0408.

Hollyman P., Leng M., Chenery S., Laptikhovsky V., Richardson C. 2018. Statoliths of the whelk *Buccinum undatum*: a novel age determination tool. Marine Ecology Progress Series Vol. 598. P. 261–272. DOI: 10.3354/meps12119.

О ПАРАДОКСЕ ПИТАНИЯ КАШАЛОТА И ПРОДУКТИВНОСТИ ГЛУБОКИХ ВОД МИРОВОГО ОКЕАНА

А.И. Болтнев

ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия

E-mail: aboltnev@vniro.ru

Ключевые слова: кашалот, питание, ультразвуковая пушка, кальмары, статолиты, годовое потребление пищи, продуктивность глубоких вод.

Кашалот (*Physéter macrocéphalus*, L., 1758) – самый крупный представитель подотряда зубатых китов (Odontoceti) – распространен по всему Мировому океану. При изучении образа жизни кашалота у исследователя возникают два парадоксальных вопроса.

Первый вопрос: как кашалот добывает пищу на глубине свыше 500 м (до 2000 м!), практически в полной темноте? При этом питается в основном головоногими моллюсками (рыба составляет не более 5% в его рационе), из которых 7 основных видов кальмаров составляют до 80% пищи [Берзин, 1971; Томилин, 1989].

Пытаясь ответить на этот вопрос, исследователи обнаружили, что кашалот во время подводной охоты активно использует ультразвуковое зондирование. Было показано, что кашалот имеет ряд специфических морфологических адаптаций – строение головы, достигающей более 30% длины тела; череп, из-за разрастания затылочных костей напоминающий «тарелку» локатора (Рисунок 1); спермацетовый мешок, состоящий из однородного верхнего отдела и сегментированного нижнего отдела, напоминающего линзы для концентрирования звуковых пучков. Это позволило исследователям высказать предположение о возможности использования головы не только для генерации поисковых ультразвуковых волн, но и в качестве «ультразвуковой пушки» [Берзин, 1971]. Было также установлено, что эти морфологические особенности позволяют кашалоту генерировать самые громкие звуки в животном мире – до 236 дБ [Zimmer et al., 2005].

Однако наличие «ультразвукового оружия» не объясняет избирательность в питании кашалота кальмарами, являющимися отнюдь не медлительными объектами – скорость их плавания достигает 49 км/час [Зуев, Несис, 1971]. Было высказано несколько гипотез, включая анекдотические предположения о том, что кашалот, опускаясь на глубину, открывает пасть, и кальмары сами идут к нему в пасть, привлекаясь светлоокрашенным нёбом, языком и особенно блестящими зубами (Биль, по [Берзин, 1971]). К сожалению, ни одна из них не объясняет механизм лова кальмаров кашалотом.

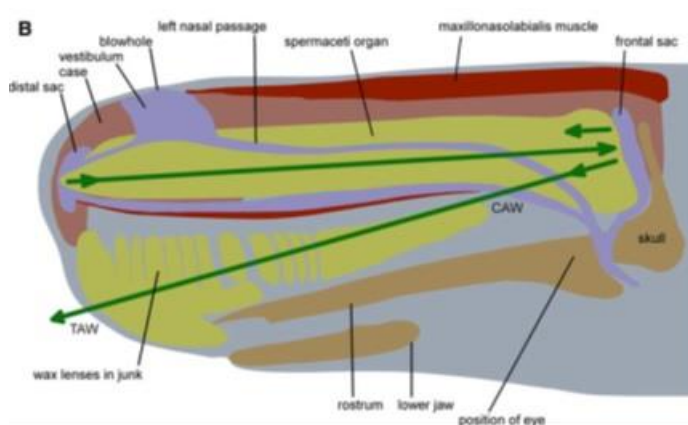


Рисунок 1. Череп кашалота и схема прохождения генерируемых звуков по [Huggenberger et al., 2014]

Прояснить механизм добычи кальмаров кашалотом помог В.А. Бизиков, который рассказал, что при мечении кальмаров наблюдалось неоднократное явление, когда кальмар, падая с высоты около 1 м, длительное время оставался неподвижным на поверхности океана. Причиной этого явилось специфическое строение его органов слуха (статоцистов), которые по совместительству являются и органом равновесия. Статоцисты представляют собой механорецепторные органы, имеющие вид заполненных жидкостью пузырьков, внутри которых содержатся статолиты, которые смещаются при изменении положения тела, раздражая ресничные чувствительные клетки эпителия. От них нервный импульс передаётся по нервным волокнам в центральную нервную систему, вызывая двигательную реакцию организма, направленную на восстановление равновесия [Arkhipkin, Bizikov, 2000]. Ультразвуковой удар, сгенерированный кашалотом, приводит к залипанию статолитов на внутренней поверхности клеток, потере ориентации кальмарами и их обездвиживанию на какое-то время. После чего кашалот легко поглощает обездвиженную добычу, и лишь гигантские кальмары могут как-то сопротивляться, оставляя на коже кашалота травмирующие следы от присосок.

Второй, не менее интересный вопрос, касается биопродуктивности глубоких океанических вод, которые обеспечивают кормовую базу для мировой популяции кашалота, численностью более 1 млн. особей (данные Международной китобойной комиссии).

Исходя из размеров кашалота, была оценена его суточная потребность в пище, которая равна примерно 3% от массы тела [Evans, Hindell, 2004] и составляет около 600 кг для самок и до 1500 кг для самцов. Если мы возьмем среднее потребление пищи для кашалота примерно в 800 кг в день, то годовое потребление для мировой популяции кашалотов составит около 292 млн. т. Чтобы осознать эту цифру нужно вспомнить, что мировой вылов водных биоресурсов составляет около 92 млн. т.

При этом не только кашалоты кормятся на глубине до 1 км и более. Сюда же можно отнести и других зубатых китов (клюворылы, бутылконосы, плавуны и др.) и некоторых тюленей (морские слоны). Причем надо учитывать, что ныряние для морских млекопитающих – процесс энергозатратный. Поэтому выработка паттерна глубоких ныряний морскими млекопитающими возможна лишь при условии богатой кормовой базы на больших глубинах в океане, достаточной для обеспечения их энергетических потребностей. О богатой кормовой базе глубоких вод океана можно судить и по размерам глубоководных кальмаров. Так, самый большой кальмар, найденный в желудке кашалота у южной Австралии, весил больше 110 кг, а в длину тела (мантии, без щупалец) имел 2,64 м [Evans, Hindell, 2004].

Очевидно, что продуктивность глубоких вод океана не может обеспечиваться за счет солнечной энергии – фотосинтез обеспечивает продуктивность в основном в 100-метровом поверхностном слое воды, хотя красные водоросли могут ассимилировать солнечную энергию на глубинах до 170-200 м. Очевидно также, что часть первичной продуктивности глубоких вод обеспечивается за счет микробиологической переработки детрита. Однако недавно открытые микробиологические сообщества – метанотрофы [Гальченко, 2001], способные анаэробно и аэробно активно перерабатывать нефтяные углеводороды на больших глубинах – как тяжелые фракции нефти, так и легкие (метан) также могут вносить вклад в первичную продуктивность, величину которого еще предстоит оценить. Об этом могут свидетельствовать некоторые косвенные факты, в том числе расположение отдельных зон повышенной биопродуктивности океанических вод над залежами нефтяных углеводородов, которое наблюдается в 85% случаев [Патин, 2001].

Изучение продуктивности глубоководных районов Мирового океана не только позволит глубже понять принципы организации морских экосистем, но и позволит повысить эффективность современного рыболовства.

Список литературы

- Берзин А.А. 1971. Кашалот. М.: изд-во «Пищевая промышленность». 366 с.
- Гальченко В.Ф. 2001. Метанотрофные бактерии. М.: ГЕОС. 500 с.
- Зуев Г.В., Несис К.Н. 1971. Кальмары (биология и промысел). М.: изд-во «Пищевая промышленность». 360 с.
- Патин С.А. 2001. Нефть и экология континентального шельфа. М.: изд-во ВНИРО. 247 с.
- Томилин А.Г. 1989. Отряд Китообразные (Cetacea). Жизнь животных. Т. 7. Млекопитающие. Под ред. В.Е. Соколова. 2-е изд. М.: Просвещение. 558 с.
- Arkhipkin A.I., Bizikov V.A. 2000. Role of the statolith in functioning of the acceleration receptor system in squids and sepioids. J. Zool., Lond. Vol. 250. P. 31–55.
- Evans K., Hindell M.A. 2004. The diet of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) in southern Australian waters. ICES Journal of Marine Studies (15 July 2004). Vol. 61. № 8. P. 1313–1329.
- Huggenberger S., Andre M., Oelschlager H.H.A. 2014. The nose of the sperm whale: overviews of functional design, structural homologies and evolution. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. P. 1–24. DOI: 10.1017/S0025315414001118.
- Zimmer W.M.X., Tyack P.L., Johnson M.P., Madsen P.T. 2005. Three-dimensional beam pattern of regular sperm whale clicks confirms bent-horn hypothesis. Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 117. P. 1473–1485.

ДИНАМИКА ВОЗРАСТНОГО СОСТАВА УЛОВОВ ГРЕБЕНЧАТОЙ КРЕВЕТКИ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТАТАРСКОГО ПРОЛИВА

А.И. Буяновский^{1*}, Д.Н. Юрьев²

¹ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия

²Хабаровский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ХабаровскНИРО»),
Хабаровск, Россия

*E-mail: buyanovskiy@vniro.ru

Ключевые слова: гребенчатая креветка, размерно-половой состав, возрастной состав, жизненный цикл.

Знание возрастного состава позволяет понять динамику популяции (единицы запаса) и прогнозировать её состояние. Особенно актуально это для запасов промысловых видов, к которым относится гребенчатая креветка *Pandalus hypsinotus* Brandt Татарского пролива. В предыдущем исследовании [здесь и далее: Буяновский, Юрьев, Жуковская, 2025] была представлена методология оценки возрастного состава уловов по данным массовых промеров и биологических анализов. Целью настоящего исследования стало ее применение к материалам траловых съемок, выполненных в западной части Татарского пролива к северу от м. Золотой (47°20' с.ш.).

Материал собран в период с 2010 по 2022 гг., в западной части Татарского пролива стандартным донным тралом (ДТ/ТВ 27,1/24,4) с горизонтальным раскрытием 16 м, оснащённым 10-метровой мелкоячеистой вставкой (10 мм от узла до узла). У креветок измеряли длину карапакса (ДК), определяли пол, наличие/отсутствие икры и ее состояние. Как и другие представители семейства Pandalidae, гребенчатая креветка является протандрическим гермафродитом.

Для оценки возрастного состава использовали оригинальный подход, основанный на выявлении размерно-возрастных групп с постоянными размерными границами и изменчивыми средними размерами. Здесь, так же как и ранее, под понятием «размерно-возрастная группа» мы подразумеваем группу особей определенных размеров, характеризующихся нормальным распределением частот размерных классов с модальной частотой, равной среднему размеру особи определённого возраста. Каждая группа обозначается средним (модальным) значением ДК: 35,5 мм, 41,9 мм и т.д.

Вначале была проанализирована динамика размерно-полового состава. Как и следовало ожидать, далеко не всегда на основе прогрессии модальных размеров удавалось проследить динамику поколений. Из-за сильного зашумления выборок не помог и традиционно применяемый в таких случаях метод ELEFAN-1 [Pauly, 1987]. Все это подтвердило правомерность выбора описанного ранее оригинального подхода для определения возрастного состава.

Согласно результатам предыдущего исследования, выделено 5 размерно-возрастных групп для самцов (ДК 17,2; 22,4; 27,4; 31,8; 35,3 мм), 2 – для интерсексов (34,2; 37,9 мм), 5 – для самок (35,6; 38,9; 42,1; 44,1; 47,3 мм). Для самцов и интерсексов каждая размерно-возрастная группа идентична соответствующему возрастному классу, начиная с возраста 2 года весной (февраль-июнь) и/или 2+ осенью (август-декабрь). У самок, вследствие длительного инкубационного периода и разного возраста смены пола, размерно-возрастная группа может содержать представителей нескольких возрастных классов, а каждый возрастной класс – представителей нескольких групп. Чтобы их разделить по длительности инкубационного периода, использовали данные по наличию/отсутствию наружной икры осенью, и ее состоянию весной, выделяя самок с

новой икрой и самок, у которых икра была или с «глазками» (готовыми к выклеву личинками), или – с остатками выклева личинок. К сожалению, для учета влияния возраста смены пола этого недостаточно. Поэтому в дополнение к разделению по состоянию половых продуктов, был выполнен ретроспективный анализ. В его основе лежит, основанное на отсутствии какой-либо информации о размерно-селективной смертности, допущение, что у взрослых креветок количественное соотношение возрастных классов по мере роста не меняется.

В основу метода ретроспективного анализа была положена схема жизненного цикла, отражающая динамику смены пола и роста [Буяновский, Юрьев, Жуковская, 2025]. Первым шагом стал выбор «отправных точек» – численности размерно-возрастных групп, каждая из которых содержит один возрастной класс, максимально близкий к последующим возрастным классам самок. Поскольку весной и осенью размерно-половой состав сформирован разными функциональными группами, то и «отправных точки» для этих сезонов будут различны. Для осени такой «отправной точкой» стало соотношение между интерсексами возраста 6+ и самками с гонадами возраста 7+. Далее, в соответствии с принятым допущением, считали, что, если, например, соотношение между указанными группами будет 4:1, то и среди их потомков, оно будет таким же.

Для весны в качестве «отправной точки» было выбрано соотношение между самцами возраста 6 лет (ДК 35,3 мм) и самками возраста 7 лет (ДК 35,6 мм), у которых икра с «глазками» или личинки выпущены (табл.2: стадия «Г»). При этом мы учитывали, что осенью интерсексами становятся не все самцы данного возраста: половую принадлежность сохраняет около 11% (по среднемноголетним данным) особей, и поэтому для последующих оценок делали соответствующую поправку.

После выполнения ретроспективных оценок для серии съёмок были вычислены среднемноголетние отношения. Они нужны для разделения самок по возрасту в те годы, когда фактическое соотношение в «отправных точках» вычислить невозможно. По результатам ретроспективного анализа была восстановлена численность всех возрастных классов, относящихся к одним и тем же размерно-возрастным группам, что позволило, в итоге, выполнить анализ динамики возрастного состава.

Весной 2010 г. (Рисунок 1) среди самок доминировало 2 поколения, родившихся в 2002-2003 гг. Основу поколения 2003 г. составляли особи с новой икрой, а поколения 2002 г. – со «старой» икрой, готовой к выпуску или уже выпущенной. Осенью 2011 г. эти же поколения оставались наиболее заметными. К 2012 г. поколение 2002 г. перестали регистрировать, а более мощное поколение 2003 г. окончательно исчезло только к 2015 г. Последующие поколения были менее заметными, и регистрировались в течение 2-4 лет. Характерной особенностью 2022 г. стало смещение наиболее заметного поколения в сторону младшего возраста – если до этого он был 7 лет и выше, то в данный год составил 6 лет. Скорее всего, это было связано со смещением смены пола в сторону более раннего возраста (5+).

Среди самцов наиболее заметным было поколение 2006 г. рождения. Будучи впервые зарегистрированным в 2010 г., оно сохраняло доминирование в 2011-2012 гг., а в 2013-2014 гг. было доминирующим среди самок. Следующее заметное поколение, родившееся в 2009 г., было зарегистрировано в 2012 г. Его путь наиболее отчетливо прослеживался в 2012-2014 гг., как по доле в возрастном составе, так и по прогрессии модальных размеров. Весной 2015 г. оно было выражено слабо, но уже в 2016 г. оно было доминирующим среди самок. Хуже прогрессия доминирования была выражена для поколения 2010 г. рождения, но и оно было среди преобладающих как у самцов, так и у самок в 2015-2016 и 2018 гг., соответственно. Последующие поколения регистрировали как доминирующие в течение одного года, что, скорее всего, связано с переходом на выполнение съёмок раз в 2 года.

Таким образом, преобладание высокоурожайных поколений на протяжении ряда лет не только среди самцов, но и среди сменяющих их самок, указывает, что

разработанная ранее методология оценки возрастного состава вполне приемлема для этой цели. Наибольшая продолжительность жизни поколения составляет 13 полных лет, наименьшая – 8 лет.

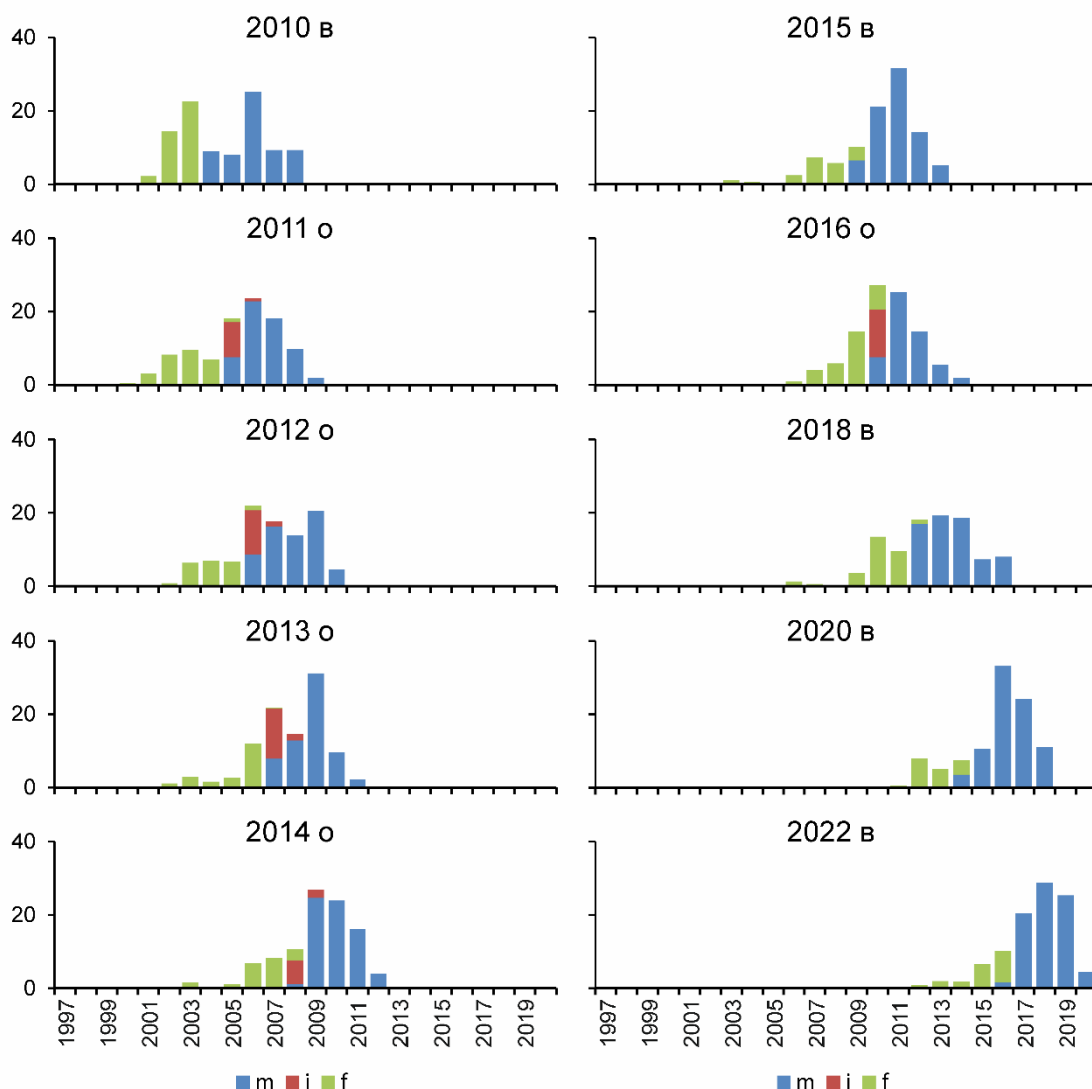


Рисунок 1. Динамика возрастного состава гребенчатой креветки в Татарском проливе в 2010-2022 гг. по данным весенних (в) и осенних (о) траловых съемок. m – самцы, i – интерсексы, f – самки. По оси абсцисс – год рождения поколения, по оси ординат – частота, %

Снижение промысловой нагрузки приводит к появлению высокоурожайных поколений, а ее последующее увеличение – к адаптивному смещению смены пола на более ранний возраст.

Список литературы

Буяновский А.И., Юрьев Д.Н., Жуковская Г.В. 2025. Исследования гребенчатой креветки в Татарском проливе. 1. Подходы к оценке возрастного состава уловов // Труды ВНИРО. Т. 200. С. 22-36.

Pauly D. 1987. A Review of the ELEFAN System for Analysis of Length-Frequency Data in Fish and Aquatic Invertebrates. In: Pauly D., Morgan G.R. (Eds.). Length-based methods in fisheries research. ICLARM Conference Proceedings 13. International Center for Living

Aquatic Resources Management, Manila, Philippines, and Kuwait Institute for Scientific Research, Safat, Kuwait. P. 7–34.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАССЫ ТЕЛА ОСЕТРА РУССКОГО *ACIPENSER GUELDENSTAEDTII* В АЗОВСКОМ МОРЕ В 1974 И 2024 ГОДАХ

А.Б. Васёв

ФГБУ «Главрыбвод», Москва, Россия

E-mail: anvasev@mail.ru

Ключевые слова: осетр русский, Азовское море, размерные группы, масса тела.

В последние годы численность осетровых видов рыб в Азовском море значительно возросла. После полного отсутствия осетровых рыб в уловах учётных траловых съёмок, осуществляемых по Научной программе Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), в 2012–2013 гг., русский осетр стал встречаться с 2014 г. постоянно с заметным увеличением от года к году [Вилкова, Васёв, 2024]. Также в возрастной структуре популяции осетра русского вновь появились особи возраста 10 лет и старше [Васёв и др., 2023]. В связи с этим появляется возможность проводить аналогии с данными прошлых лет и оценить современное состояние популяции.

Цель настоящей работы – выявить изменения в массе тела осетра русского в Азовском море спустя 50 лет на основании архивных данных 1974 г. и научного мониторинга ставных неводов 2024 г.

Материалом для данной работы послужили 84 особи осетра русского. Данные о размерно-массовом составе осетра в апреле 2024 г. были получены в ходе научного мониторинга промысла разрешенных к вылову водных биологических ресурсов ставными неводами на акватории Азовского моря, прилегающей к Приморско-Ахтарскому округу, в пределах Ясенского залива, и у северной части Ачуевской косы вдоль участка берега протяжённостью 180 км (Рисунок 1). Данные 1974 г. были взяты из архива Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»).

У каждой особи осетра измерялся вес и длина по методическому справочнику [Правдин, 1966]. Измерение промысловой (стандартной) длины производилось от конца рыла (рострума) до основания средних лучей хвостового плавника. Рассчитаны коэффициенты упитанности по Фультону (Q):

$$Q = (100 \times W)/L^3,$$

где W – масса рыбы (г), L – длина рыбы (см) [Козлов, Абрамович, 1972].

В рамках работы в 2024 г. особи осетров после осуществления промеров выпускались в естественную среду обитания в живом виде на месте лова.

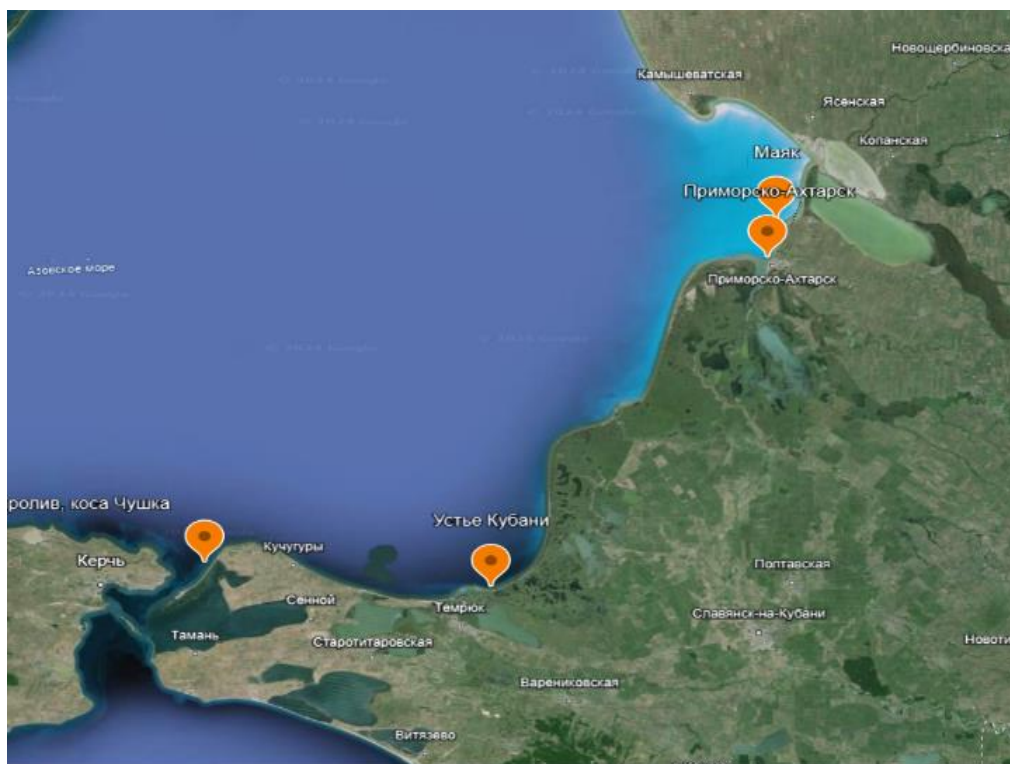


Рисунок 1. Обследованные участки прибрежной зоны Азовского моря в 2024 г.

В результате сравнительного анализа было выделено 3 размерные группы от 100 см до 130 см с интервалом в 10 см. В первой группе от 100 до 110 см и во второй от 111 до 120 см по средней массе на 2,2 кг преобладали особи осетра русского 1974 г. (Рисунок 2, а, б).

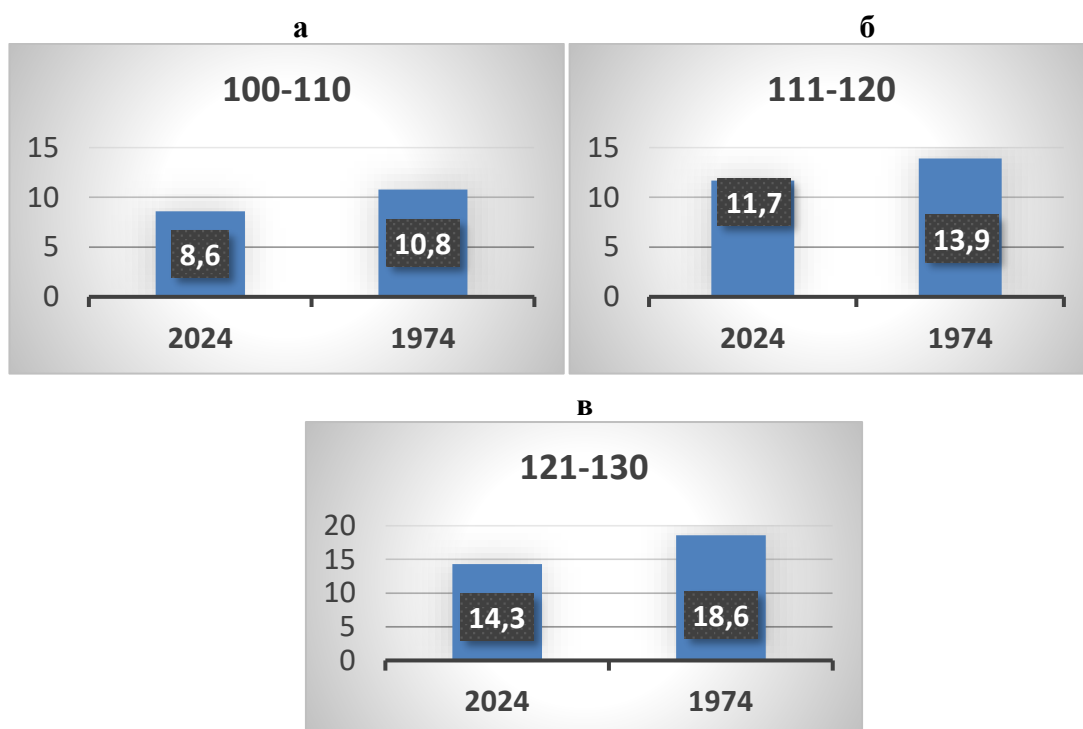


Рисунок 2. Размерные группы (а-в) осетра русского 2024 и 1974 гг.

В третьей группе от 121 до 130 см средняя масса осетра русского из уловов 1974 г. была больше на 4,3 кг, чем у особей 2024 г. (Рисунок 2, в).

Для всех размерных групп был рассчитан коэффициент Фультона (Таблица 1).

Таблица 1. Значения коэффициента Фультона для трех размерных групп осетра русского 2024 и 1974 года.

Размерная группа	2024	1974
100-110	0,80	0,87
111-120	0,75	0,92
121-130	0,75	0,92

Из Таблицы 1 можно сделать вывод, что по коэффициенту упитанности в первой размерной группе имеется небольшое различие, значение коэффициента на 0,07 ед. у осетров 1974 г. больше. Что касается других двух групп, то коэффициент Фультона у экземпляров 1974 г. в среднем на 0,17 ед. превышает таковой у особей 2024 г. При этом у обеих сравниваемых групп 2024 и 1974 года значение коэффициента Фультона в размерных группах 121-130 см идентично показателю размерной группы 111-120 см.

Во всех размерных группах средняя масса была выше у особей осетра русского 1974 г. Коэффициент упитанности во всех группах, тоже был выше у осетров 1974 г. Такое различие может говорить о более молодой популяции 2024 г., поскольку крупные экземпляры осетра русского стали отмечаться лишь несколько лет назад. Также это может указывать на более благоприятную кормовую базу прошлых лет и на изменения окружающей среды. Но нужно отметить, что, если сейчас появляется возможность провести сравнительный анализ крупных осетров с экземплярами полувековой давности, значит в настоящее время можно говорить о реальных предпосылках для увеличения запасов этого особо ценного вида рыб. Это связано с усилением охраны водных биоресурсов Азовского моря и увеличением количества молоди осетровых рыб, выпускаемой рыбоводными заводами.

Список литературы

Васёв А.Б., Лужняк В.А., Барина В.В., Вакуленко С.О., Беляев В.А., Мирзоян А.В. 2023. Результаты исследований азовских популяций осетровых рыб при осуществлении мониторинга промысла ставными орудиями лова у кубанского побережья. Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 6. № 4. С. 68–78.

Вилкова О.Ю., Васёв А.Б. 2024. Современное состояние осетровых рыб у восточного побережья Азовского моря. Труды ВНИРО. Т. 197. С. 25–35.

Козлов В.И., Абрамович Л.С. Краткий словарь рыбовода. М.: Россельхозиздат, 1982. 160 с.

Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищ. пром-сть. 376 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ НЕКОТОРЫХ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ БАССЕЙНА ПРИУСТЬЕВОЙ ЧАСТИ Р. ПРЕГОЛИ

Э.К. Верникович*, Е.А. Севостьянова, Н.А. Цупикова

ФГБОУ ВО «КГТУ», Калининград, Россия

**E-mail: verni.evelyn@gmail.com*

Ключевые слова: бассейн р. Преголи, малые водотоки, качество вод, руч. Парковый, эвтрофирование.

Реки Калининградской области выполняют множество экологических, экономических и социальных функций. Они служат транспортными артериями, источниками водоснабжения, местами нереста ценных видов рыб и популярными рекреационными объектами [Нагорнова, 2012]. Одной из крупнейших водных артерий области является р. Преголя. Она пересекает практически всю территорию региона в направлении с востока на запад. Гидрологический объект относится к водотокам высшей рыбохозяйственной категории и играет ключевую роль в воспроизводстве ценных видов ихтиофауны. Нижнее течение реки пересекает плотно застроенные и промышленные районы г. Калининграда, в которых русло реки и его бассейн были трансформированы в ходе развития городской среды. Антропогенная нагрузка в пределах населенных пунктов, включая трансформацию структуры водосборного бассейна, сброс сточных вод и ливневых стоков, в том числе в притоки р. Преголи, формирует существенный вклад в загрязнение водного объекта, особенно в его устьевой зоне. Даже при условии соблюдения установленных нормативов сброса сточных вод в водные объекты, в донных отложениях рек продолжают сохраняться высокие концентрации загрязняющих веществ, аккумулярование которых обусловлено длительным антропогенным воздействием [Государственный доклад ..., 2025]. В этой связи для полноты оценки экологического состояния водотоков как среды обитания водных биологических ресурсов представляется целесообразным проведение исследований для идентификации и оценки вклада дополнительных, в том числе латентных, источников загрязнения.

Цель работы – охарактеризовать качество вод малых притоков в приустьевой зоне р. Преголи.

Помимо относительно крупных водных объектов к водосборному бассейну реки относятся малые водотоки, впадающие в г. Калининграде – это р. Гурьевка, Товарная, руч. Восточный, Гагаринский, Литовский, Парковый, Лесной, Менделеевский, Воздушный и др. (Рисунок 1). Экологическое состояние данных водотоков является предметом внимания со стороны контролирующих органов и вызывает беспокойство местного населения.

В основу работы положены анализ литературных данных и собственные материалы, полученные в ходе натурных исследований ручья Паркового в 2025 г. Выполнено сопоставление данных проводимого мониторинга с материалами кафедры водных биоресурсов и аквакультуры КГТУ за 1991 г. Отбор и анализ проб проводился по утвержденным методикам [Характеристики загрязняющих веществ ..., 2016]. Полученные результаты использовались для комплексной экологической оценки качества поверхностных вод суши [Оксиюк, Жукинский, 1993].



Рисунок 1. Малые водотоки, впадающие в приустьевую часть реки Преголи на территории г. Калининграда

Большинство водотоков, расположенных в пределах густонаселенных и промышленно освоенных частей города, находятся в неудовлетворительном состоянии. Изучение реки Гурьевки [Бугранова, Буйняченко, Берникова и др., 2019] позволило выявить пространственную закономерность в распределении загрязняющих веществ. Концентрация биогенных элементов обычно превышала ПДК, в некоторых случаях - в десятки раз. Способность реки к самоочищению сохранялась, что нельзя отметить по результатам ранее проводимых исследований ручья Гагаринского до и после очистки его русла. Данные мониторинга показали многократные превышения содержания азотистых соединений, повышенное количество органических и минеральных веществ, вероятно, вносимых сточными водами, в результате чего мероприятия по очистке оказались не столь эффективными [Ландо, Цупикова, 2024]. Данные по наблюдениям за состоянием ручья Лесного [Алиева, Ахмедова, 2019] подтверждают выраженное загрязнение малых водотоков как биогенными веществами, так и бытовым мусором. Авторами отмечается интенсивное зарастание русла, затрудняющее течение воды.

Большинство описанных водотоков протекает на периферии города, где они пересекают промышленные зоны и районы с высокой плотностью застройки, что определяет специфику их антропогенной нагрузки. В отличие от них ручей Парковый – это водоток, протекающий через центр Калининграда. Несмотря на небольшую протяженность (4,4 км), его русло проходит в нескольких важных культурно значимых и рекреационных зонах города: Калининградский зоопарк, парки Центральный, Королевский, Каштановый. На ручье осуществляется любительское рыболовство, особенно у его истока (пруд Верхний). В уловах обнаружены плотва и уклейка. Качество вод ручья в верхнем течении изменчиво вследствие загрязнения пруда Верхнего впадающими водотоками. Тем не менее, ихтиоценоз пруда характеризуется значительно более высоким уровнем биоразнообразия, включая, помимо упомянутых видов, еще окуня, леща, карася, щуку, судака, линя и красноперку. По состоянию на июнь 1991 г. качество воды ручья Паркового как у истока, так и у устья было неудовлетворительным. Согласно комплексной экологической классификации воды у истока «умеренно загрязненные». Недалеко от места впадения в р. Преголю качество вод ручья снижалось до «предельно грязных». В июне 2025 г. ситуация несколько стабилизировалась: на всем протяжении воды ручья характеризовались как «умеренно загрязненные».

Отмечена общая тенденция к выравниванию пространственных различий в содержании как минеральных, так и органических веществ и растворенных газов. Концентрация растворенного кислорода, ранее снижавшаяся в нижнем течении руч. Паркового вплоть до 0,11 мг/дм³, в 2025 г. на момент наблюдений нигде не опускалась ниже нормативных значений. Величина перманганатной окисляемости снизилась в замыкающем створе от очень высокой (24,08 мгО/дм³) в 1991 г. до повышенной (13,95 мгО/дм³) в 2025 г. Наблюдался рост значений общей минерализации (721,6-767,9 мг/дм³ в настоящее время), сопровождавшийся нивелированием пространственных контрастов: ранее величина минерализации варьировала от 498,2 мг/дм³ в верхнем течении до 637,5 мг/дм³ – в нижнем.

В предыдущие годы в приустьевой части ручья Паркового фиксировался сброс сточных вод из канализационного коллектора. На данный момент сбросы не выявлены, но систематически практически повсеместно вдоль водотока отмечается устойчивый запах сероводорода, который может быть характерен для фекальных загрязнений. О возможном загрязнении водотока недостаточно очищенными стоками свидетельствует и устойчивое превышение ПДК азотистой группы. Выявлен рост концентраций минеральных форм азота по сравнению с 1991 г. Эти соединения при повышении температуры воды могут оказывать токсический эффект на гидробионтов и, как следствие, упрощать структуру их сообщества.

Прочие малые водотоки Калининграда, являясь важными элементами гидрографической сети, также подвержены значительному антропогенному воздействию. Несмотря на проводимые мероприятия по расчистке русел, большинство из них остаются сильно загрязненными и служат приемниками несанкционированных сбросов сточных вод промышленных предприятий и городской инфраструктуры. Сезонный дефицит кислорода в сочетании с хроническим загрязнением часто делают городские водотоки непригодными для существования большинства видов рыб, кроме эврибионтных. В настоящий момент администрацией города ведутся работы по снижению антропогенного воздействия на экологическое состояние многих водотоков, в том числе рассмотренных выше.

Список литературы

- Алиева А.Х., Ахмедова Н.Р. 2019. Результаты мониторинга ручья Лесного на территории города Калининграда. Вестник молодежной науки. № 1(18). С. 1–6.
- Бугранова О.С., Буйняченко П.П., Берникова Т.А., Уманский С.А. 2019. Оценка экологического состояния реки Гурьевки на основе гидрохимических данных и показателей фитопланктона. Известия КГТУ. № 55: С. 59–73.
- Государственный доклад «Об экологической обстановке в Калининградской области в 2024 году». 2025. Министерство природных ресурсов и экологии Калининградской области. 2025. 200 с.
- Ландо Е.Е., Цупикова Н.А. 2024. Оценка экологического состояния системы пруд Ялтинский – ручей Гагаринский в 2021-2022 гг. по гидрохимическим показателям. Вестник молодежной науки. № 2(44). С. 1–8. DOI: 10.46845/2541-8254-2024-2(44)-13-13.
- Нагорнова Н.Н. 2012. Геоэкологическая оценка состояния малых водотоков Калининградской области. Автореф. дис. канд. геогр. наук. Калининград: КГТУ, 11 с.
- Оксиук О.П., Жукинский В.Н. 1993. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши. Гидробиологический журнал Т. 29. № 4. С. 62–76.
- Характеристики загрязняющих веществ из раздела «II. Для водных объектов» Перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды, утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 08.07.2015 г. № 1316-р. 2016. Справочник ФГБУ УралНИИ «Экология». 296 с.

О МНОГОВИДОВЫХ КОГОРТНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКОГО ПОДХОДА

М.Б. Габбасов^{1*}, К.Б. Исбеков², Л.Б. Мейрамбекова¹, К.А. Смбаев¹, К.М. Шапен¹

¹ТОО «Компания системных исследований «Фактор», Астана, Казахстан

²ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», Алматы, Казахстан

*E-mail: mars0@mail.ru

Ключевые слова: оценка рыбных запасов, многовидовая математическая модель, балансовое уравнение, байесовский вывод, априорное распределение, апостериорное распределение, параметры модели.

Наиболее развитыми являются математические модели одновидовых популяций. Многовидовые популяции более сложны для моделирования и методы решения таких моделей обычно представляют более сложную математическую задачу как с точки зрения существования решения, так и с точки зрения сходимости и устойчивости. Использование байесовской статистики позволяют строить и рассматривать такие модели даже на небольших исходных статистических данных.

Рассмотрим водоем, в котором обитают n видов рыб, и через i обозначим номер вида рыбы, например, $i=1$ – карась, $i=2$ – окунь, $i=3$ – сазан и т.д. Обозначим через j – возраст рыбы, через m_{1i} – максимальный возраст i -го вида рыбы, а через m_{0i} – возраст полового созревания i -го вида рыбы. Тогда для i -го вида рыбы j меняется от единицы до m_{1i} . Рыбы, возраст которых меньше единицы назовем мальками, рыбы, возраст которых больше единицы, но меньше m_{0i} , называются молодью, а рыбы, возраст которых больше m_{0i} , являются взрослыми рыбами. Построена многовидовая когортная математическая модель без взаимного влияния видов (то есть в предположении, что все виды рыб «мирные») в виде системы уравнений

$$X_{i1}(t+1) = (1 - s_{i1}(t+1))\Delta_i(t+1) \sum_{j=m_{0i}+1}^{m_{1i}} \alpha_{ij}(t) \varepsilon_{ij}(t+1) X_{ij}(t), \quad (1)$$

$$X_{ij}(t+1) = (1 - s_{ij}(t+1)) X_{i,j-1}(t) - \beta_{ij}(t+1) A_{ij}(t+1), j = 2, 3, \dots, m_{1i}, \quad (2)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$, а параметр t , имеющий смысл времени, меняется дискретно и принимает значения с шагом один год.

В уравнениях (1), (2) приняты следующие обозначения:

$X_{ij}(t)$ – количество рыб i -го вида j -го возраста в момент времени;

$A_{ij}(t)$ – количество рыб i -го вида j -го возраста, выделенных по квоте¹ для ловли промысловым способом в t -ом году.

$s_{ij}(t+1)$ – годовой коэффициент смертности рыб j -го возраста i -го вида в $t+1$ -ом году;

$\alpha_{ij}(t)$ – доля самок j -го возраста в популяции i -го вида рыбы;

$\varepsilon_{ij}(t+1)$ – доля самок j -го возраста из всех выживших самок, идущих на нерест в $t+1$ -ом году²;

¹ Обычно квота выделяется в тоннах для каждого возраста, в этом случае мы переведем тонну в штуки исходя из среднего веса рыбы j -го возраста.

$\Delta_i(t+1)$ – среднее количество икринок в одной самке в $t+1$ -ом году для i -го вида рыбы;

$\beta_{ij}(t)$ – положительный коэффициент, отражающий влияние браконьерского улова на улов рыб i -го вида j -го возраста.

Количество уравнений в системе равно $\sum_{i=1}^n m_{1i}$.

Среди n видов рыб, обитающих в водоеме, могут быть хищные виды и нехищные виды рыб. В этом случае хищные рыбы могут питаться мальками, молодь и даже взрослыми особями нехищных видов рыб, то есть численность одного вида может зависеть от численности другого вида. Иначе говоря, появляется зависимость между видами. Математически отсутствие взаимного влияния численности одного вида на численность другого вида видно из того факта, что если мы зафиксируем некоторое значение $i = i_0$ и напомним уравнения (1), (2), например, для i_0 -го вида, то в этих уравнениях отсутствуют неизвестные переменные $X_{ij}(t), i \neq i_0$. То есть система уравнений (1), (2) распадается на независимые уравнения для каждого значения i .

Внесем влияние этого фактора в модель. Для этого предположим, что $n = n_1 + n_2$, где n_1 – количество нехищных видов рыб, а n_2 – количество хищных видов рыб. Соответственно $X_{ij}(t)$ при $i = 1, 2, \dots, n_1$ означает количество нехищного i -го вида рыб j -го возраста в t -ом году, а при $i = n_1 + 1, n_1 + 2, \dots, n_1 + n_2$ означает количество хищного i -го вида рыб j -го возраста в t -ом году. Смертность мирных и хищных рыб от хищников будем моделировать функцией $\exp\left(-\frac{\gamma}{N(\text{хищник})}\right) X_{ij}(t)$, где $N(\text{хищник})$ – количество всех хищников, γ – коэффициент смертности от хищников. Такой выбор обоснован тем, что ежегодно хищники съедают определенное количество нехищных рыб, при этом если количество хищников равно нулю, то количество съедаемых им рыб тоже равно нулю, если же количество хищников слишком велико, то есть приближается к бесконечности, то количество съедаемых им рыб равно количеству нехищных видов рыб. Тогда построенная математическая модель с взаимным влиянием видов имеет следующий вид

$$X_{i1}(t+1) = \frac{(1-s_{i1}(t+1))\Delta_i(t+1)}{1+\exp\left(-\sum_{k=n_1+1}^{n_1+n_2} \frac{\gamma_{i1k}}{\sum_{l=m_{0k}+1}^{m_{1k}} X_{kl}(t)}\right)} \sum_{j=m_{0i}+1}^{m_{1i}} \alpha_{ij}(t) \varepsilon_{ij}(t+1) X_{ij}(t), \quad (3)$$

$$X_{ij}(t+1) = \frac{1-s_{ij}(t+1)}{1+\chi(m_{2i}-j) \cdot \exp\left(-\sum_{k=n_1+1}^{n_1+n_2} \frac{\gamma_{ijk}}{\sum_{l=m_{0k}+1}^{m_{1k}} X_{kl}(t)}\right)} X_{i,j-1}(t) - \frac{\beta_{ij}(t+1)}{1+\chi(m_{2i}-j) \cdot \exp\left(-\sum_{k=n_1+1}^{n_1+n_2} \frac{\gamma_{ijk}}{\sum_{l=m_{0k}+1}^{m_{1k}} X_{kl}(t)}\right)} A_{ij}(t+1), j = 2, 3, \dots, m_{1i}, \quad (4)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$, γ_{ijk} – величина, пропорциональная вероятности гибели особи i -го вида j -го возраста от хищника k -го вида;

m_{2i} – максимальный возраст рыбы i -го вида, до которого они являются кормом для хищных рыб;

$\chi(s)$ – функция Хевисайда.

Параметрами модели являются:

α_{ij} – доля самок среди всех половозрелых экземпляров j -го возраста i -го вида рыбы;

² Некоторые виды рыб нерестятся каждый год, а некоторые раз в два года и т.д., кроме того, рыбы половой зрелости достигают в течение нескольких лет.

ε_{ij} – доля самок среди всех самок i -го вида рыбы, идущих на нерест;
 Δ_i – количество икринок в одной самке i -го вида рыбы;
 $s_{ij}(t)$ – коэффициент смертности рыбы i -го вида j -го возраста в t -ом году;
 $\beta_{ij}(t)$ – коэффициент влияния браконьерского вылова и других факторов, приведших к отклонению реального объема вылова от объема установленного предельно допустимого улова;

γ_{ijk} – коэффициент смертности от хищных рыб k -го вида нехищных и хищных рыб i -го вида j -го возраста.

Очевидно, система (1), (2) является частным случаем системы (3), (4), когда количество хищных видов рыб равно нулю.

На динамику численности популяции влияют не только биологические и антропогенные факторы, но и внешние факторы окружающей среды, такие как температура воды, доступность кормовой базы, уровень воды, уровень загрязнения воды и концентрация кислорода.

Для решения построенных моделей будем применять байесовский подход, при котором неизвестными являются не только численность рыб $X_{ij}(t)$, но и некоторые или все параметры модели. В качестве исходных данных для решения модели должны быть заданы значения численности в различные моменты времени, а также значения параметров, которые являются неизвестными. Все неизвестные параметры модели считаются случайными величинами, распределенными по некоторым законам распределения. И для них мы должны задать априорные распределения, которые с учетом исходных данных будут уточняться и вычисляются апостериорные распределения.

Параметр $\alpha_{ij}(t)$ означает долю самок j -го возраста в i -ой популяции. В исходных данных мы имеем данные о значении этого параметра. Обычно его значение колеблется вокруг 0,5 с незначительным отклонением от него. В качестве априорного распределения для него возьмем нормальное распределение с математическим ожиданием, равным 0,5 и некоторым среднеквадратическим отклонением меньше 0.1.

Параметр $\varepsilon_{ij}(t)$ обозначает долю самок j -го возраста идущих на нерест в t -ом году. Дело в том, что рыбы достигают половой зрелости не сразу, а в течение нескольких лет. Например, процесс полового созревания леща начинается в три года и завершается к шести годам, процесс полового созревания судака идет от трех до пяти лет. Приближенно можно считать, что $\varepsilon_{ij} = 0$, если $j \leq m_{0i}$ и $\varepsilon_{ij} = 1$, если $j > m_{3i}$ для i -го вида рыбы, а если $j \in [m_{0i}, m_{3i}]$, то положить $\varepsilon_{ij} = \frac{j-m_{0i}}{m_{3i}-m_{0i}}$. В интервале $[m_{0i}, m_{3i}]$ ε_{ij} может быть как случайной величиной (с нормальным законом распределения для каждого j), так и детерминированной величиной.

Параметр $\Delta_i(t)$ обозначает количество икринок в одной самке i -го вида, идущей на нерест. Исходные данные по параметру имеются. Значение этого параметра для каждого вида рыбы колеблется вокруг определенной величины и поэтому в качестве априорного распределения возьмем нормальное распределение с математическим ожиданием, равным среднему значению икринок и среднеквадратическим отклонением, равным одной десятой части математического ожидания.

Параметр $s_{ij}(t)$ обозначает смертность i -го вида рыбы j -го возраста по естественным причинам, таким как старость, болезни, нехватка кормов и другие. Исходные данные по данному параметру отсутствуют. Значение этого параметра сильно зависит от возраста рыбы: чем моложе рыба, тем выше смертность. Смертность мальков достигает 80–90%, с увеличением возраста смертность по естественным причинам падает и снова увеличивается к концу жизни. Поэтому в качестве априорного распределения для этого параметра удобно взять бета распределение с подходящими параметрами, разными для разных возрастов и для разных видов рыб.

Параметр $\gamma_{ijk}(t)$ обозначает вероятность смерти от хищника (k -ый вид рыб) нехищных или хищных видов рыб (i -ый вид рыб) j -го возраста. Исходные данные по данному параметру отсутствуют. Значение этого параметра сильно зависит от возраста рыб: чем моложе рыба, тем выше значение параметра. В первом приближении в качестве априорного распределения можно взять бета распределение с нужными параметрами, зависящими от возраста и вида рыбы.

Параметр $\beta_{ij}(t)$ – самый сложный параметр для моделирования. Он отражает отклонение реального вылова рыб от установленной квоты $A_{ij}(t)$, вследствие влияния различных экономических и социальных факторов, главными из которых являются браконьерское и любительское рыболовство. В частности, на значение этого коэффициента влияет качество установленной квоты на вылов. Значение этого параметра может меняться от нуля до примерно десяти (по оценкам экспертов). Значение параметра может быть равно нулю, если в водоеме нет рыбы, а квота для вылова выделена (такие случаи на практике встречаются), в целом, значение параметра меньше единицы, если выделена завышенная квота на вылов. Значение параметра больше единицы, если выделенная квота является заниженной и фактически лов превышает установленную квоту. Если значение параметра превышает нескольких единиц, например, достигает значения 9 и 10, это, скорее всего, влияние браконьерского вылова рыб. Подходящим априорным распределением для этого параметра является гамма распределение или распределение Вейбулла.

Авторы выражают благодарность за финансовую поддержку Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан (номер гранта: BR23591095).

О КАЧЕСТВЕ И БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ РЫБ Р. ДОН В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД

Л.И. Горгола*, И.В. Кораблина, А.А. Петренко

*Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»),
Ростов-на-Дону, Россия*

**E-mail: gorgolalg@azniir.kh.vniro.ru*

Ключевые слова: р. Дон, рыба, токсичные элементы, пестициды, ПХБ, удельная активность радионуклидов.

В задачу настоящего исследования вошла оценка содержания токсикантов в промысловых видах рыб, выловленных в р. Дон в 2024 г. — весной 2025 г. Были исследованы мышцы черноморско-азовской проходной сельди, судака, окуня, леща, рыбца и жереха. Отбор проб водных биологических ресурсов проводился в соответствии с требованиями ГОСТ 31339-2006 [ГОСТ 31339-2006 ..., электронный ресурс]. В выборку попали самки и самцы, обладающие близкими внутривидовыми морфометрическими показателями и стадией зрелости гонад. Всего было отобрано и обработано ~ 60 проб водных биоресурсов. Приведенные данные соответствуют анализу усредненной пробы каждого вида рыбы ($n=10$). Достоверность различий между выборками для определения статистической значимости различий средних величин оценивали по t -критерию Стьюдента: при вероятности (p) ниже уровня значимости ($p < 0,05$) принимали, что выборки относятся к двум разным совокупностям. Превышения полученных значений относительно норматива оценивали с использованием бинарного утверждения с учетом методической погрешности/неопределенности. Результаты исследований подвергали статистической обработке с помощью программы Excel, в ней же построен рисунок.

При контроле уровней накопления приоритетных токсикантов в мышцах рыб использовались методики, принятые и утвержденные на Федеральном уровне для природоохранных исследований. Для определения пестицидов и ПХБ в мышцах рыб использовался метод газовой хроматографии с электронзахватным детектором (НДИ 05.05-2013; НДИ 05.33-2020); токсичных элементов – метод атомной абсорбции в двух модификациях: с электротермической атомизацией и «холодного пара» (НДИ 05.14-2007; НДИ 05.35-2021; НДИ 05.26-2014). Удельная активность радионуклидов определялась на установке спектрометрической МКС-01А «МУЛЬТИРАД» на гамма-спектрометре сцинтилляционном «МУЛЬТИРАД-гамма» [Методика измерения ..., 2003]. Безопасность уровней накопления токсикантов и удельную активность цезия-137 и стронция-90 в мышцах рыб оценивали по ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

В 2024 г. обследовано 6 видов промысловых рыб, отловленных в летний и осенний периоды в акватории Нижнего Дона (Таблица 1), в весенний период 2025 г. – 3 вида (Таблица 2). ПХБ, α -, β - и γ -изомеры ГХЦГ в мышцах всех обследованных рыб в значимых концентрациях не найдены. Из метаболитов ДДТ только в мышцах судака обнаружено п-ДДЕ в следовой концентрации (2024 г.). Удельная активность стронция-90 в мышцах обследованных рыб не отмечалась, цезия-137 – зафиксирована на низком уровне только в мышцах черноморско-азовской проходной сельди (2024 г.).

Таблица 1. Концентрации токсикантов в мышцах промысловых видов рыб, выловленных в р. Дон в 2024 г., мг/кг (на сырую массу)

Показатель	Черноморско-азовская проходная сельдь, п=10, ♂+♀, длина 19-27 см, масса 0,047-0,209 кг	Рыбец, п=10, ♂+♀, длина 10-17 см, масса 0,247-0,309 кг	Окунь, п=10, ♂+♀, длина 14-27 см, масса 0,038-0,254 кг	Судак, п=10, ♂+♀, длина 42-51 см, масса 0,61-1,127 кг	Жерех, п=10, ♂+♀, длина 36-49 см, масса 0,542-1,33 кг	Лещ, п=10, ♂+♀, длина 37-49 см, масса 0,837-0,886 кг	Допустимый уровень, не более
ПХБ	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	2,0
пестициды							
ГХЦГ (α-, β-, γ-изомеры)	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,2
ДДТ и его метаболиты	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0006±0,0001	<0,0002	<0,0002	0,2
токсичные элементы							
Кадмий	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,011±0,004	0,2
Ртуть	0,046±0,012**	0,020±0,005	0,024±0,006	0,023±0,006	0,021±0,005	0,025±0,007	0,5
Свинец	0,12±0,03	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05±0,03	1,0
Мышьяк	0,49±0,14	<0,05	<0,05	0,06±0,02	<0,05	<0,05	1,0
удельная активность радионуклидов							
Цезий-137	<3,04	-*	<2,42	<4,47	<2,69	2,80±2,39	130
Стронций-90	21,70±14,10		<18,00	<18,00	<16,60	<17,70	100
Примечание: * - нет данных; ** - методическая погрешность/неопределенность измерений							

Таблица 2. Концентрации токсикантов в мышцах промысловых видов рыб, выловленных в р. Дон в весенний период 2025 г., мг/кг (на сырую массу)

Показатель	Черноморско-азовская проходная сельдь, п=10, ♂+♀, длина 17-22 см, масса 0,048-0,130 кг	Рыбец, п=10, ♂+♀, длина 24-26 см, масса 0,200-0,253 кг	Жерех, п=10, ♂+♀, длина 28-37 см, масса 0,285-0,573 кг	Допустимый уровень, не более
ПХБ	<0,007	<0,007	<0,007	2,0
<i>пестициды</i>				
ГХЦГ (α-, β-, γ-изомеры)	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,2
ДДТ и его метаболиты	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,2
<i>токсичные элементы</i>				
Кадмий	<0,005	0,006±0,002	<0,005	0,2
Ртуть	0,025±0,006*	0,009±0,002	0,039±0,010	0,5
Свинец	0,14±0,04	0,12±0,03	0,28±0,07	1,0
Мышьяк	0,92±0,25	0,06±0,02	<0,05	1,0
<i>удельная активность радионуклидов</i>				
Цезий-137	<3,62	<2,32	<32,09	130

Показатель	Черноморско-азовская проходная сельдь, п=10, ♂+♀, длина 17-22 см, масса 0,048-0,130 кг	Рыбец, п=10, ♂+♀, длина 24-26 см, масса 0,200-0,253 кг	Жерех, п=10, ♂+♀, длина 28-37 см, масса 0,285-0,573 кг	Допустимый уровень, не более
ПХБ	<0,007	<0,007	<0,007	2,0
<i>пестициды</i>				
Стронций-90	<20,30	<40,70	<18,50	100
Примечание: * методическая погрешность/неопределенность измерений				

В 2024 г. из токсичных элементов в мышцах *судака* обнаружена только ртуть в низкой концентрации; свинец, кадмий и мышьяк – не найдены. В 2020–2022 гг. судак не обследовался. По отношению к 2023 г. отмечено увеличение содержания ртути в 2,7 раз. Уровни накопления кадмия, свинца и мышьяка сохранились на прежнем низком уровне.

В 2024 г. из токсичных элементов в мышцах *окуня* обнаружена только ртуть в низкой концентрации; свинец, кадмий и мышьяк – не найдены. Оценка уровней накопления нормируемых токсикантов в окуне проводилась в 2022 г. и 2023 г., где содержание ртути [Горгола и др., 2023]. За рассматриваемый период обнаружено снижение содержания ртути и кадмия в 1,8 и 1,4 раза, соответственно. Уровни накопления свинца и мышьяка сохраняются, в целом, постоянными.

В 2024 г. из нормируемых токсичных элементов в мышцах *леща* обнаружены ртуть, свинец и кадмий в концентрациях, ниже допустимых. Оценка уровней накопления нормируемых токсикантов в леще проводилась в 2020 г. [Горгола, Кораблина, Барабашин, 2022] и 2023 г. [Горгола и др., 2023]. По сравнению с предыдущими периодами наблюдений к 2024 г. в мышцах леща возросло содержание ртути (в 5 раз), кадмия – значительно не изменилось, свинца и мышьяка – осталось на прежнем уровне (Рисунок 1).

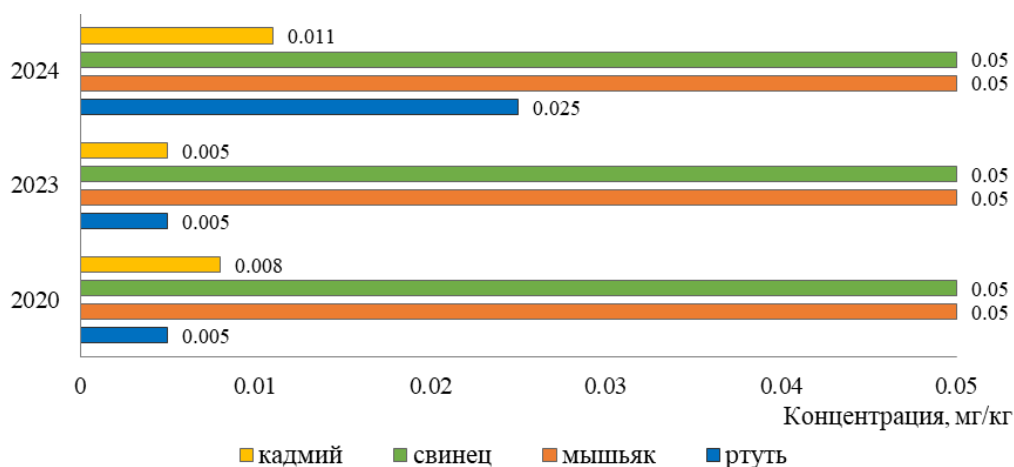


Рисунок 1. Динамика накопления токсичных элементов в мышцах леща, выловленного в акватории Нижнего Дона

В 2024 г. - весной 2025 г. из токсичных элементов в мышцах *жереха* зафиксированы ртуть и свинец (2025 г.) в концентрациях, значительно ниже допустимых; кадмий и мышьяк – не найдены. В тот же период в мышцах *рыбца* найдены ртуть и весной 2025 г. – кадмий, свинец и мышьяк. Концентрации всех элементов значительно ниже допустимых. Сравнение уровня накопления ртути от 2024 г. к весне 2025 г. показало для жереха почти 2-х кратное увеличение, а для рыбца – напротив, снижение в 2,2 раза. В мышцах *черноморско-азовской проходной сельди* в 2024 г. – весной 2025 г. обнаружены ртуть, свинец и мышьяк в концентрациях, ниже допустимого уровня. При сравнении уровней накопления к весне 2025 г. отмечено увеличение содержания свинца и мышьяка в 1,2 и 1,9 раза и снижение концентрации ртути в 1,8 раза.

Таким образом, обнаруженные остаточные концентрации пестицидов и токсичных элементов (свинец, кадмий, ртуть, мышьяк) свидетельствует о высоком физиологическом статусе и пищевых качествах рыбы. Черноморско-азовская проходная сельдь, судак, окунь, лещ, рыбец, жерех пригодны в пищу по показателям загрязнения и радиационной безопасности в соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011 [Технический регламент ..., электронный ресурс].

Список литературы

Горгола Л.Г., Кораблина И.В., Барабашин Т.О. 2022. Сравнительная оценка накопления кадмия и ртути в рыбах Весёловского водохранилища и нижнего течения реки Дон. Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса: материалы X международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. М.: изд-во ВНИРО, С. 268–271.

Горгола Л.Г., Барабашин Т.О., Кораблина И.В. и др. 2023. Оценка накопления тяжелых металлов (Hg, Cd, Pb) в органах и тканях рыб нижнего течения р. Дон в летний период 2023 года. Актуальные вопросы водных и прибрежных экосистем: Сборник материалов всероссийской конференции, посвященной 90-летию со дня рождения д.б.н., проф. О.Г. Миронова. Севастополь: ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», С. 88–90.

ГОСТ 31339-2006. Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приемки и методы отбора проб (с Изменениями №1, 2) – [Электронный ресурс]. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/e96/4293841882.pdf> (дата обращения 20.06.2025).

Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением Менделеево: ГНМЦ «ВНИИФТРИ», 2003. 32 с.

Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (с изменениями на 22 апреля 2024 г.) Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. N 880 – [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902320560> (дата обращения 20.06.2025).

ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОСТА ЕВРОПЕЙСКОГО АНЧОУСА (*ENGRAULIS ENCRASICOLUS*, L., 1758), ЗИМУЮЩЕГО В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ АБХАЗИИ, ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Р.С. Дбар^{1,2}, П.Д. Гамахария^{1*}

¹ГНУ «Институт экологии АН Абхазии», Сухум, Абхазия

²Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»),
Ростов-на-Дону, Россия

*E-mail: pgamakhariya@mail.ru

Ключевые слова: черноморский анчоус, азовский анчоус, вес-длина, модель роста, уравнение Берталанфи.

В XXI веке экосистема Чёрного моря претерпела структурные изменения, вызванные различными факторами, наиболее важными из которых являются изменение климата и промысловый пресс, оказываемый рыбодобывающими компаниями. Под воздействием этих факторов происходит изменение параметров роста, размерно-весовой, возрастной структуры и численности рыб [Зуев и др., 2019; Шульман и др., 2007; Панов и др., 2020].

Актуальность темы определяется тем, что изучение изменения размерно-весовых и возрастных характеристик популяций пелагических видов рыб с учетом влияния климатических факторов позволит корректировать и составлять краткосрочные и долгосрочные прогнозы состояния промысловых популяций. Целью работы является определение изменения параметров роста азово-черноморского анчоуса, зимующего в прибрежных водах Абхазии и их связи с изменениями температуры поверхности моря (ТПМ) в 2011-2025 гг.

Материалом для исследований послужили данные из уловов европейского анчоуса *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) промысловых судов, добывающих его в прибрежных водах Абхазии, собранные в период зимовок с декабря по март в общем количестве 39800 особей, а также промысловые журналы, предоставленные Государственным комитетом РА по экологии и природопользованию. В связи с неопределенностью таксономического статуса черноморского и азовского анчоуса, нами было принято решение называть зимующего в прибрежных водах Абхазии анчоуса азово-черноморским.

Во всех расчетах использовали стандартную длину (SL) тела рыб (от кончика рыла до конца позвоночника), погрешность измерений до 0,1 см. При изучении размерной структуры результаты измерений группировались по размерным классам с интервалом длины 0,5 см. для оценки возрастной структуры улова использовали размерно-возрастной ключ [Мельникова, 2021; 2023]. Среднюю длину и средний популяционный возраст определяли, как среднее взвешенное значение размерных (возрастных групп).

Возраст определяли по отолитам согласно стандартным методикам. При описании линейного и весового роста применяли уравнения Берталанфи:

$$L = L_{\infty} (1 - \exp(-k(t-t_0))),$$

$$W = W_{\infty} (1 - \exp(-k(t-t_0)))^b,$$

где L_{∞} – асимптотическая длина, W_{∞} – асимптотическая масса, k – константа скорости роста, t_0 – возраст рыбы, когда ее длина и масса в рассматриваемой модели равна 0, b – показатель степени в зависимости «масса-длина» ($W=aSL^b$).

Размерно-весовые соотношения находили по формуле

$$W=aSL^b,$$

где W – общая масса тела (в граммах), SL – стандартная длина тела рыбы (в сантиметрах), a – коэффициент, связанный с формой тела, b – показатель аллометрического роста.

Информация по температуре поверхности воды в районе исследований получена из спутниковых данных [Федеральное государственное бюджетное учреждение ..., электронный ресурс].

В целом, можно говорить о том, что за последние 20 лет наблюдается общая тенденция к повышению среднегодовых значений температуры поверхности моря [Мельникова, 2023].

В исследуемый период азово-черноморский анчоус был представлен особями черноморского анчоуса длиной 6,4-14,5 см, азовского анчоуса – 5,6-12,1 см. Основу черноморского анчоуса составляли особи длиной тела от 8,0 до 10,5 см (63,6%), азовского анчоуса – 7,0-9,0 см (68,5%). Средняя длина тела черноморского анчоуса в исследуемый период составляла $9,6 \pm 0,23$ см, средняя масса $10,1 \pm 0,35$ г, средний возраст $1,98 \pm 0,11$ года, средняя длина азовского – $8,1 \pm 0,17$ см, средняя масса – $8,6 \pm 0,22$ г, средний возраст – $1,85 \pm 0,09$ года. В последние годы наблюдается увеличение средней длины черноморского анчоуса. Средняя длина черноморского анчоуса за период исследований увеличилась в 1,08 раз (t -критерий, $t = 12,72$, $p > 95\%$), азовского – в 1,03 раза (t -критерий, $t = 11,93$, $p > 95\%$). Средняя масса черноморского анчоуса увеличилась в 1,16 раз (t -критерий, $t = 8,7$, $p > 95\%$), азовского анчоуса в 1,07 раз (t -критерий, $t = 8,4$, $p > 95\%$).

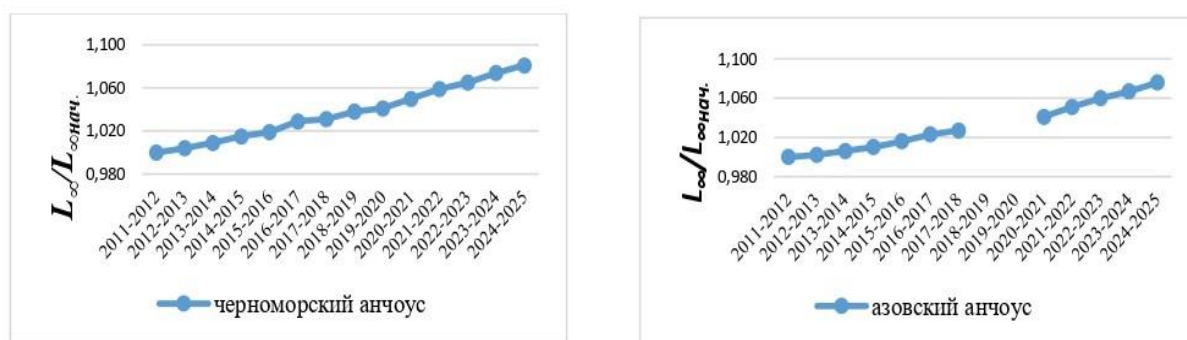


Рисунок 1. Изменение асимптотической длины черноморского и азовского анчоуса

Получены уравнения роста Берталанфи для каждого года исследований. На Рисунке 1 изображен тренд изменения асимптотической длины анчоуса, нормированной на значение L_{∞} в 2011-2012 промысловый сезон. Повышение ТПМ в исследуемый период привело к увеличению асимптотической длины как черноморского, так и азовского анчоуса.

Анализ характера изменений параметров роста анчоуса в исследуемый период показал, что в целом повышение температуры оказало положительное влияние на рост анчоуса, предположительно в связи с увеличением кормовой базы анчоуса и продлением периода нагула.

Обработка данных осуществлялась методами регрессионного анализа с использованием пакетов прикладных программ для каждой j -ой возрастной группы, присутствующей в улове, находя коэффициенты a_{ij} и b_{ij} . Затем найденные коэффициенты

a_{ij} и b_{ij} для каждой возрастной группы усредняли ежемесячно с середины декабря по конец марта в соответствии с выражениями:

$$a_j = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{n} \quad b_j = \frac{\sum_{i=1}^n b_{ij}}{n},$$

где a_j и b_j – среднегодовые значения коэффициентов a и b для j -ой возрастной группы, a_{ij} и b_{ij} – значения коэффициентов a и b для j -ого возраста i -ой пробы исследуемого месяца, n – количество проб (особей) в данном году.

По найденным среднемесячным коэффициентам a_j и b_j строилась и анализировалась зависимость «вес-длина» для черноморского и азовского анчоуса различных возрастных групп и месяцев года.

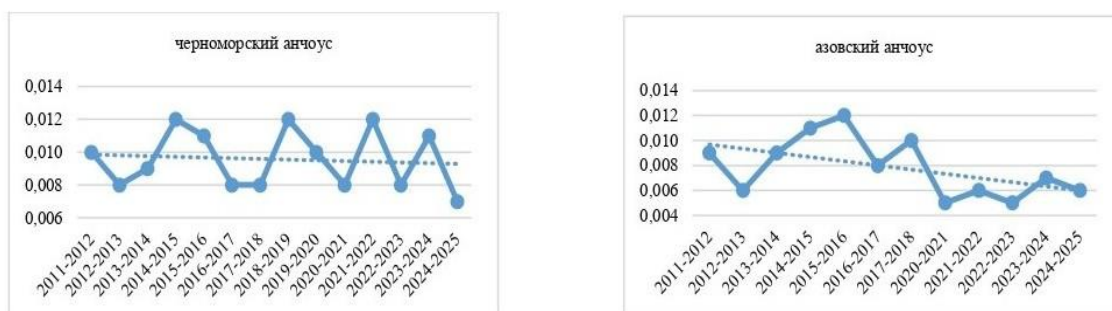


Рисунок 2. Значение коэффициента a для черноморского и азовского анчоуса

Значения коэффициента a характеризует вытянутость формы тела рыбы (Рисунок 2). Его среднемноголетнее значение a_{cp} для черноморского анчоуса равно 0,010, а для азовского анчоуса $a_{cp} = 0,008$. В изучаемый период (декабрь-март) тело черноморского и азовского анчоуса имело более вытянутую форму в те годы, в которые значение a было меньше значения a_{cp} ($a < a_{cp}$). В промысловые сезоны, в которых коэффициенты $a > a_{cp}$, толщина тела увеличивалась, и оно приобретало менее вытянутую форму. Для черноморского и азовского анчоуса средние значения коэффициента a отличаются на 0,002, что говорит о том, что у черноморского анчоуса тело менее вытянутой формы. В целом, по ряду проанализированных данных за указанный период наблюдается тенденция к снижению средних значений коэффициента a для азовского анчоуса с большей скоростью, чем для черноморского. При этом тело рыб становится более вытянутой формы.

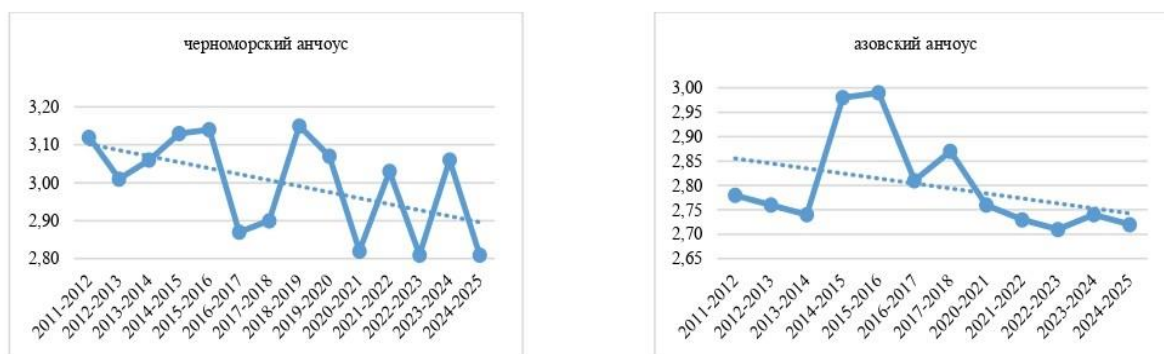


Рисунок 3. Значение коэффициента b для черноморского и азовского анчоуса

Значение коэффициента b позволяет сопоставить относительное изменение продольного размера (длины) анчоуса и его поперечных размеров в процессе годового роста (Рисунок 3). В цикле развития относительные поперечные размеры и длина анчоуса изменяются неравномерно. Среднегодовое значение коэффициента для черноморского анчоуса $b_{cp} = 3,001$, для азовского анчоуса $b_{cp} = 2,812$. В среднегодовом аспекте для черноморского и азовского анчоуса можно наблюдать следующее: среднегодовая длина рыб в процессе развития увеличивается несколько быстрее, чем его среднегодовые поперечные размеры, то есть рыбы, имеющие большую длину, характеризуются более вытянутой формой. Для черноморского анчоуса данный показатель выше, чем для азовского анчоуса.

Таким образом, прослеживается ярко выраженная взаимосвязь сезонного и межгодового изменения коэффициентов a и b , характеризующих форму тела анчоуса в процессе его развития и взросления. В холодные годы тело анчоуса имеет более удлиненную форму, а в теплые более укороченное и более высокое тело.

Оценки параметров роста, полученные на базе Института экологии, согласуются с литературными данными для прибрежных вод Крыма [Мельникова, 2023].

Полученные результаты могут быть использованы при проведении научных и рыбохозяйственных исследований, а также при оценке воздействия изменяющихся условий окружающей среды на живые организмы.

Список литературы

Зуев Г.В. 2019. Современное состояние популяции хамсы *Engraulis encrasicolus* (L.) (Pisces: Engraulidae), зимующей у побережья Восточного Крыма и Северного Кавказа. Морской биологический журнал. Т.4. № 3. С. 56–58.

Мельникова Е.Б. 2021. Влияние сезонных изменений среды обитания на параметры роста пелагических рыб. Сборник тезисов докладов участников пула научно-практических конференций. С. 387–390.

Мельникова Е.Б. 2023. Изменения параметров роста хамсы и шпрота, обитающих в прибрежных водах Крыма, в связи с климатическими изменениями. Фундаментальные исследования, инновационные технологии и передовые разработки в интересах долгосрочного развития Юга России. С. 157–160.

Панов Б.Н., Спиридонова Е.О., Пятинский М.М., Стыцук Д.Р. 2020. О роли температурного фактора в поведении и эффективности промысла черноморского шпрота. Водные биоресурсы и среда обитания. Т.3. № 1. С. 106–113.

Рикер У.Е. 1979. Методы оценки и интерпретации биологических показателей популяций рыб. М.: Пищевая промышленность, 408 с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки. Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН» [Электронный ресурс]. – URL: <https://dvs.net.ru> (дата обращения: 26.09.2025).

Шульман Г.Е., Никольский В.Н., Юнева Т.В., Щепкина А.М., Бат Л., Кидейш А.Е. 2007. Воздействие глобальных климатических и региональных факторов на мелких пелагических рыб Чёрного моря // Морской экологический журнал. Т. 6. № 4. С. 18–30.

ОБЩИЕ ЭКОСИСТЕМНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУБЛИТОРАЛЬНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛЬНЫХ РАЙОНОВ ДВУХ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ РОССИИ

А.А. Дуленин

Хабаровский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ХабаровскНИРО»), Хабаровск, Россия

E-mail: dulenin@khabarovsk.vniro.ru

Ключевые слова: адаптивная зона, сублитораль, растительность, северо-западная часть Японского моря, северо-западная часть Охотского моря.

Несмотря на то, что морская растительность формирует миллионы тонн промысловых ресурсов, имеющиеся характеристики растительности дальневосточных морей России [Блинова, 2014; Ресурсы, 2020] относительно бессистемны: они представляют собой сводки разнородных сведений либо имеют компилятивный характер. Возможности для единообразного, экологически оправданного обобщения ее характеристик дает концепция адаптивной зоны (АЗ), предложенная Дж. Симпсоном [1948], развитая И.В. Волвенко [2018] и примененная автором для описания сообществ морской растительности [Дуленин, 2023, 2024]. АЗ понимается как участок, на котором условия обитания для некоторой группы организмов столь благоприятны, что они преобладают по обилию, формируя специфическое сообщество с собственным доминированием. С этой точки зрения единичные участки АЗ отдельных видов – это фитоценозы, их группы – ассоциации либо сообщества более высоких рангов, а весь пояс растительности большого района – это сообщество наивысшего ранга, представляющее сложную АЗ всех макроскопических фототрофных организмов. Рассматривая пояса растительности больших районов как такие сообщества, обладающие внутренним структурным единством и относительно выраженными границами, мы можем на единообразной основе показать их общие экосистемные характеристики. Здесь охарактеризована сублиторальная растительность двух районов: северо-западной части Японского моря (СЗЯМ) и северо-западной части Охотского моря (СЗОМ). Их подводная растительность типична для низкобореальной и высокобореальной фитогеографических подзон [Перестенко, 1994], поэтому пояса растительности этих районов целесообразно рассматривать в качестве модельных для всех ближайших участков Японского и Охотского морей.

Полученные с 1999 по 2024 гг. результаты позволяют дать комплексные экосистемные характеристики сложных АЗ для сублиторальной растительности этих районов. Такие характеристики могут представлять значительную практическую и теоретическую ценность. В Таблице 1 рассмотрено 19 параметров растительности, которые весьма полно характеризуют конфигурацию и гетерогенность сложных АЗ. В зависимости от конкретных задач, список анализируемых параметров может быть расширен или сокращен.

Таблица 1. Общие экосистемные параметры сложных АЗ поясов сублиторальной растительности модельных районов Японского и Охотского морей

Параметр	СЗЯМ	СЗОМ
Глубина распространения, м, $M \pm SE(\min-\max)$	14,5 $\pm$ 0,5(6-22)	5,4 $\pm$ 0,2(2-11)
Суммарная ширина, м, $M \pm SE(\min-\max)$	495 $\pm$ 50(25-3000)	270 $\pm$ 24(50-1000)
Частота формирования множества ценотических поясов ($N \geq 2$)	65	36
Количество ценотических поясов, $M \pm SE(\min-\max)$	1,9 $\pm$ 0,07(1-4)	1,5 $\pm$ 0,07(1-5)
Ширина одного ценотического пояса, м, $M \pm SE(\min-\max)$	287 $\pm$ 32(25-2500)	208 $\pm$ 20(50-1000)
Площадь, км ²	217	76
Наличие внутренних ценотических границ	Есть, на 50° с.ш.	Нет
Общий широтный градиент удельных биомасс, α , R^2 , p	0,09 $\pm$ 0,03, 0,02, <0,01, выражен	0,07 $\pm$ 0,04, <0,01, 0,09, отсутствует
Общий глубинный градиент удельных биомасс, α , R^2 , p	0,17 $\pm$ 0,01, 0,35, <0,01, выражен	-0,07 $\pm$ 0,03, 0,01, 0,01, слабый
Количество выделенных ассоциаций	26	11
Количество охарактеризованных ассоциаций	17	5
Количество ассоциаций краснокнижных видов	0	1
Проективное покрытие главных доминантов ассоциаций, $M \pm SE(\min-\max)$	0,58 $\pm$ 0,05(0,4-0,9)	0,41 $\pm$ 0,02(0,35-0,49)
Богатство ценофлор ассоциаций, видов, $M \pm SE(\min-\max)$	18,7 $\pm$ 1,8(7-31)	5,6 $\pm$ 0,2(5-6)
Частота встречаемости ассоциаций, %, $M \pm SE(\min-\max)$	4 $\pm$ 1(1-15)	15 $\pm$ 4(3-29)
Общая доля покрытия дна ассоциациями, %	66	88
Средняя удельная биомасса, кг/м ²	4,8 $\pm$ 0,2	4,3 $\pm$ 0,1
Суммарная биомасса, тыс. т	1248	280
Суммарная биомасса промыслового запаса, тыс. т	315	184

Рассматриваемые примеры показывают, что почти по всем изученным параметрам (от глубины распространения до объема промысловых запасов) сложная АЗ сублиторальной растительности в СЗЯМ более богата и разнородна, чем такая АЗ в СЗОМ. Эта закономерность в целом должна сохраняться и для других районов Дальнего Востока: сложные АЗ районов низкобореальной подзоны как правило будут более богаты и разнородны, чем сложные АЗ высокобореальных районов. Впрочем, это правило может нарушаться в отношении показателей количественного обилия. Например, у восточных берегов Камчатки и у Командорских островов удельные биомассы в отдельных ценотических поясах нередко превышает 20-30 кг/м² [Селиванова, 2004].

Данные о конфигурации, площади, ценотическом богатстве и показателях обилия сложных АЗ могут быть использованы для решения прикладных экологических задач, таких как оценка воздействия на окружающую среду при реализации больших хозяйственных проектов, при мониторинге состояния окружающей среды в масштабе районов, и т.п. Данные о краснокнижных видах нужны для охранных мероприятий. Сведения об объемах промыслового запаса необходимы для организации рациональной эксплуатации макрофитов. Сведения об общей конфигурации пояса сублиторальной растительности каждого района необходимо использовать при планировании и организации гидробиологических исследований. При проведении дальнейших

исследований и анализе имеющихся литературных и архивных данных целесообразно получить подобные характеристики для сублиторальной растительности и для других районов морей Дальнего Востока России.

Список литературы

Блинова Е.И. 2014. Водоросли-макрофиты и травы дальневосточных морей России (флора, распространение, биология, запасы, марикультура). М.: Изд-во ВНИРО, С. 46-65.

Волвенко И.В. Адаптивная зона, петерсеновские сообщества, ареал и экологическая ниша. Сообщение 1. Определения и соотношение понятий. Изв. ТИНРО. 2018. Т. 195. С. 3–27. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-195-3-27.

Дуленин А.А. 2023. Характеристика сублиторальной растительности северо-западной части Охотского моря на основании концепции адаптивной зоны. Изв. ТИНРО. Т. 203. Вып. 4. С. 822–851. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-822-851.

Дуленин А.А. 2024. Характеристика сублиторальной растительности у северо-западного побережья Японского моря на основании концепции адаптивной зоны. Изв. ТИНРО. Т. 204. Вып. 3. С. 509–547. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-509-547.

Ресурсы и рациональное использование морских водорослей и трав дальневосточных морей России. 2020. Владивосток, ТИНРО, 268 с.

Селиванова О.Н. 2004. Макрофиты российского шельфа Берингова моря, Командорских островов и юго-Восточной Камчатки. Автореф. дисс. докт. биол. наук. Владивосток, 40 с.

Симпсон Дж. 1948. Темпы и формы эволюции. М: Гос. изд. иностр. лит-ры, 358 с.

РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА ОХОТСКОГО И БЕРИНГОВА МОРЕЙ (ГЛУБОКОВОДНЫЕ РАЙОНЫ)

Е.П. Дулепова

Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

E-mail: elena.dulepova@tinro.vniro.ru

Ключевые слова: Берингово и Охотское моря, глубоководные районы, зоопланктон, тихоокеанские лососи, кормовая база, продукционные характеристики.

Оценка ресурсного потенциала зоопланктонных сообществ ДВ морей в целом, и Берингова и Охотского, в частности, очень важна, так как напрямую связана с кормовой обеспеченностью различных видов морских рыб, используемых промыслом. Одной из основных функций любой живой системы является ее самовоспроизведение, т.е. продуцирование органического вещества. Именно поэтому ранее А.Ф. Алимовым с соавторами [Алимов, Бульон, Голубков, 2009] было указано, что при прогнозировании возможных изменений в экосистемах на первое место выходят результаты продукционных исследований.

Цель настоящего исследования заключается в определении продукционного потенциала сообществ макрозоопланктона как основы кормовых ресурсов нектона в районах глубоководных котловин Берингова и Охотского морей. Это такие районы как: западная часть Алеутской котловины и Командорская котловина (Берингово море), а также центральная и южная котловины Охотского моря [Волвенко, 2003].

Изучение продукционных характеристик планктонных сообществ Берингова и Охотского морей в стенах Тихоокеанского филиала ФГБНУ ВНИРО (ТИНРО) ведется уже длительное время, начиная с 1984 г. [Дулепова, 2002]. При этом в настоящее время пристальное внимание уделяется анализу кормовой обеспеченности тихоокеанских лососей в местах их нагула. В основе настоящего исследования лежат материалы баз данных «Зоопланктон» и «Трофология» в формате Excel [Волков, 2019].

В данном случае в число анализируемых продукционных характеристики входят скорость возобновления и объемы новообразованного компонентами сообщества органического вещества с учетом вклада зоопланктона в процесс продуцирования. Опираясь на величину этих показателей и результаты трофологических исследований, представляется возможным оценить особенности формирования кормовой базы тихоокеанских лососей.

Указанные выше районы служат основными нагульными ареалами тихоокеанских лососей, обеспечивая им необходимую кормовую базу до выхода в Тихий океан [Шунтов, Темных 2008]. Гидрологической особенностью этих районов является значительная циркуляционная активность, которая способствует переносу и накоплению зоопланктона в местах завихрений [Чернявский и др., 1981; Грузевич и др., 1997; Хен и др., 2013].

Основу планктонной части кормовой базы лососей в рассматриваемых районах формируют практически одни и те же широкораспространенные виды, принадлежащие к следующим таксономическим группам: копеподы, эвфаузиевые, амфиподы, щетинкочелюстные, птероподы и медузы. Эти группы создают до 80% биомассы макрозоопланктона. Однако структура макропланктона двух рассматриваемых регионов, безусловно, сильно различается (Таблица 1). И это различие заключается в следующем:

1. биомасса всех крупных таксонов, формирующих кормовую базу лососей (за исключением щетинкочелюстных) в районах Охотского моря выше, чем в аналогичных районах Берингова моря;

2. соотношение трофических группировок в макропланктоне рассматриваемых районов диаметрально противоположны.

Если в глубоководных районах Охотского моря доминирует нехищный зоопланктон (70% от общей биомассы), то в Беринговом море преобладают планктонные хищники (60%). В состав «хищного» зоопланктона входили амфиподы (гиперииды), щетинкочелюстные (хетогнаты), полихеты, гребневики и медузы. Эври- и фитофаги (в основном копеподы и эвфаузииды) были выделены в группу «нехищный» зоопланктон.

Таблица 1. Биомасса и продукция основных таксономических групп макрозоопланктона в глубоководных районах Охотского и Берингова морей (средне многолетние данные)

Годы	Берингово море		Охотское море	
	Биомасса, мг/м ³	Продукция, мг/м ³	Биомасса, мг/м ³	Продукция, мг/м ³
Копеподы	136	552	203	711
Эвфаузииды	64	255	165	363
Гиперииды	25	133	46	174
Хетогнаты	239	445	115	268

В рассматриваемых районах из-за различий таксономического состава и температурного режима темпы суточного продуцирования у основных групп зоопланктона различаются. Так, удельная продукция копепод в Охотском море варьирует в пределах 0,044–0,070, у эвфаузиевых этот показатель существенно ниже - 0,021–0,028. В Беринговом море показатели для эвфаузиид и копепод составляют 0,0368–0,0460 и 0,019–0,044 соответственно. Удельная продукция сагитт как основы хищного зоопланктона изменяется в районах в пределах 0,0206–0,0260, а у гипериид удельная продукция составляет от 0,043 (Охотское море) до 0,0596 (Берингово море).

Основные структурные изменения в глубоководных сообществах связаны с климато-океанологическим и биоценотическим факторами. Наиболее значительными были изменения в 1990-х гг., когда в северной Пацифике произошли кардинальные экосистемные перестройки [Shuntov et al., 1997]. Именно в это время наблюдалось снижение рыбопродуктивности и увеличение доли хищного зоопланктона (в частности щетинкочелюстных), компенсирующих недостаток потребителей зоопланктона.

Помимо климато-океанологических условий на состояние кормовых ресурсов лососей оказывает влияние и биоценотический фактор. Ранее при оценке современного состояния планктонных сообществ западной части Берингова моря было показано, что в отдельные годы пресс на нехищный зоопланктон (в основном копепод) со стороны хищного, основу которого составляет *P. elegans*, может быть очень значителен [Дулепова, 2021]. При этом объемы выедания копепод хетогнатами могут превышать их продукцию, что в итоге приводит к снижению биомассы копепод как одного из важных кормовых объектов нектона. Однако даже при существенном прессе хищного зоопланктона такая ситуация не может продолжаться длительное время и в свою очередь ведет к снижению биомассы планктонных хищников. В то же время высокая скорость продуцирования у массовых видов копепод и привнос зоопланктона за счет активной гидродинамики извне предопределяют быстрое восстановление биомассы этой группы и, соответственно, рост продукции копепод.

Результаты многолетнего исследования показали, что глубоководным районам Охотского и Берингова морей присущи ярко выраженные различия, как в структурной, так и функциональной организации зоопланктонных сообществ, что оказывает влияние на питание нагуливающих там лососей. В Охотском море зоопланктон характеризуется более высокой общей биомассой и продукцией, а также преобладанием «нехищного» компонента, что создает более стабильную кормовую базу для планктоноядных рыб. В Беринговом море наблюдается иная структура трофических звеньев - с доминированием

хищного зоопланктона за счет значительного внешнего привноса планктонных сообществ на более высокой стадии сукцессии.

Ранее проведенные исследования [Дулепова, 2024; Дулепова, Напазаков, 2024] позволили сравнить уровень продуцирования органического вещества отдельными группами гидробионтов с их потреблением такими массовыми группами лососей, как кета и горбуша. В глубоководных районах Охотского моря в 2020 и 2022 гг. при биомассе лососей 231 и 307 тыс. т величина продукции кормового зоопланктона варьировала в пределах 54-140 млн.т. При этом уровень выедания лососями копепод, эвфаузиид и амфипод составлял 0,2-8% от величины их продукции. В эти же годы в Беринговом море при биомассе лососей 123-137 тыс. т и продукции зоопланктона 60-65 млн. т уровень выедания наиболее предпочитаемых представителей макрозоопланктона не превышал 2,5% от величины их сезонной продукции. Столь низкие показатели выедания свидетельствуют о хорошей обеспеченности пищей молоди лососей во время нагула. Этому, безусловно, также способствует высокая гидродинамическая активность в районах и постоянный привнос зоопланктона из других акваторий. За счет этого напряженные трофические отношения в сообществах могут сглаживаться. Сообщества, поступающие в районы нагула, находятся на поздних стадиях сезонной сукцессии, и характеризуются значительной долей планктонных хищников. Этот факт также имеет значение для кормовой обеспеченности молоди, так как в питании лососей отдельные представители хищного зоопланктона (особенно амфиподы) играют важную роль [Волков, 2016]. Таким образом, оценка продукционного потенциала кормовых ресурсов тихоокеанских лососей в местах их нагула представляется наиболее информативным показателем, позволяющим оценить уровень насыщения среды этим ресурсом и степень его использования в течение длительного времени.

Список литературы

- Алимов А.Ф., Бульон В.В., Голубков С.М. 2009. Ресурсный потенциал видов, сообществ и экосистем континентальных водоемов. Успехи современной биологии. Т. 129 № 6. С. 516–527.
- Волвенко И.В. 2003. Морфометрические характеристики стандартных биостатистических районов для биоценологических исследований рыболовной зоны России на Дальнем Востоке. Известия ТИНРО. Т. 132: С. 27–43.
- Волков А.Ф. 2016. Элементарная трофология тихоокеанских лососей в Беринговом море. Видовые и региональные отличия. Обеспеченность пищей при различных условиях среды. Известия ТИНРО. Т 187. С. 162–186. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-187-162-186.
- Волков А.Ф. 2019. Возможности и приемы при работе с базами данных ТИНРО «Зоопланктон северной части Тихого океана, Охотского, Берингова и Чукотского морей». Известия ТИНРО. Т. 198. С. 239–261. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-198-239-261.
- Грузевич А.К., Аржанова Н.В., Сапожников В.В. 1997. Мезомасштабные вихри над шельфом и материковым склоном и их влияние на формирование гидрохимической структуры Охотского моря. Комплексные исследов. экосист. Охотского моря. М: ВНИРО. С. 79–86.
- Дулепова Е.П. 2002. Сравнительная биопродуктивность макроэкосистем дальневосточных морей. Владивосток: изд-во ТИНРО-Центр, 273 с.
- Дулепова Е.П. 2021. Роль *Sagitta elegans* (Chaetognatha) в сообществах зоопланктона западной части Берингова моря. Известия ТИНРО. Т. 201. Вып. 2. С. 425–439. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-425-439.
- Дулепова Е.П. 2024. Кормовая база нектона глубоководных районов западной части Берингова моря: динамика, современное состояние и ее потребление тихоокеанскими лососями. Известия ТИНРО. Т. 204. Вып. 2. С. 399–414. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-399-414.

Дулепова Е.П., Напазаков В.В. 2024. Функциональные особенности и кормовая база лососей в глубоководных районах Охотского моря в осенний период Рыбохозяйственный комплекс России: 300 лет российской академической науке: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. М.: изд-во ВНИРО. С. 131–138.

Чернявский В.И., Бобров В.А., Афанасьев Н.Н. 1981. Основные продуктивные зоны Охотского моря. Известия ТИНРО: Т. 105. С. 20–25.

Шунтов В.П., Темных О.С. 2008. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Владивосток: из-во ТИНРО-Центра, 481 с.

Khen G.V., Basyuk E.O., Vanin N.S., Matveev V.I. 2013. Hydrography and biological resources in the western Bering Sea. Deep-Sea Res. II. Vol. 94. P. 106–120.

Shuntov V.P, Dulepova E.P, Radchenko V.I., Lapko V.V. 1996. New data about communities of plankton and nekton of the Far-Eastern seas in connection with climate-oceanological reorganization. Fisheries Oceanography. Vol. 5. No 1. P. 38–44.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

А.А. Егоркин*, Н.А. Андреева

ФГБНУ «ИПТС», Севастополь, Россия

*E-mail: egorkin1974@yandex.ru

Ключевые слова: биоиндикация; сапробность; экологический мониторинг; нейронные сети; задача классификации.

В практике проведения экологического мониторинга водных объектов нашло широкое применение использование методов биоиндикации для характеристики экологического состояния и определения загрязнения среды органическими веществами. Для характеристики уровня загрязненности воды органическими веществами используют понятие сапробности водоема. Сапробность обуславливается как потребностью организмов в органическом питании, так и приспособлением к существованию в загрязненных водах. Чем больше организм приспособлен к загрязнению, тем выше степень сапробности.

Сапробность водоема определяется по составу и количеству видов-сапробионтов, обитающих в водоеме. Виды-сапробионты обладают комплексом физиолого-биохимических особенностей, обуславливающих их способность обитать в воде с тем или иным уровнем содержания органических веществ (степенью загрязнения) [Кочемасова и др., 1987]. Выделяют олигосапробные, мезосапробные и полисапробные (наиболее загрязненные) водоемы.

Оценка степени загрязнения водоема проводится с использованием метода индикаторных организмов Пантле и Букка [Ляшенко и др., 2019]. Каждый вид-сапробионтов имеет свою степень сапробности, выражаемую индексом сапробности.

Для проведения мониторинга и расчета индекса сапробности предлагается использовать прикрепленные микроводоросли перифитона.

Идентификация и подсчет (частоты встречаемости) микроводорослей, присутствующих в определенный момент времени в акватории, осуществлялся при микроскопировании образцов перифитона [Андреева, 2025]. В результате был получен ряд микрофотографий с конкретными представителями видового состава микроводорослей и данные об их встречаемости и составлен список родов микроводорослей, обнаруженных на исследуемом участке. На основании этих данных вычислялся индекс сапробности водоема.

Однако этот подход требует много времени и сил, поскольку предполагает ручную обработку и идентификацию микроводорослей в составе сообществ, присутствующих в собранных образцах при помощи соответствующих определителей [Komárek, Anagnostidis, 1998; 2005].

Кроме того, для проведения мониторинга вышеизложенным способом нужны высококвалифицированные специалисты, умеющие распознавать и отличать один таксон от другого на основе зачастую едва заметных морфологических различий.

Учитывая обозначенные особенности, целью данной работы является совершенствование методики проведения экологического мониторинга водных объектов.

Для достижения поставленной цели предлагается использовать технологии искусственного интеллекта как элемента совершенствования методологии экологического мониторинга. К таким технологиям относятся применение нейронных сетей, которые

хорошо себя зарекомендовали для решения задач классификации изображений в различных научных областях [Горохов и др., 2023, Стернин, 2024]. Наибольшее распространение в практике получило семейство моделей обнаружения объектов YOLO [Liu, 2023].

Применение данных технологий позволит уменьшить зависимость от человеческого фактора и качественно улучшить ключевые характеристики обработки данных, в частности:

- увеличить общее количество анализируемых образцов (изображений) в единицу времени за счет автоматизированной обработки поступающих данных с минимизированным участием экспертов-микробиологов, что особенно актуально для лабораторий с недостаточным штатом сотрудников;

- уменьшить время на принятие решения по оценке экологического состояния водного объекта.

Алгоритм совершенствования методики экологического мониторинга водных объектов с применением технологий искусственного интеллекта включает следующие этапы:

1. Получение образцов перифитона, используя метод «стекол обрастания», установленных в прибрежном мелководье. Погружение и выемка стекол из воды осуществляется ежемесячно.

2. Микроскопирование исследуемых образцов перифитона.

3. Классификация полученных микроскопических снимков по родовому составу микроводорослей.

4. Составление базы данных с занесением полученных в результате классификации снимков с фиксированным количеством пикселей, характеризующим размер снимка.

5. Выбор представителей перифитона, которые наиболее часто встречаются в полях зрения исследуемых образцов, на основе которого возможно наиболее полно охарактеризовать экологическое состояние водного объекта.

6. Создание обучающей и тестовой выборки. Обучающая и тестовая выборки должны быть размечены и каждый образец микроводорослей на изображении заключается в ограничивающую рамку.

7. Обучение нейронной сети YOLO и выбор соответствующих гиперпараметров.

4. Апробация модели с использованием тестового набора изображений.

Одной из задач, которую необходимо решить при проведении исследований, является распознавание случаев визуального пересечения объектов друг с другом (Рисунок 1). При обработке таких участков изображений возможно падение показателей точности.

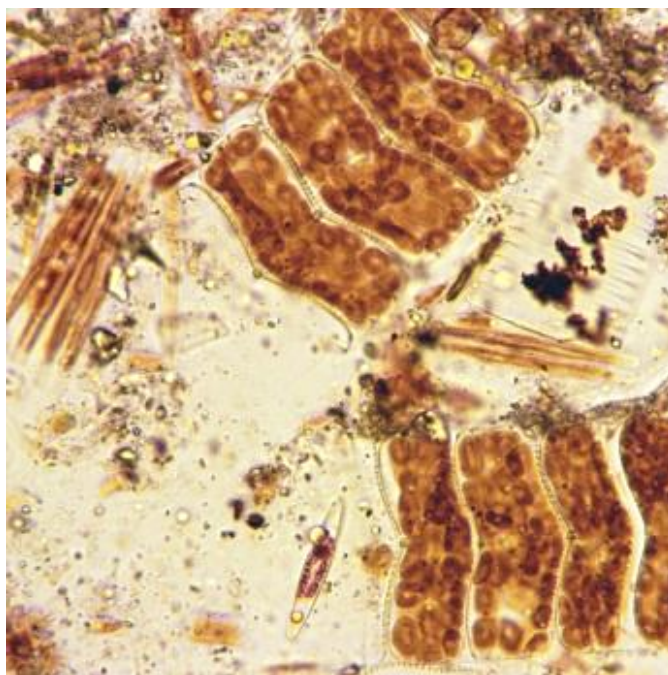


Рисунок 1. Сообщество микроводорослей в перифитоне «стекло обрастания»
(Микрофотография, х 400)

Для решения данной задачи в разрабатываемую методику предлагается добавить обработчик пересекающихся объектов [Савкин и др., 2024].

Решение этой задачи возможно с применением следующих действий:

- бинаризация части изображения с пересекающимися объектами;
- выделение контуров пересекающихся объектов;
- поиск ключевых (угловых) точек;
- деление контуров на фрагменты по угловым точкам;
- аппроксимация контура каждого фрагмента окружностью;
- удаление слишком мелких объектов, которые точно не являются искомыми.

Существующие решения по обнаружению и классификации видового разнообразия микроводорослей как инструмента экологического мониторинга водных объектов не нашли широкого распространения на практике в виду сложности автоматизирования процесса микробиологического исследования.

В данной работе предложены пути совершенствования методики экологического мониторинга водных объектов с применением технологий искусственного интеллекта.

Практическая ценность результатов предложенной методики заключается в возможности создания интеллектуальной системы автоматизации процессов микробиологических исследований и использования ее для проведения экологического мониторинга водных объектов. Данная система позволит значительно ускорить процессы идентификации микроводорослей в водном объекте и сократит количество ошибок, вызванных человеческим фактором. Программная реализация алгоритма позволит сделать предлагаемую систему масштабируемой относительно списка исследуемых сообществ микроорганизмов и повысить качество экологического мониторинга водных объектов.

Список литературы

Андреева Н.А. 2025. Структура перифитонных сообществ микроводорослей и цианобактерий в прибрежной акватории Севастополя. Системы контроля окружающей среды. № 1. С. 79–90.

Горохов О.Е., Казачук М.А., Лазухин И.С., Машечкин И.В., Панкратьева Л.Л., Попов И.С. 2023. Интеллектуальные технологии сегментации и классификации микробиологических фотоизображений. Вестник Московского университета. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика. №4. С. 21–32.

Кочемасова З.Н. 1987. Санитарная микробиология и вирусология [Учеб. пособие для сан.-гигиен. фак. мед. ин-тов] / З.Н. Кочемасова, С.А. Ефремова, А.М. Рыбакова. М.: Медицина, 349 с.

Ляшенко О.А., Кустикова М.А., Конопелько Л.А., Быковская Е.А., Тимофеева И.В., Василевская А.В., Маюрова А.С., 2019. Экология. Биологические системы в оценке состояния окружающей среды. Учебно-методическое пособие. СПб: Университет ИТМО, 51 с.

Савкин А.Е., Шагалова П.А., Корелин О.Н. 2024. Исследование применения технологий компьютерного зрения для анализа биомедицинских изображений. Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. №1 (144). С. 16–23.

Стернин В.Е., Дохов М.А., Тихомирова А.А., Дементьев Н.А. 2024. Современные подходы к классификации объектов на медицинских компьютерных изображениях. Визуализация в медицине. Т. 6. № 2. С. 23–29. DOI: 10.56871/ViM.2024.24.31.004.

Komárek J., Anagnostidis K. 1998. Cyanoprokaryota 1. Chroococcales. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1 / Ettl H., Gärtner G., Heynig H., Mollenhauer D. (eds). Gustav Fischer, Jena-StuttgartLübeckUlm, 548 p.

Komárek J., Anagnostidis K. 2005. 2. Oscillatoriales. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2 / Büdel B., Krienitz L., Gärtner G., Schagerl M. (eds). Elsevier/Spektrum, Heidelberg, 759 p.

Liu S., Zhang J., Song R., Teoh T.T. 2023. ADA-YOLO: Dynamic Fusion of YOLOv8 and Adaptive Heads for Precise Image Detection and Diagnosis. Computer Vision and Pattern Recognition. P. 1-16. DOI: 10.48550/arXiv.2312.10099.

РАЗВИТИЕ ЗООПЛАНКТОНА РЕКИ ЦНА В 2023 ГОДУ

И.А Жернаков*, Д.Ю. Тюлин, А.И. Никитенко, А.В. Солодовник, Д.В. Горячев

Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ»),
Московская обл., Россия

*E-mail: ilazernakov52010@gmail.com

Ключевые слова: Цна, кормность водоема, зоопланктон, коловратки, ветвистоусые, веслоногие.

Одним из важнейших компонентов водных экосистем является зоопланктон, который, будучи основным потребителем фитопланктона – основы трофической пирамиды водных биоценозов, трансформирует низшую водную растительность в энергию, что делает его основным кормом для большинства видов рыб [Крылов, 2005]. Изучение качественных и количественных показателей зоопланктона – один из ключевых элементов исследования состояния водных экосистем [Руднев, 2015].

Река Цна располагается в Рязанской и Тамбовской областях, длина реки составляет 451 км, площадь водосборного бассейна – около 21500 км². Река является притоком реки Мокши, которая в свою очередь впадает в Оку. Цна берет свое начало на территории Тамбовской области, затем течет на север, впадает в Мокшу, а та, в свою очередь, уходит в Оку. Ввиду своего расположения, река Цна имеет сходный гидрологический и гидрохимический режим с ранее названными крупными реками России [Ресурсы поверхностных вод СССР ..., 1966].

Отбор и обработку гидробиологических проб зоопланктона выполняли по общепринятым методикам [Винберг, Лаврентьева, 1982]. Наблюдения велись с апреля по октябрь 2023 г. на 8 станциях учета, расположенных на территории Тамбовской области (Рисунок 1).

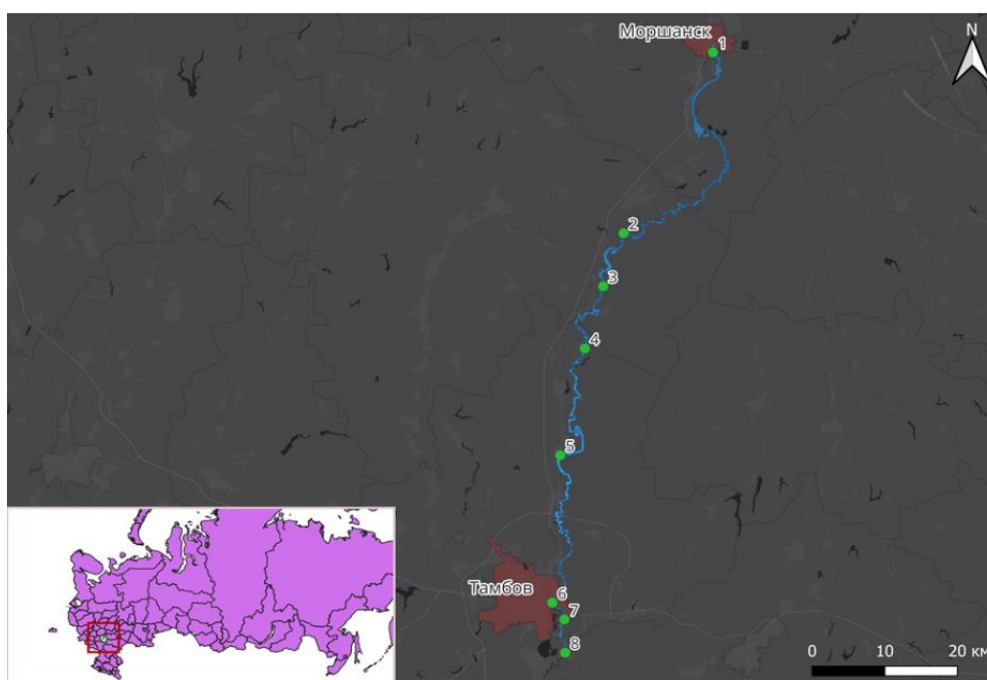


Рисунок 1. Карта-схема отбора проб зоопланктона на реке Цна

Пробы отбирали при помощи сети Джеди из газ-сита № 49 (размер ячеи – 134 мкм), фиксировали 4% раствором формалина. Далее пробы просматривали под бинокулярным микроскопом Микромед МС-4-ZOOMLED в камере Богорова. Захват изображения с бинокуляра производили при помощи видеоокуляра TourCam UCMOS05100KPA, длину планктонных организмов измеряли при помощи прилагающейся программы TourView. Для установления таксономической принадлежности планктонных организмов использовали бинокулярный микроскоп Микромед 3 вар. 3–20 и определитель [Цалолихин, 2004].

Зоопланктонное сообщество было представлено тремя основными группами: Rotifera (коловратки), Cladocera (ветвистоусые) и Copepoda (веслоногие). В составе зоопланктона из коловраток (Rotifera) чаще всего встречались *Brachionus calyciflorus* (Pallas, 1766), *Br. Angularis* (Gosse, 1851), *Keratella quadrata* (Müller, 1786), *K. Cochlearis* (Gosse, 1851), *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850), *Trichocerca elongata* (Gosse, 1886), коловратки рода *Polyarthra* Ehrenberg 1834.; из ветвистоусых ракообразных (Cladocera) – *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller, 1776), *Acroperus harpae* (Baird, 1834), *Scapholeberis mucronate* (O. F. Müller, 1776), рачки рода *Alona* Baird, 1843, *Bosmina longirostris* (O.F.Müller, 1776), *Daphnia cucullate* (Sars, 1862); из веслоногих рачков (Copepoda) встречались взрослые особи отряда Cyclopoida, а также – науплии и копеподиты.

В 2023 г. река Цна характеризовалась следующими количественными показателями развития зоопланктона. Весной численность по станциям колебалась от 56,9 до 646,7 тыс. экз./м³, а биомасса – от 0,05 до 0,4 г/м³, составив в среднем 188,7 тыс. экз./м³ и 0,18 г/м³ соответственно. В летне-осенний период наблюдалось снижение численности и биомассы: летом средняя численность составила 19,4 тыс. экз./м³, биомасса – 0,16 г/м³; осенью соответственно – 0,5 тыс. экз./м³ и 0,002 г/м³ (Таблица 1). Весной по численности и биомассе доминировали коловратки, летом доминировали ветвистоусые ракообразные, в основном за счёт массового развития рачков из семейства Daphniidae.

По итогам наблюдений в вегетационный период 2023 г. р. Цна имела следующие средние показатели численности – 69,5 тыс. экз./м³ и 0,116 г/м³ биомассы.

Таблица 1. Численность и биомасса зоопланктона р. Цна в сезон 2023 г.

Группы	<i>Rotifera</i>		<i>Cladocera</i>		<i>Copepoda</i>		Итого	
Сезон	N	B	N	B	N	B	N	B
Весна	175,50	0,1489	0,60	0,0073	12,63	0,0274	188,73	0,1837
Лето	7,01	0,0329	6,45	0,1186	5,95	0,0110	19,41	0,1625
Осень	0,16	0,0002	0,15	0,0009	0,20	0,0009	0,51	0,0020
Среднее	60,89	0,0607	2,40	0,0423	6,26	0,0131	69,55	0,1160
Примечание: N – численность, тыс. экз./м ³ , B – биомасса, г/м ³								

Несмотря на достаточно широкое таксономическое разнообразие среди зоопланктонных сообществ [Пидгайко и др., 1968], по количественным показателям Цна в вегетационный сезон 2023 г. являлась малокормным водоемом.

Список литературы

Винберг Г.Г., Лаврентьева Г.М. 1982. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л.: ГосНИОРХ, ЗИН АН СССР, 33 с.

Крылов А.В. 2005. Зоопланктон равнинных малых рек. М.: изд-во «Наука», 263 с.

Пидгайко М.Л., Александров Б.А., Иоффе Ц.И., Салазкин А.А. 1968. Краткая биолого-продукционная характеристика водоемов Северо-Запада СССР. Известия ГосНИОРХ. Т. 67. С. 205–225.

Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. 1966. Т. 10. Верхне-Волжский район. Под ред. В.П. Шабана. Л.: Гидрометеиздат, 528 с.

Руднев В.В. 2015. Зоопланктон как индикатор антропогенного воздействия города на качество речных вод. Auditorium: электронный научный журнал Курского государственного университета. № 1. С. 66–74.

Цалолихин С.Я. 2004. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. СПб: Наука, 528 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗООБЕНОСА ВОЛГО-БАЛТИЙСКОГО ВОДНОГО ПУТИ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2025 ГОДА

К.Н. Ивичева^{1*}, И.В. Филоненко²

¹Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»), Санкт-Петербург, Россия

²Вологодский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ВологодНИРО»), Вологда, Россия

*E-mail: ivicheva@niorh.vniro.ru

Ключевые слова: зообентос, Волго-Балтийский водный путь, водохранилища, озера.

Волго-Балтийский водный путь – водная система на Северо-Западе России, которая соединяет бассейны Балтийского моря и Волги. Общая протяженность Волго-Балтийского водного пути составляет 1100 км. Он включает в себя следующие водные объекты: р. Нева → оз. Ладожское → р. Свирь → оз. Онежское → Вытегорское водохранилище → Белоусовское водохранилище. → Новинкинское водохранилище → Шекснинское водохранилище. → Рыбинское водохранилище. Река Свирь на своем протяжении разделена шлюзами на 3 участка. Отдельно выделяют Среднюю Свирь и Верхнесвирское водохранилище (в состав которого, наряду с верховьями р. Свирь, также включают Онежское озеро). Для Шекснинского водохранилища можно выделить следующие участки: водораздельный канал, Белое озеро и речная часть (затопленное русло р. Шексна).

Отбор проб зообентоса осуществлялся в водоёмах Волго-Балтийского водного пути с научно-исследовательского судна (НИС) «Ахтарец» в период с 27.06.2025 по 05.07.2025. Для отбора проб использовался дночерпатель Ван-Вина с площадью захвата 0,025 м². Пробы промывались через газ №23 и фиксировались 4%-ным раствором формалина. Камеральная обработка проб осуществлялась в Вологодском и Санкт-Петербургском филиалах ФГБНУ «ВНИРО». Отобрана 31 проба зообентоса: 3 пробы в Рыбинском водохранилище, 12 – в Шекснинском, по 1 в Белоусовском и Новинкинском, 2 в Свири, по 6 – в Онежском и Ладожском озерах (Рисунок 1). Для пересчета численность и биомассу донных беспозвоночных относили на 1 м² с дальнейшей обработкой в приложении Benthos Explorer [Свидетельство..., 2015].

В рамках проведенных исследований в изученных водных объектах Волго-Балтийской водной системы был отмечен 31 вид зообентоса: 17 видов двукрылых (16 из которых хирономиды), 7 – олигохет, 3 – моллюсков, по 1 – пиявок и подёнок и амфипод, а также не идентифицированные до вида водяные клещи. Отмечено два вида-вселенца: моллюск *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) и пиявка *Caspiobdella fadejewi* (Epshtein, 1961). *D. polymorpha*, отмеченная в 2025 г. только в Белоусовском и Новинкинском водохранилищах, широко представлена в исследованных водных объектах [Ивичева, Филоненко, 2022]. Однако именно в водохранилищах Вытегорского гидроузла она образует наибольшие скопления [Ивичева, Филоненко, 2023]. Наибольшее число видов (13) было отмечено в Шекснинском водохранилище, где было отобрано максимальное количество проб на разных участках. Несколько меньше видов отмечено в Ладожском озере. Число видов, выявленных в рамках исследований проводимых с НИС «Ахтарец», составило менее 5% от всего видового списка водных объектов [Ивичева, Филоненко, 2023; 2025].

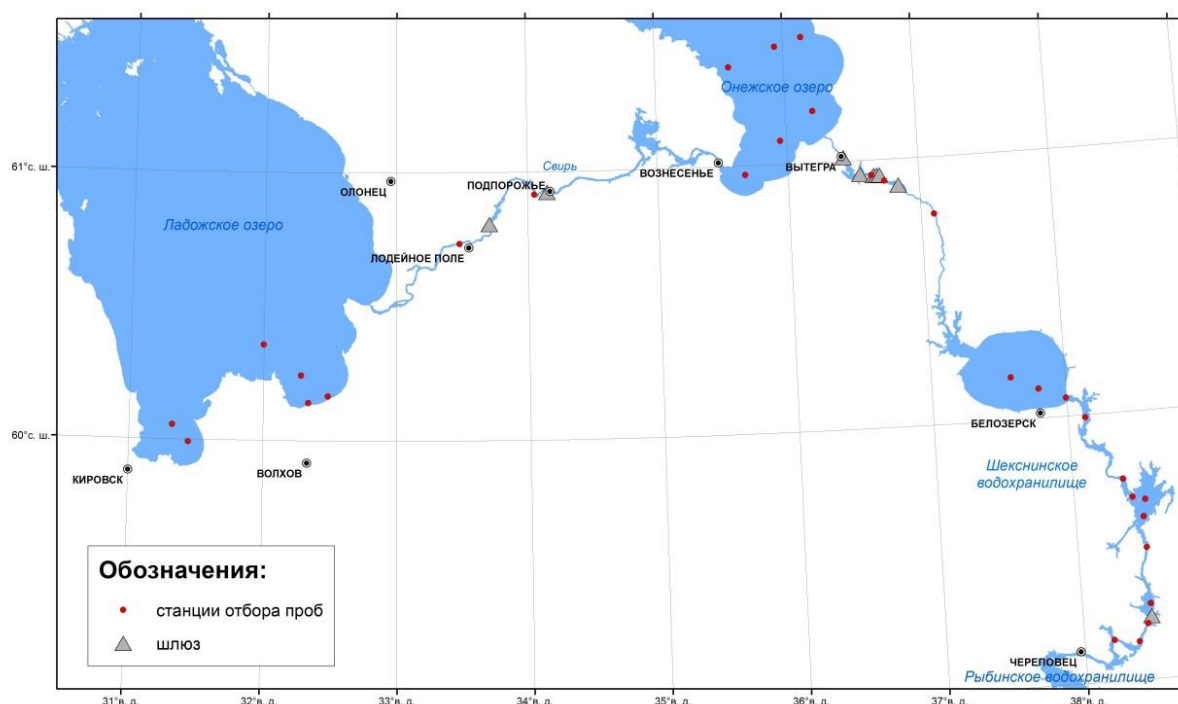


Рисунок 1. Станции отбора проб на водных объектах Волго-Балтийского водного пути

Количественные показатели зообентоса Рыбинского, Шекснинского, Белоусовского и Новинкинского водохранилищ (Таблица 1) в результате исследований, проведенных с НИС «Ахтарец» оказались ниже, чем среднееголетние данные [Ивичева и др., 2024]. Данный факт можно объяснить отбором проб только на судовом ходу. Здесь отмечается наибольшая антропогенная нагрузка в виде регулярных дноуглубительных работ и аккумуляция загрязняющих веществ по фарватеру. Помимо этого, отбор проб пришелся на период вылета имаго и элиминацию гомотопных видов. Тем не менее, экспедиция позволила получить данные по районам Волго-Балтийского водного пути, где наблюдения проводятся редко – участок Рыбинского водохранилища на территории Вологодской области, водораздельный канал Шекснинского водохранилища, Онежское озеро. На момент сбора в пробах в профундали Белого озера отмечалось отсутствие на судовом ходу *Chironomus* sp. – наиболее крупного представителя кормового зообентоса в этом озере. Наличие в большинстве проб хищных хирономид *Procladius* sp. можно расценивать как следствие повышенной антропогенной нагрузки вдоль судового хода.

Таблица 1. Количество видов (S), численность (N) и биомасса (B) зообентоса изученных объектов

Водный объект	S	N, экз./м ²	B, г/м ²	Доминирующие виды
Рыбинское вдхр.	12	533±285,0	1,8±0,44	<i>Procladius</i> sp.
Шекснинское вдхр.	13	353±71,5	1,1±0,25	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparède, 1862
Новинкинское вдхр.	6	200	0,29	<i>Dreissena polymorpha</i>
Белоусовское вдхр.	5	600	7,57	<i>Viviparus viviparus</i> Linnaeus, 1758)
Оз. Онежское	9	490±172,4	0,8±0,32	<i>Stylodrilus heringianus</i> Claparède, 1862, <i>Monoporeia affinis</i> (Lindström, 1855), <i>Procladius</i> sp.

Водный объект	S	N, экз./м ²	B, г/м ²	Доминирующие виды
Р. Свирь	5	120	0,18	<i>Procladius</i> sp.
Оз. Ладожское	12	1673±659,2	4,7±2,99	<i>Stylodrilus heringianus</i> , <i>Monoporeia affinis</i> , <i>Procladius</i> sp.

Значительный интерес представляют результаты, полученные в южных частях акваторий Онежского и Ладожского озер. Здесь отмечен схожий видовой состав и набор доминирующих видов. Однако, биомасса зообентоса в Онежском озере в шесть раз ниже, чем в оз. Ладожском. В южной части Ладожского озера впадают многочисленные притоки, принося большое количество биогенов. Южная же часть Онежского озера не имеет крупных притоков. Помимо этого, южный берег Ладожского озера заселен значительно, чем побережье оз. Онежское. В Онежском озере пробы отбирались на глубинах 10–27 м. На глубине 10 м биомасса зообентоса была ниже 0,1 г/м². Максимальная биомасса отмечена на глубине 27 м, на участке в районе устья р. Вытегра. В Ладожском озере отбор проб проводился на глубинах 5–14 м. Максимальная биомасса (19,5 г/м²) отмечена в бухте Петрокрепость (исток р. Невы) на глубине 5 м. Минимальная – вблизи впадения р. Волхов, также на глубине 5 м. Вероятно, высокая биомасса зообентоса южной части Ладожского озера является следствием высокой антропогенной нагрузки.

Таким образом, в результате экспедиции НИС «Ахтарец», проходившей в период с конца июня до начала июля 2025 г., получены данные о видовом составе и количественных показателях зообентоса вдоль всего Волго-Балтийского водного пути. По итогам получена информация по редко исследуемым районам водных объектов. Низкие количественные показатели зообентоса с доминированием *Procladius* sp. отмечены вдоль судового хода. Для южных частей акваторий Онежского и Ладожского озер, при сходном видовом составе зообентоса, отмечена разница количественных показателей. Последнее, по-видимому, связано с привнесением биогенов притоками Ладожского озера и повышенной антропогенной нагрузкой на южную часть водосбора Ладожского озера.

Список литературы

Безматерных В.В. 2015. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015611485 Российская Федерация. Benthos Reader: № 2014663685: заявл. 18.12.2014; опубл. 29.01.2015.

Ивичева К.Н., Филоненко И.В. 2022. Инвазионные виды зообентоса на территории Вологодской области. В книге: Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса: материалы X международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов, М., Изд-во ВНИРО, С. 172–174.

Ивичева К.Н., Филоненко И.В. 2023. Зообентос малых водохранилищ северного склона балтийско-каспийского водораздела Волго-Балтийского водного пути. Биология внутренних вод, № 2. С. 224–232. DOI: 10.31857/S0320965223020109.

Ивичева К.Н., Филоненко И.В. 2025. Зообентос литорали Шекснинского водохранилища через 25 лет после вселения *Gmelinoides fasciatus* (Crustacea, Amphipoda). Биология внутренних вод. Т. 18. № 1. 138–148. DOI: 10.31857/S0320965225010129.

Ивичева К.Н., Филоненко И.В., Шацкий А.В. 2024. Оценка кормности озер и водохранилищ Северо-Двинской и Волго-Балтийской водной системы по зообентосу. В книге: Рыбохозяйственная наука. История, современность, перспективы. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию Санкт-Петербургского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), С. 186–189.

О МОДЕЛИРОВАНИИ ДИНАМИКИ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ НЕРКИ ONCORHYNCHUS NERKA P. ОЗЕРНОЙ (ЗАПАДНАЯ КАМЧАТКА)

О.И. Ильин

*Камчатский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («КамчатНИРО»),
Петропавловск-Камчатский, Россия*

E-mail: o.ilin@kamniro.vniro.ru

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

Стадо нерки *Oncorhynchus nerka* р. Озерная является крупнейшим в азиатской части ареала вида [Бугаев, Маслов, Дубынин, 2009]. В 2000-2020-х гг. его доля в общем вылове нерки в пределах Камчатского края на среднем составляла около 60%. В фактическом выражении это составляло в среднем 19,0 (11–30) тыс. т вылова.

Начало выполнения комплексных исследований биологии и динамики численности стада нерки р. Озерная датируется еще периодом 1930–1940-х гг. Учитывая экономическую ценность указанного водного биологического ресурса, специалистами Камчатского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («КамчатНИРО») ежегодно ведется его биологический мониторинг. Практическим результатом многолетнего мониторинга являются разработанные меры по регулированию промысла, позволяющие сочетать эффективное воспроизводство и развитие стабильного рыболовства нерки р. Озерная. При этом краеугольным камнем управления запасами любого ценного водного биологического ресурса остается прогнозирование динамики его численности. По мере накопления новых данных появляются возможности для расширения методологии прогнозирования нерки р. Озерная. Представляет интерес (в т.ч. и самостоятельный) разработка методологии моделирования динамики возрастной структуры и прогнозирования на ее основе состояния указанной единицы запаса. Это и является целью настоящей работы.

В работе использованы данные о возрастной структуре и статистике по динамике численности нерки р. Озерная в 2004-2023 гг. Кроме того, включены оценки численности смолтов, полученные в период их ската из оз. Курильское. Информация о величине нерестового запаса и интенсивности покатной миграции нерки базировалась на данных с рыбоучетного заграждения (РУЗ), расположенного в истоке р. Озерная. Используемая промысловая статистика предоставлена Северо-Восточным территориальным управлением Росрыболовства. Данные о вылове нерки р. Озерная дрейфтерными судами в исключительной экономической зоне Российской Федерации в 2004-2016 гг. получены в результате многолетних популяционно-биологических исследований вида в период преднерестовых миграций [Бугаев, 2015].

В настоящем исследовании выполнено моделирование динамики численности тех возрастных групп нерки, что представлены в наблюдениях 2004-2023 гг. ($N_{i,k}$, $i = 1, 2, 3$; $k = 0, 1, 2, 3, 4$, всего 15 возрастных групп). Здесь i – пресноводный возраст, k – длительность жизни в море в годах.

Динамика возрастной структуры нерки может быть описана следующими уравнениями:

$$N_{2,0}^t = (1 - p_1)N_{1,0}^{t-1}e^{-M_r}, N_{3,0}^t = (1 - p_2)N_{2,0}^{t-1}e^{-M_r};$$

$$N_{1,1}^t = p_1N_{1,0}^{t-1}e^{-M_1}, \quad N_{2,1}^t = p_2N_{2,0}^{t-1}e^{-M_1}, \quad N_{3,1}^t = p_3N_{3,0}^{t-1}e^{-M_1};$$

$$N_{1,k}^t = (1 - \mu_{1,k-1})N_{1,k-1}^{t-1}e^{-M},$$

$$N_{2,k}^t = (1 - \mu_{2,k-1})N_{2,k-1}^{t-1}e^{-M}, N_{3,k}^t = (1 - \mu_{3,k-1})N_{3,k-1}^{t-1}e^{-M}, k = 2,3,4;$$

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

Представленная модель является своего рода статистической когортной моделью для нерки. Оценки неизвестных параметров находятся из условия наилучшего приближения модели к данным наблюдений, в соответствии с допущениями относительно распределений ошибок. Ниже представлены модельные оценки численности возвратившихся производителей, полученные для робастного мультиномиального распределения [Fournier et al., 1990] для данных по возрастному составу уловов и пропущенных производителей нерки р. Озерная (Рисунок 1).

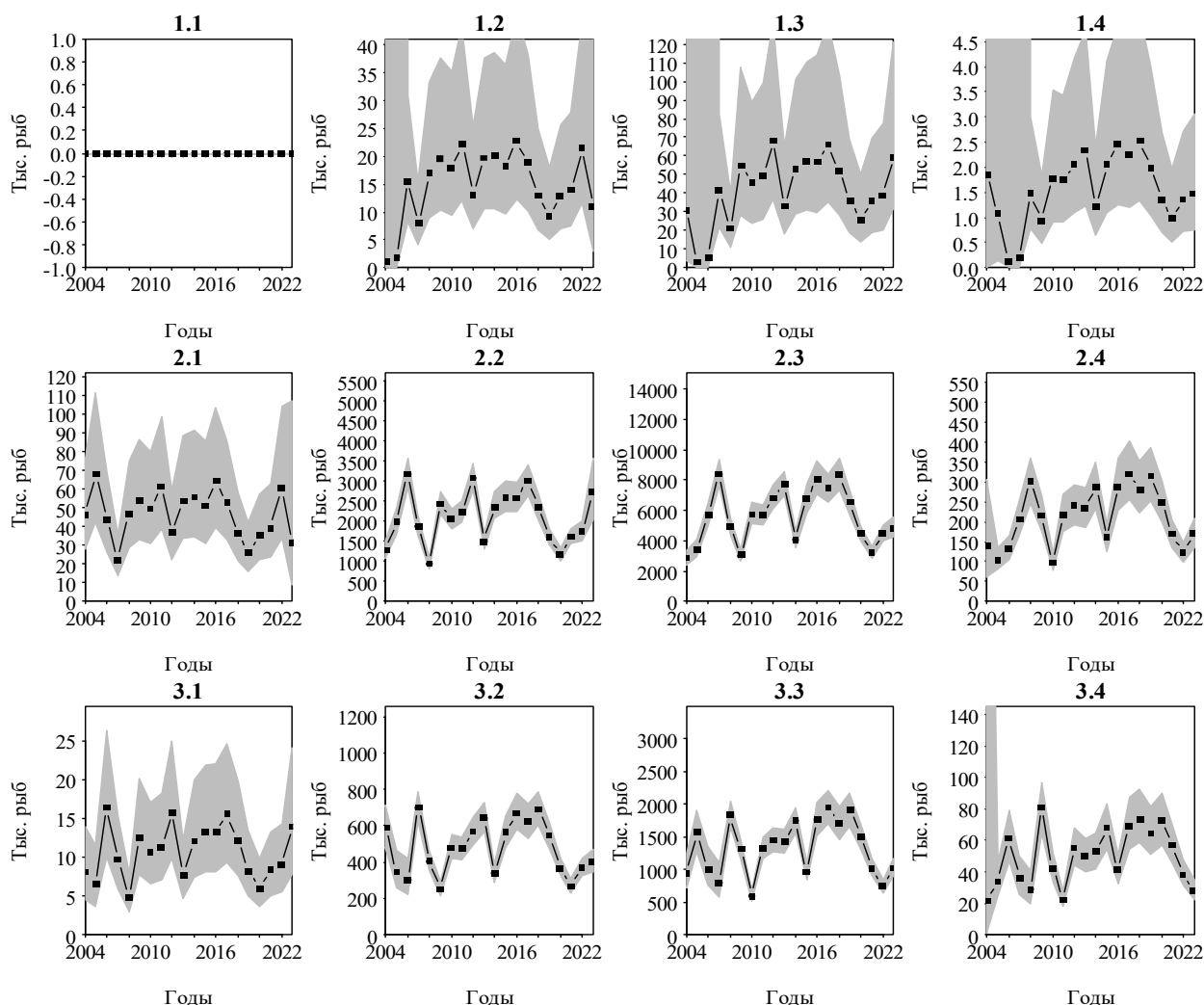


Рисунок 1. Модельная динамика численности возврата нерки р. Озерная по возрастным группам

Прогноз подходов нерки р. Озерная на 2024 и 2025 гг. строился исходя из полученных в расчетах терминальных оценок численности возрастных групп нерки по формулам модели. На Рисунке 2 – модельная оценка общей численности подхода в 2023 г. и ее вероятностный прогноз в 2024 и 2025 гг. Верхняя граница межквартильного интервала (10,0–12,6 млн рыб) для оценок численности подхода производителей в 2024 г. соответствует фактическому подходу – 12,6 млн рыб.

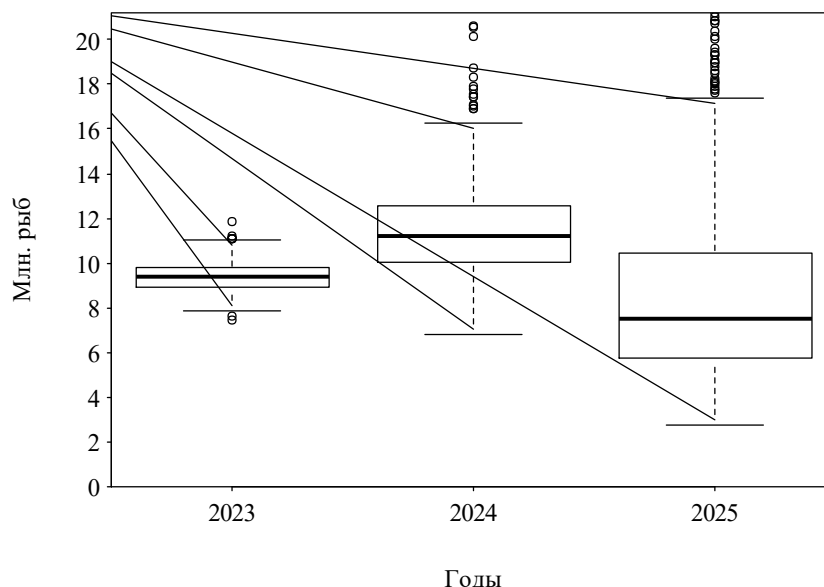


Рисунок 2. Модельная оценка численности подхода нерки р. Озерная в 2023 г. и прогноз численности подхода в 2024–2025 гг.

Представленная модель динамики численности нерки р. Озерной демонстрирует высокую степень соответствия прогнозных величин с фактическими данными. Таким образом, полагаем возможным использование описанного метода прогнозирования динамики возрастной структуры нерки р. Озерной в качестве дополнительного инструмента к уже применяемым методам.

Список литературы

- Бугаев В.Ф., Маслов А.В., Дубынин В.А. 2009. Озерновская нерка (биология, численность, промысел). Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. 156 с.
- Бугаев А.В. 2015. Преднерестовые миграции тихоокеанских лососей в экономической зоне России. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 416 с.
- Fournier D.A., Sibert J.R., Majkowski J., Hampton, J. 1990. MULTIFAN a likelihood-based method for estimating growth parameters and age composition from multiple length frequency data sets illustrated using data for southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. № 47(2). P. 301–317.

СПЕЦИФИКА ДИНАМИКИ ГИДРОБИОЦЕНОЗОВ В РАЗНЫХ ЧАСТЯХ АКВАТОРИИ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

К.В. Исакова

ФГБУН ФИЦ «КарНЦ РАН», Институт водных проблем Севера, Петрозаводск, Россия

E-mail: ksusha_isakova@mail.ru

Ключевые слова: гидробиоценоз, Онежское озеро, районирование, многомерные методы.

Онежское озеро, являясь одним из крупнейших пресноводных водоёмов Европейского Северо-Запада России, характеризуется выраженной пространственной и временной неоднородностью [Онежское озеро ..., 2010]. Для достоверной оценки локальных изменений и обоснованного прогнозирования состояния экосистемы Онежского озера необходимо провести зонирование его акватории с выделением участков, где формируются специфические гидробиоценозы в условиях изменения климата и антропогенного воздействия.

Биоценоз представляет собой сложную биологическую систему, состоящую из взаимосвязанных групп организмов, которые развиваются в определённых экологических условиях [Резвой, 1924]. Для его изучения необходимо учитывать как биотические компоненты, такие как планктон и бентос, так и абиотические показатели среды. На основе этих данных осуществляется экологическое районирование, при котором водоём рассматривается как полноценная экосистема с её абиотическими и биотическими элементами [Блануца, 1993].

В рамках исследования в качестве биотических показателей использовались сведения о численности и биомассе различных экологических групп и их доминирующих таксонов, таких как бактериопланктон, фитопланктон, зоопланктон и макрозообентос; были учтены сведения о концентрации хлорофилла *a* и первичной продукции фитопланктона. Абиотические показатели включали температуру воды, и морфометрическую характеристику – глубину.

Данные были собраны сотрудниками лаборатории гидробиологии Института водных проблем Севера КарНЦ РАН (включая автора) в разные сезоны 1982-2023 гг. Материалы были систематизированы и оформлены в виде зарегистрированных баз данных.

В анализе использовали два типа данных – статические (средние значения) и динамические (коэффициенты регрессии), всего 83 переменных. Средние значения за весь период исследования играют роль общей статической характеристики объектов. Коэффициенты линейных трендов, рассчитанные для весенне-летнего сезона, описывают динамику гидробиоценоза.

Все 83 изучаемых переменных были определены для 142 ячеек размером 8*8 км, покрывающих всю акваторию Онежского озера. В части ячеек значения были получены методом пространственной сплайн-интерполяции, ориентируясь на значения соседних точек. Анализ показал высокую корреляцию между исходными и интерполированными данными. Так была подготовлена матрица исходных данных размером 142 (ячейки) на 83 (параметра), которая стала основой для классификации ячеек по уровню сходства, т.е. для районирования акватории озера

Работа с картографическими материалами проводилась в среде QGIS, а расчеты и моделирование – в среде R.

С применением различных методов многомерной статистики (метод главных компонент, метрическое шкалирование и автоассоциативная нейронная сеть) были

вычислены интегральные индексы, которые позволили выявить пространственные изменения, определить взаимосвязь между ячейками и выполнить кластерный анализ. В результате анализа выявлено 7 типов ячеек, образующих 11 скоплений. На основе полученных данных была создана картограмма, демонстрирующая географическую разобщенность некоторых кластеров и включающая 11 районов Онежского озера (Рисунок 1): Северную часть Повенецкого залива, Южную часть Повенецкого залива, Лижемскую губу, Великую губу и Малое Онего, Горло Лижемской и Кондопожской губ, Кондопожскую губу, Петрозаводскую губу, Западное побережье, Центральный плес Онежского озера, Южную часть Онежского озера и Свирскую губу. Эти зоны мы рассматриваем как самостоятельные и уникальные гидробиоценозы.

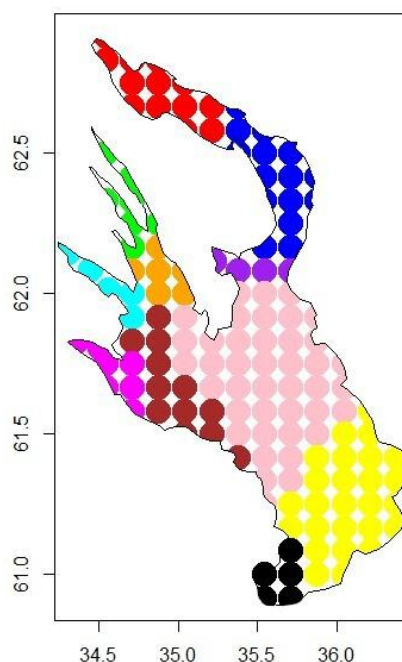


Рисунок 1. Районирование акватории Онежского озера по статическим и динамическим данным за весь период исследования (1982-2023 гг.)

Уникальные гидробиоценозы каждой зоны Онежского озера формируются под влиянием определенных условий среды. Анализ данных выявил значимые различия между зонами; далее рассмотрим их на примере сезонной динамики биомассы амфипод (Amphipoda) – представителей макрозообентоса (Рисунок 2).

В Южной части озера (3) наблюдаются наиболее благоприятные условия для развития амфипод: небольшие глубины обеспечивают быстрый прогрев воды в начале вегетационного периода, а удалённость от северо-западных заливов снижает антропогенную нагрузку. Донные отложения (илы с песчаными включениями) создают оптимальную среду для обитания и формируют хорошую кормовую базу [Экосистема Онежского ..., 1990]. В результате популяция амфипод характеризуется высокими показателями биомассы, а коэффициент скорости роста достигает $0,004 \text{ г/м}^2/\text{месяц}$; тренды статистически значимы. В Петрозаводской губе (1) ситуация существенно отличается. Несмотря на малые глубины, способствующие быстрому прогреванию воды в начале вегетационного периода, здесь отмечается значительное загрязнение вод [Назарова и др., 2022]. Это негативно сказывается на биомассе и развитии амфипод с мая по август. Коэффициент скорости их роста в этой зоне составляет $0,002 \text{ г/м}^2/\text{месяц}$. В центральной части озера (2) на динамику развития амфипод влияют значительные глубины, которые замедляют прогревание воды и сезонное развитие биоты. В результате амфиподы растут

медленнее – коэффициент скорости роста здесь равен $0,001 \text{ г/м}^2/\text{месяц}$. Отличие от нуля незначимое. При этом загрязнение затрагивает эту зону в меньшей степени по сравнению с Петрозаводской губой, что обеспечивает относительно более высокие количественные показатели популяции.

Таким образом, специфика сезонной динамики амфипод в разных зонах озера определяется комплексом факторов: глубиной водоёма, температурой воды и степенью антропогенного воздействия.

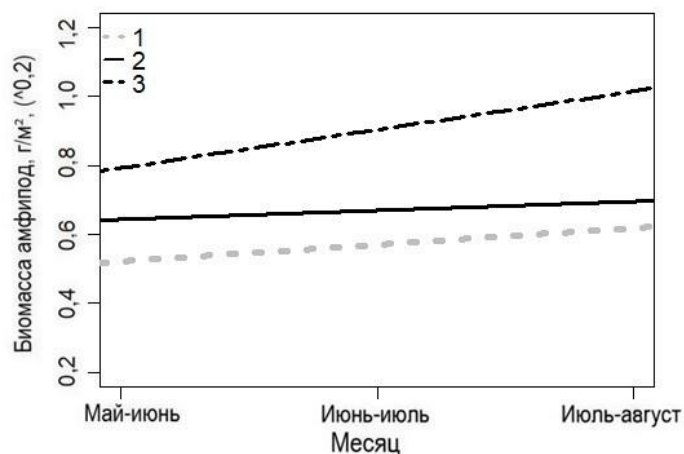


Рисунок 2. Линейные тренды сезонной динамики биомассы амфипод в разных зонах Онежского озера: 1 – Петрозаводская губа, 2 – Центральная часть Онежского озера, 3 – Южная часть Онежского озера

С учётом относительной изолированности зон и специфики протекающих в них динамических процессов целесообразно проводить изучение каждой зоны по отдельности.

Благодарности: автор признателен коллективу лаборатории гидробиологии ИВПС за предоставленные материалы для анализа.

Работа выполнена в рамках Государственного задания №121021700117-3 Карельского научного центра РАН.

Список литературы

Блануца В.И. 1993. Интегральное экологическое районирование: концепция и методы. Новосибирск: Наука, 158 с.

Назарова Л.Е., Исакова К.В., Калинкина Н.М., Балаганский А.Ф. 2022. Влияние потепления климата на зимний сток реки Шуя и последствия для зообентоса Онежского озера. Известия Русского географического общества. Т. 154. № 1. С. 28–36. DOI: 10.31857/S0869607122010086.

Онежское озеро. 2010. Атлас. Под ред. Н.Н. Филатова. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 151 с.

Резвой П.Д. 1924. К определению понятия «биоценоз». Рус. гидробиол. журн. Т. 3. №. 8–10. С. 204–209.

Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. 1990. Л.: Наука. 264 с.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

**Н.М. Калинкина*, К.В. Исакова, Д.С. Коновалов, А.В. Коросов, Е.М. Макарова,
А.И. Сидорова, Ю.Л. Сластина, В.С. Смирнова, М.Т. Сярки, Е.В. Теканова**

ФГБУН ФИЦ «КарНЦ РАН», Институт водных проблем Севера, Петрозаводск, Россия

**E-mail: cerioda@mail.ru*

Ключевые слова: Онежское озеро, эвтрофирование, климатические изменения, биомониторинг.

Онежское озеро относится к крупнейшим водоемам северо-западного региона России, является стратегическим источником чистой питьевой воды и имеет большое рыбохозяйственное и рекреационное значение. Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН исследует термогидродинамический, гидрохимический и гидробиологический режимы Онежского озера на протяжении более чем 60 лет [Крупнейшие ..., 2015]. Усиление антропогенного воздействия в последние годы вызывает локальное эвтрофирование Онежского озера, которое ускоряется в условиях потепления климата, что требует тщательного контроля состояния водоема. Для прогнозов изменения экосистемы Онежского озера при разных климатических сценариях и варьировании антропогенной нагрузки создана 3-D биогеохимическая модель Онежского озера [Филатов и др., 2024].

Методологические проблемы биоиндикации состояния Онежского озера связаны с его глубоководностью, высокой лимнической неоднородностью и геохимическими особенностями, что потребовало разработки научных принципов биомониторинга этого водоема [Kalinkina et al., 2018]. Гидробиологические исследования, выполненные в последние 30 лет, показали, что в условиях изменения антропогенной нагрузки и потепления климата глубоководный район Онежского озера в целом сохраняет свое природное олиготрофное состояние [Теканова и др., 2023]. Тем не менее, в июле 2022 г. впервые за 50-летнюю историю наблюдений в глубоководном олиготрофном открытом плесе озера были зафиксированы большие пятна "цветения" цианобактерий (в основном, представителей *Dolichospermum* и *Microcystis*), по-видимому, вынесенные из прибрежной зоны. В период исследований отмечали высокий прогрев эпилимниона. Молекулярно-генетический анализ подтвердил потенциальную способность цианобактерий продуцировать микроцистины. Однако их концентрация в пятнах «цветения» в Онежском озере была на порядок ниже значений, рекомендованных ВОЗ для питьевой воды и рекреационных целей [Tekanova et al., 2024].

Наиболее загрязненным заливом Онежского озера является Кондопожская губа. Разные периоды в функционировании экосистемы залива были тесно связаны с изменением мощности производства на Кондопожском ЦБК, который загрязняет залив более 90 лет [Тимакова и др., 2014]. В начале 2000-х годов в заливе появились форелевые фермы. Многолетняя деятельность Кондопожского ЦБК и поступление отходов от форелевых ферм привели к изменению химического состава воды в Кондопожской губе. В заливе отмечается высокое содержание органических веществ, биогенных элементов и взвешенных веществ, концентрации которых максимальны в вершине залива, куда поступают сточные воды комбината [Сабылина, 2015]. В районе форелевых садков зимой 2022 г. в придонных слоях воды наблюдался дефицит кислорода (6% насыщения воды), содержание минерального и общего фосфора достигало экстремально высоких значений – 787 и 810 мкг/л, соответственно [Галахина, Зобков, 2022]. Состояние планктонных сообществ в Кондопожской губе на протяжении 1960-2025 гг. отражает динамику

поступления загрязняющих веществ от разных антропогенных источников. В 1980-х гг., в период максимальной производственной мощности ЦБК, возросли показатели бактериопланктона, фитопланктона и зоопланктона, особенно в вершинной части губы, что характеризовало этот участок залива как высоко загрязненный, с повышенной трофией. После спада на производстве и уменьшения фосфорной нагрузки отмечалось закономерное снижение показателей развития планктона. На современном этапе отмечается влияние на планктонные сообщества отходов форелевых ферм. Особенно заметно изменяется состояние фитопланктона в центральной части Кондопожской губы, к которой примыкают районы основного расположения форелевых садков. Если вода в Кондопожской губе в целом соответствует β -мезосапробным условиям, то в районе форелеводческой деятельности отмечаются признаки эвтрофирования – увеличение численности потенциально опасных видов цианобактерий.

Сообщества макрозообентоса оказались весьма информативными индикаторами многофакторного загрязнения Кондопожской губы, т.к. отражали эффекты накопления загрязняющих веществ на дне [Калинкина и др., 2011]. Вблизи сброса сточных вод ЦБК наблюдается деградация донных биоценозов. В то же время, во внешней части залива формируется комплекс условий, более благоприятный для обитания донных организмов. Оценка качества воды в районе форелевых хозяйств на основе показателей макрозообентоса выявила высокий уровень загрязнения губы. Исследования сообществ макрозообентоса в литоральной зоне Кондопожской губы показали ее высокую степень загрязненности, особенно, в черте города Кондопога. Повсеместно на литорали Кондопожской губы была обнаружена амфипода байкальского происхождения *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899). Вклад этого вида в общую численность и биомассу макрозообентоса на чистых участках литорали был наибольшим и составил 18% и 43%, соответственно. За последние десятилетия в результате преднамеренной интродукции байкальская амфипода *G. fasciatus* широко распространилась в озерно-речных системах Северо-Запада России, в том числе, в Онежском озере [Sidorova, 2024].

Петрозаводская губа Онежского озера испытывает влияние вод р. Шуя, второго по величине притока Онежского озера. В связи с возрастанием стока аллохтонных веществ с речными водами в условиях потепления климата выявлена браунификация Петрозаводской губы [Kalinkina et al., 2020]. В то же время нагрузка от Петрозаводского промцентра на залив снижается. В период 1992–2018 гг. летом в Петрозаводской губе отмечалась тенденция к снижению биомассы фитопланктона, которая подтвердилась значимым уменьшением концентрации хлорофилла *a* в воде [Теканова и др., 2023; Калинкина, Теканова, 2025].

Для прогноза биопродуктивности различных районов Онежского озера накопленные многолетние массивы гидробиологических данных были интегрированы в индексы с использованием методов многомерной статистики, классификатора Байеса [Коросов и др., 2021] и алгоритмов нечеткой логики [Коросов и др., 2025]. Было доказано, что в центральной части акватории Онежского озера и в Петрозаводской губе уровень продуктивности почти не изменился по сравнению с прошлым веком, даже отмечается некоторое его снижение. Уровень продуктивности вод Кондопожской губы в XXI веке практически во всех ее районах повысился по сравнению с прошлым веком. Наиболее вероятной причиной является возрастание антропогенной нагрузки вследствие появления в заливе садковых форелевых хозяйств.

Работа выполнена в рамках Государственного задания №121021700117-3 Карельского научного центра РАН.

Список литературы

Галахина Н.Е., Зобков М.Б. 2022. Гидрохимические исследования в районе расположения форелевых хозяйств в Кондопожской губе Онежского озера в зимний

период 2022 года. Труды Карельского научного центра Российской академии наук. № 6: С. 76–87. DOI: 10.17076/lim1599.

Калинкина Н.М., Куликова Т.П., Литвинова И.А., Полякова Т.Н., Сярки М.Т., Теканова Е.В., Тимакова Т.М., Чекрыжева Т.А. 2011. Биоиндикация загрязнения вод и донных отложений в Кондопожской губе Онежского озера. Геоэкология. № 3: С. 265–273.

Калинкина Н.М., Теканова Е.В. 2025. Оценка многолетних изменений количественных показателей фитопланктона в Петрозаводской губе Онежского озера. Принципы экологии. № 3. С. 40–54. DOI: 10.15393/j1.art.2025.16182.

Коросов А.В., Калинкина Н.М., Теканова Е.В., Сярки М.Т., Исакова К.В. 2021. Разработка индексов трофности для Онежского озера с помощью экологической информационной системы. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Т. 27. № 3. С. 256–273. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-3-27-256-273.

Коросов А.В., Калинкина Н.М., Теканова Е.В., Сярки М.Т., Исакова К.В., Макарова Е.М. 2025. Применение аппарата нечёткой логики для оценки трендов изменения продуктивности отдельных акваторий Онежского озера. Russian Journal of Earth Sciences Vol. 25: ES5013. DOI: 10.2205/2025es001013.

Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: Карельский научный центр, 375 с.

Сабылина А.В. 2015. Гидрохимические исследования. Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: Карельский научный центр. С. 61–67.

Теканова Е.В., Калинкина Н.М., Макарова Е.М., Смирнова В.С. 2023. Современное трофическое состояние и качество воды Онежского озера. Биология внутренних вод. № 6: С. 740–746. DOI: 10.31857/S0320965223060335.

Тимакова Т.М., Куликова Т.П., Литвинова И.А., Полякова Т.Н., Сярки М.Т., Теканова Е.В., Чекрыжева Т.А. 2014. Изменение биоценозов Кондопожской губы Онежского озера под влиянием сточных вод целлюлозно-бумажного комбината. Водные ресурсы. Т. 41. № 1. С. 74–82. DOI: 0.7868/S032105961401012X.

Филатов Н.Н., Савчук О.П., Баклагин В.Н., Галахина Н.Е., Зобков М.Б., Исаев А.В., Кондратьев С.А., Калинкина Н.М., Новикова Ю.С., Расулова А.М., Шмакова М.В. 2024. Диагноз состояния и изменений экосистемы Онежского озера и водосбора на основе информационно-аналитической системы. Фундаментальная и прикладная гидрофизика Т. 17. № 2. С. 10–24. DOI:10.59887/2073-6673.2024.17(2)-2.

Kalinkina N.M., Polyakova T.N., Syarki M.T., Tekanova E.V. Scientific Principles of Biomonitoring of Lake Onego. 2018. Doklady Earth Sciences. Vol. 482. P. 1185–1188. DOI: 10.1134/S1028334X18090076.

Kalinkina N., Tekanova E., Korosov A., Zobkov M., Ryzhakov A. 2020. What is the extent of water brownification in Lake Onego, Russia? Journal of Great Lakes Research. Vol. 46. P. 850–861. DOI:10.1016/j.jglr.2020.02.008.

Sidorova A.I. 2024. History of invasion of water bodies in northwestern Russia by amphipods *Gmelinoides fasciatus* (Crustacea). Ecosystem Transformation. Vol. 7(4). P. 219–242. DOI:10.23859/estr-230202.

Tekanova E., Sidelev S., Kalinkina N., Chernova E., Barinova S., Sharov A., Smirnova V. 2024. Toxigenic Cyanobacteria and Microcystins in a Large Northern Oligotrophic Lake Onego, Russia. Toxins. Vol. 16. No. 11. P. 1–13. DOI:10.3390/toxins16110457.

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ПРОГНОЗА ПОПОЛНЕНИЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АРКТИЧЕСКОЙ ТРЕСКИ

Ю.А. Ковалев*, А.А. Четыркин, А.Г. Трофимов

*Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича),
Мурманск, Россия*

*E-mail: kovalev@pinro.vniro.ru

Ключевые слова: Баренцево море, треска, пополнение, прогнозирование, моделирование.

Прогнозирование пополнения северо-восточной арктической трески (*Gadus morhua*) является важной задачей при оценке ее общего допустимого улова. На Совместной российско-норвежской рабочей группе по арктическому рыболовству (JRN-AFWG) для прогноза численности пополнения трески в возрасте 3 года использовали гибридную модель, включавшую три компонента: TES, TEL и RCT3 [Shepherd, 1997; Anon., 2013; Titov, 2021]. В последние годы ошибка прогноза пополнения по этой модели значительно возросла, некоторые предикторы стали недоступны, что требует пересмотра применяемых методов.

Цель работы – оценка качества прогноза по моделям (TES, TEL, RCT3) с использованием ретроспективного анализа, тестирование новых альтернативных моделей M1–M5 и выбор оптимальной модели для прогнозирования пополнения трески.

Исследование выполнено на данных рабочей группы JRN-AFWG [Joint Russian Norwegian ..., 2024]. Уравнения моделей и коэффициенты детерминации представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Регрессионные уравнения для прогноза численности пополнения трески в возрасте 3 года и их коэффициенты детерминации

Акроним модели	Уравнение модели	Заблаговременность прогноза, лет	R ²
TES	$R3 = DOxSat_{t-13}^2 + ITw_{t-43} + expIce_{t-40} + Ice_{t-15}$	1–2	0,59
TEL	$R3 = OxSat_{t-39} + ITw_{t-43}$	1–4	0,36
RCT3	$R3 = BST1 + BST2 + BST3 + BSA1 + BSA2 + BSA3$	1–3	–
M1	$R3 = Tw_{-3} + FLI_{-3}$	2–3	0,24
M2	$R3 = Storms_{-3} + Tw_{-3} + FLI_{-3}$	2–3	0,26
M3	$R3 = Tw_{-1} + FLI_{-3} + SSB_{-3}$	2–3	0,37
M4	$R3 = Tw_{-2} + FLI_{-3} + SSB_{-3}$	1	0,20
M5	$R3 = Tw_{-3} + FLI_{-3} + SSB_{-3}$	3	0,23

В моделях использовались следующие параметры:

- модели TES и TEL: $DOxSat_{t-13}^2$ – параметр аэрации придонных слоев, сложным образом влияющий на формирование численности годовых классов трески; $OxSat_{t-39}$ – месячные аномалии насыщения кислородом придонных слоев воды на станциях 3–7 разреза «Кольский меридиан»; ITw_{t-43} – характеристика интенсивности взаимодействия арктической и бореальной океанических систем в Баренцевом море; Ice_{t-15} – среднемесячные аномалии ледовитости Баренцева моря; $expIce_{t-40}$ – экспонента параметра Ice_{t-40} (индексы t–k около параметра означают, что он взят с лагом k месяцев).

- модель RCT3: BST1, BST2, BST3 – индексы численности в возрасте 1, 2 и 3 года по траловым уловам «февральской» съемки; BSA1, BSA2, BSA3 – акустические индексы в возрасте 1, 2 и 3 года по данным «февральской» и «лофотенской» съемок.

- модели M1–M5: Storms – штормовая активность над Баренцевым морем; Tw – температура атлантических вод на разрезе «Кольский меридиан»; FLI – индекс протяженности термических фронтальных зон Баренцева моря; SSB – биомасса нерестового запаса трески (–1, –2 или –3 около параметра означает, что он взят с лагом 1, 2 или 3 года).

Ретроспективный анализ прогностической способности моделей проведен для 2010–2022 гг. с ежегодной перекалибровкой коэффициентов моделей. Оценка качества прогноза выполнена по трем критериям: коэффициент детерминации (R^2), суммарная ошибка прогноза (RSS) и систематическое смещение (Mohn's Rho).

У всех моделей, кроме RCT3, прогнозы с разной заблаговременностью очень сходны между собой, поэтому проведено сравнение моделей, выполненных с заблаговременностью только в 1 год. Для RCT3 рассматриваются все варианты прогноза (на 1, 2 и 3 года вперед).

Модели TES и TEL. Ретроспективный анализ показал, что, несмотря на сравнительно неплохой результат, в конце периода модели демонстрируют значительное отклонения от наблюдаемых значений пополнения трески (Рисунок 1).

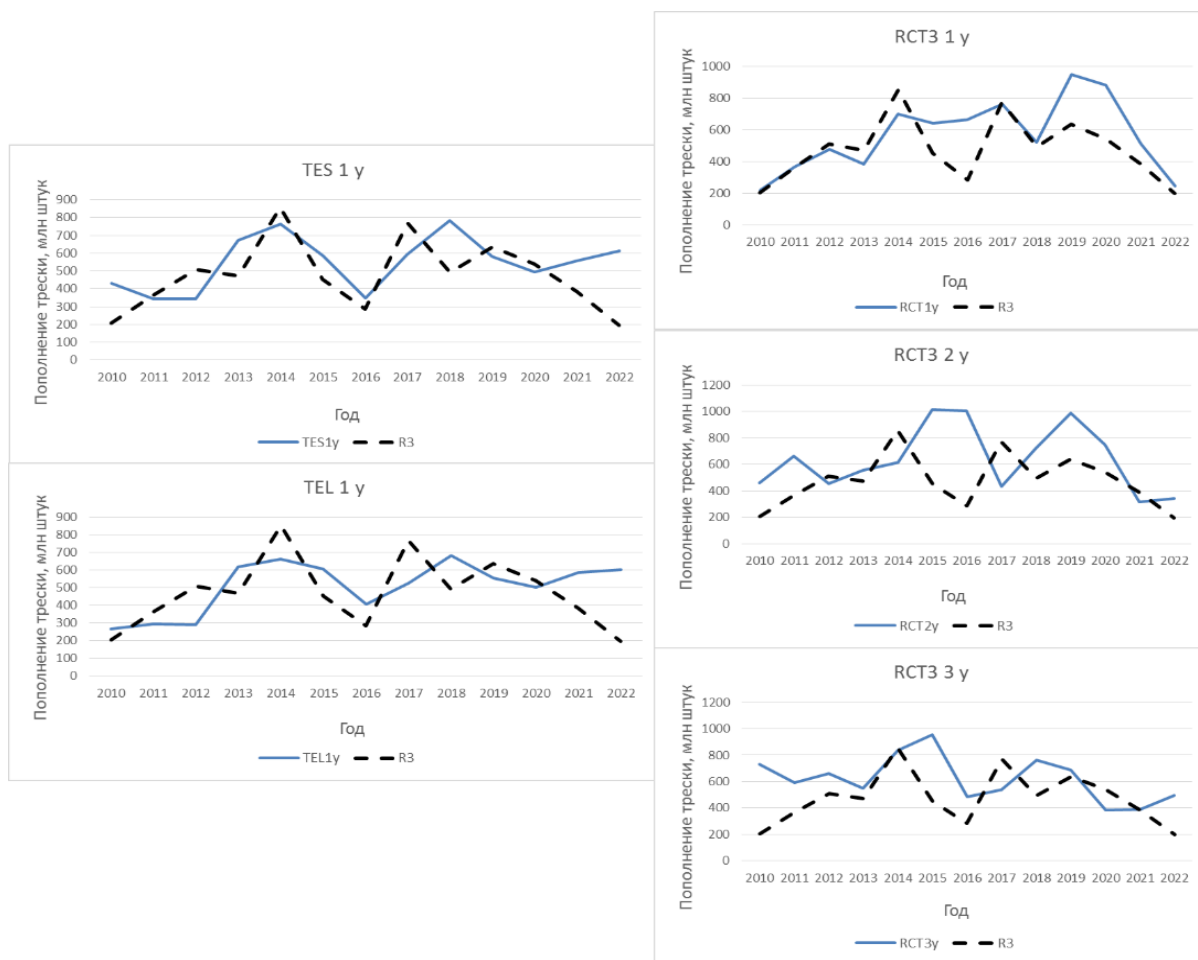


Рисунок 1. Прогнозируемая по моделям TES и TEL с заблаговременностью в 1 год (слева) и по модели RCT3 с заблаговременностью в 1–3 года (справа) численность пополнения трески в сравнении с «истинными» значениями.

Модель RCT3 в некоторые годы имеет большие отклонения от наблюдаемых значений пополнения, но в конце периода прогнозы довольно близки к факту (Рисунок 1),

а в прогнозе на 1 год вперед она демонстрирует наилучшее значение R^2 (0,48) среди всех рассматриваемых моделей. В целом для модели RCT3 характерна переоценка численности пополнения. Случаи недооценки отмечаются реже, а величины отклонений меньше. Поскольку эта модель полностью основана на индексах численности в младших возрастах, можно сделать вывод, что поколения трески в исследуемый период были относительно более многочисленными на ранних стадиях, чем в возрасте 3 года, а, следовательно, их выживаемость была ниже средней.

Модели M1–M5 оказались весьма неустойчивыми – значения параметров сильно изменялось при перенастройке на более длинный ряд наблюдений, а в динамике коэффициентов наблюдались ярко выраженные тренды. Вероятно, это связано с относительно короткими рядами наблюдений и наличием корреляции между некоторыми предикторами.

Коэффициенты детерминации прогнозов большинства моделей оказались очень низки. Поэтому в качестве возможной альтернативы мы попробовали несколько вариантов инерционного прогноза (пополнение за последний год, или среднее за несколько предшествующих лет, считается прогнозом на последующие годы) и сравнили их с прогнозом по RCT3.

Сравнение моделей только по коэффициентам детерминации приводит к довольно спорным заключениям. Например, модель Iner4 (простое среднее за 4 предшествующих года) обеспечивает сравнительно неплохое соответствие прогноза на 1 год вперед наблюдаемым данным – $R^2 = 0,38$. Однако у этого метода высокие значения RSS, т.е. суммарная ошибка прогноза велика. Значение критерия Mohn's Rho для этой модели также одно из наихудших – численность пополнения в прогнозе завышена. Меньшая ошибка прогноза (низкие значения RSS) и отсутствие смещения (низкие значения Mohn's Rho), пожалуй, более приоритетны, чем более точное описание короткоциклической изменчивости (R^2). Поэтому при выборе наилучшего метода прогноза целесообразно рассматривать сочетание всех 3-х критериев. Наилучшие результаты по совокупности критериев показывают TES и TEL для всех сроков, а M4 — для прогноза на 1–2 года. Для прогноза на 1 год наилучшим кандидатом является RCT3, скорректированная на систематическое смещение (bias), рассчитанное за последние годы.

Дальнейшее использование гибридной модели в ее текущей конфигурации для прогноза численности пополнения трески невозможно, т.к. невозможен прогноз по моделям TES и TEL, если не восстановятся ряды наблюдений за кислородом. Кроме того, отмечены значительные ошибки этих моделей в прогнозах за последние два года, причины которых пока непонятны.

Рассмотренные модели M1–M5, использующие в качестве предикторов температуру воды, индекс площади фронтальных зон, количество штормов и биомассу нерестового запаса трески, показывают неустойчивые результаты, и применять их следует с осторожностью.

Для прогноза с заблаговременностью в 1 год наилучшим кандидатом является модель RCT3, скорректированная на bias.

Для прогноза с заблаговременностью 2 года предлагается использовать модель M4 с аналогичной корректировкой на величину bias.

Для прогноза с заблаговременностью 3 года предлагается использовать модель M5 скорректированную на bias.

Для прогноза с заблаговременностью 4 года предлагается использовать инерционный метод – скользящее среднее пополнение за 4 последних года, скорректированное на bias.

Список литературы

Трофимов А.Г., Ярагина Н.А., Ившин В.А., Ковалев Ю.А., Анциферов М.Ю., Сентябов Е.В. 2023. Распределение трески в Баренцевом море в условиях изменяющегося климата. Труды ВНИРО. Т. 192: С. 68–84. DOI: 10.36038/2307-3497-2023-192-68-84.

Anon. 2013. ICES SGRF Report 2013. ICES Advisory Committee. ICES CM 2013/ACOM:24.

Joint Russian Norwegian Arctic Fisheries Working Group (JRN-AFWG) Report 2024. 2024. Howell D., Aune M., Bogstad B., Chetyrkin A., Fall J., Filin A., Godiksen J.A., Hallfredsson E.H., Johannesen E., Kovalev Yu., Mikhailov A., Russkikh A., Stesko A., Vasilyev D., Vihtakari M., Vollen T., Windsland K., Yaragina N. IMR-PINRO, 305 pp.

Shepherd J.G. 1997. Prediction of year-class strength by calibration regression analysis of multiple recruit index series. ICES Journal of Marine Science. Vol. 54. P. 741–752.

Titov O.V. 2021. Assessment of population recruitment abundance of Northeast Arctic cod considering the environment data. ICES AFWG 2021. WD:21.

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ РЫБНОГО СТАДА ЭВТРОФНОГО ОЗЕРА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЗАРЫБЛЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ РЫБОЛОВСТВОМ

В.Г. Костюсов^{1*}, О.Д. Апсолихова¹, Б.В. Адамович²

¹РУП «Институт рыбного хозяйства», Минск, Беларусь

²Белгосуниверситет, Минск, Беларусь

*E-mail: vkostousov@tut.by

Ключевые слова: озеро, эвтрофирование, рыболовство, устойчивая эксплуатация.

Ведение промыслового рыболовства во внутренних водоемах должно учитывать состояние и состав рыбных ресурсов и базироваться на методах их эксплуатации, позволяющих получать рыбопродукцию необходимого качества и поддерживать устойчивость ресурсной базы в долговременной перспективе. В качестве примера рассмотрено оз. Большие Швакшты, на котором осуществляется регулярный рыбный промысел, имеются достоверные статистические данные по интенсивности вылова, составу уловов и объемам зарыбления, а также проводятся периодические мониторинговые гидроэкологические и ихтиологические исследования, позволяющие отслеживать состояние экосистемы водоема и эксплуатируемых запасов рыб. Озеро расположено на северо-западе Беларуси, относится к региону Белорусского Поозерья, в настоящее время входит в территорию национального парка «Нарочанский». Площадь водоема равна 956 га, максимальная глубина достигает 5,3 м, средняя составляет 2,3 м. Озеро в регионе всегда имело существенное промысловое значение, обеспечивая вылов рыбы в пределах 6,4-30,8 т в год, при этом годы интенсивного облова чередовались с пропусками рыболовства. Наибольший вылов пришелся на 1986 и 1987 гг. (38,8 и 54,5 т), когда интенсивность рыболовства достигла максимальной величины. В настоящее время рыбохозяйственное использование озера заключается в ведении неводного промыслового лова и организации платного любительского рыболовства, которым занимается национальный парк на основе разработанного рыбоводно-биологического обоснования с установлением объемов допустимых квот вылова (для промысла и платного любительского). Состояние промысловых запасов проводили по показателям интенсивности рыболовства путем анализа неводных уловов по методике И.Ф.Баранова в интерпретации В.А.Федорова [Федоров, 1995]. Промыслово-ихтиологические данные на разных этапах рыбохозяйственного освоения представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Показатели интенсивности промысла, рыбопродукции и промыслового запаса облавливаемого стада рыб оз. Большие Швакшты

Годы	Достигнутая кратность облова	Относительный показатель интенсивности вылова	Достигнутая среднегодовая рыбопродукция, кг/га	Расчетный промысловый запас, кг/га
1986-1990	1,60	0,40	24,9	62,3
2000-2006	1,50	0,24	11,5	48,0
2008-2009	0,75	0,20	10,8	53,6
2011-2014	0,66	0,18	9,7	53,9
2017-2018	0,70	0,17	9,8	57,6
2022	0,62	0,19	10,3	57,2

Как можно заметить, на рубеже 2000-х гг. отмечено существенное снижение интенсивности промысла, при этом промысловая рыбопродукция снизилась в 2-2,5 раза, а промысловый запаса облавливаемого стада рыб всего на 14-23%. Мы связываем это с двумя факторами: изменением в подходе к режиму промысловой эксплуатации и изменениями в экосистеме водоема, повлекшими существенные перестройки в структуре рыбного стада.

В режиме промысловой эксплуатации озера произошло изменение, связанное с введением в Правила ведения рыболовного хозяйства (2005) такой нормы как норматив вылова. Если по Правилам промыслового рыболовства до 2005 г. основными ограничениями интенсивности лова служили промысловая мера и норма прилова молоди, то после – дополнительно норматив вылова, представляющий лимит, исчисляемый из величины годового прироста ихтиомассы [Федоров, 1996]. В результате по достижении вылова устанавливаемого лимита, промысловое рыболовство прекращается, что способствует, как свидетельствуют данные Таблицы 1 за последние годы, поддержанию рыбных запасов (ихтиомассы) по эксплуатируемым видам практически на одном уровне.

В свою очередь, в экосистеме водоема произошли существенные изменения, вызванные интенсивным зарыблением озера растительноядными рыбами (прежде всего белым амуром). Озеро и ранее периодически зарыбляли сазаном и карасем серебряным, но вселение этих видов давало краткосрочный эффект и существенно не сказывалось на условиях обитания рыб. Мелководность и относительно высокая прозрачность воды (июнь 1972 г. – 2,5 м, июнь 1991 г. – 2,0 м) способствовали интенсивному развитию водной растительности, основную фитомассу которой создавали погруженные формы, с доминированием харовых водорослей, покрывавших дно до глубины 3,5м. Макрофитный характер способствовал формированию прибрежно-зарослевого комплекса рыб, с доминирующим значением плотвы и окуня. В составе получаемых уловов в этот период преобладали малоценные мелкочастиковые рыбы (до 84%), а среди последних – плотва и окунь, в совокупности составлявшие до 80% объема промыслового вылова (Рисунок 1).

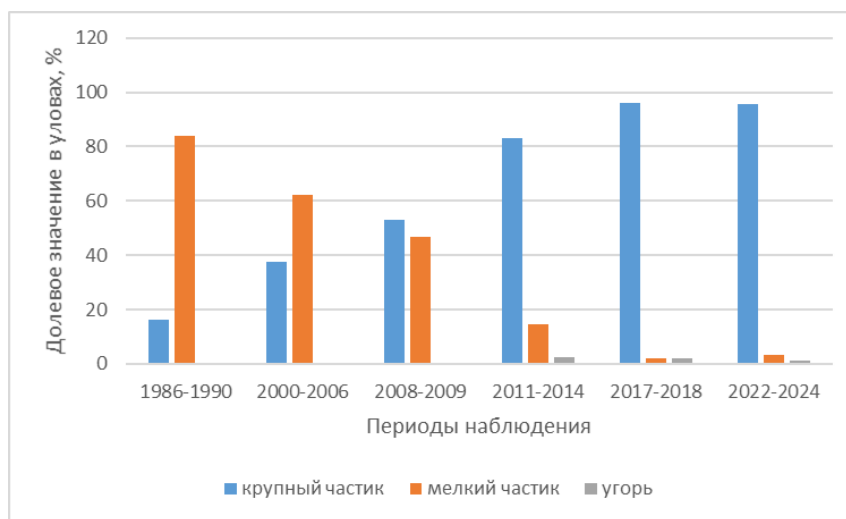


Рисунок 1. Соотношение вылова различных товарных групп рыб из оз. Большие Швакшты

Из крупночастиковых наибольшее промысловое значение имели только лещ и щука, но их среднегодовая суммарная доля не превышала 14%. В 2003-2007 гг. в целях улучшения качества получаемых промысловых уловов в озеро были произведены посадки растительноядных рыб, угря и щуки, из которых только двухлетков белого амура посажено в сумме 62,4 тыс. экз. Новые вселенцы в короткий срок оказали сильнейшее воздействие на растительные сообщества, в результате чего уже в 2008г. ранее обширные

харовые луга были сведены до сильно изреженного состояния, а в экологической ситуации были выявлены кардинальные изменения, проявившейся в резком снижении прозрачности воды (06.2008-0,45м), увеличении на порядок содержания в воде хлорофилла (50 мкг/л) и начале интенсивного «цветения» фитопланктона с преобладающим значением (98,9%) синезеленых [Остапеня, Жукова, 2009]. В итоге озеро из слабо эвтрофного перешло на более высокий трофический уровень (гипертрофное), в состоянии которого пребывает по настоящее время (прозрачность воды на июнь 2014 г. – 0,5 м, на июнь 2022 г. – 0,7 м). В новых условиях доминирующее значение в составе ихтиоценоза приобрел лещ, занявший экологические ниши зоопланкто- и бентофага. Также снижение прозрачности воды и степени зарастания макрофитами способствовало формированию устойчивой популяции судака, вселенного в 2020 г. и в течении трех лет вступившего в промысел. В результате при объеме годового промыслового вылова около 10 т, более 96% составили «ценные» крупночастиковые виды – лещ, щука, судак, угорь, из прочих вселенцев – карп и толстолобик, с преобладающим значением леща (в среднем 88%). В результате водоем из окунево-пловичного приобрел статус лещево-щучьего, повысилась стоимость получаемых промысловых уловов, возросли привлекательность для рыболовов-любителей и, соответственно, доходы от реализации путевок на право лова. Проведение рыбоводно-мелиоративных мероприятий не привело к росту объемов вылова, но способствовало структурной перестройке ихтиоценоза в пользу роста стоимости улова. Количественное преобладание хозяйственно-значимых видов рыб способствовало росту рыболовного туризма на рассматриваемых рыболовных угодьях. Рост стоимости улова в сопоставимых ценах при сохранении показателей интенсивности рыболовства способствовал повышению рентабельности ведения рыболовного хозяйства без кардинального изменения структуры рыболовства [Костоусов и др., 2016].

Таким образом, по результатам оценки рыбохозяйственной деятельности можно отметить следующее:

- ведение промыслового и платного любительского рыболовства в режиме, предусматривающем установление определенных квот вылова, способствует стабилизации рыбных ресурсов;
- стоимость совокупного промыслового улова из-за роста доли «ценных» хозяйственно-значимых видов увеличилась на 85%, а затраты на добычу квоты вылова рыбы снизились на 15%;
- отмечено некоторое снижение улова на промысловое усилие – на 12%, но это компенсируется ростом его стоимости;
- реализация общего числа разовых путевок на платное рыболовство уменьшилась, но из-за роста привлекательности увеличилась доля реализации более дорогих годовых путевок, в результате чего доходность в сопоставимых ценах возросла практически в 2 раза;
- реализация мероприятий, направленных на реконструкцию ихтиофауны хотя и привела к снижению качества воды озера, но однозначно способствовала росту экономической эффективности ведения рыболовного хозяйства.

Список литературы

- Костоусов В.Г., Адамович Б.В., Жукова Т.В., Селивончик И.Н. 2016. Оценка воздействия рыбоводных мероприятий на экосистему озера и эффективность ведения рыболовного хозяйства. Весці НАН Беларусі, сер. аграрных навук. №3. С.94–98.
- Остапеня А.П., Жукова Т.В. 2009. Изменение экологической ситуации в озере Большие Швакшты и его причины. Докл. НАН Беларуси. Т.53. № 3. С. 98–101.
- Федоров В.А. 1995. Методы и способы определения промыслового запаса рыбы в водоемах Беларуси. Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. В.13.С. 17–47.

Федоров В.А. 1996. Методика оценки рыбных запасов озер Беларуси и определение оптимального коэффициента их промыслового использования на основе прироста рыбного стада. Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. В. 14. С. 179–194.

МАКСИМАЛЬНЫЕ ГОДОВЫЕ ОБЪЕМЫ ВЫПУСКА ИСКУССТВЕННО ВОСПРОИЗВОДИМЫХ ВИДОВ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ: ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ И ВОЗМОЖНЫЕ СПОСОБЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Б.Г. Котегов*, Д.Ф. Афанасьев

ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия

*E-mail: kotegov@vniro.ru

Ключевые слова: водные биоресурсы, искусственное воспроизводство, объемы выпуска, приемная емкость.

Оценка максимальных годовых объемов выпуска (МГОВ) является неотъемлемой частью мероприятий по искусственному воспроизводству водных биологических ресурсов в водных объектах рыбохозяйственного значения Российской Федерации, которые планируются и реализуются ежегодно с целями восстановления и пополнения их промысловых запасов в естественной среде обитания, а также получения дополнительной продукции пастбищной аквакультуры и проведения рыбохозяйственной мелиорации водоемов. Эта оценка осуществляется в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами [Об утверждении ..., 2015; О предоставлении ..., 2024], а ее результаты представляются в форме периодически обновляемых научно обоснованных рекомендаций ФГБНУ «ВНИРО». Наличие и актуальность таких результатов позволяют целенаправленно планировать и своевременно корректировать развитие рыбоводных мощностей в регионах РФ, а также в полной мере компенсировать ущерб от негативного воздействия хозяйственной деятельности через проведение восстановительных мероприятий по искусственному воспроизводству водных биологических ресурсов в соответствии с требованиями Росрыболовства [Об утверждении ..., 2020].

Вместе с тем, на данный момент остается нерешенным ряд ключевых проблем, которые осложняют процесс координации и управления процедурами по проведению оценки МГОВ на межрегиональном и межбассейновом уровнях под эгидой ФГБНУ «ВНИРО». Ниже перечислены основные из этих проблем с указанием способов их решения.

Проблема 1: отсутствие стандартных методологических подходов и единой методической базы, позволяющей получать объективные и верифицируемые оценки МГОВ в ежегодном режиме для всех рыбохозяйственных бассейнов РФ.

Способ решения: разработка и утверждение общих методических указаний (руководства) по оценке МГОВ, предварительно согласованных и одобренных ведущими специалистами, занимающимися данным вопросом в разных регионах РФ.

Реализация: в настоящее время в ФГБНУ «ВНИРО» готовится к рассмотрению проект методических указаний по оценке МГОВ с перспективой последующего издания и внедрения в практическое использование с 2026 г.

Проблема 2: отсутствие адекватных цифровых инструментов для математических расчетов МГОВ, понятных и удобных для практического применения научными сотрудниками рыбохозяйственных организаций.

Способ решения: разработка специализированного программного обеспечения для удобства расчетов МГОВ в цифровой среде с последующим его внедрением в рыбохозяйственную практику и обучением соответствующих пользователей.

Реализация: в настоящее время разработаны авторские пилотные проекты по цифровой конвертации ряда математических методов оценки МГОВ в форму программ ЭВМ [Афанасьев и др., 2024б; 2025б]

Проблема 3: объективная сложность оперативного получения в ходе полевых исследований всего массива первичной биологической информации, необходимой для расчетов МГОВ в качестве исходных количественных данных, обусловленная большим количеством водных объектов рыбохозяйственного значения, труднодоступностью многих из них, а также разнообразием и выраженной сезонной / многолетней динамикой гидробиологических процессов.

Способы решения: привлечение дополнительных материально-технических и кадровых ресурсов для реализации актуальных исследований продукционно-гидробиологического и трофо-ихтиологического направлений на водных объектах рыбохозяйственного значения; создание, пополнение и использование единой базы данных, содержащей полезную количественную и качественную информацию для проведения оценки МГОВ с применением методологии водных объектов-аналогов.

Реализация: в рамках государственного задания в ФГБНУ «ВНИРО» проводятся ежегодные прикладные научные исследования по оценке приемной емкости водных экосистем на примере модельных водных объектов разных рыбохозяйственных бассейнов РФ; в отдел гидробиологии и оценки приемной емкости водоемов России Центрального института ВНИРО привлекаются квалифицированные специалисты для выполнения организационных, методологических и практических задач, связанных с оценкой МГОВ; под эгидой Всероссийской научно-образовательной программы Плавающего университета готовятся предложения по чтению лекций студентам с соответствующим информационно-тематическим наполнением по современному развитию подходов и методов оценки МГОВ с целью привлечения молодых кадров к решению обозначенных выше проблем; в прошлом году разработан перспективный вариант программы управления базой данных приемных емкостей водоемов [Афанасьев и др., 2024а; 2025а].

Список литературы

Афанасьев Д.Ф., Белоусов В.Н., Дацюк О.В., Кульба С.Н., Пятинский М.М. 2024а. Программа управления базой данных приемных емкостей водоемов / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2024669690 от 20.08.2024 (заявка № 2024665870 от 10.07.2024).

Афанасьев Д.Ф., Белоусов В.Н., Дацюк О.В., Кульба С.Н., Пятинский М.М. 2025а. Программа управления базой данных приемных емкостей водоемов 2.0 / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2025684807 от 18.09.2025 (заявка № 2025683910 от 20.08.2025).

Афанасьев Д.Ф., Бизиков В.А., Кульба С.Н., Мирзоян А.В. 2025б. Приём 3.0 – программа для расчета приемной емкости водоемов / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2025683649 от 05.09.2025 (заявка № 2025681674 от 15.07.2025).

Афанасьев Д.Ф., Биндарев И.В., Кульба С.Н., Мирзоян А.В., Пятинский М.М. 2024б. Расчет приемной емкости водоемов – Приём 2.0 / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2024666779 от 17.07.2024 (заявка № 2024665802 от 10.07.2024).

Об утверждении Методики расчета объема добычи (вылова) водных биологических ресурсов, необходимого для обеспечения сохранения водных биологических ресурсов и обеспечения деятельности рыболовных хозяйств, при осуществлении рыболовства в целях аквакультуры (рыбоводства) / Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 30 января 2015 года № 25 (ред. от 25.08.2015 г.).

Об утверждении Методики определения последствий негативного воздействия при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, внедрении новых технологических процессов и осуществлении иной деятельности на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания и разработки мероприятий по устранению последствий негативного воздействия на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания, направленных на

восстановление их нарушенного состояния / Приказ Федерального агентства по рыболовству Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 6 мая 2020 года № 238 (ред. от 26.05.2025 г.).

О предоставлении рекомендаций (заключений) подведомственным Федеральному агентству по рыболовству ФГБНУ «ВНИРО» / Приказ Федерального агентства по рыболовству Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 2 мая 2024 г. № 232.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТОЛИТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТА И РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА РОСТА ЕВРОПЕЙСКОЙ РЯПУШКИ ОЗЕРА ВИШТЫНЕЦКОГО (КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Е.В. Кривопускова*, О.А. Новожилов

ФГБОУ ВО «КГТУ», Калининград, Россия

*E-mail: ekaterina.krivopuskova@klgtu.ru

Ключевые слова: европейская ряпушка, отолиты, чешуя, рост, определение возраста, регрессионный анализ роста.

Европейская ряпушка (*Coregonus albula* L.), представитель арктического пресноводного фаунистического комплекса, популяции которой играют важную роль в пелагических ихтиоценозах олиго- и мезотрофных озер, для которых характерна температурная стратификация в летний период. Как и другие виды данного комплекса, а в особенности планктофаги, этот вид крайне чувствителен к колебаниям абиотических и биотических факторов среды, как вызванных эвтрофикацией (естественной и антропогенной) так и климатическими изменениями. Являясь облигатным планктофагом, данный вид реагирует на увеличение продуктивности озер, повышением трофического статуса, ускорением темпов роста и образованием так называемых «крупных» форм (не отличающихся от популяций «мелких» форм других водоемов морфометрически и генетически) [Wanke et al., 2021].

Популяция европейской ряпушки озера Виштынецкого долгое время относилась к группе – популяции «мелкой» ряпушки. В пелагиали озера она является, согласно индексу Шеннона, супердоминантом. Сравнительный анализ данных показывает, что в начале 2000-х годов происходило снижение среднего размера в популяции по сравнению с данными 70-80-х годов [Шибяев и др., 2010]. Однако, начиная с 2021 г. наблюдается увеличение средних размеров особей в уловах и закономерное увеличение средней навески. Учитывая результаты предыдущих исследований популяции в период с 2006 по 2020 г. [Алдушин, 2021; Кривопускова, Соколов, 2014; Кривопускова, 2015], выполняемые ежегодно кафедрой Водных биоресурсов и аквакультуры (быв. кафедра Ихтиологии и экологии) ФГБОУ ВО КГТУ, возникло два предположения: «у популяции европейской ряпушки озера Виштынецкого наблюдаются изменения возрастной структуры» либо «у данной популяции наблюдаются изменения темпов размерного и весового роста». Для проверки данных гипотез было решено провести достоверную оценку возрастной структуры популяции, а также регрессионный анализ роста.

Для определения возраста и оценки темпов роста европейской ряпушки преимущественно используют чешую. Широкое применение данная регистрирующая структура получила благодаря простоте сбора, обработки и хранению архивов. Европейская ряпушка обладает легко спадающей чешуей, что приводит к значительной ее потере при обработке контрольных уловов, также, в некоторых случаях, большая часть отобранного материала может быть непригодна для определения возраста в результате повреждений. Кроме этого, при проведении регрессионного анализа сложно получить достоверные значения зависимости «радиус чешуи – длина рыбы», поскольку не всегда материал возможно собрать на стандартизированных участках, в особенности у младшевозрастных групп. Особенно остро данная проблема наблюдается при использовании объячеивающих орудий лова.

Использование отолитов как регистрирующей структуры у европейской ряпушки не распространено, тем не менее, их используют при оценке промыслового возврата в

Западной Европе (метод флуоресцентных меток). Однако имеется достаточно много литературных данных об использовании отолитов сига обыкновенного (*Coregonus lavaretus*, L.) [Skurdal et al., 1985; Hägerstrand et al., 2017] для определения возраста и регрессионного анализа, что позволило адаптировать существующие методики по отбору и определению возраста по отолитам для европейской ряпушки.

Отбор отолитов у особей популяции европейской ряпушки озера Виштынецкого для отработки методики и оценки целесообразности их использования начался в 2016 г. Параллельно, у этих же особей производился сбор чешуи. Для сбора отолитов использовались различные методики: через продольный разрез по верхней средней линии головы и через поперечный разрез у основания черепа. Второй метод был менее деструктивным по отношению к отбираемой структуре. В 95% случаев удавалось избежать раскола отолитов и в почти 100% отбирались оба отолита. При продольном разрезе наблюдался относительно высокий процент потери одного из отолитов (до 60% у особей размером менее 14 см, которые до последнего времени являются наиболее массовыми в уловах) и была относительно высока доля поврежденных отолитов. Начиная с 2019 г. в рамках исследований использовался только метод «поперечного разреза».

Чешуя до определения возраста хранилась в чешуйных книжках, отолиты также первично хранились в чешуйных книжках. К сожалению, отолиты показали меньшую сохранность при выбранном методе хранения, по мере высыхания увеличивалась их хрупкость, вследствие чего часть отолитов была значительно повреждена. В дальнейшем для обеспечения безопасной транспортировки собранные отолиты помещались в пронумерованные микроцентрифужные пробирки типа Эппендорф (объем 1,5 мл), которые в дальнейшем хранились в специализированном штативе. Данный способ позволил полностью исключить повреждение образцов и облегчил дальнейшую процедуру их консервации и хранения.

В лаборатории определение возраста по чешуе и отолитам проводилось по стандартным методикам [Правдин, 1966]. Оtolиты не подвергались дополнительной обработке и помещались в капле воды под падающий свет (Рисунок 1, а). Основываясь на литературных данных и личном опыте авторов, отолиты европейской ряпушки могут подвергаться дополнительной шлифовке в случае, когда необходимо «получить доступ» к мальковому кольцу, где располагается флуоресцентная метка.

Как показали первые попытки определения возраста, годовые кольца видны достаточно неплохо, что позволило упростить и ускорить работы. Однако при работе с отолитами у старшевозрастных групп возникали сомнения в границах первого года. Дополнительная шлифовка помогала четко выделить его границы, но требовала чрезвычайно осторожной работы с материалом. Как альтернатива шлифовке был использован метод предварительного вымачивания отолита в 95% этиловом спирте. В результате предварительного вымачивания образцов в течение 10 минут, годовые кольца проявлялись более четко (Рисунок 1, б).



а



б

Рисунок 1. Отолит европейской ряпушки в падающем свете:
а) без дополнительной обработки; б) после вымачивания

Сопоставление полученных результатов при параллельном определении возраста по двум регистрирующим структурам показало 100% совпадение результатов, однако использование отолиров значительно ускорило работу, а в дальнейшем позволило увеличить объем обработанных образцов за счет включения особей, у которых невозможно было отобрать чешую ввиду значительного травмирования покровов при выборке из орудий лова или при почти полном ее отсутствии.

При анализе данных, необходимых для проведения регрессионного анализа темпов роста европейской ряпушки озера Виштынецкого, была выявлена большая вариабельность значений радиуса чешуи в рамках одной размерной группы. Коэффициент корреляции между радиусом чешуи и длиной был менее 0,5. Достоверных значений корреляции при использовании чешуи получалось достичь при использовании только образцов, полученных при отборе проб с одного стандартизированного участка, что значительно снижало объем выборки (до 90% особей были не пригодны для отбора при использовании сетных орудий лова) и увеличивало время обработки уловов. Результаты, полученные при использовании отолиров, закономерно показали значительно более высокий коэффициент корреляции (0,97), кроме этого их использование позволило определить возраст мелкоразмерных особей (4-6 см) и установить, что годовое кольцо у европейской ряпушки озера Виштынецкого закладывается в конце апреля – мае, тогда как на чешуе оно закладывается в середине июля.

Предложенная методика отбора отолиров европейской ряпушки и дальнейшая их обработка при определении возраста и регрессионного анализа темпов роста позволила не только ускорить работу на отдельных этапах, но и увеличить достоверность получаемых результатов, что в дальнейшем позволит сделать вывод о наличии и причинах структурных изменений в популяции.

Список литературы

Алдушин А.В. 2021. Пространственно-временная динамика пелагического ихтиоценоза олиготрофного озера на примере озера Виштынецкого. Автореф. дис. канд. биол. наук. Калининград: ФГБОУ ВО КГТУ, 21 с.

Кривоускова Е.В., Соколов А.В. 2014. Размерно-возрастная структура европейской ряпушки озера Виштынецкого (Калининградская область). II Международная научно-практическая конференция «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов». Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ». С. 34–36.

Кривоускова Е.В., Соколов А.В. 2015. Многолетняя динамика возрастной структуры европейской ряпушки в озере Виштынецком. III Балтийский морской форум. Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ». С. 35–38.

Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 375 с.

Шибяев С.В., Соколов А.В., Алдушин А.В. 2010. Современное состояние популяции ряпушки (*Coregonus albula* L.) в озере Виштынецком Калининградской области. VII международное научно-производственное совещание «Биология, биотехника разведения и состояние запасов сиговых рыб». Тюмень: Государственный научно-производственный центр рыбного хозяйства, С. 64–68.

Hägerstrand H., Himberg M., Jokikokko E., von Numers M., Mrówczyńska L., Vasemägi A., Wiklund T., Lill J-O. 2017. Otolith elemental characteristics of whitefish (*Coregonus lavaretus*) from brackish waters of the Gulf of Bothnia, Baltic Sea. Ecology of Freshwater Fish. Vol. 26. No. 1. P. 66–74. DOI:10.1111/eff.12255.

Skurdal J., Leif Asbjørn Vøllestad A., Qvenild T. 1985. Comparison of scales and otoliths for age determination of whitefish *Coregonus lavaretus*. Fisheries Research. Vol. 3. P. 237–243. DOI: 10.1016/0165-7836(85)90024-4.

Wanke T.S., Brämick U., Mehner T. 2021. Fast Somatic Growth May Cause Recruitment Overfishing in Vendace (*Coregonus albula*) Gillnet Fisheries. *Annales Zoologici Fennici*. Vol. 58: P. 271–287. DOI:10.5735/086.058.0412.

ВЛИЯНИЕ РАЗДЕЛЬНОГО УЧЁТА ПАРАМЕТРОВ РОСТА ЧЁРНОГО ПАЛТУСА ПО РАЙОНАМ ОХОТСКОГО МОРЯ И ПОЛАМ НА ОЦЕНКУ СОСТОЯНИЯ ЕГО ЗАПАСОВ

В.В. Кулик*, О.З. Бадаев

Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

*E-mail: vladimir.kulik@tinro.vniro.ru

Ключевые слова: чёрный палтус, Охотское море, биомасса, JABBA, JABBA-Select.

Чёрный палтус *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae* в рыбопромысловой зоне Охотское море (ЗОМ) переловлен [Кулик и др., 2022]. Однако в подзоне Восточно-Сахалинской (ПВС) предполагается более благоприятное состояние запаса, чем во всей ЗОМ. Траловый промысел в ПВС не смог развиваться из-за сложных грунтов, а максимальные уловы донными жаберными сетями (ДЖС) в начале промысла достигали 9,8 т на судо-сутки [Кодолов, Савин, 1997]. По приблизительным расчётам суммарные уловы в начале промысла достигали 4 тыс. т в ПВС. Даже в режиме научно-исследовательских работ добыча чёрного палтуса тогда в ПВС составила 2,4 тыс. т, а в последние годы уловы и объёмы допустимых уловов (ОДУ) стали на порядок ниже (Таблица 1).

Таблица 1. Вылов, ОДУ и освоение ОДУ чёрного палтуса в Охотском море

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Зона	Охотское море									
Вылов, тыс. т	9,3	10,61	8,672	8,676	7,557	6,552	3,688	2,438	1,262	0,766
ОДУ, тыс. т	13,26	13,28	13,31	12,74	12,15	10,80	9,0	5,10	3,26	1,21
Освоение, %	70,1	79,9	65,2	68,1	62,2	60,7	41,0	47,8	38,7	63,3
Подзона	Восточно-Сахалинская									
Вылов, тыс. т	0,244	0,232	0,417	0,369	0,552	0,669	0,649	0,490	0,373	0,275
ОДУ, тыс. т	0,250	0,250	0,450	0,450	0,600	0,720	0,750	0,670	0,610	0,280
Освоение, %	97,6	92,9	92,7	82,0	92,0	92,9	86,5	73,1	61,1	98,2

Средний вылов за судо-сутки ДЖС упал ниже 2 т в ПВС с 4,5–7 т в начале 1990-х гг., а к востоку от меридиана 150° в.д. ДЖС запрещены с 2023 г. Основное орудие целевой добычи чёрного палтуса в ЗОМ – донный ярус. Однако в ПВС доля ДЖС до сих пор составляет 90% от общего вылова. Бесспорно, изменения в селективности должны учитываться при оценке воздействия промыслового изъятия на запас, но применяемая по сей день модель JABBA [Winker, Carvalho, Carur, 2018] не позволяет этого сделать. Она также не способна учитывать различные скорости роста самцов и самок, а также их региональные отличия. В результате применения более точной методики определения возраста чёрного палтуса установлено, что в ПВС параметры скорости роста самок значительно отличаются от восточной части ЗОМ, а не только от скорости роста самцов [Badaev, Kulik, 2026].

Дополнительная проблема – это уровни биомассы чёрного палтуса в ПВС. До начала промысла там насчитывали свыше 72 тыс. т, в начале промысловой истории уровень биомассы сокращался с 40 тыс. т в 1992 г. до 18 тыс. т в 2009 г., а затем снова вырос до 35,3 тыс. т в 2018 г. [Кулик, Мазникова, 2021]. В 2024 г. отмечено появление заметного количества молоди чёрного палтуса на шельфе ПВС. Однако практически все

съёмки уже перечислены выше, поэтому продолжительного ряда наблюдений биомассы в ПВС просто нет. С некоторыми допущениями можно восстановить динамику биомассы чёрного палтуса в ПВС на основе промысловой информации.

Таким образом, цель данной работы – учесть выявленные отличия в основных орудиях лова и в скорости роста стад чёрного палтуса в современной модели JABBA-Select [Winker et al., 2020], чтобы точнее определить состояние запаса чёрного палтуса в ПВС.

Учёт различий в селективности ДЖС, донных ярусов и тралов, а также скорости роста по полу в модели JABBA-Select (JS) позволил снизить корень среднеквадратичной ошибки (RMSE) с $RMSE = 67,6\%$ до $RMSE = 64,7\%$. Итак, модель без учёта различий скорости роста по полу и в селективности (далее – Pella) ошибалась сильнее.

Вероятность того, что нерестовая биомасса (SB) чёрного палтуса в ПВС находится в зоне благоприятной эксплуатации согласно модели JS выше, чем в модели Pella и составляет 96,4% против 63,5% (Рисунок 1). Этот результат кардинально отличается от оценки состояния запаса чёрного палтуса в ЗОМ в модели JABBA, где аналогичная вероятность по-прежнему составляет 0% по данным до 2024 г., так же как было опубликовано ранее по данным до 2021 г. [Кулик и др., 2022].

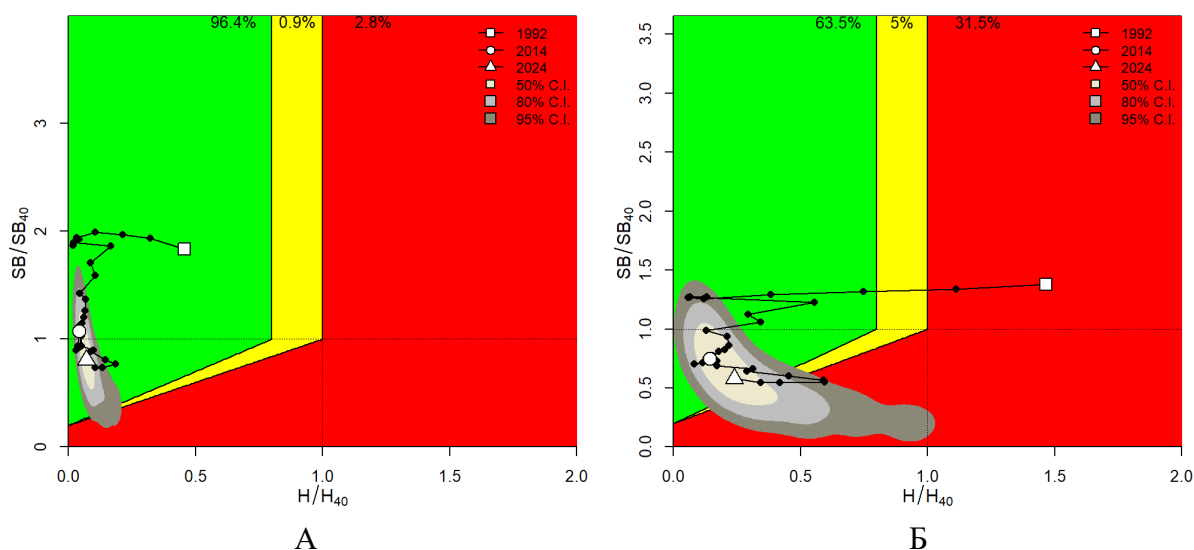


Рисунок 1. Состояние SB чёрного палтуса в ПВС относительно целевой SB₄₀, а также его эксплуатации N относительно целевой N₄₀ в модели JS (А) и Pella (Б)

Стоит отметить, что ошибки процесса в модели JS найдены в более широком 95% доверительном интервале и с большей амплитудой, хотя они совпадали с таковыми в модели Pella на значимом уровне корреляции $r = 0,965$. Эти ошибки почти идеально воспроизводятся: $r^2 = 0,99$ (Рисунок 2) в обобщённой аддитивной модели (GAM), у которой только один предиктор, но с задержками до 5 лет, что позволяет эффекту накопиться. Этот эффект – доля имитированных частиц, запущенных в октябре в эпицентре нереста чёрного палтуса в восточной части ЗОМ и дошедших до северного разреза у восточного Сахалина менее чем за 150 дней. Ранее мы уже обнаруживали в GAM аналогично тесную связь ($r = 0,94$, $p < 0,05$) с промысловым запасом (FSB) чёрного палтуса в ПВС при запуске частиц в октябре и ноябре за 6 лет до формирования FSB [Кулик и др., 2020]. Здесь в новой GAM задержки предиктора от 0 до 2 лет имеют линейный отрицательный эффект, а с 3 до 5 лет по 2 положительных оптимума в области низких и высоких значений предиктора. Вероятно, при слабом переносе частиц успешно

развивается локальное стадо в ПВС, а при аномально сильном оно ещё и пополняется из восточной части ЗОМ.

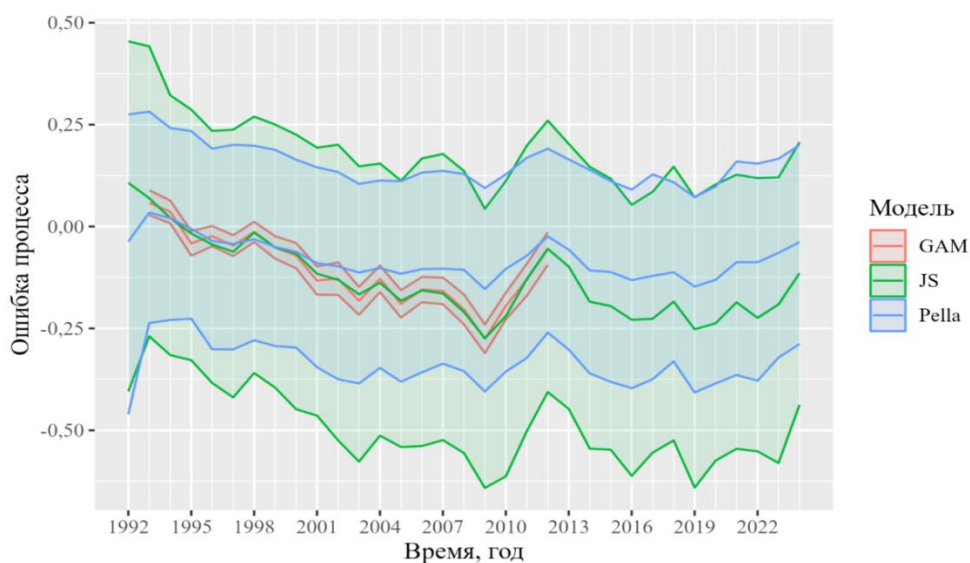


Рисунок 2. Ошибки процесса моделей JS и Pella, а также их прогнозирование в GAM от относительного числа частиц на разрезе в ПВС, снесённых с нерестилищ на востоке ЗОМ

Итак, отдельный учёт параметров роста чёрного палтуса по районам Охотского моря и полам оказывает значительное влияние на оценку состояния запасов. Ошибки процессов воспроизводятся на основе изменений в циркуляции вод, но из-за накопительного эффекта и имеющихся ограничений в гидрологических индексах до 2017 г. они проверены только до 2012 г., а смена отрицательной тенденции на кратковременную положительную произошла в 2010 г. Следовательно, необходимо продлить ряд долей частиц, которые были рассчитаны в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева» [Кулик и др., 2020], а затем проверить всё заново за более длительный период времени, как по ПВС, так и по другим подзонам ЗОМ.

Список литературы

- Кодолов Л.С., Савин А.Б. 1997. Сетной промысел черного палтуса в Охотском море. Рыбное хозяйство. № 4. С. 40–42.
- Кулик В.В., Мазникова О.А. 2021. Оценка запаса черного палтуса в Охотском море с учетом придонной температуры. Океанологические исследования: мат-лы 9-й конф. мол. ученых. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, С. 158–163.
- Кулик В.В., Пранц С.В., Будянский М.В., Улейский М.Ю., Файман П.А., Глебов И.И., Глебова С.Ю., Новиков Р.Н. 2020. Связь запасов черного палтуса в Охотском море с факторами внешней среды. Известия ТИНРО. Т. 200(1). С. 58–81. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-58-81.
- Кулик В.В., Глебов И.И., Асеева Н.Л., Новиков Р.Н. 2022. Оценка состояния запаса черного палтуса (*Reinhardtius hippoglossoides matsuurae*) в Охотском море. Известия ТИНРО. Т. 202. № 2. С. 466–497. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-466-497.
- Badaev O.Z., Kulik V.V. 2026. Morphoecological Approach to the Study of Intraspecific Structure of Greenland Halibut *Reinhardtius hippoglossoides* (Pleuronectidae) in the Sea of Okhotsk. Journal of Ichthyology. Vol. 66. No. 1. pp. 168–181. DOI: 10.1134/S0032945225600971.
- Winker H., Carvalho F., Kapur M. 2018. JABBA: Just Another Bayesian Biomass

Assessment. Fisheries Research. Vol. 204. P. 275–288. DOI: 10.1016/j.fishres.2018.03.010.

Winker H., Carvalho F., Thorson J.T., Kell L.T., Parker D., Kapur M., Sharma R., Booth A.J., Kerwath S.E. 2020. JABBA-Select: Incorporating life history and fisheries' selectivity into surplus production models. Fisheries Research. Vol. 222. 105355. DOI: 10.1016/j.fishres.2019.105355.

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ И СУДОВЫМ ДАННЫМ НА ПРИМЕРЕ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

А.В. Кутузов

ФГБУН «ИБВВ РАН», Ярославская обл., Россия

E-mail: kutuzov@ibiw.ru

Ключевые слова: зарастание, биоресурсы, данные дистанционного зондирования, ДЗЗ, каскад водоёмов, зоопланктон, фитопланктон, мелководья, макрофиты.

Температурный режим водоёма оказывает разнообразное влияние на водную биоту и биопродуктивность: как опосредованно через изменение концентрации кислорода и других растворённых в воде веществ, так и непосредственно на физиологическое состояние гидробионтов [Столбунов, 2007]. Динамика экосистемы Рыбинского водохранилища в значительной степени определяется температурной динамикой зон водоёма [Герасимов, 2015; Рыбы ..., 2015]. Проведение исследований многолетней и сезонной динамики температурного режима, оценка теплозапаса, а также температурный мониторинг водоёма позволяют сделать научно обоснованный прогноз его экологического состояния и биопродуктивности. Современные спутниковые снимки позволяют дистанционно осуществлять мониторинг температуры воды и ряда других показателей на качественно ином уровне, дополняя и даже частично заменяя непосредственные полевые (судовые) исследования. Разные спутниковые данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), позволяют осуществлять полномасштабный и оперативный мониторинг состояния крупных водоёмов [Кутузов, 2016].

Анализ данных проведён по ДЗЗ (Landsat 8-9) Рыбинского водохранилища за 2016, 2019, 2022 гг. и ряд других лет. Были привлечены материалы судовых измерений экспедиций ИБВВ РАН за период 2012–2022 гг.

Защищённые зарастающие мелководья водохранилища вызывают особое внимание в наших исследованиях температурного режима водоёма в настоящее время [Географические методы ..., 2024]. Все карповые, а также щука – фитофилы, откладывающие икру на растения. Ранние стадии онтогенеза этих видов тесно связаны с зарослями водных растений на мелководьях [Копылов и др., 2019; Поддубный и др. 2022].

Тепловая карта водной поверхности (рисунок), полученная анализом спутниковых данных (ДЗЗ), температурный диапазон: 22,4–24,7 (от голубого до красного цвета соответственно). Мелководные зоны и впадающие реки более прогреты. На карте отмечен ряд мелководий, которые более детально изучены с использованием дистанционных методов (ДЗЗ): Мякса, Брейтово, Красный ручей (Борок) – чёрные полигоны.

Разработан метод определения теплового поля водохранилища на основе анализа тепловых каналов В9, В10 и В11 в сочетании с метеоданными [Расписание погоды, электронный ресурс]. Полученные этим методом карты показали независимость картины распределения тепловых полей крупного мелководья (Красный ручей) от сезонного развития макрофитов.

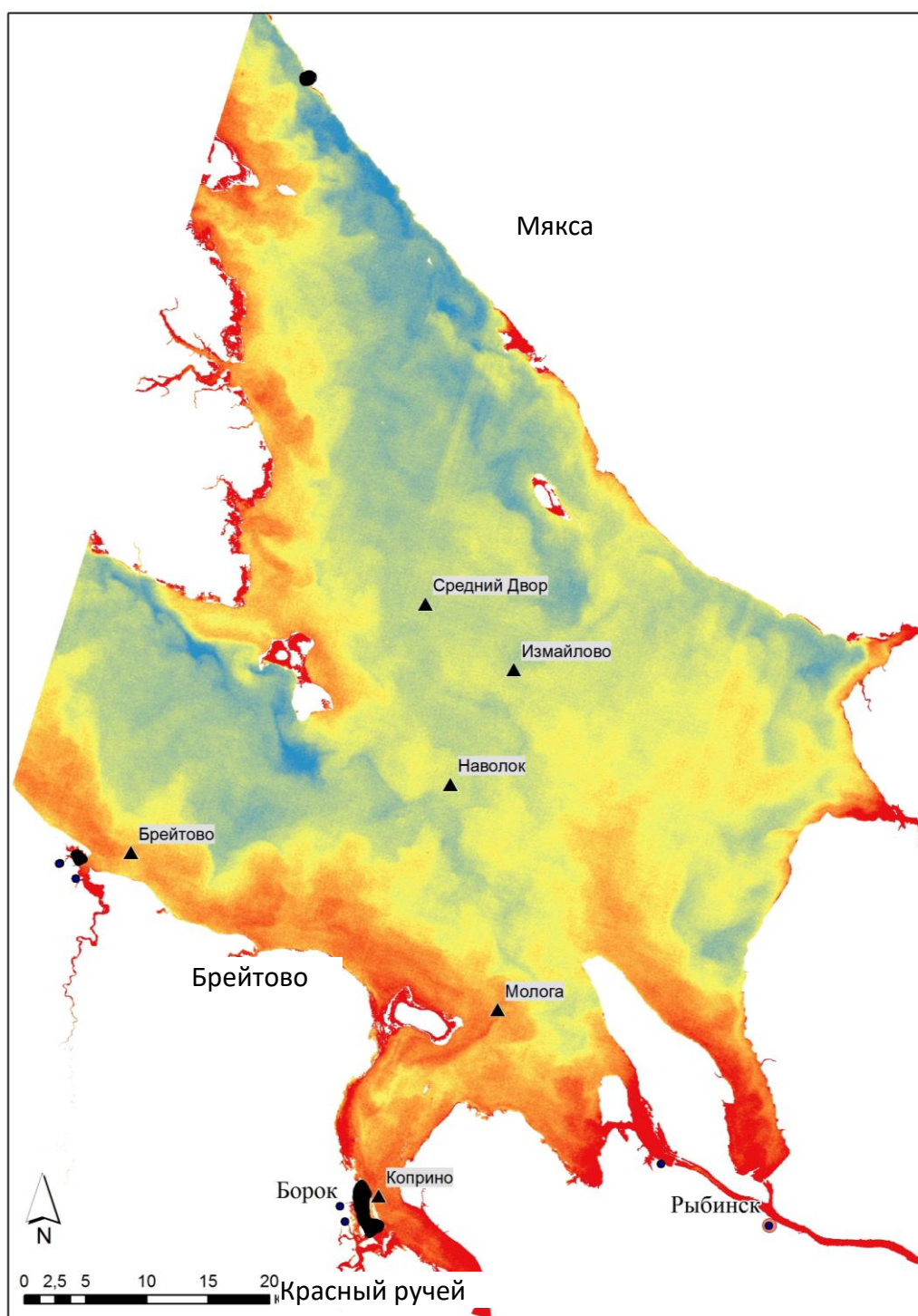


Рисунок 1. Пример распределение температурных полей Рыбинского водохранилища 01.07.2022. (Мелководья обозначены крупным шрифтом, гидрологические станции – мелким)

Прямое сопоставление результатов судовых измерений температуры (электронный мультиметр) и данных космической съёмки (ДЗЗ) затруднительно: замеры проводятся в разное время и на разных глубинах. Однако, при сравнении данных близких дат и для поверхности воды, результаты этих 2 методов определения близки (Таблица 1). Здесь арифметическое среднее значений этих температур отличается на $0,6^{\circ}\text{C}$. Общая картина значений температур совпадает. Более низкие «судовые» значения могут быть связаны с глубиной замеров поверхности – 0,5м.

Таблица 1. Сравнение температуры воды определённой контактными (судовыми) измерениями и дистанционными (ДЗЗ) методами

Название гидрологической станции	Температура на карте	Температура в точке 01/07/2022
Коприно	22	21,4
Молога	22	20,1
Наволоки	20	19,9
Измайлово	20	19,4
Средний Двор	20	19,5
Брейтово	21	21,1

Таким образом, показана возможность дистанционного определения температуры поверхности воды и близость значений к данным судовых измерений в пределах: 0,9°C. Общая картина теплового поля мелководья (Красный ручей) не зависит от сезонного развития водной растительности. Данные по распределению теплового поля для рассмотренных мелководий отражают особенности рельефа и сезонных течений.

Список литературы

- Географические методы изучения экосистем внутренних водоёмов. 2024. Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина. Ярославль: Филигрань, 206 с.
- Герасимов Ю.В. 2015. Популяционная динамика рыб Рыбинского водохранилища за период его существования: роль естественных и антропогенных факторов. Водные биологические ресурсы. Труды ВНИРО Т. 156, С. 67–90.
- Копылов А.И., Масленникова Т.С., Рыбакова И.В., Минеева Н.М. 2019. Вклад автотрофных сообществ в формирование первичной продукции в экосистеме Рыбинского водохранилища. Биология внутр. вод. № 4. С. 94. DOI: 10.1134/S0320965219040260.
- Кутузов А.В. 2016. Оперативный спутниковый мониторинг скоплений планктонных водорослей и количественная оценка их плотности. Научный журнал Пермского университета Географический вестник. № 3(38), С. 160–168.
- Поддубный С.А., Чемерис Е.В., Кутузов А.В., Цветков А.И., Бобров А.А. 2022. Динамика высшей водной растительности защищенного мелководья в связи с уровнем воды в Волжском плесе Рыбинского водохранилища. Биология внутренних вод. № 2. С. 136–146. DOI: 10.31857/S0320965222020085.
- Расписание погоды – [Электронный ресурс]. URL: <http://rp5.ru> (дата обращения: 11.09.2024).
- Рыбы Рыбинского водохранилища: популяционная динамика и экология. Рыбы Рыбинского водохранилища: популяционная динамика и экология. Ярославль: Филигрань: 2015. 418 с.
- Столбунов И.А. 2007. Особенности распределения молоди рыб в прибрежной зоне Рыбинского водохранилища. Биология внутр. вод. № 4. С. 55–61.

ОСНОВНЫЕ РИСКИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ ПРИМОРСКОГО ГРЕБЕШКА В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ НА ФОНЕ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

С. А. Ляшенко

Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

E-mail: svetlana.liashenko@tinro.vniro.ru

Ключевые слова: приморский гребешок, марикультура, глобальное потепление климата.

Приморский гребешок *Mizuhopecten yessoensis* Jay – основной объект марикультуры двустворчатых моллюсков в России. Большая часть приморского гребешка культивируется в Приморском крае. Ежегодно его выращивают около 20 тыс. т. в год.

На протяжении десятков лет наиболее активная хозяйственная деятельность по культивированию гребешка ведется в заливе Петра Великого. При выборе районов для культивирования учитывалась не только близость к инфраструктуре, но и защищенность от преобладающих в летний период южных и юго-восточных ветров. Также принимались во внимание рекомендации о том, что температура воды в период максимального летнего прогрева на глубине более 6 м, где выращивают гребешок, должна оставаться для него комфортной, ниже 20°C, а насыщение кислородом должно быть не менее 90% [Силина, 1990; Справочник ..., 2022].

На фоне глобального потепления климата в последние годы наблюдается увеличение продолжительности волн тепла, что приводит к более интенсивному прогреву водных масс. Особенно заметны эти изменения в прибрежной зоне, где располагаются хозяйства марикультуры. По результатам измерения поверхностной температуры воды, проводимым еженедельно в летние месяцы в одном из районов у северо-западного побережья острова Русский, можно сделать вывод о том, что ее значения в июле в последние восемь лет стали заметно выше, чем в начале двухтысячных годов. Среднемесячные значения достигают величин, которые ранее были характерны для августа (Рисунок 1).

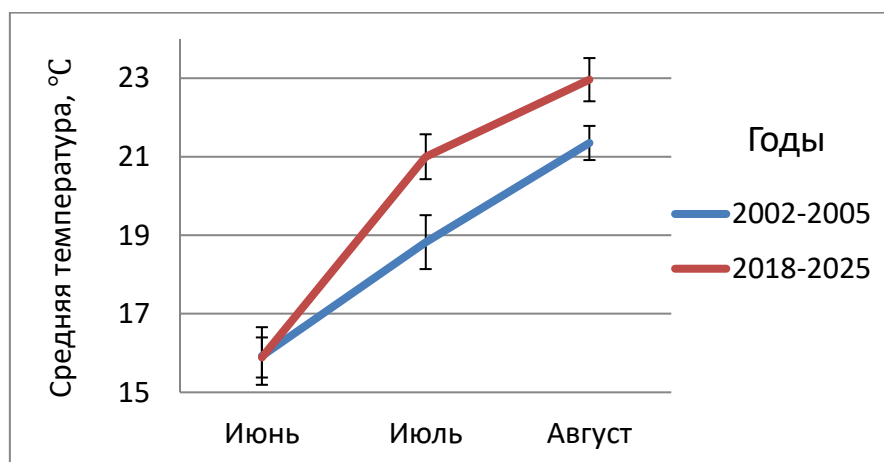


Рисунок 1. Изменение интенсивности прогрева поверхностной температуры воды в северо-западной части о. Русский. Примечание: значения представлены в виде средней и его ошибки

Особенно жарким июль был в 2021 и 2025 гг. В 2021 г. к началу августа температура воды и на глубине 8-10 м превысила отметку 20°C, а в 2025 г. ее значения достигали 22-23°C на глубине 10-14 м уже в июле (Рисунок 2). Таким образом, неблагоприятно высокие значения температуры воды в островной зоне регистрировались как в толще воды, где происходит садковое выращивание, так и в придонном слое, где гребешок выращивают пастбищным методом.

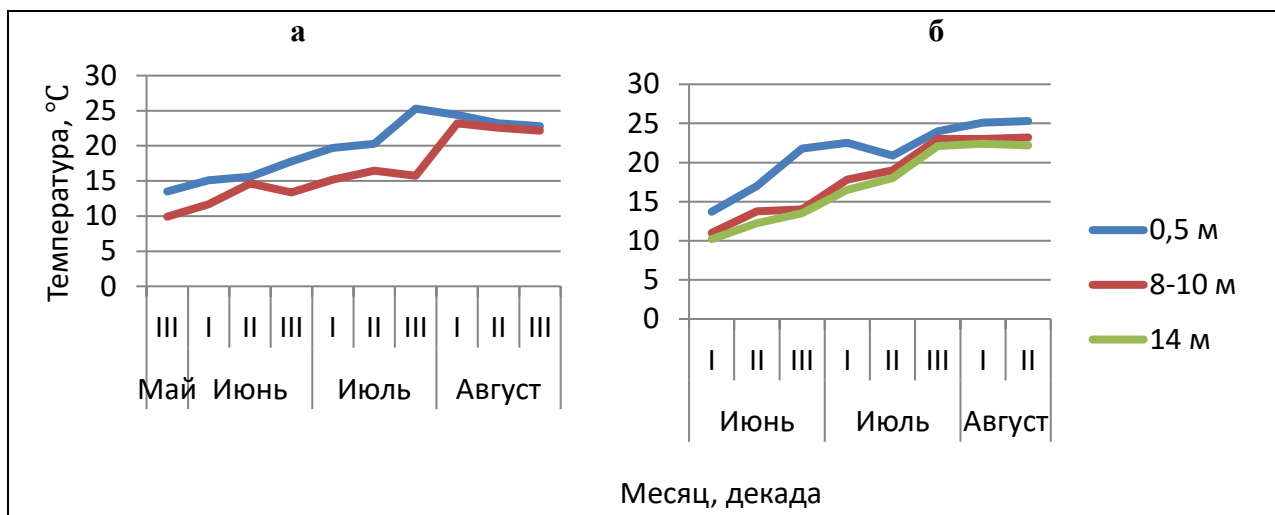


Рисунок 2. Изменение температуры воды на разной глубине в северо-западной части о. Русский в 2021 (а) и 2025 (б) гг.

Интенсивный прогрев поверхностных вод, сопровождающийся, как правило, периодом штилей, может привести к развитию дефицита кислорода в придонном слое, особенно в полузакрытых бухтах и заливах с невысокими скоростями течений. Например, в 2021 г. при резком повышении температуры воды в июле у северо-западного побережья о. Русский создался ярко выраженный термоклин, когда разница температуры между поверхностью и глубиной 10 м достигала 11°C. Насыщение воды кислородом на глубине 10 м в этот период снизилось до 85-76%, а на глубине 13-14 м до 73-78%. В конце августа на глубине 13-14 м насыщение кислородом составляло всего 69-79%. В 2021 и 2025 гг. по сообщениям из средств массовой информации наблюдалась массовая гибель гребешка на дне, в том числе и в островной зоне залива Петра Великого [Массовый мор ..., электронный ресурс].

Наиболее подвержены риску развития неблагоприятных гидрологических условий для культивирования гребешка, связанных с повышением температуры воды, районы юго-западной части залива Петра Великого, залив Посъета и Амурский залив, где температура в летние месяцы повышается раньше, чем на остальной акватории залива.

Высокая температура воды не только снижает выживаемость и рост гребешка, но и приводит к ослаблению защитных сил организма. В последние годы в заливе Петра Великого довольно часто отмечались случаи заражения гребешка различными микроорганизмами при выращивании в садках [Гаврилова, Мотора, Поздняков, 2021; Буторина, Дегтева, 2023]. Это вынуждает фермеров переходить к пастбищному выращиванию гребешка до товарного размера.

Еще одним из факторов, повышающим риски марикультуры, являются интенсивные осадки, которые выпадают в летний период над территорией Приморья. В отдельные годы увеличение частоты интенсивных осадков является следствием смещения

траекторий циклонов, зарождающихся в Тихом океане, на север. В заливе Петра Великого в период прохождения циклонов наибольшему влиянию стоковых вод подвержена акватория Амурского залива, обычно его северная часть, из-за впадающей в него крупной реки Раздольная.

Однако в 2023 г. это влияние испытала на себе большая часть Амурского залива. В августе месячная норма осадков была превышена в 3,5 раза, был зафиксирован исторический максимум за весь период метеорологических наблюдений с 1900 г. В хозяйствах, расположенных в юго-западной части Амурского залива, гибель моллюсков в садках достигала 80%. Сравнительный анализ данных гидрологических показателей воды (температура, соленость, насыщение кислородом, мутность, прозрачность) за последние 4 года показал, что гибель гребешка в садках в основном была вызвана критическим понижением концентрации растворенного кислорода на фоне увеличения количества взвешенных частиц в воде [Соколенко и др., 2024].

Таким образом, в юго-западной части залива Петра Великого, где многие годы проводится культивирование приморского гребешка, климатические изменения, наблюдающиеся в последние годы, существенно повышают финансовые риски предприятий. Возможно, со временем основные центры культивирования гребешка будут смещаться в восточном направлении, где температура воды также увеличивается, но имеет более комфортные для гребешка значения, поскольку у восточного побережья наблюдается влияние холодного приморского течения, а активный гидродинамический режим этих акваторий не позволяет развиваться дефициту кислорода в придонных слоях.

Список литературы

Буторина Т.Е., Дегтева Е.Д. 2023. Заболевание гребешка *Mizuhopecten yessoensis* (Jay, 1857) в хозяйствах марикультуры Приморья, вызываемое простейшими рода *Perkinsus levine*, 1978. Биол. моря. Т. 49. № 5. С. 353–358.

Гаврилова Г.С., Мотора З.И., Поздняков С.Е. 2021. Результаты исследований состояния приморского гребешка (*Mizuhopecten yessoensis*) на плантациях марикультуры Приморья. Изв. ТИНРО. Т. 201. Вып. 4. С.895–909.

Лоция северо-западного берега Японского моря (от реки Туманная до мыса Белкина) № 1401. 1984. 116 с.

Массовый мор морских обитателей у острова Шкота. Вести Приморье. – [Электронный ресурс]. URL: <https://vestiprim.ru/news/166515-massovyy-mor-morskih-obitatelej-u-ostrova-shkota.html> (дата обращения: 7.08.2025).

Силина А.В. 1990. Выбор районов и сроков выращивания приморского гребешка у берегов Приморья. Биол. моря. № 5. С. 48–52.

Соколенко Д.А., Матвеев В.И., Сухин И.Ю., Ляшенко С.А. 2024. Аномальная гидрометеорологическая ситуация летом 2023 года и ее влияние на поселения, воспроизводство и культивирование морских гидробионтов в Амурском заливе Японского моря. Материалы II Международной научно-практической конференции: Рыбохозяйственный комплекс России: 300 лет российской академической науке. М.: ВНИРО. С. 320–324.

Справочник по культивированию беспозвоночных в южном Приморье. 2002. Сост. А.В.Кучерявенко, Г.С.Гаврилова, М.Г.Бирюлина. Владивосток: ТИНРО-центр, 83 с.

АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ПОДВОДНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАПАСА *GAMMARUS LACUSTRIS* (CRUSTACEA: AMPHIPODA) В ПОДЛЁДНЫЙ ПЕРИОД

Д.В. Матафонов

Байкальский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («БайкалНИРО»), Улан-Удэ, Россия

E-mail: dimataf@yandex.ru

Ключевые слова: гаммариды, биомасса, цифровая камера, ледобур, промысловый водоём.

Гаммариды относятся к промысловым беспозвоночным, лов которых во внутренних водах Российской Федерации регламентирован прогнозом рекомендованного вылова. В водоёмах Сибири наиболее известен вид *Gammarus lacustris* G.O. Sars, 1863. Корректная оценка биомассы гаммаруса в зимний период имеет определённые сложности, т.к. не все приборы способны захватить особей в подлёдном слое воды. Для остальных приборов остаётся неясным насколько качественно происходит формирование каждой пробы. Во многом неясности проистекают из того, что исследователь не использует возможности визуального контроля в процессе взятия отдельной пробы.

На примере озера Белое нами апробирован метод подводного видеонаблюдения для количественного учёта *G. lacustris* в подлёдном слое. Исследования проводили 30 марта и 6 апреля 2025 г. в прибрежной зоне озера Белое (координаты озера: 51,542° с.ш., 107,034° в.д.), расположенном в 50 км от г. Улан-Удэ. Для количественного учёта гаммаруса использовали цифровую камеру GoPro Hero 10. Камеру погружали в лунку, для устройства которой использовали ручной рыболовный бур с диаметром шнека 130 мм («техническая» лунка). Рядом с технической лункой бурили вторую, по которой вели учёт гаммаруса («учётная» лунка). На практике захват камеры либо её вращение на штанге позволяли сделать несколько учётных лунок вокруг одной технической. Для оценки количества особей гаммаруса на единицу площади (1 м² ледового покрова) вели пересчёт с площади учетной лунки (коэффициент 75,4). На записях отчётливо виден силуэт шнека, очерчивающий окружность известного диаметра (130 мм), и особи гаммаруса, попадающие в зону количественного учёта (рисунок 1). В апреле особи, подхваченные первым выбросом подлёдной воды буром, служили для определения средней индивидуальной массы *G. lacustris* и расчёта общей биомассы гаммаруса в прибрежной зоне озера, получаемой умножением средней индивидуальной массы на среднюю численность особей на единице площади. Такое сочетание учёта численности гаммаруса с помощью видеонаблюдения и набора материала для расчёта массы одной особи из выброса в нашем случае показало свою оперативность и экономичность.

Рассчитанные таким образом количественные показатели гаммаруса в прибрежной зоне оз. Белое в апреле 2025 г. составили в среднем $314 \pm 110,7$ экз./м². Исходя из этого, биомасса гаммаруса, получаемая умножением средней численности на среднюю массу одной особи (среднее – $0,047 \pm 0,0023$ г), равна 14,8 г/м². Площадь изученного биотопа в озере около 0,4 км². Тогда вся биомасса гаммаруса в этом биотопе составляет в среднем 5,9 тонны, а ее оценка снизу с учётом стандартной ошибки численности – 3,8 тонны.

Выполненный учёт количества *G. lacustris* в оз. Белое с помощью подводной цифровой видеозаписи является новым методом. Предлагаемый метод демонстрирует возможность повышения объективности получаемых данных о распределении и количестве гаммаруса в подлёдном пространстве, т.е. в период его основного промысла во многих водоёмах Сибири. Объективности получаемой информации способствует возможность верификации данных разными специалистами. Кроме этого, метод

относительно прост, что позволяет обрабатывать приемлемое количество учётных лунок для последующей статистической обработки материала не только в поле, но и моделируя учётную лунку как калибровочную на всю площадь снимка в программах обработки изображений.



Рисунок 1. Фрагмент видеотрека от 30 марта. Стрелкой показана зона учёта и особи, попадающие в неё

В дальнейшем для совершенствования метода видеонаблюдения с целью количественного учёта *G. lacustris* необходима его адаптация к повышенным концентрациям особей в подлёдном пространстве различающихся своими оптическими и прочими характеристиками водоёмов. Для визуализации границ зоны учёта возможно использование диска, окрашенного полностью или только по краю и опускаемого в подготовленную лунку для регистрации особей на его фоне. Видится также рациональным использование подводных видеокамер с возможностью вывода изображения на экран монитора, а также подводных управляемых аппаратов. Имеет перспективы и установление биомассы гаммаруса по известным линейно-весовым зависимостям на основе качественных изображений и методов автоматического распознавания образов.

В целом апробация подводного видеонаблюдения для оценки запаса *G. lacustris* в подлёдном пространстве промыслового водоёма убеждает в эффективности метода в сравнении с имеющимися в настоящее время, с которыми возможно его сочетание.

МОНИТОРИНГ ПЛОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ И ЧИСЛЕННОСТИ БОЛЬШОГО БАКЛАНА В АКВАТОРИИ И ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Ю.И. Мельников*, Я.В. Николаев

ФГБНУ «Байкальский музей Сибирского отделения РАН», Иркутская обл., Россия

*E-mail: yumel48@mail.ru

Ключевые слова: большой баклан, Байкал, плотность и численность населения, мониторинг, методика.

Большой баклан *Phalacrocorax carbo* (Linnaeus, 1758) относительно недавно (в начале XXI столетия) появился на о. Байкал и очень быстро достиг очень высокой численности. Высокое его обилие наблюдалось и ранее (в середине прошедшего столетия), но уже во второй половине XX века здесь отмечались только единичные его встречи и он являлся случайно залетным видом [Мельников, 2023; Елаев и др., 2024; Николаев, 2024; Mel'nikov, 2021]. Анализ ситуации, связанной с его появлением, показывает, что этот процесс обусловлен динамикой современного климата [Мельников, 2023; Николаев, 2024; Mel'nikov, 2021]. Резкое потепление климата в 70-х гг. второй половины XX столетия, охватившее Китай и Монголию, а также южные районы Восточной Сибири, вызвало массовое выселение околотовдных и водоплавающих птиц к северным границам ареалов, в т.ч. и данного вида.

Материалы первых исследований после его нового появления на Байкале обобщены в специальной монографии [Елаев и др., 2024]. Однако методики мониторинга за состоянием его численности до сих пор не разработано [Мельников, 2023]. В то же время, являясь специализированным ихтиофагом, он является хозяйственно важным видом, от состояния которого может зависеть численность рыбных ресурсов озера Байкал. Специфика физико-географических особенностей котловины данного озера, а также современное состояние его рыбных ресурсов (депрессия численности основных промысловых видов рыбы), требуют разработки специальных подходов к решению данной проблемы [Mel'nikov, 2021; Мельников, 2023; Николаев, 2024].

Исследования по разработке методики учета данного вида проводились нами с 2018 по 2025 годы. В основу мониторинга положен принцип учета птиц в многовидовых сообществах, позволяющий проводить учеты, как на пеших маршрутах, так и с использованием транспорта [Равкин, Челинцев, 1990], в нашем случае научно-исследовательского судна «Профессор А.А. Тресков». Одновременно с учетом большого баклана мы проводили подсчет всех видов околотовдных и водоплавающих птиц, встречающихся на маршрутах. Это позволяло выяснить структуру населения птиц прибрежной зоны и акватории озера Байкал и долю большого баклана в общем сообществе. Характер его распределения по различным участкам озера зависит от их глубины, силы ветра, уровня освещения и характера берегов. В связи с этим, в основу определения численности большого баклана положены учеты, охватывающие всю прибрежную линию озера Байкал [Mel'nikov, 2022]. Протяженность каждого дневного маршрута определялась по карте. Максимально возможная ширина полосы учета составляла 2,0 км, хотя отдельные стаи птиц учитывались на расстоянии до 3,0 км. Но такие случаи единичны и наблюдались в периоды штормовой погоды, когда птицы, в поисках подветренных участков, отличающихся отсутствием сильного волнения, пересекали обширные заливы озера. Сидящие и летящие птицы учитывались отдельно и ширина учетной полосы у них часто достоверно различалась. Это позволяло правильно определять плотность населения каждого вида вдоль береговой линии озера. Поскольку в

пределах полосы учета подсчитывались практически все птицы, а за ее пределами они почти не встречались, данный учет фактически приближался к абсолютному. Тем не менее, в зависимости от погодных условий (силы ветра, меняющейся от легкого волнения до сильного шторма), мы вводили поправки на пропуск птиц – от 20,0 до 70,0%. Это связано с тем, что темноокрашенные самки всех видов легко пропускаются учетчиками при сильном волнении. Большой баклан очень низко сидит на воде и уже на относительно небольшом расстоянии у него можно рассмотреть только тонкую шею и голову. Поэтому, при среднем волнении на большом расстоянии часть птиц данного вида пропускается даже опытными учетчиками. Поправки получены в период учетов птиц впереди судна и последующего его прохода по осмотренному участку. Обычно в полосе учета все большие бакланы взлетали, и это позволяло определить истинную и учтенную их численность, разница между которыми позволяла определять долю пропущенных во время учета птиц, т.е. величину необходимой поправки. Птицы в каждой колонии и крупных скоплениях (от 70-100 птиц до нескольких тысяч) учитывались отдельно. В больших колониях для учета в последние годы использовались беспилотные летательные аппараты. В такой работе необходимо задействовать не менее двух учетчиков. Один управляет коптером, а другой учитывает слетающих с колонии птиц, так как в съемки попадают преимущественно сидящие птицы. Данные, полученные в колониях и скоплениях птиц, суммировались с материалами о численности учтенных птиц вдоль береговой линии Байкала. Доля последних невелика, не более 10,0% от общей численности. Тем не менее, такой подход позволяет получить поправочные коэффициенты для последующих учетных работ, которые могут быть сосредоточены только в местах массовых концентраций птиц.

В акватории озера численность большого баклана очень низка. За 17 пересечений озера данный вид встречен нами только три раза. При этом надо учитывать, что это могли быть птицы, отыскивающие подветренные участки берега, отличающиеся отсутствием сильного волнения и, в связи с этим, также пересекающие Байкал. В то же время, в отсутствие сильного волнения нами два раза отмечены крупные стаи больших бакланов, кормящихся в открытом озере (150 и 300 особей). Вид отлавливаемой рыбы не установлен, но птицы явно ныряли на предельно возможную глубину. После такого погружения они очень долго сидели неподвижно и лишь затем вновь приступали к добыче корма. При охоте на небольших глубинах последовательные уходы под воду обычно следуют один за другим.

Точные данные о численности птиц невозможно получить без учета ряда факторов, влияющих на их распределение в пределах береговой линии и акватории Байкала [Mel'nikov et al., 2023]. За время работы нами выяснено, что размещение этого вида по территории определяется распределением глубин, пригодных для освоения. Большой баклан использует глубины до 30,0 м или несколько больше. В связи с этим, его основные колонии расположены на скальных обрывах островов среди относительно мелководий (около 100 м.). На озере Байкал обширные мелководья сосредоточены в Средне-Байкальском климатическом округе и включают основную часть колоний озера. И только колонии Чивыркуйского залива находятся на южной окраине Северо-Байкальского климатического округа. Именно распределение доступных глубин определяет его ленточное размещение вдоль узкой линии прибрежных мелководий. Однако крупных колоний здесь нет, хотя небольшие колонии периодически появляются и исчезают и на таких участках.

Пространственная структура вида очень динамична и определяется размещением кормовых ресурсов на протяжении сезона открытой воды. В период размножения они должны находиться в максимально возможной близости от колонии. После вылупления птенцов разлет на кормежку увеличивается и становится максимальным перед подъемом молодых птиц на крыло. Птицы из колоний Чивыркуйского залива могут улетать от колонии до 50,0-55,0 км (бухта Сосновка). Из колоний окрестностей бухты Песчаная часть больших бакланов летает на кормежку в дельту р. Голоустная, на расстояние 30,0-35,0 км.

В то же время, птицы из колоний островов пролива Малое Море кормятся в мелководном проливе, и их разлет обычно составляет 15,0-25,0 км [Николаев, Мельников, 2024]. Освоение береговой кромки Байкала осуществляется за счет молодых птиц предыдущего и текущего гнездовых сезонов. Однако на обширных мелководьях бакланы могут формировать крупные кормовые скопления – от 100-300 до 8000 особей. При этом к ним присоединяются птицы, потерявшие кладки или птенцов на различных стадиях гнездового цикла, а также птицы из ближайших колоний. Сильные ветры, нередко достигающие штормовой силы, также играют большую роль в распределении больших бакланов по акватории Байкала. В таких случаях они активно ищут участки, закрытые от ветра, нередко перелетая на подветренную противоположную сторону озера Байкал. Однако, основная их часть в это время собирается на скальных обрывах подветренных участков колоний и численность птиц здесь резко увеличивается.

В связи с этим мы хотели бы обратить внимание на некоторые особенности организации учетных работ на озере Байкал. Прежде всего, необходимо принимать во внимание высокую динамичность размещения большого баклана на этом озере. Несмотря на его большие размеры, птицы могут быстро перемещаться между различными участками озера, а пространственная структура вида кардинально меняться в течение нескольких часов. Немаловажную роль играет и формирование здесь крупных предотлетных скоплений в дельте р. Селенги – в разные годы от 30 до 73 тыс. птиц. В связи с этим важное значение имеет время проведения учетных работ. Оптимальный вариант, несколько полных учетов на протяжении периода открытой воды (не менее трех). Однако это очень дорого. Следовательно, для организации постоянного мониторинга необходим выбор оптимального периода наблюдений. Наилучшим вариантом являются учетные работы, проведенные в конце сезона размножения птиц, перед началом отлета вида к местам зимовок.

С учетом наших сведений по высокой динамичности размещения данного вида, объединение материалов разных исследователей необходимо проводить с большой осторожностью. Поэтому, сведения, полученные за один период учетных работ (с 25 июля по 15 августа), одной командой и по одинаковой методике, несомненно, являются более точными. По нашим материалам, современная численность большого баклана после сезона размножения на озере Байкал составляет 52,9-56,9 тыс. особей. Более высокая численность в 2024 г. (90,0-90,5 тыс. птиц) связана с формированием крупного предотлетного скопления за счет подлета птиц по каскаду ангарских водохранилищ.

Список литературы

Елаев Э.Н., Ананин А.А., Доржиев Ц.З., Пыжьянов С.В., Бадмаева Е.Н. 2024. Большой баклан (*Phalacrocorax carbo*): экология, эволюция и мониторинг байкальской популяции. Удан-Удэ: изд-во Бур. ГУ им. Доржи Банзарова, 110 с.

Мельников Ю.И. 2023. Проблемные вопросы таксации и изучения биологии и экологии большого баклана на озере Байкал. Мат-лы IV Всерос. научно-практич. конф., посвящ. 30-летию юбилею Байкальского музея «Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле». Иркутск: изд-во ИГУ, С. 199–202.

Николаев Я.В. 2024. Большой баклан *Phalacrocorax carbo* (Linnaeus, 1758) на озере Байкал: динамика ареала и ее причины. Животные в экосистемах Внутренней Азии: фундаментальные и прикладные аспекты: мат-лы Всерос. конф. с междун. участием, посвящ. юбилею профессора, д.б.н. Ц.З. Доржиева. Улан-Удэ: изд-во Бур. ГУ им. Доржи Банзарова, С. 242–245.

Равкин Е.С., Челинцев Н.Г. 1990. Методические рекомендации по комплексному маршрутному учету птиц. Репринт. М.: Изд-во Госкомприроды СССР, 33 с.

Mel'nikov Yu. I. 2021. Large-scale modern climate change and reactions of steppe birds of Inner Asia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Ninth International

Symposium «Steppes of Northern Eurasia»). Vol. 817. 012066 (9). DOI: 10.1088/1755-1315/817/1/012066.

Mel'nikov Yu.I. 2022. General approaches to the organization of bird counts in the late summer and migration periods in the water area of lake Baikal using Motor Boats and Launches. Proceed. of the International University Scientific Forum «Practice Oriented Science: UAE – RUSSIA – INDIA». Dubai: Infinity Publ., P. 84–94. DOI: 10.34660/INF.2022.23.24.099.

Mel'nikov Yu.I., Kupchinskiy A.B., Nikolaev Ya.V. 2023. Weather conditions distribution of resources feed and dynamics of the spatial structure of the Great Cormorant in the water area of lake Baikal. E3S Web of Conferences (EESTE-2023). Vol. 463. 02004 (10). DOI:10.1051/e3sconf/202346302004.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОПУЛЯЦИЙ ГИДРОБИОНТОВ

А. И. Михайлов^{*1}, Г.А. Волошин¹, В.А. Крючков¹, А. Е. Бобырев^{1,2}, Д. А. Шереметьев¹

¹ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия

²Институт проблем экологии и эволюции РАН, Москва, Россия

E-mail: mikhaylovai@vniro.ru

Ключевые слова: динамика популяций, обобщенные линейные модели, судовые суточные донесения, биоэкономика.

Модели биоэкономической оптимизации начали разрабатываться в 50-х годах XX века [Gordon, 1954] почти одновременно с продукционными моделями популяционной динамики [Schaefer, 1954]. Однако в отечественной да и зарубежной практике управления запасами промысловых гидробионтов модели биоэкономической оптимизации не получили широкого распространения. Основным ориентиром управления остается максимальный устойчивый улов (MSY), поскольку он является исключительно биологической характеристикой продуктивности популяции. Биоэкономическая оптимизация требует привлечения дополнительных сведений об экономике промысла, которые в большинстве ситуаций мало доступны биологам.

Экономически оптимальный устойчивый улов (MEY – maximum economic yield) всегда является величиной, меньшей, чем MSY, в силу выпуклости кривой равновесного улова. Нами установлено, что, независимо от конкретного вида модели, в пределе высокой рентабельности промысла MEY и MSY имеют следующую связь:

$$MEY = MSY \left(1 - \frac{1}{2} \left| \frac{d^2(Y/MSY)}{d(F/F_{MSY})^2} \right|^{-1} \left(\frac{(p_f F_{MSY})}{(p_y MSY)} \right)^2 \right) \quad (1)$$

где $Y(F)$ – зависимость равновесного улова от промысловой смертности;

F – промысловая смертность;

F_{MSY} – промысловая смертность на уровне MSY;

p_y – цена весовой единицы улова;

p_f – цена единицы промысловой смертности, обусловленная затратами на соответствующее промысловое усилие.

Иными словами для вычисления MEY необходимо знать *локальные* характеристики кривой равновесного улова в окрестностях максимума (её вторую производную) и экономические характеристики рыболовства (цену продукции и издержки) на уровне MSY.

В отличие от других видов хозяйственной деятельности предложение биоресурсов вне зависимости от уровня инвестиций принципиально ограничено уровнем MSY. Формула (1) описывает асимптотику кривой предложения, стремящейся к MSY. В свою очередь вычисление кривой предложения позволяет построить модель общего равновесия, если привлечь социально-экономические данные о кривой спроса, причем параметры спроса, прежде всего коэффициент эластичности, также могут быть известны только локально на уровне MSY.

Ключевым экономическим параметром соотношения (1) является рентабельность промысла на уровне MSY – соотношение цены единицы продукции и издержек на её

получение. Цена продукции может быть получена из публикуемых данных экономической статистики. Анализ же издержек промысла может быть проведен с использованием баз данных судовых суточных донесений (ССД). Обычно в практике оценки запасов ССД используются для построения репрезентативного индекса численности, являющегося биологическим фактором производительности промысла. Однако такой факторный анализ на основе обобщённых линейных моделей [Михайлов, 2015] позволяет также выделить тахнические факторы производительности. Так, на примере промысла черного палтуса Баренцева моря удастся оценить сравнительную производительность тралов разных конструкций [Михайлов и др., 2025]. Также можно построить трекинг судов во время промыслового рейса длительность рейса и протяженность пройденного расстояния интерпретируются как натуральный индикатор издержек. Проведенный анализ применительно к промыслу черного палтуса Баренцева моря показал, что при незначительном сокращении общего вылова биоэкономическая оптимизация позволяет сэкономить до 30% издержек.

Список литературы

Михайлов А.И. 2015. Математические аспекты стандартизации уловов на усилие. Вопросы рыболовства. Т. 16. № 4. С. 489–496.

Михайлов А.И., Крючков В.А., Русских А.А., Бобырев А.Е. 2025. Чёрный палтус Баренцева моря: динамика популяции и факторы производительности промысла. Вопросы рыболовства. Т. 26. №1. С. 103–118.

Gordon H.S. 1954. The economic theory of a common property resource: the fishery. Journal of Political Economy. Vol. 62. P. 124–142.

Schaefer M.B. 1954. Some Aspects of the Dynamics of Populations Important to the Management of the Commercial Marine Fisheries. Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Vol. 1. № 2. P. 27–56.

О РЕАЛИЗОВАННОЙ ПЛОДОВИТОСТИ КРАБА ХАРРИСА, *RHITHROPANOPEUS HARRISII* (GOULD, 1841) (BRACHYURA: PANOPEIDAE) ИЗ ТАМАНСКОГО ЗАЛИВА В 2011 Г.

А.С. Овчарук*, С.А. Судник

ФГБОУ ВО «КГТУ», Калининград, Россия

*E-mail: arveyzer@mail.ru

Ключевые слова: *Rhithropanopeus harrisii*, Таманский залив, эмбриогенез, плодовитость.

Rhithropanopeus harrisii – инвазивный вид, входящий в топ-100 России по возможным негативным последствиям вселения. Краб – экологически высоко толерантный организм с широким спектром питания [Turboyski, 1973; Залота, 2017; Самые опасные ..., 2018]. В составе обрастаний и балластных вод вид расселился по водоемам Америки и Европы и, как многие другие инвазивные виды, стал влиять на местные сообщества, создавать пищевую и территориальную конкуренцию, оказался носителем очень опасных для других крабов и креветок бакуловирусов [Payen, Bonami, 1979; Залота, 2017].

Исследования репродукции видов-вселенцев важны для прогнозирования изменений популяций в новых местах обитания, распространения инвазий, их последствий на разнообразие аборигенных сообществ. По репродуктивной биологии *R. harrisii* Азовского моря есть некоторые данные о нересте и величине плодовитости [Kinpe, Rotthauwe, 1952; Залота, 2017]. Цель сообщения – оценить реализованную плодовитость, особенности ее формирования у краба Харриса Таманского залива.

Материал – 17 экз. яйценосных самок *R. harrisii*, собранных сотрудниками ИО РАН им. П.П. Ширшова в июле 2011 г. в Таманском заливе Азовского моря на глубине до 1 м. В составе комплексного биологического анализа крабов [Судник, Поддубева, 2019], при определении реализованной плодовитости кладка яиц с плеоподов самки переносилась в камеру Богорова и производился ручной подсчет количества яиц.

Стадии развития эмбрионов определялись по пятибалльной шкале: *стадия 1* – яйцо полупрозрачное; желток гомогенный, занимает 100 % объема яйца; визуально различимых признаков развития эмбриона не наблюдается; *стадия 2* – яйцо начинает мутнеть; наблюдаются процессы дробления, четко видны многочисленные бластомеры, образуется зародышевый диск; *стадия 3* – яйцо мутное; различимо некоторое количество бластомеров, формирующийся эмбрион имеет полулунную форму, может очерчиваться выпуклая область глаз, хвост не достигает головы эмбриона; *стадия 4* – яйцо начинает светлеть; можно различить сегменты тела эмбриона, занимающего теперь все свободное пространство яйца; область глаз эмбриона хорошо очерчена, глаза начинают пигментироваться, пигмент еще нетемный; хвост эмбриона может достигать головы и даже заворачиваться на нее; *стадия 5* – строение эмбриона усложняется, детализируется, глаза приобретают более округлую форму, становятся крупнее и темнее; в конце стадии внутри яйца находится готовая к вылуплению полностью сформированная личинка зоза; кроме яиц с зоза на плеоподах самки могут встречаться недавно вылупившиеся личинки.

При определении размеров яиц с помощью окуляр-микрометра бинокулярного микроскопа у не менее 10 яиц из каждой кладки измерялись большой и малый диаметры с точностью 0,001 мм и подсчитывались их средние величины.

Оценка полученных данных выполнена с применением стандартных статистических методов с использованием возможностей «Microsoft Office Excel».

В пробе за июль 2011 г. яйценосными были 33% всех собранных самок, их ширина карапакса (ШК) варьировала от 9,2 до 13,4 мм. Абсолютная индивидуальная реализованная плодовитость (АРП, количество яиц в кладке) составила 104-2805 яиц. Степень развития эмбрионов в кладках 17 самок очень варьировала (Таблица 1).

Таблица 1. Плодовитость краба *R. harrisii* (SD – стандартное отклонение)

Стадия эмбриогенеза	Кол-во самок	Диапазон ШК, мм (среднее $\pm$ SD)	Диапазон количества яиц, экз. (среднее $\pm$ SD) / доля, %, от общего количества яиц
единообразные кладки			
2	10	9,2-13,4 (11,0 $\pm$ 1,6)	433-2805 (1557 $\pm$ 782)
3	2	11,9; 12,2	1324; 598
5	2	9,4; 9,4	104; 292
кладки, включающие по-разному развитых эмбрионов (разнородные)			
2	1	11,6	81 (14 %)
4			491 (86 %)
всего яиц у самки			572
1	1	12,6	91 (15 %)
3			521 (85 %)
всего яиц у самки			612
1	1	11,1	216 (43,7 %)
2			42 (8,5 %)
4			236 (47,8 %)
всего яиц у самки			494

Доминировали самки (82%), у которых в кладке все эмбрионы были в одинаковой стадии развития («единообразные» кладки). Среди них десять особей с ШК 9,2-13,4 мм несли яйца с эмбрионами в начале развития (стадия 2), две с ШК 11,9-12,2 мм – в середине развития (преобладали в стадии 3), еще две с ШК 9,4 мм – в конце эмбриогенеза (стадия 5).

Остальные 18% самок вынашивали кладки, включающие эмбрионов на разных стадиях развития, в следующих сочетаниях: стадиях 2 и 4; стадиях 1 и 3; стадиях 1, 2 (близки друг к другу) и 4. Различия в степени развития эмбрионов в целом, двух разнокачественных групп, было существенно, что обычно характеризует видов, реализующих свою плодовитость порциями. Это предположение подтверждалось результатами оценки стадии зрелости яичников при вскрытии самок с единообразными кладками из эмбрионов в начале развития (стадия 2) (Таблица 1) – у половины из них гонады были созревающими или зрелыми, то есть самки готовилась отложить следующую – вторую – порцию к уже вынашиваемым эмбрионам.

Предварительно, сравнение размеров яиц разных самок с эмбрионами на одинаковых стадиях развития (оценено для стадий 1, 2, 3 и 4) как из единообразных, так и из разнородных кладок, не показало отличий – признаков зависимости размеров яиц от очередности порции, в которой они были отложены (первой или повторной) не отмечено.

Первая оценка увеличения размеров яиц при росте и развитии эмбрионов показала: длина яиц с эмбрионами на соседних стадиях развития могла увеличиться на 3-8%, ширина – на 2-9%. Увеличение размеров яиц за полное время эмбриогенеза со стадии 1

($0,263 \pm 0,012$ мм $\times$ $0,252 \pm 0,010$ мм) до стадии 5 ($0,340 \pm 0,011$ м $\times$ $0,327 \pm 0,013$ мм) (как по длине, так и по ширине) достигало 23%.

Начальная реализованная плодовитость (количество только что или недавно отложенных яиц) варьировала от 81 до 2805 яиц. Такая разница в ее величине могла быть связана с номером порции яиц (первая или повторная) – есть данные для этого вида об уменьшении количества яиц с каждой последующей кладкой после единственной за нерестовый сезон копуляции [Залота, 2017]. Максимальная плодовитость вида залива, отмеченная нами (2805 яиц), оказалась меньше по сравнению с величиной, полученной для 34 самок другим автором – от 182 до 7635 яиц [Залота, 2017], и – значительно ниже известной в целом для краба Харриса – до 16 тыс. яиц, в Кильском заливе [Kinne, Rotthauwe, 1952].

Собственный и литературный анализ позволил предположить варианты и причины разных способов формирования плодовитости у *R. harrisii*: 1) за один (чаще первый) гонадный цикл самки производят довольно много яиц (условие – в семяприемниках должно быть достаточно спермы, что обеспечивается первым спариванием), далее, при благоприятных обстоятельствах следующая порция откладывается в эту же кладку: по нашим данным доминировали самки, вынашивающие кладку из единообразно развитых эмбрионов (на стадиях развития 2 или 3, или 5), при этом половина из отнерестившихся недавно (стадия 2) собиралась отложить вторую порцию в эту кладку; 2) в повторной порции яиц меньше: у двух самок с разнородными кладками отмечено уменьшение количества яиц во второй порции (на 22 и 86%), что может быть следствием уменьшения репродуктивных ресурсов и / или запаса спермы; 3) у шести особей с кладками из одинаково развитых эмбрионов яичники были неразвиты, что демонстрировало их неготовность отложить следующую порцию яиц в эту же кладку в ближайшее время, для понимания причин этого нужны исследования дополнительного материала.

Говоря о случаях порционного нереста у краба Харриса Таманского залива, предполагаем возможность откладки, по крайней мере, в 2011 г., только двух порций в одну кладку.

Учитывая, что анализ состояния посленерестовых яичников самок краба не выявил визуальных признаков асинхронного развития и созревания ооцитов – гонады были «выбойными» – полученные данные позволили предположить, что у *R. harrisii* каждая порция яиц откладывалась в результате реализацией полного цикла созревания яичников (от стадии III до стадии V, по пятибалльной шкале). Это требует проверки на большем материале с применением гистологических исследований оогенеза вида.

Список литературы

Залота А.К. 2017. Чужеродные виды десятиногих ракообразных (Crustacea Decapoda) в морях России и сопредельных водах. Дис. канд. биол. наук. М.: Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 255 с.

Самые опасные инвазионные виды России (Топ-100). 2018. Ред. Ю. Дгебуадзе, В.Г. Петросян, Л.А. Хляп. М.: Т-во научных изданий КМК, 688 с.

Судник С.А., Поддусева Е.А. 2019. Биология крабов *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Brachyura: Leucosiidae) Южно-Китайского моря. Известия КГТУ. № 52: С. 43–59.

Kinne O., Rotthauwe H.W. 1952. Biologische Beobachtungen und Untersuchungen über die Blutkonzentration an *Heteropanope tridentatus* Maitland (Decapoda). Kieler Meeresforsch. Vol. 8. P. 212–217.

Turoboyski K. 1973. Biology and ecology of the crab *Rhithropanopeus harrisii* ssp. *tridentatus*. Marine Biology. Vol. 23(4). P. 303–313. DOI: 10.1007/BF00389338

Payen G.G., Bonami J.R. 1979. Mise en évidence de particules d'allure virale associées aux noyaux des cellules mésodermiques de la zone germinative testiculaire du crabe

Rhithropanopeus harrisii (Gould) (Brachyura, Xanthidae). Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes. Vol. 43(4). P. 361–365.

К МЕТОДИКЕ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЛОВУШЕЧНОГО ЛОВА ГИДРОБИОНТОВ

А.Ю. Огурцов, С.И. Моисеев*, Л.К. Сидоров

ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия

**E-mail: moiseev@vniro.ru*

Ключевые слова: ловушка, промысел краба, методика обработки данных, эффективная площадь облова, приманка, распределение.

Разработка объективного прогноза вылова промысловых объектов требует постоянного повышения точности оценок их численности и биомассы, а это возможно лишь при увеличении количества и качества информации. Для оценки плотности распределения и расчета промыслового запаса крабов используется эффективная площадь облова краболовных ловушек (ЭПОЛ). Это площадь, с которой вероятен 100% облов крабов под действием приманки [Моисеев, 2003а; 2003б; Сидоров и др., 2019]. Известно, что улов ловушки без приманки практически всегда нулевой, за исключением случайного захода крабов. Поэтому главной составляющей для расчетов промыслового запаса является эффективная площадь действия приманки (ЭПДП). Наличие приманки и ее количество, а не форма и объем ловушек, позволяют осуществлять процесс лова крабов. Состав и количество наживки являются главными параметрами, влияющими на ЭПДП, а время застоя ловушки влияет на дистанцию распространения запаха от приманки. К сожалению, в исследованиях крайне редко упоминается информация о виде и количестве приманки, тогда как масса ее может варьировать в 2 раза (0,5-1 кг) [Моисеев, 2003а]. Из этого следует, что если в японскую коническую ловушку положить больше приманки чем принято в практике лова, то ЭПДП в этой ловушке может сравняться с ЭПДП американской прямоугольной ловушки и даже превзойти ее. Для пояснения этого утверждения ниже изложен алгоритм расчета, он показывает, к чему приводит двукратное изменение массы приманки в ловушке.

Взаимосвязь массы приманки и площади ее распространения. Выдвинуто предположение, что при идеально равных условиях в точке постановки ловушки, запах приманки в воде распространяется во все стороны с одинаковой скоростью от центра приманки (зона максимальной концентрации молекул аттрактанта) к периферии с областью минимальной его концентрации. У дна действие приманки ограничивается полусферой с радиусом R (Рисунок 1).

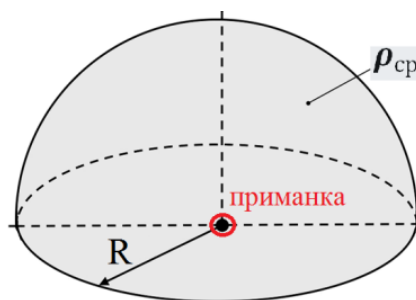


Рисунок 1. Схема распространения запаха от приманки в воде (идеальные условия)

Поверхность сферы является границей зоны минимальной концентрации веществ аттрактанта (запаха) и порогом реагирования хеморецепторов животного на приманку, тогда массу растворенных в воде веществ приманки можно найти по формуле:

$$m = V \times \rho_{\text{ср}} = \frac{2 \times \pi \times R^3}{3} \times \rho_{\text{ср}}$$

где: m – часть массы приманки, растворенная в воде; V – объём, растворенных в воде веществ равен объёму полусферы; $\rho_{\text{ср}}$ – средняя плотность, растворенных в воде веществ; R – радиус распространения веществ в воде, радиус полусферы.

Так как растворенные в воде вещества (m) являются частью общей массы приманки (M), то очевидно что:

$$M = f(m) = f(R^3) \quad (1)$$

При ловушечном лове количество пойманных крабов (улов) определяется из следующего выражения:

$$N = S \times P = \pi \times R^2 \times P \quad (2)$$

где: N – улов; S – ЭПДП; P – плотность скопления крабов; R – радиус ЭПДП.

Следовательно, величина улова зависит от квадрата радиуса площади действия приманки (формула 2):

$$N = f(R^2) \quad (3)$$

Радиус диффузии веществ в воде и радиус действия приманки, это одна и та же величина R – радиус полусферы (рисунок 1). Если предположить, что анализируются уловы двух ловушек (N_1 и N_2), которые имели разную массу приманки ($M_1 > M_2$, в 2 раза), а ловушки были установлены в равных условиях среды с единым временем застоя, то в таких условиях плотности распределения краба и запаха в зоне действия ловушки одинаковые – ($P_1 = P_2$, а $\rho_{\text{ср}1} = \rho_{\text{ср}2}$). При данных обстоятельствах, используя формулы (1) и (2-3), необходимо будет принять следующие соотношения о том, что:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{R_1^3}{R_2^3}; \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{R_1^2}{R_2^2}$$

Тогда при повышении массы приманки в два раза ($\frac{M_1}{M_2} = 2$) радиус площади облова увеличивается на 26%, так как: $\frac{R_1}{R_2} = \sqrt[3]{2} \approx 1,26$. В этом случае улов возрастет почти на 60%, так как: $\frac{N_1}{N_2} = (1,26)^2 \approx 1,59$. Такие колебания основных показателей ловушечного лова не позволяют получить достоверную картину распределения промысловых объектов и корректно оценить промысловый запас. Для каждого способа зарядки приманки радиус площади облова будет индивидуальным.

Для примера: в 2010 г. в западной части Берингова моря проходил мониторинг промысла краба-стригуна опилио *Chionoecetes opilio* на маленьком участке – 120 км². Вылов проводили два однотипных судна. У 1-го судна было 320 прямоугольных ловушек, расстояние между ними в порядке 180 м, а у 2-го было 3500 конусных ловушек с расстоянием в порядке 20 м. Состав наживки сходный – сельдь дробленая. Масса

приманки у 1-го судна была до 2 кг (2 емкости) на прямоугольную ловушку, у 2-го одна емкость до 1 кг на конусную ловушку. Линии порядков с прямоугольными и конусными ловушками чередовались, дистанция между порядками от 150 до 300-500 м. Застой порядков у обоих судов равный (1-1,5 дня). В течение 10-12 дней у 1-го судна уловы краба снижались с 4-5 т/сут. до 1,5 т/сут., через 6 дней из-за устойчиво низких уловов 1-ое судно ушло с промысла. Второе судно продолжало работать на этом участке 27 дней с уловами до 8,5 т/сут., но далее в течение 15 дней уловы 2-го судна стали снижаться до 2-4 т за сутки, после этого 2-е судно снялось с промысла. Этот пример отличия между уловами двух типов ловушек на промысле краба-стригуна опилию соответствует предположению о недоучете роли массы приманки и ее влияния на площадь облова крабов. Масса приманки в точках постановки ловушек (см. формулы 1-3), а не конструкция и размеры ловушек повлияли на столь существенные различия в уловах этих двух судов. Длина хребтины между двумя прямоугольными ловушками 180 м, по её краям стояло два источника с приманкой в емкостях с общей массой до 4 кг. В порядке с конусными ловушками на хребтине длиной 180 м было 10 источников приманки, вместо двух, с общим весом приманки уже до 10 кг. Если рассчитывать плотность распределения крабов по данным этих двух судов, с кратным отличием уловов между ними, то и результаты со значениями плотности распределения крабов, на этом полигоне, тоже будут иметь кратные отличия. При подобных противоречиях, материалы исследований нужно стандартизировать, не зависимо от типа ловушки или орудия сбора данных.

Алгоритм единого масштабирования абсолютных величин улова необходим для стандартизации данных прямого учета донных гидробионтов, полученных различными саплерами. В основе алгоритма два допущения, не зависящих от метода сбора данных: 1) все перемещения донных организмов цикличны и связаны с сезонными изменениями среды обитания; 2) максимальное количество донных животных обнаруживается в местах, наиболее благоприятных для обитания конкретного вида, эти места постоянны для выбранного временного интервала [Огурцов, 2005]. Данные ряда рейсов невозможно объединить, т.к. они получены в разные годы саплерами с разными ЭПДП и их застоем. Поэтому данные нескольких рейсов нужно преобразовать из абсолютных значений уловов в относительные (индексы), их можно стандартизировать в едином «масштабе». Величина, к которой приводятся данные, это максимальный улов (N_{max}) в год наблюдения или за одну учетную съемку. Тогда по каждому рейсу/съемке все уловы на станциях (точках сбора данных) будут выражены в процентах от 0 до 100% по формуле: $O_i = (N_i / N_{max}) \times 100\%$, где O_i приведенный к максимальному значению улов на усилие на i -ой станции в %. Затем данные по конкретному рейсу или учетной съемке суммируются в табличную форму для построения карты распределения в ГИС «КартМастер». Число станций и место их расположения соответствуют сумме всех станций за сезон, год или за исследуемый ретроспективный период (число максимальных значений соответствует количеству учетных съемок) устанавливается по форме:

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{N_{max}} \right) \times 100 \% \quad (4)$$

где: N_i – улов на усилие на i -ой станции; N_{max} – максимальный улов на усилие в год каждой съемки; 100% – коэффициент для перевода значения приведенного улова в проценты; n – количество станций, выполненных в выбранном временном периоде.

Далее для построения карты распределения в ГИС «КартМастер» используют параметр съемки – облавливаемая площадь, она может быть условной величиной в 1 км² или известным значением ЭПДП. При обработке объединенных многолетних данных будет получена карта распределения краба в районе исследований как некая графическая модель распределения скоплений крабов в изучаемый период/сезон, где вместо обычных

значений «шт./кв.км» будет «%/кв.км». Для получения абсолютных величин уловов на усилие конкретного года съемки нужно перемножить значения приведенных уловов на максимальный улов интересующего года. «Единое масштабирование» позволяет соединить данные различных орудий лова (ловушки, драги, донные тралы, подводные наблюдения и водолазный промысел), т.к. для них верно выражение формулы (2). Величина S трала и драги равна ширине облова, скорости и времени протяжки, а для подводных исследований – ширина полосы наблюдения и площади обследованного дна. Наибольшие уловы любого орудия лова, не зависимо от его уловистости, будут там, где плотность скопления объекта лова была максимальной. Для выбранной акватории в определенный период максимальные уловы будут в одних и тех же местах, независимо от орудия сбора данных. Это позволяет объединить полученные результаты, что в значительной степени увеличивает количество вводных данных и, как следствие, может повысить точность построения карт распределения и качественно оценить запас объектов промысла.

Список литературы

Моисеев С.И. 2003а. Промыслово-биологические исследования камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) в январе-марте 2002 г. в прибрежной зоне Варангер-фиорда (Баренцево море). Труды ВНИРО. Т. 142. С. 151–177.

Моисеев С.И. 2003б. Изучение производительности крабовых ловушек различного типа в прибрежной зоне Баренцева моря. Труды ВНИРО. Т. 142. С. 178–191.

Огурцов А.Ю. 2005. К методике оценки запаса волосатого краба по данным ловушечных съемок в Татарском проливе. Труды ВНИРО. Т. 144. С. 294–303.

Сидоров Л.К., Переладов М.В., Лабутин А.В. 2019. Особенности поведения камчатского краба в зоне действия конусной ловушки. Труды ВНИРО. Т. 178. С. 5–20.

МЕТОД ЯВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛАБОГО ЭФФЕКТА ОЛЛИ В ДИНАМИКЕ ПОПУЛЯЦИЙ НА ОСНОВЕ РАЗРЫВНЫХ УРАВНЕНИЙ

А.Ю. Переварюха

ФГБУН «Спб ФИЦ РАН», Санкт-Петербург, Россия

E-mail: temp_elf@mail.ru

Ключевые слова: гибридные модели, нелинейные эффекты в воспроизводстве, коллапс запасов, предикативное переопределение, дополнение вычислительных структур, кризисы промысловых популяций, инвазии, интродукция видов, экспертная регуляция, эффект Олли.

Процессы кризиса в биофизических системах часто развиваются по сценариям быстрого коллапса, который невозможно предсказать статистическими методами. В данной работе развивается метод построения гибридных вычислительных моделей, использующих представление иерархии событийности для биофизических процессов. Рассчитываемые алгоритмом системные события изменяют по заданному набору правил порядок расчета уравнений. Мы используем правила физически обусловленного переопределения правых частей дифференциальных уравнений. Предикаты используют расчеты группы сопутствующих характеристик, которые являются неотъемлемой частью управляемой биофизической динамики. Модель исследуется при представлении вычислительного сценария с набором параметров, начальных значений и алгоритмом выработки решений об изменении воздействия для дискретного времени. С использованием вычислительных экспериментов описан реальный сценарий исхода для ситуации, который приводит к коллапсу биофизическую систему при контролируемом уровне воздействия. Сценарий задает логику принятия управленческих решений по изменению уровня внешнего давления на естественную среду. Показано в результате моделирования, что переход биофизического процесса в колебательный режим приводит к выбору рискованного режима управления. Установлено, что динамика многих реальных водных популяций имеет точку порогового сокращения в эффективности восполнения биоресурсов. Модельный сценарий использует трансформации фазового портрета итераций, которые при наличии несвязных границ областей притяжения альтернативных аттракторов и странного хаотического репеллера приводят к тому, что из-за хаотических режимов в детерминированной модели возникают эффекты неопределенности. Сценарии деградации запасов в результате применения методов моделирования удается классифицировать с точки зрения нелинейной динамики и типов возникающих бифуркаций. Наблюдаются динамически схожие коллапсы для очень разных по жизненному циклу запасов [Бобырев и др., 2013]. Пороговые эффекты (Олли и Гидры) играют значительную роль в проблемах прогнозирования кризисов и оценки восстановления после коллапса. Необходимы специальные методы их прогнозирования.

1. Описание критического эффекта при включении точки L -порога запаса

Ранее нами исследованы модели для коллапса трески Северо-Запада Атлантики, перуанского анчоуса, камчатского краба Алеутского полуострова [Переварюха, 2009; 2012]. Для моделирования необходим метод описания пороговых эффектов, проявляющихся при разной численности популяции. Модельные описания важных для экспертных оценок состояний запасов и промысловых прогнозов можно проводить несколькими способами. Например, самым простым является априорное введение в модель порогового значения (L) низкой критической численности, некоторого необходимого для выживания L -порога:

$$\frac{dN}{dt} = rN(t) \left(1 - \frac{N(t)}{K} \right) (N(t) - L), \forall 0 < N < L, \lim_{t \rightarrow \bar{t} < \infty} N(t) = 0, \quad (1)$$

Модель³ А.Д. Базыкина (1) как одно из расширений уравнения Ферхюльста имеет ряд очевидных недостатков. Представим третий сомножитель в адаптивной форме как $(N^m(t) - L)^{1/k}$, ослабив избыточное влияние пороговых значений. Параметры – нечетный знаменатель степени k в обратной зависимости, и m в прямой отражают выраженность «эффекта Олли» как ситуативного явления. Дополним модель с целью ограничить область проявления эффекта для случая нестабильной вновь образующейся популяции. Пусть второй сомножитель в выражении (1) будет описываться не линейной, а дробно-линейной функцией как в выражении (2). Опишем слабый эффект Олли в следующей нашей модификации:

$$\frac{dN}{dt} = rN(t) \left(\frac{K - N(t)}{K + cN(t)} \right) \left(\frac{N(t)}{L} - 1 \right)^{1/3}, 0 < L < N(0) < K \quad (2)$$

В реальности управляющие процессом эксплуатации запасов эксперты не могут заранее оценить истинное положение критического порога неустойчивого популяционного равновесия. Действие порогового эффекта Олли проявляется для истощенного запаса не так стремительно и неотвратно со скорым вымиранием, как в (1). В реальности истощенная популяция не всегда погибает, но очень медленно восстанавливается [Кузик, 2020].

2. Гибридная структура модели с переключением в точке L -порога

Важный аспект проблемы коллапса состоит в том, что именно стремление к достижению оптимизации природопользования влечет непредвиденные последствия. Мотивация к максимизации прибыли от эксплуатации биологического объекта за некоторый интервал времени становится значимой причиной развития кризисов. В известной модели роста численности Ферхюльста-Пирла получить решение для оптимального состояния для изъятия очень легко, и даже для модели фон Ферстера с возрастной структурой популяции оптимизационное решение уже известно. Красивое решение этих моделей, не имеющих бифуркационных эффектов смены режимов поведения, служит обоснованием для известной концепции MSY. В реальности достичь максимального устойчивого вылова оказалось чрезвычайно сложно по многим причинам, среди которых обычно отмечают неточность исходных данных. Состояние, при котором популяция максимально продуктивна и теоретически неограниченно длительное время оптимально эксплуатируется с точки зрения эволюции биосистем не является гомеостатическим. С другой стороны, переход через некоторый порог не всегда гарантировано означает вымирание как в (1). Для малочисленной группы сильнее действие вероятностных факторов среды на воспроизводство.

Перспективный метод – учесть диапазоны изменений репродуктивной активности эффекта Олли, сделать модели гибридными и составленными из разных форм уравнений для разного уровня численности нерестового запаса (или для разного конкурентного противодействия). Актуальный вариант переходов: при $0 < N < L$ проходит медленный рост (потому логарифм $c > e$). При $N > L$ переход в режим колебаний, где амплитуда флуктуаций зависит от τ , так как минимумы цикла $\lim_{\tau \rightarrow \infty} \min N_*(t) = 0 + \varepsilon$, то возможен повторный переход к состоянию $N < L$:

$$\frac{dN}{dt} = \begin{cases} rN(t) \log \left(\frac{K}{N(t)} \right) - qN(t), & N(t) < L \\ rN(t - \tau) \exp(-bN(t - \tau)), & N(t) \geq L \end{cases} \quad (3)$$

³ Здесь и далее N – безразмерная численность популяции, нормированная на некоторое характерное число особей. K и L также являются безразмерными, нормированными на ту же величину.

Смысл гибридной модификации с переходом в том, что при низкой численности происходит медленное восстановление при действии неблагоприятных факторов. При $N > L$ и значительном rt в уравнении Николсона возникают апериодические колебания, но при $N < L$ система снова переходит к медленному росту. Объединяя в одну гибридную структуру, мы исправим недостатки двух моделей. При расширении (3) возможно использование характеристик индивидуального роста особей для определения точек переходов между режимами динамики численности, что обосновано в [Криксунов, 1995] и [Михайлов, 2018].

Список литературы

Бобырев А.Е., Бурменский В.А., Криксунов Е.А., Медвинский А.Б., Нуриева Н.И., Русаков А.В. 2013. Долгопериодные эндогенные колебания численности популяций рыб. Математическое моделирование. Биофизика. Т. 58. № 2. С. 334–348.

Криксунов Е.А. 1995. Теория пополнения и интерпретация динамики популяций рыб. Вопросы ихтиологии. Т. 35. № 3. С. 302–321.

Кузик В.В. 2020. Формирование вторичного иммунодефицита у бычков, отловленных в северной части Каспийского моря. Журнал эволюционной биохимии и физиологии. Т. 56. № 7. С. 623–625.

Михайлов В.В. 2018. Модель динамики популяции рыб с расчетом темпов роста особей и сценариев гидрологической обстановки. Информационно-управляющие системы. № 4. С. 31–38.

Переварюха А.Ю. 2009. Хаотические режимы в моделях теории формирования пополнения популяций. Нелинейный мир. Т. 7. № 12. С. 925–932.

Переварюха А.Ю. 2012. Интерпретация поведения моделей динамики биоресурсов и моментальная хаотизация в новой модели. Нелинейный мир. Т. 10. № 4. С. 255–262.

Переварюха А.Ю. 2020. Метод моделирования резких изменений в популяционных процессах. Журнал общей биологии. Т. 81. № 3. С. 174–193.

К ВОПРОСУ УЧЕТА ЧИСЛЕННОСТИ ШПРОТА В РОССИЙСКИХ ВОДАХ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

И.А. Пожинская

Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»), Санкт-Петербург, Россия

E-mail: neva.2018@inbox.ru

Ключевые слова: шпрот *Sprattus sprattus balticus*, уловы, методы исследований, Финский залив Балтийского моря.

В Российских водах Финского залива (32 подрайон Балтийского моря) промысел основан преимущественно на вылове балтийской сельди (*Clupea harengus membras* (Linnaeus, 1758)) и шпрота (*Sprattus sprattus balticus* (Schneider, 1908)). Доля мелкосельдевых в годовом улове составила 83% в среднем за период с 2009 по 2023 гг. (Рисунок 1).

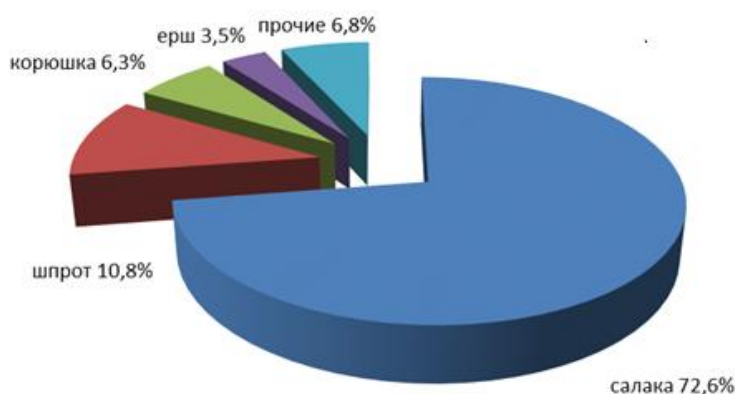


Рисунок 1. Соотношение промысловых видов рыб в годовом улове в восточной части Финского залива (среднее за 2009-2023 гг.), % [Пожинская и др., 2024]

Добыча морских видов осуществляется в глубоководном районе восточной части Финского залива от о. Гогланд до о. Сескар, а также в Нарвском заливе и вдоль границы с Эстонией на глубинах порядка 35-70 м. Протяженность района промысла составляет 81 км, ширина акватории – 120 км [Басова и др., 1997]. Промысел ведется разноглубинными пелагическими тралями РТ/ТМ № 90-520 с судов типа МРТК в количестве от 1 до 9 (обычно 5-7 единиц) с января по май и с октября по декабрь.

Анализ уловов сотрудниками Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО» производится на протяжении всего периода промысла. Разбор траловых уловов осуществляется на рыбоприемном пункте Усть-Лужского рыбокомбината на южном берегу Финского залива. Сбор и обработка материалов проводится по стандартным методикам [Чугунова, 1959; Апс, 1986; Карпушевский и др., 2013; Труфанова, Амосова, 2022].

Распределение уловов рыб и производительность лова изучаются на основе обобщения материалов статистики вылова, анализа суточных уловов из промысловых журналов траловых судов рыбопромысловых бригад.

Российский вылов сельди в исключительной экономической зоне и территориальном море РФ в 32 подрайоне Балтийского моря (Финский залив) в 2024 г. достигал 11,535 тыс. т (составив 47,8% всего отечественного вылова сельди в 26 и 32 подрайонах) [Амосова и др., 2025].

Шпрот значительно уступает сельди по численности в восточной части Финского залива, будучи более требовательным к температуре воды в зимний период и солености. Доля Российского вылова шпрота в 32 подрайоне в 2024 г. составила только 3,9% всего отечественного вылова данного вида в 26 и 32 подрайонах [Амосова, Васильева, 2025]. Тем не менее, годовые уловы шпрота в 32 подрайоне превосходят вылов пресноводных видов рыб на прибрежном промысле (рисунок 1) и вносят существенный вклад в работу рыбоперерабатывающей отрасли Ленинградской области и Санкт-Петербурга.

Российский вылов шпрота в исключительной экономической зоне и территориальном море РФ в 32 подрайоне Балтийского моря (Финский залив) с 1995 по 2024 гг. не превышал 2,0 тыс. т. В 2024 г. составил 1,586 тыс. т [Амосова, Васильева, 2025], что в 1,7 раза выше среднемноголетнего значения за период с 1995 по 2024 гг. (0,928 тыс. т) (Рисунок 2).



Рисунок 2. Динамика годового вылова шпрота в Российских водах Финского залива (в 32 подрайоне Балтийского моря) за период 1995-2024 гг., тыс. т

В некоторые годы суточные уловы и годовой объем вылова шпрота в восточной части Финского залива зависели от выбора районов траления при осуществлении промысла [Боркин и др., 2018]. Поэтому проведение научно-исследовательского лова с возможностью выбора станций позволило бы собирать более полные материалы по производительности лова, распределению и размерно-возрастному составу промысловой части стада шпрота, а также отбирать пробы для изучения питания рыб.

Увеличение уловов мелкосельдевых видов в районе исследований в последние несколько лет может косвенно свидетельствовать об увеличении их численности. Однако на основании учета данных об объеме вылова и сборе материалов только из промысловых уловов мы не можем в полной мере судить о численности шпрота в районе исследований.

В осенне-зимний период 2024 г. в промысловых уловах в восточной части Финского залива отмечено рекордное за последнее десятилетие количество молоди шпрота. Доля сеголетков данного вида в уловах в 4 квартале 2024 г. достигала 58,0% от общей численности. Без проведения научно-исследовательского тралового лова невозможно рассчитать индексы численности 0-группы.

С целью стандартизации применяемых методов исследования и унификации получаемых данных, сравнимых и дополняющих данные АтлантНИРО по 26 подрайону

Балтийского моря, а также изучения распределения промысловых скоплений мелкосельдевых видов рыб в Российских водах Финского залива (32 подрайоне Балтийского моря) необходимо проведение научно-исследовательского тралового лова на регулярной основе – желательно ежегодных весенней и осенней тралово-акустических (гидроакустических) съемок в соответствии с современными методиками.

Список литературы

Амосова В.М., Васильева Т.Г. (отв. исполнители). 2025. Шпрот (килька) - *Sprattus sprattus balticus* Балтийское море 22-32 подрайоны Балтийского моря ИЭЗ и территориальное море РФ 26 и 32 подрайоны Балтийского моря // Материалы общего допустимого улова в районе добычи (вылова) водных биологических ресурсов во внутренних морских водах РФ, в территориальном море РФ, на континентальном шельфе РФ, в исключительной экономической зоне РФ и Каспийском море на 2026 год (с оценкой воздействия на окружающую среду). Ч.1. Рыбы морей европейской части России. М.: Минсельхоз России, Росрыболовство, ФГБНУ «ВНИРО», с. 45-64.

Амосова В.М., Красовская Н.В., Шурухин А.С. (отв. исполнители). 2025. Сельдь балтийская (салака) – *Clupea harengus membras* Балтийское море 25-29+32 подрайоны Балтийского моря ИЭЗ и территориальное море РФ 26 и 32 подрайоны Балтийского моря // Материалы общего допустимого улова в районе добычи (вылова) водных биологических ресурсов во внутренних морских водах РФ, в территориальном море РФ, на континентальном шельфе РФ, в исключительной экономической зоне РФ и Каспийском море на 2026 год (с оценкой воздействия на окружающую среду). Ч.1. Рыбы морей европейской части России. М.: Минсельхоз России, Росрыболовство, ФГБНУ «ВНИРО», С. 26-44.

Апс Р.А. 1986. Возраст и рост балтийского шпрота. Рига: АВОТС, 56 с.

Басова С.Л., Быченков Д.Е., Ковалева В.В., Ланге Е.К., Родионова Н.В. 1997. Гидробиологическая характеристика качества вод в Невской губе и восточной части Финского залива. Экологическая обстановка в Санкт-Петербурге и Ленинградской области в 1996 г. Справочно-аналитический обзор. СПб, С. 67–76.

Боркин И.В., Пожинская И.А., Кузнецов А.Ф. 2018. Многолетняя динамика уловов и некоторые черты биологии шпрота (кильки) в восточной части Финского залива. Рыбное хозяйство. № 2. С. 40–45.

Карпушевский И.В., Константинов В.В., Амосова В.М., Зезера А.С., Дмитриева М.А., Карпушевская А.И. 2013. Методическое пособие по сбору и первичной обработке биостатистических материалов на промысловых судах в юго-восточной части Балтийского моря. Калининград: изд-во АтлантНИРО, 81 с.

Пожинская И.А., Боркин И.В., Тыркин И.А. 2024. Промысел и распределение шпрота в Российских водах Финского залива в 2023 году. Международная научно-практическая конференция, посвященная 110-летию Санкт-Петербургского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга») «Рыбохозяйственная наука. История, современность, перспективы». М.: Изд-во ВНИРО, С. 473–477.

Труфанова И.С., Амосова В.М. 2022. Методическое пособие по сбору и первичной обработке биостатистических материалов мониторинга промышленного лова судов, ведущих добычу водных биологических ресурсов в юго-восточной части Балтийского моря. Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»). Калининград: изд-во АтлантНИРО, 112 с.

Чугунова Н.И. 1959. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М.: изд-во АН СССР, 164 с.

К ОБОСНОВАНИЮ КОНЦЕПЦИИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ РАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕДООСВАИВАЕМЫХ МОРСКИХ РЫБНЫХ РЕСУРСОВ ПОДЗОНЫ ПРИМОРЬЕ

Б.И. Покровский¹, Д.Л. Шабельский^{1*}, А.М. Кайко²

¹*Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия*

²*ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз», Владивосток, Россия*

*E-mail: dmitrii.shabelski@tinro.vniro.ru

Ключевые слова: недоосваиваемые ресурсы, подзона Приморье, экономические показатели, рентабельность.

Актуальность исследования вариантов инновационного развития процессов эксплуатации недоосваиваемых ресурсов определяется следующими основными задачами развития рыбопромышленного комплекса, сформулированными в Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 г. (далее – Стратегия-2030) [Стратегия ..., 2019]:

- увеличение валовой добавленной стоимости за счет развития производства продукции глубокой переработки;
- выстраивание вертикальных структур и цепочек по производству рыбной и иной продукции из водных биологических ресурсов с высокой добавленной стоимостью из уловов (сырья) водных биологических ресурсов до производства и реализации конечного продукта.

Основными ключевыми факторами текущей проблемной ситуации являются следующие:

- промысел и переработка недоосваиваемых ресурсов подзоны Приморье ведется малыми и средними предприятиями, выпускающими продукцию простой переработки;
- в производственной деятельности предприятий наблюдается недостаток оборотных и финансово-кредитных средств для целей развития и повышения экономической эффективности производства;
- отсутствие выпуска продукции с добавленной стоимостью, востребованной на рынке, приводит к затруднениям в сбыте и потерям эффективности показателей производственной деятельности предприятий;
- как правило, эти предприятия не имеют современного оборудования, необходимого для выпуска продукции с добавленной стоимостью (в первую очередь современных рефрижераторных мощностей).

Таким образом, достижение целей и выполнение основных задач Стратегии-2030 может быть достигнуто за счет создания новых организационно-экономических структур, способных преодолевать вышеперечисленные препятствия, обеспечивать выпуск на современном оборудовании конкурентоспособной продукции с добавленной стоимостью, привлекать к работе высококвалифицированных специалистов (особенно необходимых в современных условиях для работ в области цифровизации и роботизации производства). Эффективным прототипом интегрированных структур, рекомендуемых Стратегией-2030, являются холдинговые структуры, успешно работающие в сельскохозяйственном производстве Российской Федерации. Холдинговая компания сети малых и средних предприятий промысла и переработки морских недоосваиваемых ресурсов основывается на акционерных принципах взаимодействия предприятий участников холдинга и обеспечивает следующие преимущества:

- условия успешной финансово-кредитной деятельности за счет интегрирования потенциала предприятий-участников;
- увеличение объемов производства конкурентоспособной продукции, выпускаемой на современном оборудовании с учетом основного требования современного рынка рыбопродукции: «Свежесть сырка – в свежесть конечного продукта»;
- возможность заключения долгосрочных торговых соглашений (на период до 5-6 лет) с крупными торговыми сетями и/или с крупными квалифицированными торговыми агентами;
- возможность круглогодичной работы предприятий сети за счет приобретения необходимых объемов сырка в периоды прекращения промысла. В Таблице 1 приводятся данные об объемах допустимого вылова недоосваиваемых ресурсов подзоны Приморье.

Таблица 1. Разрешённый объём вылова и фактический вылов недоосваиваемых объектов промысла в подзоне Приморье в 2023 г.

Японское море			
Подзона Приморье 61.06.1			
Вид водного биоресурса	Рекомендованный объём добычи (вылова), т	Объём добычи (вылова), т	Освоение, %
Анчоусы	4 999,780	0	0
Бычки	8 769,670	513,403	5,85
Камбалы дальневосточные	12 864,180	2 490,042	19,36
Кефали (сингиль, лобан)	870,440	0,396	0,05
Краснопёрка (красноперки- угаи дальневосточные)	1 418,410	19,919	1,40
Лакедра желтохвостая	30,000	0	0
Корюшка малоротая	1 720,800	68,690	3,99
Корюшка малоротая морская	1 758,170	10,164	0,58
Мойва	1 075,000	17,785	1,65
Навага	4 053,120	1 262,022	31,14
Рыба-собака	492,790	0,060	0,01
Рыба-лапша	360,000	0	0
Сайра	7 999,855	0	0
Скаты	797,500	19,883	2,49
Скумбрия	1 000,000	3,851	0,39
Сардина иваси	4 999,150	0	0
Терпуги	6 934,980	1 295,200	18,68
Кальмар командорский	7 500,000	763,913	10,19
Кальмар тихоокеанский	44 938,880	114,284	0,25

Для промысла и переработки рыбы-сырка предполагается использование производственной группы в составе трех модернизированных среднетоннажных траулеров-ловцов и одного модернизированного приемно-перерабатывающего крупнотоннажного траулера, используемого в качестве мобильного цеха приема и переработки водных биологических ресурсов [Покровский и др., 2022]. Средний рыболовный морозильный траулер проекта 502 ЭМ предназначен для промысла донными и разноглубинными тралами, переработки рыбы в мороженую продукцию, ее хранение в морозильных трюмах и сдачу на транспортные рефрижераторы в районе промысла, либо транспортировку на береговые предприятия. В качестве приёмно-перерабатывающего судна рассматривается переоборудованный крупнотоннажный траулер типа БМРТ,

прошедший модернизацию для приема рыбы-сырца на борт, выпуск фаршевой продукции, шоковую заморозку и упаковку в современную информативную тару с добавлением антиокислителя. Это судно выполняет следующие виды работ:

- приемку сырца от среднетоннажных добывающих судов;
- выпуск фаршевой продукции и её шоковую заморозку (в объеме до 200 т) с сохранением исходного качества продукции;
- выработку кормовой фаршевой продукции из отходов производства и некондиционного сырья;
- хранение выработанной продукции в трюмах, передача ее на транспортные суда в районе промысла или доставка в порт базирования.

Технические возможности хранения сырца высокого качества также позволяют увеличить глубину переработки, и, в случае оптимального распределения сырца по группам продукции, оценка ресурсного потенциала подзоны Приморье увеличивается в 1,8 раза [Шабельский, 2025]. Основные экономические показатели проекта представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Основные экономические показатели работы судна на недоосваиваемых водных биологических ресурсах подзоны Приморье

Показатель	Величина показателя
1. Объем приемки рыбы сырца, т	4500
2. Выпуск продукции, т всего	2746
- фарш рыбный мороженный	2239
- мука рыбная кормовая	338
- жир рыбий	169
3. Выручка от продаж, тыс. руб.	554475
4. Затраты, тыс. руб.	430850
5. Прибыль от продаж, тыс. руб.	123625
6. Рентабельность деятельности, %	28,7
7. Рентабельность продаж, %	22,3

Добыча недоосваиваемых рыбных ресурсов в объеме рекомендуемого вылова 4500 тонн и выпуск высококачественной продукции за счет комплексной переработки сырья позволит получить 2746 тонн конкурентоспособных рыбных продуктов. При этом рентабельность производственной деятельности может составить около 30%.

Список литературы

Покровский Б.И., Шабельский Д.Л., Кайко А.М., Шаповалов М.Е. 2022. Оптимальные оценки повышения глубины переработки рыбного сырья ресурсов пресноводных водоемов в целях развития внутреннего рынка рыбопродукции РФ. International Agricultural Journal. Т. 65. № 5. С.14.

Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 26 ноября 2019 года №2798-р.). 57 с.

Шабельский Д.Л. 2025. Анализ экономических показателей основных сценариев эксплуатации морских рыбных ресурсов подзоны Приморье. Океанологические исследования. № 53 (2). С. 60–73.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ОЦЕНКЕ ЧИСЛЕННОСТИ РЕЧНЫХ РАКОВ (*PONTOASTACUS*) И ОПРЕДЕЛЕНИИ ИХ ОДУ (ОБЗОР МЕТОДОВ И МЕТОДИК)

Ю.А. Северов

Татарский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТатарстанНИРО»), Казань, Россия

E-mail: s.yuriy@tatarstan.vniro.ru

Ключевые слова: речные раки, оценка численности, общий допустимый улов (ОДУ).

Раки из рода *Pontoastacus* насчитывают до 9 видов и широко распространены в пресноводных бассейнах Восточной Европы и в северном полушарии Восточной Азии, но также интродуцированы в другие регионы мира [Crandall, De Grave, 2017]. Многие из этих видов имеют важный промысловый статус в рыбохозяйственных водоемах Российской Федерации.

Методическими вопросами по оценке величины запасов и составлению прогнозов вылова этих беспозвоночных активно занимались с середины XX столетия [Бродский, 1967; Румянцев, 1974; Нефедов и др., 1975; Черкашина, 1975 и др.]. Продолжаются эти работы и в настоящее время [Методики ..., 2011; Алехнович, 2016; Пятинский, Мазникова, 2023].

В основной массе для этих целей были адаптированы методы оценки численности рыб, которые сформировались в ряд групп:

1. Метод прямого учета (учет раков аквалангистами);
2. Метод мечения;
3. Метод учетных съемок (активными и пассивными орудиями лова);
4. Графический метод (метод Петерсена, Лесли - Де Лури);
5. Моделирование запаса, биостатистика.

Для каждого из выше перечисленных методов есть ряд ограничений и особенностей. Так, например, водолазный учет достаточно дорогостоящ и не всегда эффективен в мутных водах рек и водохранилищ [Черкашина, 1975]. Метод мечения, трудоемок и приемлем только на небольших учетных водоемах, где популяцию раков можно обловить достаточно полно – данный метод фактически был апробирован только на популяциях *Astacus astacus* в озерах Литвы [Цукерзис, 1989]. Для использования графического метода также могут быть использованы только небольшие учетные водоемы [Раколовство и раководство..., 2006]. Для моделирования динамики запаса требуется значительный объем биологической и промысловой информации за жизненный цикл 1-2 поколений, которая во многих случаях просто отсутствует.

Вследствие этого, основным способом оценки запасов раков в настоящее время является метод учетных съемок, выполняющийся в основной массе при помощи пассивных ловушек различных конструкций.

Нужно отметить, что в большинстве случаев для отлова раков (в том числе промысловиками) используются современные раколовки из синтетических материалов, различной конструкции и размеров, используемые с приманкой и без нее. При этом для определения запасов раков по уловам этих раколовки применяется теоретические представления середины 20-го столетия и напротив, используются традиционные ловушки, разработанные и апробированные в эти же годы, несмотря на доступность современных, более эффективных раколовки.

Основная проблема на наш взгляд состоит в том, что для современных орудий лова отсутствуют полноценные исследования по определению эффективной площади облова, селективности и уловистости, которые бы позволяли их использовать в качестве основных учетных орудий лова.

Методологическая база 20-го столетия, используемая для оценки параметров лова и величины запаса также далека от совершенства. Нередко авторы делают значительные ограничения использования локальных методик и методов, применяют определенные иногда и противоречивые допущения и т.д. Например, отсутствует четкое определение «полезной площади» или «площади распределения» для облова раков. По нашим исследованиям промысловые скопления раков в водохранилищах Средней Волги встречаются на всех биотопах и стациях, а не только вдоль растительности и в пределах биотопов с благоприятными для них абиотическими и биотическими факторами.

Коэффициент уловистости ловушек, от применения которого в формулах «методов площадей» коренным образом зависит расчетная величина запаса, определен фактически только для раколовков-«чернильниц» на примере раков *A. astacus* водоемов Литвы [Цукерзис, 1989].

То же самое относится и к протяженности кормовых миграций раков [Раколовство и раководство..., 2006], где приводятся сведения, также полученные только по ракам *A. astacus* [Цукерзис, 1989], применять которые для раков другого рода и для различных по морфологии и размерам водоемов Поволжья и бассейна Дона необходимо весьма осторожно. Описание отечественных исследований по площадям и протяженности кормовых миграций раков р. *Pontoastacus* в литературе отсутствует.

Достаточно удобной для расчетов относительной численности раков является следующая формула [Раколовство и раководство..., 2006]:

$$N_p = Y_p \times S_{\text{полезн.}} / E$$

где N_p – численность рака промыслового размера, экз.; Y_p – улов раков промыслового размера, экз./раколовку в час; $S_{\text{полезн.}}$ – полезная площадь водоема, м²; E – равен 2.

Показано [Цукерзис, 1989], что между промысловой плотностью и уловом раколовками раков промыслового размера существует определенная закономерность – отношение промысловой части улова к промысловой плотности, обозначенное условно коэффициентом E , относительно стабильно в широком диапазоне колебаний плотности запаса (0,007-0,250 экз./м²). Если улов выражен в экз./раколовку в час, то коэффициент E , с вероятностью в 95% будет равен $2 \pm 0,13$. Стабильность коэффициента E позволяет рекомендовать его для определения промысловых запасов рака по уловам раколовками.

Данный коэффициент трактуется как площадь 100% облова одной раколовки в час и соотношение Y_p/E отражает промысловую плотность запаса. При этом отсутствие в формуле коэффициента уловистости приводило к тому, что при использовании раколовков различных конструкций, рассчитанная величина запаса различалась на порядки, а значит данная формула далеко не универсальна.

И как отмечалось выше, применяемая в этой формуле величина «полезной площади», основанная на характеристиках среды обитания раков дает значительный разброс величины запаса. На наш взгляд (применительно к водохранилищам Волжско-Камского каскада и другим крупным водным объектам, где производится промысел раков) величину $S_{\text{полезн.}}$ можно интерпретировать как площадь рыболовного участка, где производится промышленный вылов раков, которые согласно действующему законодательству относятся к видам ОДУ, и их вылов можно совершать только на рыболовных участках. Ресурсные исследования при этом можно направить только на площади рыболовных участков.

Таким образом, современные исследования прикладных аспектов биологии раков и их промышленного использования необходимо сосредоточить на изучении коэффициентов уловистости и селективности современных раколовочных сетей, а также их зон облова, что в большей мере сделано для промысловых беспозвоночных морей РФ.

Для определения величины ОДУ раков повсеместно применяется единообразный подход:

$$ОДУ = B \times F,$$

где B – промысловая биомасса запаса, т; F – доля изъятия, %.

При этом используется консервативное правило регулирования промысла, когда при всем диапазоне возможных значений биомасс режим использования запаса осуществляется с постоянной интенсивностью, равной целевому ориентиру промысловой смертности.

В качестве этого показателя для ежегодного ведения промысла выбирается значение не более 25% от общей величины промыслового запаса [Раколовство и раководство ..., 2006]. Обосновывается данная величина в основном уровнем естественной смертности раков для водохранилища Нижней Волги и Волго-Ахтубинской поймы, где она достигает 22-25% [Нефёдов и др., 1975; Раколовство и раководство ..., 2006]. Это правило при отсутствии биологических ориентиров для управления запасом применяется в т.ч. и для промысловых видов рыб [Caddy, 1988]:

$$F_{rec} = M$$

Поэтому дальнейшее развитие исследований структуры и продуктивности запасов раков должно быть направлено в том числе и на определение биологически обоснованных ориентиров управления.

Список литературы

- Алехнович А.В. 2016. Речные раки Беларуси в современных условиях: распространение, динамика численности, продукционно-промысловый потенциал. Минск: Беларуская навука, 303 с.
- Бродский С.Я. 1963. Учет численности и прогнозирование уловов раков в водоемах Украины. Мат. совещания по воспроизводству запасов речных раков. Вильнюс, С. 1–18.
- Методики оценки запасов, определения ОДУ и возможного вылова водных биоресурсов Каспийского бассейна с целью управления рыболовством. 2011. Астрахань: Изд. КаспНИРХ, 119 с.
- Нефёдов В.Н., Мазанов Н.Н., Лабаза В.Ф., Наумова Г.В. 1975. Методы учёта и плотность популяции речных раков в водоёмах Волго-Ахтубинской поймы. Тр. Волгоград. отд. ГосНИОРХ. № 9. С. 259–289.
- Пятинский М.М., Мазникова О.А. 2023. Методы оценки запасов раков в водоемах нижнего течения р. Дон. Тезисы международной научно-практической конференции «Современные методы оценки и рационального использования водных биологических ресурсов». Москва: ВНИРО, С. 114–116.
- Раколовство и раководство на водоемах Европейской части России. 2006. СПб.: ГосНИОРХ. 207 с.
- Румянцев В.Д. 1974. Речные раки Волго-Каспия. М.: Пищ. пром-ть, 84 с.
- Цукерзис Я.М. 1989. Речные раки. Вильнюс: Моклас, 143 с.
- Черкашина Н.Я. 1975. Распределение и запасы раков рода *Astacidae* в Туркменских водах Каспия. Труды ВНИРО. Т. 108: С. 177–184.

Caddy J.F. 1998. A short review of precautionary reference points and some proposals for their use in data-poor situations. FAO Fisheries Technical Paper, 379 p.

Crandall K. A., De Grave S. 2017. An updated classification of the freshwater crayfishes (Decapoda: Astacidea) of the world, with a complete species list. *Journal of Crustacean Biology*. Vol. 37. No.5. P. 615–653. DOI:10.1093/jcbiol/rux070.

О МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ ЧИСЛЕННОСТИ БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Л.К. Сидоров*, В.А. Бизиков

ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия

*E-mail: sidorov@vniro.ru

Ключевые слова: байкальская нерпа, оценка численности, беспилотник, искусственный интеллект.

Одним из важнейших показателей, характеризующих состояние вида в экосистеме, является его численность. Традиционный способ учета байкальской нерпы (*Pusa sibirica* (Gmelin, 1788)) базируется на методе, суть которого заключается не в прямом подсчете животных, а в учете логовов, в которых ценные самки приносят и выкармливают щенков с последующим расчетом общей численности популяции, с учетом данных о возрастном составе популяции, возрасте созревания, доли яловости самок и соотношения полов. Учеты логовов выполняются путем объездов по стандартным разрезам на размеченных участках, с последующей экстраполяцией данных на всю исследуемую акваторию озера.

С 1953 по 1961 гг. на Байкале были предприняты попытки учета численности нерпы с самолета, но они оказались неудачными. Количественный учет нерпы с борта самолёта или вертолёта оказался затруднен по следующим причинам. Во-первых, звук самолета пугал животных, часть из них сходила в воду раньше, чем их могли увидеть наблюдатели на воздушном судне. Во-вторых, были методические трудности: отсутствовал алгоритм расчета площади обследованной акватории, не были проработаны маршруты самолета при авиаучете.

В последние годы быстрое развитие беспилотных авиационных систем (БАС, далее - беспилотник) включило в повестку дня вопрос о возможности их применения для авиаучетов морских млекопитающих, т.к. они бесшумны и способны охватывать за один полет расстояния более 1000 км. Применение беспилотников исключает человеческий фактор – авиаучет выполняется точно по намеченному маршруту и на установленной высоте. Выполнение непрерывной авиасъёмки с беспилотника на протяжении нескольких тысяч километров учетных полос (трансект) позволяют снизить погрешности и повысить точность оценок численности морских млекопитающих.

На основании опыта проведенных авиаучетов с использованием беспилотников в 2019 и 2021 гг. на озере Байкал [Бизиков и др., 2021; 2022], а также наработок в процессе авиаучетов морских млекопитающих в других регионах России [Сидоров и др., 2023; 2025] была разработана новая методика оценки численности байкальской нерпы, основанная на прямом подсчете животных, непосредственно находящихся на льду [Сидоров, Бизиков, 2025].

Преимуществом методики является простота алгоритма расчёта, исключаяющая использование популяционных параметров, а стандартизированная обработка данных позволяет достоверно сравнивать результаты авиаучетов и служит основой получения объективной оценки динамики численности байкальской нерпы. Важной частью методики является автоматическая пакетная обработка большого количества фотоснимков с задействованием программных комплексов, использующих компьютерное зрение с применением нейронных сетей искусственного интеллекта (ИИ). Многоступенчатая верификация результатов обработки сводит до минимума недоучет животных. Алгоритм расчета численности нерп на льду, основанный на методе раздельной экстраполяции, даёт

возможность оценить фактическую численность животных на льду в исследуемом районе. Эта величина является минимальной общей численностью вида и может служить отправной точкой при прогнозировании численности в целом.

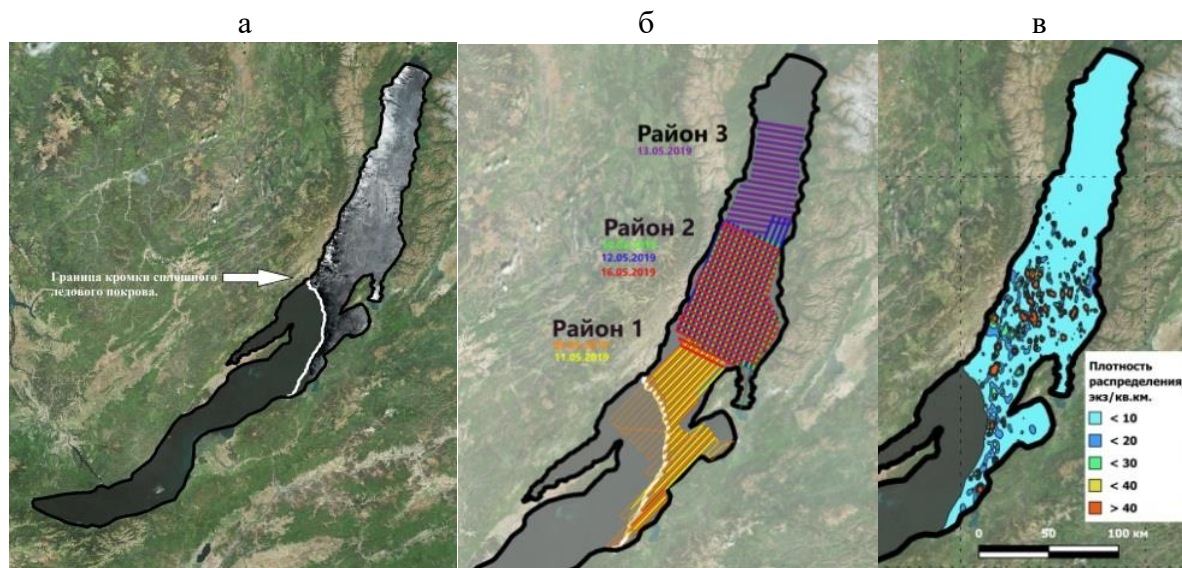


Рисунок 1. Ледовая обстановка (а), карта-схема маршрутов авиаучета (б), распределение байкальской нерпы (в) по результатам авиаучета в мае 2019 г.

Апробация методики на материалах 2019 г. (Рисунок 1). В Районе 1, по результатам облёта 9 мая численность нерпы на льду оценена на уровне 30577 ± 5266 экз. Плотность распределения животных на учетных трансектах варьировала от 2,8 до 30,8 экз./км²; в среднем $11,1 \pm 1,7$. При повторном обследовании 11 мая численность нерп составила 27321 ± 5162 экз., а плотность распределения варьировала от 2,5 до 31,1 экз./км²; в среднем $12,3 \pm 2,0$. Средняя плотность распределения нерп на льдах за двое суток между первым и вторым облётами (9 и 11 мая) практически не изменилась. Перераспределение животных на льдах не оказало влияния на оценку численности нерпы в этом районе – порядка 30 тыс. особей. По-видимому, это связано с тем, что в этот период большинство животных в дневное время находятся на льду, а доля особей в воде невелика и относительно постоянна.

В Районе 2 во время авиаучета 10 мая оценка численности нерпы на льду составила 51298 ± 4395 экз. Площадь охвата фотосъемкой равнялась 4569,1 км². Плотность распределения животных на трансектах варьировала от 0,5 до 23,2 экз./км²; в среднем $10,1 \pm 1,6$. По итогам повторного облёта 12 мая численность нерп на площади 4949,1 км² была оценена на уровне: 76616 ± 15416 экз. Плотность распределения животных на трансектах варьировала от 0 до 41,4 экз./км²; в среднем $14,4 \pm 3,0$. В ходе третьего облёта, выполненного 16 мая, трансекты были ориентированы перпендикулярно трансектам двум предыдущих облётов. Площадь обследования равнялась 4784,4 км². Численность нерп оценена на уровне 77806 ± 7876 экз.; плотность распределения нерп на трансектах варьировала от 1,8 до 35,2 экз./км²; в среднем $15,7 \pm 1,9$. Таким образом, второй и третий облёты дали весьма близкие оценки численности и распределения байкальской нерпы, а более низкая оценка по результатам первого облёта была обусловлена меньшим охватом обследованной площади и более высокой рассредоточенностью животных на льду 10 мая. В этом районе находились основные залёжки байкальской нерпы, и здесь же отмечалась наибольшая плотность её скоплений (Рисунок 1, в). Незначительное расхождение в оценках облётов 12 и 16 мая обусловлено, по-видимому, тем, что в мае нерпы в основной своей массе находятся на льдах.

В Районе 3, по результатам облёта 13 мая численность нерпы на льду оценена на уровне 2549 ± 509 экз. на площади $2464,5 \text{ км}^2$. Нерпы в районе встречались единично, Плотность распределения животных варьировала в пределах от 0 до $3,9 \text{ экз./км}^2$, в среднем составляя $1,0 \pm 0,2$.

Полученный формат данных позволяет анализировать и визуализировать пространственные (географические) данные. Пространственное распределение нерпы в оз. Байкал в период авиаучёта в мае 2019 г. было построено путём сплайн-аппроксимации точечных оценок плотности распределения, рассчитанных по отдельным кадрам. Наиболее плотные скопления нерпы (свыше 40 экз./км^2) в период авиаучёта находились севернее Ушканов (Рисунок 1, в). Местами животные образовывали крупные залёжки (урганы) вдоль трещин или вокруг обширной полыньи. В северной части оз. Байкал нерпы встречались единично и скоплений не образовывали, плотность распределения животных в среднем составляла 1 экз./км^2 .

Для оценки численности нерп на льду в 2019 г. из всего массива данных были выбраны результаты обработки трех полётных дней с 11 по 13 мая, в течение которых практически весь сплошной пригодный массив льда ($10041,4 \text{ км}^2$) для байкальской нерпы был обследован. В итоге общая расчётная численность животных на льду в районе проведения авиаучёта в мае 2019 г. составила 106486 экз.

Благодаря этим расчётам оценивается численность байкальской нерпы на льду и может служить отправной точкой для оценки общей численности вида, для которой необходимо дополнительно определить долю животных, находящихся в воде. В 2021 г. была предпринята попытка оценить процент неучтённых особей. Такую возможность дало применение беспилотников и цифровых фотокамер, которые позволили не только посчитать количество нерп на льду, не тревожа их, но и по косвенным признакам оценить долю животных, находившихся под водой на момент авиаучёта. На авиаснимках было видно, что нерпы, лежащие на льду, отогревают вокруг себя проталины, повторяющие контур тела. Сходящие в воду нерпы оставляют после себя такие пустые проталины. Количество свободных проталин в процентном отношении к численности конкретной группы, по нашему мнению, может отражать долю животных, находившихся во время авиаучета под водой. В мае 2021 г. эта доля составила: для залежек вокруг крупных полыней и в зоне разноса льдов – около 14%; вокруг ценных логовов – 27%; в среднем – 18,6% [Бизиков и др., 2022].

Стандартизированная обработка данных дает возможность достоверно сравнивать результаты авиаучетов и служит основой получения объективной оценки динамики численности байкальской нерпы и разработки рекомендаций по её сохранению и рациональному использованию.

Список литературы

Бизиков В.А., Петерфельд В.А., Черноок В.И., Кузнецов Н.В., Петров Е.А., Бобков А.И. Ткачёв В.В., Сидоров Л.К., Болтнев Е.А. 2021. Методические рекомендации по проведению учёта приплода байкальской нерпы (*Pusa sibirica*) с беспилотных летательных аппаратов в Байкальском рыбохозяйственном бассейне. М.: Изд-во ВНИРО. 56 с.

Бизиков В.А., Сидоров Л.К., Петерфельд В.А., Болтнев Е.А. 2022. Применение беспилотных летательных аппаратов для оценки численности байкальской нерпы. Биологическое разнообразие: изучение, сохранение, восстановление, рациональное использование. Мат. III Межд. науч.-практ. конф. Симферополь: ООО Издательство Типография «Ариал». С. 108–113.

Сидоров Л.К., Бизиков В.А., Рожнов В.В., Шипулин С.В., Кузнецов В.В., Белокобыльский И.Ф., Мягкий Н.А., Соловьева М.А., Глазов Д.М., Назаренко Е.А. 2023.

Распределение и численность каспийского тюленя на льдах в российской части Северного Каспия в феврале - марте 2023 г. Труды ВНИРО. Т. 193. С. 82–100.

Сидоров Л.К., Бизиков В.А., Забавников В.Б., Егоров С.А. 2025. Оценка воспроизводства беломорской популяции гренландского тюленя в 2023 и 2024 гг. Труды ВНИРО. Т. 199. С. 64–85.

Сидоров Л.К., Бизиков В.А. 2025. Применение беспилотных авиационных систем и технологии искусственного интеллекта для оценки численности байкальской нерпы. Труды ВНИРО. Т. 201. С. 33-47.

МЕЧЕНИЕ СИГОВЫХ РЫБ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ**Н.В. Смешливая*, С.М. Семенченко***Тюменский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («Госрыбцентр»), Тюмень, Россия***E-mail: n.smeshlivaya@gosrc.vniro.ru*

Ключевые слова: сиговые рыбы, искусственное воспроизводство, личинки, мечение, ализариновый красный, отолит, флуоресценция, транспортировка рыбы, выживаемость

Наиболее корректные оценки результатов работ по искусственному воспроизводству рыб на основе уточненных значений коэффициентов промыслового возврата можно получить при помощи массового мечения молоди, выпускаемой с рыбоводных заводов. До настоящего времени масштабное мечение личинок и мальков сиговых рыб не осуществляется из-за отсутствия отработанной методики. Перспективным направлением исследований в этом направлении является метод формирования флуоресцирующих меток на отолитах молоди сиговых рыб при ее кратковременном содержании в растворе ализаринового красного (АК) [Lu, 2019; Смешливая, Семенченко, 2025]. Обычно такая процедура мечения проводится в бассейнах как отдельный биотехнический элемент. Для упрощения технологической схемы производственного процесса массовое мечение молоди при помощи АК предлагается совместить с транспортировкой посадочного материала к местам выпуска. При таком методическом подходе перевозка молоди осуществляется в транспортной таре (контейнеры, пакеты), заполненной раствором АК, обеспечивающим формирование надёжно регистрируемой метки. При этом концентрация АК должна быть адекватной конкретной продолжительности перевозки и не оказывать негативного воздействия на молодь. Основные параметры методики необходимо адаптировать к сложившейся рыбоводной практике с учётом региональных особенностей. В Обском бассейне наиболее масштабные перевозки посадочного материала сиговых рыб осуществляются на первых стадиях личиночного развития после выдерживания и кратковременного подращивания в бассейнах. В зависимости от удалённости мест выпуска и используемого транспортного средства продолжительность перевозок с учётом погрузки и выгрузки составляет обычно от пяти часов до суток. Работы по мечению флуорохромами молоди сиговых рыб в процессе транспортировки в России ранее не проводились.

Цель исследования – отработать методику мечения личинок сиговых рыб во время транспортировки в производственных условиях.

Работы проводили с личинками сига-пыжьяна на этапе смешанного питания в мае 2025 г. Средняя масса личинок составляла $11,56 \pm 0,24$ мг. В качестве транспортной тары в опытах использовали стандартные полиэтиленовые пакеты общим объемом 60 л. Объем раствора АК в пакете при загрузке 1 тыс. экз. личинок составлял 10 л, при 40 – 50 тыс. экз. – 20 л. До стандартного объёма пакет доводили, заполняя его техническим кислородом. Экспериментальную транспортировку личинок осуществляли с Сузгунского инкубационного цеха Тобольского регионального рыбопитомника на садковое хозяйство «Волково» (Тобольский район) автотранспортом и на озеро-питомник Ванзетур (Березовский район ХМАО) вертолётom. Продолжительность транспортировки в разных опытах составляла от 6 до 15 часов. Концентрация АК в пакетах варьировала от 10 до 120 мг/л. Плотность посадки личинок колебалась от 0,9 тыс. экз./пакет в тестовых опытах до 50 тыс. экз./пакет при перевозках в производственных масштабах, что соответствует технологической норме (Таблица 1). Температура воды в течение транспортировки составляла 10,8–12,2°C. Раствор АК готовили за 2-3 ч до загрузки в пакеты, pH раствора

перед загрузкой доводили за счёт добавления раствора гидрокарбоната натрия до 8,4-8,6 ед. К моменту окончания транспортировки pH раствора снижалось до 7,4 – 8,0 ед. Личинок перед транспортировкой не кормили в течение суток. При завершении опытной перевозки раствор с личинками из пакетов выливали в ёмкости, промывали от АК и подсчитывали количество погибших личинок. Для регистрации меток из каждого пакета отбирали 20-30 личинок и доставляли их живыми в лабораторию для последующего анализа. Метку на отолидах личинок просматривали после недельного содержания в аквариумах с кормлением науплиями артемии. Для регистрации меток использовали микроскоп Nikon SMZ1270, оснащенный флуоресцентным осветителем с возбуждающей длиной волны 540 нм. За период исследований было выполнено 14 опытов. Просмотр меток был проведен у 175 личинок.

Основываясь на предварительных работах по влиянию различных концентраций и экспозиций АК на выживаемость личинок [Смешливая, Семенченко, 2022], максимальная концентрация красителя при транспортировке составляла 120 мг/л при экспозиции 5-6 ч. Ранее проведённые исследования показали, что такие условия мечения личинок сиговых рыб в аквариумах и бассейнах позволяют получить хорошо диагностируемую метку на отолидах. На данном этапе разработки методики массового мечения сиговых рыб актуально было оценить возможность получения хорошо диагностируемой метки при меньших концентрациях АК и экспозиции в транспортной таре свыше 5 ч.

По результатам проведённых исследований, выживаемость во всех опытах по мечению личинок при транспортировке была не менее 97 % (Таблица 1).

Таблица 1. Выживаемость личинок пыжьяна при транспортировке в рыбоводных пакетах при различной концентрации АК и продолжительности

Концентрация АК, мг/л	Время транспортировки, ч	Количество меченых личинок, тыс. экз.	Выживаемость, %	Качество метки на отолидах
0	6	10,0	99	
0	12	1,0	99	
5	12	1,0	98	-
10	12	1,1	97	-
20	12	1,0	97	-
30	15	12,6	98	+
60	6	0,9	98	+
	12	1,0	99	+
	15	7,0	97	+
90	5	0,9	98	+
	6	50,0	98	+
120	5	0,9	99	+
	6	48,0	98	+
	6	100,0	98	+
Примечание: «+» - удовлетворительное качество метки; «-» - метка имеется, но недостаточно яркая				

Флуоресцирующие метки разного качества были получены во всех опытных концентрациях и экспозициях. Экспозиция в опытах равна времени нахождения личинок в транспортной таре. При длительных экспозициях, но низких концентрациях метки на отолидах были тусклые. В частности, при концентрации АК 5, 10 и 20 мг/л и экспозиции 12 ч отоиды имели слабое свечение под флуоресцентным микроскопом. Максимальную интенсивность свечения в этих опытах отоид имел по краям, в его центре выделялось тёмное пятно (Рисунок 1, А). При увеличении концентрации раствора АК до 30 мг/л при

экспозиции 12 ч яркость метки резко возрастала (Рисунок 1, Б). При концентрации раствора АК 60 мг/л и экспозиции 6 ч отолиты у личинок также достаточно хорошо прокрашивались и флуоресцировали. В вариантах опытов при концентрации раствора АК 60 мг/л и экспозициях 12 ч и 15 ч (Рисунок 1, В); а также при концентрации АК 90 мг/л и экспозициях 5 и 6 ч отолиты личинок имели яркую, надежно регистрируемую метку. Увеличение концентрации раствора АК до 120 мг/л при экспозиции 5 - 6 ч не приводило к возрастанию интенсивности свечения по сравнению с концентрацией 90 мг/л (Рисунок 1, Г).

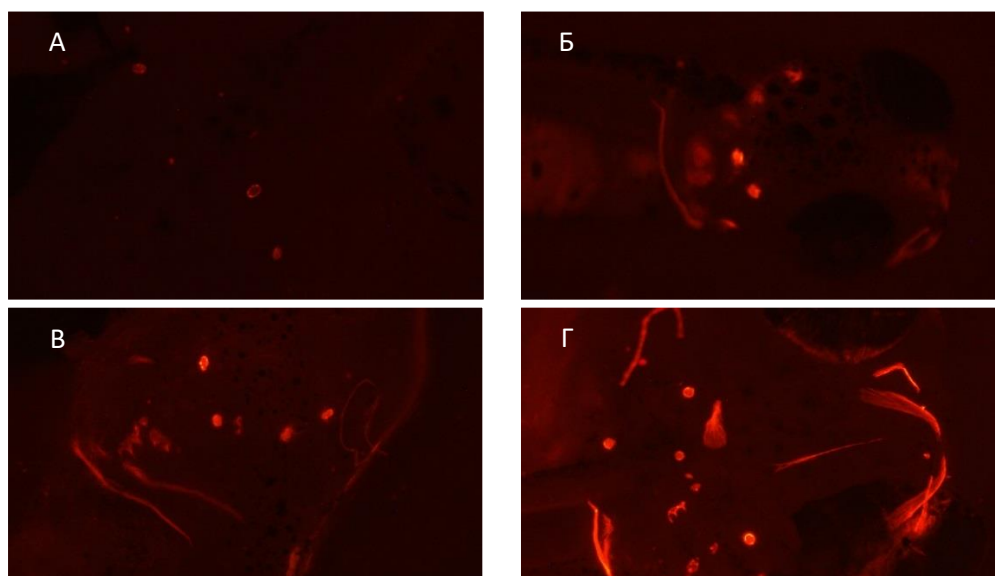


Рисунок 1. Флуоресценция отолитов личинок пыжьяна в разных опытах по их перевозке в растворе АК: А - концентрацией 20 мг/л при экспозиции 12 ч; Б - концентрация 30 мг/л, экспозиция 12 ч; В - концентрация 60 мг/л, экспозиция 15 ч; Г - концентрация 120 мг/л, экспозиция 5 ч

Таким образом, при перевозке продолжительностью 12–15 ч для получения яркой и хорошо диагностируемой метки рекомендуется использовать раствор АК 30 мг/л, при транспортировке продолжительностью 5-6 ч – 90 мг/л.

При проведении опытов была выявлена повышенная токсичность отдельных партий АК с маркировкой ЧДА, фактически непригодных для мечения. Рекомендуется предварительно тестировать краситель на личинках перед использованием.

Список литературы

Смешливая Н.В., Семенченко С.М. 2022. Использование ализарина красного при мечении эмбрионов и личинок сиговых рыб. Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление: сборник материалов II Всероссийской научной конференции, посвящённой 90-летию Камчатского филиала ФГБНУ «ВНИРО». Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, С. 240–246.

Смешливая Н.В., Семенченко С.М. 2023. Мечение молоди муксуна ализарином красным. Лососевые рыбы: Биология, воспроизводство, промысел: материалы всероссийской научно-практической конференции. Мурманск, С. 394–401.

Смешливая Н.В., Семенченко С.М. 2025. Перспективы массового мечения сиговых рыб. Рыбоводство и рыбное хозяйство. № 4. С. 295–309.

Lu H. 2019. Marking Fish with Fluorochrome Dyes. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture. Vol. 28. № 1. P. 117–135.

СОСТОЯНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В КЛЯЗЬМИНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ ВЕСНОЙ 2023 И 2025 ГГ.

А.В. Солодовник*, Д.Ю. Тюлин, А.И. Никитенко, И.А. Жернаков, Г.И. Христенко

*Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ»),
Московская обл., Россия*

**E-mail: a.solodovnik@vniiprh.vniro.ru*

Ключевые слова: Клязьминское водохранилище, фитопланктон, мезотрофный водоем, диатомовые водоросли.

Клязьминское водохранилище представляет собой один из крупнейших искусственных водоемов, созданных в период с 1932 по 1937 год в рамках строительства системы канала имени Москвы [Авдиевич, Борзакова, Вельмина, 1962]. Расположенное на реке Клязьме, оно входит в состав Пироговского гидроузла, находясь между Химкинским и Пироговским водохранилищами. Протяженность водоема составляет около 25 км при средней глубине 3,6 м [Вертебная, 1940]. Водохранилище функционирует в режиме сезонного регулирования стока.

Антропогенная нагрузка на Клязьминское водохранилище значительна. Водоём служит зоной интенсивного судоходства с середины апреля по середину ноября, а его береговая линия характеризуется высокой плотностью заселения и активным рекреационным использованием. Прибрежная территория включает пляжи и причалы, а акватория широко используется для парусного спорта [Авдиевич, Борзакова, Вельмина, 1962].

Исследования фитопланктонного сообщества Клязьминского водохранилища проводились в весенние периоды 2023 и 2025 годов. Работы выполнялись в соответствии с общепринятыми гидробиологическими методиками [Абакумов, 1983]. Отбор проб осуществлялся на трех станциях (Рисунок 1) с использованием батометра Паталаса, с последующей фиксацией 4%-ным раствором формалина.

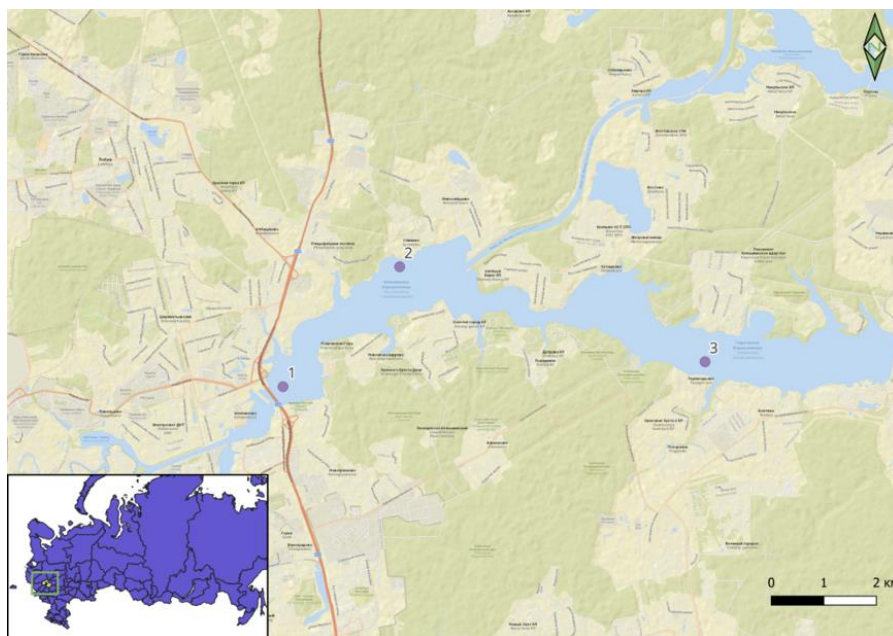


Рисунок 1. Карта–схема отбора проб фитопланктона на Клязьминском водохранилище за 2023 и 2025 гг.

В 2023 г. микроскопический анализ проводился с использованием бинокулярного микроскопа Микмед-6 и камеры Нажотта. В 2025 г. применялся микроскоп Микромед 3 вар. 3-20, подсчет клеток фитопланктона осуществлялся в камере Фукса-Розенталя. Захват изображения производили при помощи видеоокуляра Touptek Photonics FMA050. Длина планктонных организмов измерялась при помощи прилагающейся программы ToupView.

Весной 2023 г. было идентифицировано 28 таксонов водорослей, включая 12 таксонов диатомовых, 7 таксонов зеленых, 1 таксон эвгленовых и 8 таксонов золотистых водорослей. Доминировали диатомовые водоросли (Bacillariophyta), составлявшие 92% от общей численности и 82% от общей биомассы. В целом, численность фитопланктона достигала 13,14 млн кл./л при биомассе 0,97 мг/л (Таблицы 1 и 2). Подобная структура фитопланктонного сообщества характерна для мезотрофных водоемов в весенний период и отражает классический диатомовый пик развития [Гриценко, Васенко, Верніченко, 2012].

Таблица 1. Таксономический состав фитопланктона на Клязьминском водохранилище весной 2023 г.

Группы организмов		Станция 1	Станция 2	Станция 3	Среднее
Cyanobacteria	N	0,00	0,00	0,00	0,00
	B	0,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariophyta	N	9,29	20,63	6,49	12,14
	B	1,85	0,38	0,18	0,80
Chlorophyta	N	0,32	0,38	0,72	0,47
	B	0,13	0,12	0,11	0,12
Euglenophyta	N	0,04	0,00	0,00	0,01
	B	0,05	0,02	0,00	0,02
Прочие	N	0,69	0,65	0,19	0,51
	B	0,03	0,03	0,02	0,03
Итого	N	10,34	21,67	7,23	13,14
	B	2,06	0,55	0,31	0,97
Примечание: N – численность, млн к./л; B - биомасса, мг/л.					

Таблица 2. Таксономический состав фитопланктона Клязьминского водохранилища весной 2025 г.

Группы организмов		Станция 1	Станция 2	Станция 3	Среднее
Cyanobacteria	N	88,04	72,97	63,80	74,94
	B	0,14	0,45	0,19	0,26
Bacillariophyta	N	0,38	0,43	0,50	0,44
	B	0,39	2,49	0,54	1,14
Chlorophyta	N	1,64	0,82	0,50	0,98
	B	0,21	0,28	0,14	0,21
Euglenophyta	N	0,05	0,04	0,00	0,03
	B	0,24	0,03	0,00	0,09
Прочие	N	0,00	0,00	0,00	0,00
	B	0,00	0,00	0,00	0,00
Итого	N	90,11	74,26	64,79	76,39
	B	0,98	3,25	0,87	1,70
Примечание: N – численность, млн к./л; B - биомасса, мг/л.					

Весной 2025 г. таксономическое разнообразие снизилось до 15 таксонов, включая 5 таксонов диатомовых, 7 таксонов зеленых, 1 таксон синезеленых и 2 таксона эвгленовых водорослей. В целом, общая численность фитопланктона увеличилась в 6 раз (до 76,39 млн кл./л), а биомасса – в 2 раза (до 1,7 мг/л) по сравнению с показателями весны 2023 г. Такая структурная перестройка сообщества указывает на значительные изменения в экологическом состоянии водоема. По численности доминировали синезеленые водоросли, составляя 74,94 млн.кл./л или 98% от общей численности фитопланктона. Однако их вклад в общую биомассу оказался незначительным – всего 0,26 мг/л (15%). В то же время диатомовые водоросли, составляя лишь 0,58% от общей численности (0,44 млн кл./л), формировали 67% общей биомассы (1,14 мг/л). Обсуждаемые изменения, в частности появление синезеленых в весенний период, могут свидетельствовать об интенсификации процессов эвтрофикации в водоеме. Это может быть связано с возросшей антропогенной нагрузкой (коммунально-бытовые стоки) или особенностями гидрологического режима в предшествующий исследованию период. Массовое развитие синезеленых водорослей представляет особую экологическую проблему, поскольку некоторые виды способны продуцировать токсины и ухудшать качество воды [Вертебная, 1940; Абакумов, 1983].

Проведенные исследования выявили значительные изменения в структуре фитопланктонного сообщества с 2023 по 2025 гг. на Клязьминском водохранилище.

Весной 2023 г. фитопланктон представлял собой диатомовый комплекс с умеренными количественными показателями, что типично для весеннего периода в водоемах подобного типа.

Весной 2025 г. 98% численности составили синезеленые водоросли, что свидетельствует об интенсивном развитии мелкоклеточных форм. В то же время диатомовые сохранили доминирование по биомассе (67%), при снижении общего таксономического разнообразия.

Выявленная динамика свидетельствует о наличии возможности повышения трофического статуса водоема и может свидетельствовать об антропогенном эвтрофировании, вероятно, связанным с возросшей нагрузкой на водоем со стороны коммунально-бытовых стоков. Массовое развитие синезеленых водорослей свидетельствует о наличии риска ухудшения санитарно-гигиенического качества воды, что требует продолжения регулярного мониторинга и принятия природоохранных мер.

Список литературы

- Абакумов В.А., Бубнова Н.П. 1983. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Гидрометеиздат. 240 с.
- Авдиевич Н.М., Борзакова А.А., Вельмина Е.С. 1962. Клязьминское водохранилище – источник водоснабжения. Городское хозяйство Москвы. № 8. С. 25–26.
- Вертебная П.И. 1940. Водоросли и высшая водная растительность Клязьминского водохранилища канала Москва-Волга. Гигиена и санитария. № 103(4). С. 25–29.
- Гриценко А.В., Васенко О.Г., Верніченко Г.А. 2012. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями та ін. Х.: УкрНДІЕП. 37 с.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПИЩЕВЫХ СВЯЗЕЙ ХИЩНЫХ РЫБ В АЛАКОЛЬСКОЙ СИСТЕМЕ ОЗЕР И ПРОБЛЕМА ВЫЖИВАНИЯ БАЛХАШСКОГО ОКУНЯ

В.Р. Соколовский^{1*}, В.А. Скакун¹, К.Б. Исбеков², Ж.О. Мажибаева²

¹ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия

²ТОО «НПЦ РХ», Алматы, Республика Казахстан

*E-mail: sokol59@mail.ru

Ключевые слова: Алакольская система озер, балхашский окунь, судак, акклиматизация.

Алакольская система озер наряду с озером Балхаш является частью древнего озерного образования (Рисунок 1). Этот уникальный бассейн, относящийся к Нагорно-Азиатской подобласти, отличается бедностью ихтиофауны, сильно выраженным видовым эндемизмом и оригинальностью родов [Берг, 1949]. Начиная с 30-х годов прошлого века, на озерах Алакольской системе проводились акклиматизационные работы, в ходе которых к 2008 г. целенаправленно или случайно попали 16 несвойственных данному бассейну вида. Их появление изменило состав рыбного сообщества. При этом снизилась численность большинства аборигенных видов.

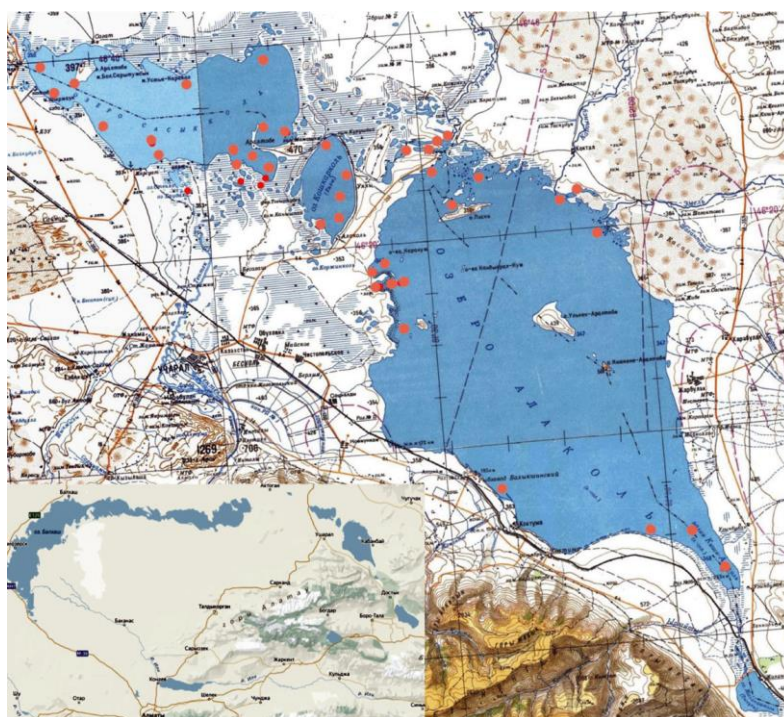


Рисунок 1. Карта-схема района исследования (● – станции отбора проб).

Судак (*Sander lucioperca*) вселялся в Алакольские озера в начале 60-х годов прошлого века как биомелиоратор для снижения численности карликовой формы балхашского окуня (*Perca schrenkii*) и пятнистого губача (*Triplophysa strauchii*). По представлениям того времени они имели высокую численность, поедали корм более ценных видов, но при этом сами не являлись объектом лова. За счет нового хищника предполагалось получить более качественную рыбную продукцию.

Появление в озерах системы судака привело к тому, что с акватории пресноводных озер Сасыкколь и Кошкарколь исчезли балхашский окунь и пятнистый губач. Взрывообразно наращивая численность, судак «выжал» их с пелагиали в придаточную систему. В то же время в озере Алаколь численности судака росла не такими быстрыми темпами. Достигнув своего максимума, численность судака во всех озерах системы резко снизилась. Этому способствовало несколько факторов – дефицит корма на пресноводных водоемах системы и вспышка заболевания дерматофибросаркомой на всех водоемах.

Аналогичный сценарий – «взрыв» численности, гибель от голода, заболевание дерматофибросаркомой – был отмечен ранее при вселении судака в «сестринский» Алакольским озерам водоем – оз. Балхаш в конце 50-х годов. Но при этом численность окуня Балхаш-Илийской популяции катастрофически снизилась, и в 1991 г. он был занесен в Красную Книгу Казахской ССР.

К периоду 1990–2000 гг. в солоноводном Алаколе судак, продолжая придерживаться опресненных участков в районе впадений рек и каналов, расширил ареал распространения, встречаясь вдоль всего побережья озера, но его относительная численность была невелика по сравнению с пресноводными озерами Сасыкколь и Кошкарколь. В его питании, при доминировании в составе рыбного сообщества балхашского окуня, как ни странно, доля окуня составляла всего 16,0%. При этом он и пятнистый губач являлись излюбленным кормом. На озерах Сасыкколь и Кошкарколь судак, при благоприятных условиях нереста, был обеспечен пищей за счет каннибализма (57,8 и 81,2%). По всей видимости, из-за низкой численности аборигенных видов – окуня и гольцов – их роль в питании была незначительна. Однако оба вида также являлись его излюбленной пищей. У балхашского окуня в озере Алаколь, при его многочисленности, поедание молоди своего вида не являлось основой его жизнеобеспечения. Его доля в рационе незначительна (23,1%). Окунь на озерах Сасыкколь и Кошкарколь питался карасем, рыбами своего вида и гольцами. Судак же в его питании во всех водоемах – пища случайная и ее доля не превышала 5,0%.

После 2000 г. в условиях интенсификации промысла судака на всех озерах Алакольской системы были отмечены изменения размерной структуры его стада (снижение доли крупных рыб), снижение размера, при котором происходит половое созревание, относительной численности и уменьшение доли больных рыб. В то же время на пресноводных озерах системы шло увеличение численности окуня и заселение им пелагической зоны. В озере Алаколь доля окуня в рационе судака увеличилась вдвое (до 33,5%), в оз. Кошкарколь – с 5,8 до 15,8%, в оз. Сасыкколь – с 18,1 до 25,4%.

Балхашский окунь в озере Алаколь, при двукратном увеличении плотности своей молоди, стал каннибалом. В оз. Кошкарколь значимость собственных сородичей в питании окуня также возросла, и его доля составляет четверть рациона. При этом судак по-прежнему остается в его питании случайной пищей.

Аналогичные процессы – снижение численности судака и увеличение балхашского окуня – отмечались и на водоемах Балхаш-Илийском бассейна.

Наши исследования показали, что вселение судака и продолжающиеся здесь акклиматизационные работы привели к трансформации рыбного сообщества и изменили схему пищевых взаимоотношений хищников (Рисунок 2). Аборигенный балхашский окунь в нативном рыбном сообществе, являясь факультативным хищником, находился на вершине пищевой пирамиды (Логиновских, Стрельников, 1973, Некрашевич, 1966). Судак после натурализации приобрел более высокий трофический статус, а окунь стал играть роль промежуточного хищника. Произошло удлинение трофической сети и вовлечение в нее видов-акклиматизантов, среди которых ведущую роль стали играть лещ и карась.

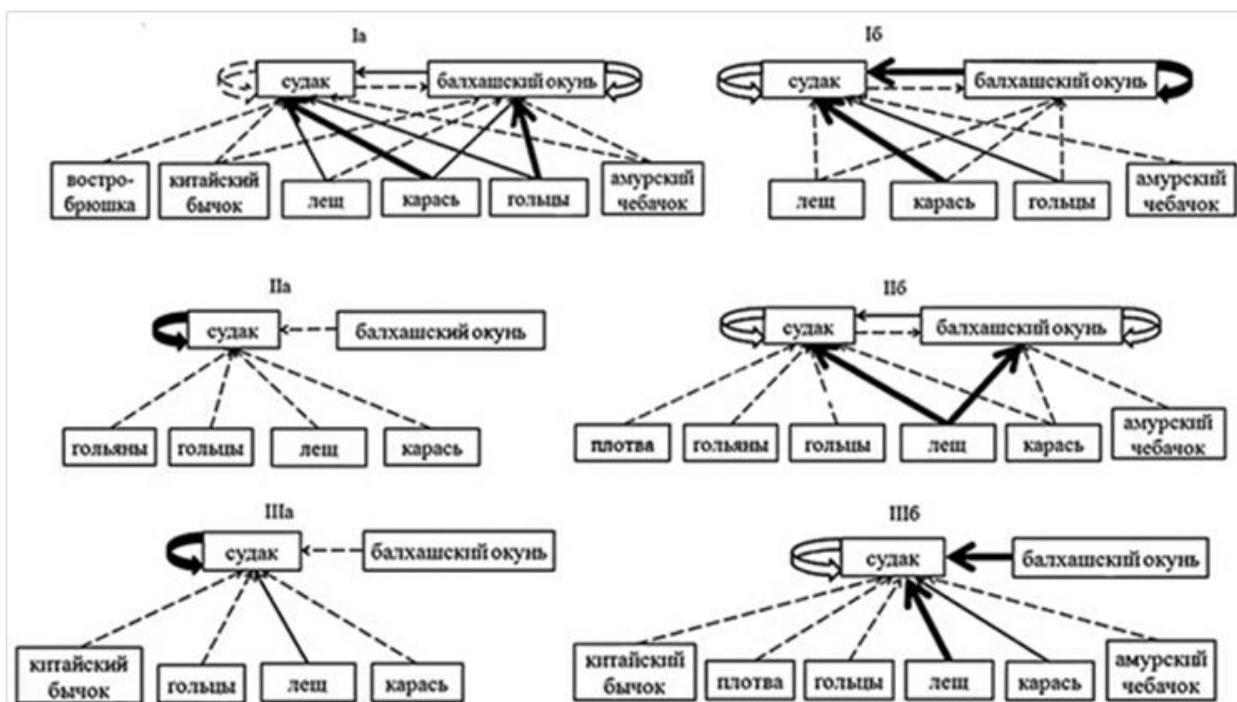


Рисунок 2. Схема пищевых связей судака и окуня в озерах Алаколь (I), Кошкарколь (II) и Сасыкколь (III) до (а) и после (б) 2000 г.

Успешное внедрение судака в ихтиоценозы Алакольского и Балхаш-Илийского бассейнов, по-видимому, было обусловлено наличием большого объема не утилизируемых ресурсов аборигенной фауны и его высоким репродуктивным потенциалом. А разные сценарии, как с фазой «взрыва» или без, объясняются тем, что на пресноводных озерах Алакольской системы биомасса вселенца нарастала быстрее, чем продуцировался и утилизировался ресурс питания. На озере Алаколь недостаток нерестовых площадей сдерживал рост численности судака. В Балхаш-Илийском бассейне процесс шел по первому сценарию.

Выживанию балхашского окуня способствовало наличие у него сложной внутрипопуляционной структуры. В солоноводном озере Алаколь судака не оказывал критического воздействия на численность пелагического окуня во многом за счет пространственной разобщенности. В озерах Сасыкколь и Кошкарколь судак уничтожил пелагического окуня доступного размера, а ушедшие из-под пресса хищника крупные особи либо вылавливались, либо погибали естественной смертью. В придаточной системе озер, которая стала играть роль рефугиума, сохранилась камышовая форма, которая здесь была многочисленна. И когда под воздействием промысла численность судака снизилась, окунь стал вновь осваивать пелагическую зону пресноводных озер. В Балхашском же бассейне на открытых пространствах окуня поедает судак, а на зарослевых биотопах – другие хищники – сом и жерех, что и привело к снижению численности всей популяции балхашского окуня. Тем не менее, при возрастании пресса промысла и здесь начался процесс восстановления запаса балхашского окуня.

Изменение стратегии добычи рыбы в регионе в связи с ростом спроса на продукцию судака после 2000 г. снизило его численность и естественным образом дало возможность нарастить численность балхашскому окуню. Восстановление численности балхашского окуня является серьезным аргументом в пользу возможности разработки таких мер регулирования численности судака, которые обеспечивали бы сохранение эндемичного балхашского окуня

Однако появление в Балхаш-Илийском бассейне еще одного вселенца – зарослевого хищника змеголова (*Channa argus*) и находка в 2024 г. в оз. Алаколь

зарослевого хищника – сома (*Silurus sp.*), могут вновь свернуть процесс восстановления его численности.

Полученный нами материал позволит в дальнейшем перейти от описательных средств анализа процесса внедрения судака в ихтиоценоз к модельным подходам, включая численные эксперименты.

С теоретической точки зрения интерес представляет моделирование системы «хищник–промежуточный хищник», которые конкурируют еще и за общие пищевые ресурсы.

Стоит исследовать вопрос пищевой конкуренции между судаком и балхашским окунем с привлечением дополнительных данных (объем ресурсной базы, ее использование хищниками и т.д.), рассмотреть конкуренцию этих двух видов не только на трофическом уровне, а комплексно, так как нишевое пространство многомерно.

Другим направлением может быть привлечение математических моделей к выработке подходов к регулированию численности инвайдера, позволяющих существовать обоим видам. В нашем случае нахождение граничных ориентиров промысла для удержания запаса судака на уровне, позволяющем балхашскому окуню сохранять свою численность, стало бы новым инструментом в практике природоохранной деятельности.

Список литературы

Берг Л.С. 1949. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. М.; Л.: Изд-во Акад. Наук СССР. Т. 3. С. 1264–1265.

Логиновских Э.В., Стрельников А.С. 1973. Питание и пищевые взаимоотношения рыб в Алакольской системе озер. Краткое содержание докл. конф. Круговорот веществ и энергии в озерах и водохранилищах. Лиственничное на Байкале. Т. 1. С. 160–163.

Некрашевич Н.Г. 1966. О целесообразности интродукции судака в Алакульские озера. Рыбные ресурсы водоемов Казахстана и их использование. Алма-Ата: Наука. Вып. 5. С. 234–243.

ОСЕДАНИЕ СПАТА НА КОЛЛЕКТОР И ЧИСЛЕННОСТЬ ПРИМОРСКОГО ГРЕБЕШКА В ПОСЕЛЕНИИ ПРОЛИВА СТАРКА В 2014-2025 ГГ.

И.С. Турабжанова*, И.Ю. Сухин

Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

*E-mail: irina.turabzhanova@tinro.vniro.ru

Ключевые слова: приморский гребешок, спат, коллектор, численность, поселение, пролив Старка.

Приморский гребешок *Mizuhopecten yessoensis* – свободноживущий двустворчатый моллюск. В заливе Петра Великого встречается на глубине от 0,5 до 48,0 м. По данным П.А. Мотавкина гребешок обитает на илисто-песчаных, илистых грунтах с примесью гальки, гравия и ракуши [Приморский гребешок, 1986]. Ряд авторов [Седова и др., 2007; Седова, Соколенко, 2014] отмечают, что в начале 2000-х гг. плотность поселений приморского гребешка изменялась в пределах 0,01–0,10 экз./м², биомасса была оценена в 0,8 тыс. т. В настоящее время естественные поселения приморского гребешка в заливе Петра Великого занимают площадь более 50 км². Его численность составляет около 4 млн. экз., а общая биомасса – 0,8 тыс. т.

Культивирование приморского гребешка – одно из основных направлений марикультуры в Приморском крае. Молодь приморского гребешка получают в хозяйствах в основном коллекторным способом, ее количество существенно варьирует в разные годы, так как зависит от межгодовой изменчивости факторов среды.

Цель работы: изучить динамику оседания спата приморского гребешка на коллекторы и состояние донного поселения этого вида в проливе Старка.

Сбор материала для изучения состояния, размерной и массовой структуры поселения приморского гребешка проводили на опытном полигоне в пр. Старка (зал. Петра Великого, Японское море) общепринятым водолазным гидробиологическим методом, по стандартной методике, используемой при ресурсных исследованиях [Блинова и др., 2003]. Расстояние между разрезами в зависимости от рельефа дна и характера распределения беспозвоночных составляло от 100 до 300 м, расстояние между станциями на разрезе – не более 100 м. Позиционирование осуществлялось с помощью спутникового навигатора «Garmin GPS 78», глубина определялась с помощью эхолота. Каждый год выполнялось 30 водолазных станций, расположенных на 8 разрезах (Рисунок 1).

На каждой станции определяли глубину, тип грунта, плотность распределения гребешка. Измерения длины раковины производили с помощью штангенциркуля с точностью до 1 мм, массу определяли с помощью электронных весов с точностью до 1 г. Расчет численности и общей биомассы гребешка осуществляли методом диаграмм Вороного (полигоны Тиссена). Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программы MS Excel.

Для оценки интенсивности оседания молоди гидробионтов на искусственные субстраты в конце мая – первой декаде июня выставлялись гребешковые коллекторы, представляющие собой сетные полипропиленовые мешки (30 × 40 см) с наполнителем из полипропиленовой дели с размером ячеей 1 см. Коллекторы собирали в гирлянды по 10 штук и экспонировали во всей водной толще, начиная от 0,5 м от поверхности с интервалом 1 м. В октябре коллекторы снимали и определяли плотность молоди гидробионтов в экземплярах на коллектор.

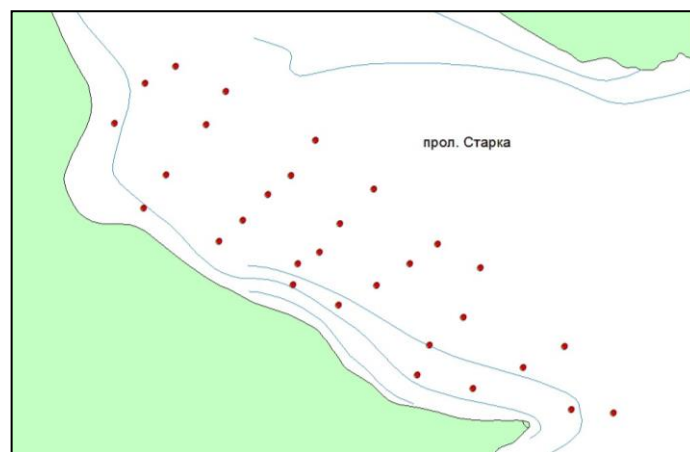


Рисунок 1. Карта-схема расположения водолазных разрезов в пр. Старка.

Сопоставление многолетних данных о численности поселений гребешка на дне с результатами сбора его спата на коллекторы, показало, что между ними имеется определенная зависимость (Рисунок 1). Количество молоди на коллекторах значительно менялось от года к году в зависимости от условий среды. В 2014 и 2015 гг., которые характеризовались неблагоприятными температурными условиями в период развития личинок, оседание спата составило 67 и 26 экз./в среднем на коллектор соответственно. В 2016-18 гг. количество спата было значительно выше (300-444 экз. на коллектор). В это время численность гребешка на дне также была в 3-10 раз выше, чем в периоды с низким оседанием спата. В 2019 и 2021 гг. как плотность распределения гребешка на дне, так и количество спата были минимальными. Гребешок на дне встречался единично, количество спата изменялось от 3 до 82 экз. на коллектор. В 2020 г. спат собрать не удалось, так как коллекторы были уничтожены тайфуном «Майсак». Весной 2022 г численность гребешка увеличилась до 32,9 тыс. экз., при этом средняя численность молоди на коллекторах достигла 382 экз./мешочек. В 2024 г. количество спата составило 355 экз. на коллектор, а численность гребешка достигла наибольших значений за последние годы (77,85 тыс. особей). В 2025 г. численность гребешка также была довольно высокой и составляла 62 тыс. особей, при этом на коллектор осело рекордное количество спата – 595 экз.

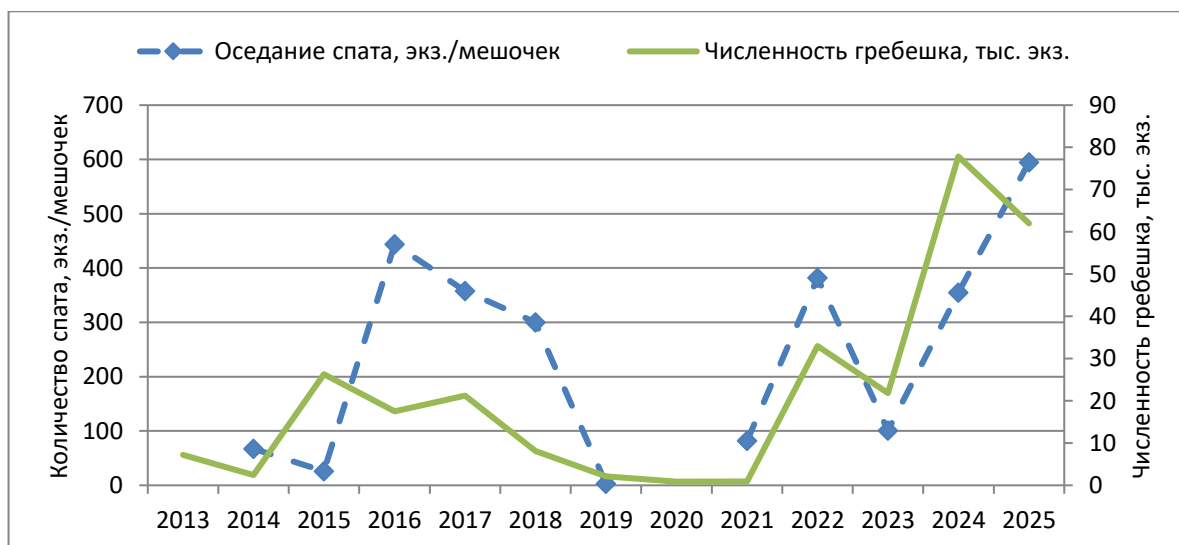


Рисунок 2. Среднее оседание спата на коллектор и численность гребешка в поселении в 2014-2025 гг.

Таким образом, в предыдущие годы отмечалась положительная связь между численностью поселения гребешка в период, предшествующий нересту, и оседанием спата. В 2021-2025 гг. интенсивное оседание спата отмечалось в годы с высокой численностью в донных поселениях гребешка.

Список литературы

Блинова Е.И., Вилкова О.Ю., Милютин Д.М., Пронина О.А., Штрик В.А. 2003. Методические рекомендации по учету запасов промысловых гидробионтов в прибрежной зоне. М.: ВНИРО, 80 с.

Приморский гребешок. 1986. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 244 с.

Седова Л.Г., Соколенко Д.А. 2014. Численность и размерный состав поселений приморского гребешка в заливе Петра Великого (Японское море). Известия ТИНРО. Т. 179. С. 226–235.

Седова Л.Г., Соколенко Д.А., Борисовец Е.Э., Афейчук Л.С., Братищев В.С. 2007. Ресурсы промысловых двустворчатых моллюсков в заливе Петра Великого. Труды ВНИРО. Т. 147. С. 320–334.

KERATELLA QUADRATA (MÜLLER, 1786) КАК МОДЕЛЬ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ НАПРАВЛЕННОЙ АСИММЕТРИИ

Д.Ю. Тюлин*, А.И., Никитенко, И.А. Жернаков

Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ»),
Московская обл., Россия

*E-mail: dmityul@mail.ru

Ключевые слова: асимметрия, направленная асимметрия, зоопланктон, хищники, коловратки, зоогеография, *Keratella quadrata*, *Asplanchna*.

Явление хиральности в биологических системах характеризуется не только на примере молекулярных структур, таких как ДНК, но также проявляется в организации белков, в морфофункциональных особенностях клеток и в онтогенетических процессах. Наличие направленной асимметрии (лево-правой, или LR-асимметрии), под которой понимается гетерогенность в развитии билатеральных структур, существенно для нормального функционирования многих систем организма, и ее влияние распространяется даже на психические процессы [Yang et al., 2020]. Хори и Такаши [Hori, Takahashi, 2022] замечают, что при лучшей развитости мышц тела на одной стороне у хищников, лучшее развитие их на противоположной стороне помогает спастись жертве, рассматривая примеры среди рыб, десятиногих ракообразных и головоногих моллюсков. Поведенческая асимметрия отмечена даже для окаменелостей палеозойских трилобитов, которые повреждались хищниками преимущественно с правой стороны тела [Babcock, 1993]. Что же касается широтной зависимости, отмечается, что обратная симметрия раковин и синистральные клады брюхоногих моллюсков возникали преимущественно в тропических областях. Вермей [Vermeij, 2002], работавший с палеонтологическим материалом, связывает это явление с отсутствием давления хищников и прочих факторов естественного отбора (что позволяет выжить менее эффективным фенотипам).

Еще в 1984 г. Гилберт и Стембергер [Gilbert, Stemberger, 1984] предложили энергетическую гипотезу для объяснения асимметрии латеральных шипов у ряда видов коловраток (включая *Keratella slacki*, *K. tropica* и *K. procurva*). Согласно их концепции, развитие лишь одного шипа представляет собой адаптивный компромисс, позволяющий минимизировать энергетические затраты на формирование защиты при сохранении её эффективности против хищников. Вопросы о причинах, по которым именно правый шип преобладает над левым, даже не поднимаются. В течение последующих более чем трёх десятилетий исследователи пытались доказать существование энергетических затрат на производство задних шипов. Тем не менее, как было показано Гилбертом [2013], лишь у *K. testudo* (Ehrenberg, 1832) энергетические затраты на развитие шипов были подтверждены эмпирически. Утяжеляющий тело толстый панцирь этого вида является причиной повышенного расхода ресурсов на плавание, что и объясняет высокую «цену» его защитных структур. Ги с соавторами [Ge et al., 2020] показали наличие энергетических затрат на отращивание шипов у *K. tropica*, которые, зависели от температуры. Схожие результаты были получены Пан с коллегами [Pan et al., 2023]. Ги с соавторами [Ge et al., 2018] показали, что с повышением концентрации пищи морфотип *K. quadrata* с одним шипом начинает производить больше морфотипов с двумя шипами, что связали с наличием большего количества ресурсов для производства полноценной защиты. Следует подчеркнуть: литературные данные на тему экологических факторов, влияющих на длину защитных шипов у коловраток различных видов, отличаются крайней противоречивостью [Tyulin et al., 2025].

Цель настоящей работы – изучение направленной асимметрии у коловратки *Keratella quadrata*, которая обычно считается симметричным животным (левый и правый задние шипы имеют примерно равную длину).

Пробы с *K. quadrata* собраны из сорока шести географических точек в европейской части Российской Федерации. Расстояние между наиболее удаленными точками составляет 1647 км по прямой. Отбор и обработку гидробиологических проб зоопланктона выполняли по общепринятым методикам [Винберг, 1982] в 2023-2024 гг. в различные сезоны года. Были измерены задние шипы (левые и правые) из 46 выборок *K. quadrata*, по 60 экз. каждая. Всего было промерено 2760 экз. Значение асимметрии рассчитывали для каждой особи как отношение длины правого заднего шипа к длине левого заднего шипа:

$$A = R/L, \quad (1)$$

где A – асимметрия; R – длина правого шипа, мкм; L – длина левого шипа, мкм.

На основе полученных значений для каждой выборки рассчитывалось среднее значение асимметрии (A ср.), медианное значение асимметрии (A мед.), максимальные и минимальные значения асимметрии (A max и A min соответственно). Кроме того, для каждой выборки был рассчитан процент особей, у которых левый шип оказался длиннее правого. Произведено сравнение полученных показателей с различными экологическими факторами, которые, как следует из литературных данных, могли повлиять на длину шипов, среди которых: биомасса хищных представителей зоопланктона (биомасса коловраток рода *Asplanchna* и биомасса веслоногих рачков отряда Cyclopoida, г/м³), температура воды, географическая широта и интенсивность магнитного поля Земли, нТ; последняя рассчитывалась при помощи модели WMM (2019-2024) на основании географических координат и высоты над уровнем моря в точке отбора пробы, а также даты отбора пробы. Для установления корреляционной зависимости между экологическими факторами и показателями асимметрии использовались коэффициенты Пирсона (λ). Статистический анализ проводили в программе Past 4.11.

Для *K. quadrata* со всех станций характерна направленная асимметрия: особи с более длинным левым шипом присутствуют во всех выборках, но всегда составляют менее половины выборки (от 2 до 40%). Наблюдается заметная ($\pm 0,5$ – $0,7$ согласно шкале Чеддока для величин коэффициентов Пирсона λ [Котеров и др., 2019] прямая корреляция между средними и медианными значениями асимметрий и биомассой хищных коловраток рода *Asplanchna* в пробах – $0,55$ ($p \leq 0,005$, $n = 46$) и $0,54$ ($p \leq 0,005$, $n = 46$) соответственно. Разброс асимметрий длины шипов ($A_{max} - A_{min}$) умеренно ($\pm 0,3$ – $0,5$ по шкале Чеддока) обратно коррелирует с географической широтой ($r = -0,48$, $p \leq 0,0001$, $n = 46$) и величиной магнитного поля Земли ($r = -0,49$, $p \leq 0,0001$, $n = 46$). Более слабые умеренные обратные корреляции наблюдаются для главного показателя направленной асимметрии – процента особей с более длинным левым шипом ($-0,31$, $p \leq 0,03$, $n = 46$ – с биомассой коловраток рода *Asplanchna* в воде, из которой были взяты исследуемые коловратки, $r = -0,37$, $p \leq 0,01$, $n = 46$ с географической широтой и $r = -0,34$, $p \leq 0,03$, $n = 46$ – с суммарной биомассой *Asplanchna* и Cyclopoida). Средняя длина шипов умеренно прямо коррелирует с биомассой рачков отряда Cyclopoida в пробах ($r = 0,43$, $p \leq 0,002$, $n = 46$). С температурой воды (этот показатель сильно зависит от сезона отбора проб) показатели асимметрии *K. quadrata* коррелируют слабо.

Как показало наше исследование, для коловраток *K. quadrata* характерна направленная асимметрия: особи с более длинным левым шипом обнаруживаются в каждой выборке, но всегда составляют менее её половины. В целом, с увеличением биомассы хищной коловратки рода *Asplanchna*, правые шипы в среднем начинают сильнее преобладать над левыми. Величина магнитного поля Земли и географическая широта умеренно коррелируют с разницей между максимальной и минимальной величиной асимметрии длины шипов. Более слабые обратные умеренные корреляции наблюдаются

между процентом особей с более длинным левым шипом и такими показателями, как географическая широта и суммарная биомасса хищников рода *Asplanchna* и отряда Cyclopoida. При этом средняя длина шипов умеренно коррелирует с биомассой рачков отряда Cyclopoida в воде, из которой были изъяты коловратки *K. quadrata*. Можно предположить, что хищники выедают аномальных особей, для которых в более южных широтах существуют более благоприятные условия обитания. При этом длинные шипы благоприятствуют защите от хищных Cyclopoida. Подтвердить, или опровергнуть эти гипотезы могут дальнейшие исследования.

Список литературы

- Винберг Г.Г., Лаврентьева Г.М. 1982. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л.: ГосНИОРХ, 33 с.
- Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н., Зубенкова Э.С., Калинина М.В., Бирюков А.П., Ласточкина Е.М., Молодцова Д.В., Вайнсон А.А. 2019. Сила связи. Сообщение 2. Градации величины корреляции. Медицинская радиология и радиационная безопасность. Т. 64. № 6. С. 12–24.
- Babcock L.E. 1993. Trilobite malformations and the fossil record of behavioral asymmetry. *Journal of Paleontology*. Vol. 3. P. 217–229.
- Ge Ya-Li, Zhan R., Yu Jin-Hang, Xi Yi-Long, Ma J., Xu Dan-Dan. 2018. Effects of food concentration on the life table demography and morphology of three *Keratella quadrata* morphotypes. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*. Vol. 54. P. 16. DOI: 10.1051/limn/2018006.
- Ge Ya-Li, Yu Xiao-Jing, Zhan R., Yu Jin-Hang, Xi Yi-Long, Zhang G. 2020. Comparison of life-history parameters and effectiveness in competition with *Moina macrocopa* between two *Keratella tropica* morphs. *Limnologica*. Vol. 85. 125823. DOI: 10.1016/j.limno.2020.125823.
- Gilbert J.J. 2013. The cost of predator-induced morphological defense in rotifers: experimental studies and synthesis. *Journal of Plankton Research*. Vol. 35. No. 3. P. 461–472. DOI: 10.1093/plankt/fbt017.
- Gilbert J.J., Stemberger R.S. 1984. *Asplanchna*-induced polymorphism in the rotifer *Keratella slacki*. *Limnology and Oceanography*. Vol. 29. No. 6. P. 1309–1316.
- Hori M., Takahashi S. 2022. Lateral Asymmetry in Animals. Predator-Prey Interactions, Dynamics, and Evolution. Springer Nature Singapore Pte Ltd. 295 p. DOI: 10.1007/978-981-19-1342-6.
- Pan L, Zhu H., Wang Y., Shi Bao-Chun, Cheng Xin-Feng, Ge Ya-Li, Xiang Xian-Ling, Wen Xin-Li, Xi Yi-Long. 2023. Adaptation of a prey population to increasing predation risks. *Hydrobiologia*. Vol. 851. P. 3097–3107. DOI: 10.1007/s10750-023-05369-2.
- Tyulin, D.Y., Nikitenko, A.I., Zhernakov, I.A., Vasiliev A.A., Guseva Y.A. 2025. Directed Asymmetry in the Rotifer *Keratella quadrata* Müller, 1786. *Biol Bull Russ Acad Sci* Vol. 52. № 4. DOI: 10.1134/S1062359025601806.
- Vermeij G.J. 2002. The Geography of Evolutionary Opportunity: Hypothesis and Two Cases in Gastropods. *Integrative and Comparative Biology*. Vol. 42. No. 5. P. 935–940. DOI: 10.1093/icb/42.5.935.
- Yang X., Li Z., Polyakova T., Dejneka A., Zablotskii V., Zhang X. 2020. Effect of Static Magnetic Field on DNA Synthesis: The Interplay between DNA Chirality and Magnetic Field Left-Right Asymmetry. *FASEB BioAdvances*. Vol. 2. No. 2. P. 254–263. DOI: 10.1096/fba.2019-00045.

РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА СИСТЕМЫ ОНЕЖСКОЕ ОЗЕРО-ВОДОСБОР

Н.Н. Филатов*, Ю.Н. Лукина, Н.Е. Галахина, Н.М. Калинкина

ФГБУН ФИЦ «КарНЦ РАН», Институт водных проблем Севера, Петрозаводск, Россия

**E-mail: nfilatov@rambler.ru*

Ключевые слова: экосистема, озеро, водосбор, эвтрофирование, ассимиляционный потенциал, модели, прогнозы.

Природные экосистемы, в том числе водные, которые являются источниками для жизнедеятельности человека, могут рассматриваться как экологические доноры. Современное состояние крупных озер свидетельствует о продолжающейся деградации их экосистем во всем мире [Jenny et al., 2020]. В связи с этим в современных условиях требуются подходы по усовершенствованию системы мониторинга, а также методов прогноза изменений водных систем для поддержки принятия управленческих решений. Цель исследования - представить подходы к оцениванию состояния и прогнозирования изменений водной системы Онежское озеро-водосбор для дальнейшей оценки экосистемных услуг, природного капитала.

Для управления ресурсами крупных водоемов России и их сохранения необходимо количественно оценить происходящие процессы в озере и на водосборе, предложить прогнозы их изменений при разных сценариях климатической изменчивости и антропогенных воздействий. Для этого на примере Онежского озера и его водосбора реализован так называемый «интегрированный мониторинг» [Филатов, Дружинин, Исаев, 2025]. Он включает создание информационно-аналитической системы (ИАС), разработку моделей для оценки поступления водного и биогенного стока с водосбора [Кондратьев и др., 2024], создание 3-D моделей экосистемы озера с пространственным шагом 1 км для оценки гидрофизических и химико-биологических процессов, происходящих в заливах [Isaev, Savchuk, Filatov, 2022]. Созданная система интегрированного мониторинга основана на опыте разработки таких систем для озер России [Меншуткин, Руховец, Филатов, 2014], Балтийского моря и водосбора [Wulf et al., 2013], а также Великих Американских озер и их водосборов с применением так называемого адаптивного управления, предложенного с целью борьбы с эвтрофированием [Arhonditsis et al., 2019].

Интегрированный мониторинг и адаптивное управление обычно включают: установление соответствующих показателей и шкал для обнаружения изменений в экологических системах, совершенствование программ мониторинга. В рамках данного подхода для объективной оценки необходимо применять математические модели, соответствующие сложности изучаемой системы водоем-водосбор.

В результате реализации интегрированного мониторинга «Онежское озеро-водосбор» по результатам многолетних наблюдений создана база данных, оценен комплекс антропогенных и природных факторов с учетом их кумулятивного эффекта в сезонном и многолетнем масштабе времени, разработаны прогнозы изменения водного и биогенного стока с водосбора в озеро при двух сценариях изменений климата и нескольких сценариев антропогенной нагрузки [Кондратьев, Брюханов, Шмакова, 2024]. Для оценки антропогенной нагрузки рассмотрена социально-экономическая ситуация в регионах, входящих в водосбор Онежского озера. Получены оценки возможных изменений экономики и социальной сферы по двум сценариям развития регионов до 2050 г.: так называемого «инерционного» и «ускоренного» развития регионов, которые отразятся на особенностях влияния экономики на окружающую среду [Дружинин, 2023].

Выполнены расчеты возможной биогенной нагрузки от точечных и распределённых источников, под влиянием изменений климата и антропогенных воздействий [Кондратьев, Брюханов, Шмакова, 2024]. Установлено, что речной биогенный сток является одним из основных факторов, воздействующих на биопродукционный потенциал водоема, определяя его трофический статус. Показано, что для уменьшения поступления соединений фосфора, азота, взвешенных и органических веществ возможно внедрение наилучших доступных технологий (НДТ) к предприятиям ресурсоёмких отраслей с реализацией программ повышения экологической эффективности (ППЭЭ) [Скобелев, 2022]. В качестве примера, отметим внедрение ППЭЭ на Петрозаводском водоканале, направленной на снижение концентрации биогенных веществ и достижение соответствия требованиям НДТ [Волкова и др., 2020].

Водный сток с водосбора оценен с использованием модели ILHM и выноса растворенных химических веществ с водосбора по модели ILLM [Кондратьев, Брюханов, Шмакова, 2024]. Последняя модель была модифицирована блоком для учета типов почв на водосборе и особенностей внесения удобрений от сельскохозяйственной деятельности. Показано, что изменения сельскохозяйственной нагрузки за счет внедрения наилучших доступных технологий (НДТ) мало скажутся на экологическом состоянии Онежского озера, но будут полезны для сохранения состояния качества вод малых рек на водосборе. Даны прогностические оценки возможного изменения поступления азота и фосфора в озеро к середине XXI века в результате изменения стока с водосбора при условии реализации двух RCP-сценариев: RCP 2.6 и RCP 8.5. Реализация сценария антропогенного воздействия на окружающую среду (RCP 2.6) на всех объектах может привести к повсеместному снижению биогенной нагрузки на озеро, а при реализации экологически неблагоприятного сценария (RCP 8.5) можно ожидать увеличение водного стока и соответствующего увеличения выноса фосфора на 2.3–16.6% и азота на 14.0–22.5%. Расчеты показали, что при возможном увеличении темпов роста аквакультуры на 30% к 2050 г. по сравнению с 2021 г. может также примерно на 30% увеличиться биогенная нагрузка на озеро.

С помощью 3-D модели SPLEM [Isaev, Savchuk, Filatov, 2022] показаны возможные последствия изменения экосистемы Онежского озера до 2050 г. по данным анализа изменчивости биогенных веществ (фосфора и азота) и первичной продукции, как наиболее значимых показателей, характеризующих степень эвтрофирования водоема [Филатов, Дружинин, Исаев, 2025]. Получены количественные оценки ассимиляционного потенциала (АП), которые для Онежского озера в целом составили порядка 780 т Р/год и 15000 т N/год, при этом пелагиаль озера должна сохранять свой олиготрофный статус, что позволяет принять эти величины в качестве оценок по сбросу фосфора и азота в озеро. С использованием модели SPLEM оценена как интегральная нагрузка по биогенным веществам на все озеро, так и для отдельных его районов, и рассчитаны значения годовой первичной продукции ($\text{гС/м}^2/\text{год}$) для основных лимнических районов Онежского озера. При реализации принятого сценария изменений климата RCP 8.5., средняя многолетняя температура поверхности воды в вегетационный период может увеличиться с 9.8°C (в 1991–2020 гг.) до 12.2°C (2021–2050 гг.). При биогенной нагрузке, близкой к АП (поступление фосфора 801 т/год, азота 11861 т/год) и при линейном росте производства форели с 2020 до 2050 г., основной рост первичной продукции фитопланктона будет наблюдаться в Петрозаводской и Кондопожской губах, которая может составить 56,7 и 44,5 $\text{гС/м}^2/\text{год}$ соответственно, что больше современной на 15–20%. Такие высокие показатели ПП являются опасными не только для заливов, но и для центральной части озера из-за интенсивного перемешивания и циркуляции вод. В конечном итоге это может повлиять на изменение трофического статуса озера и прогрессирование эвтрофирования.

Таким образом, важный аспект выполненной работы заключается в системном подходе для реализации интегрированного мониторинга с применением данных мониторинга, дистанционных наблюдений, созданных баз данных и баз знаний,

комплекса математических моделей не только для экосистемы Онежского озера, но и водосборной территории.

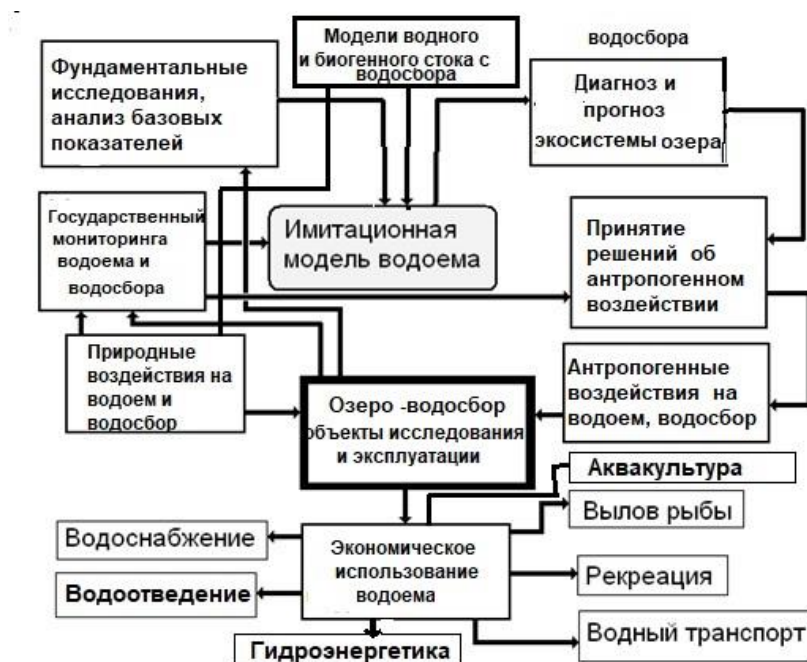


Рисунок 1. Общая схема реализации интегрированного мониторинга системы Онежское озеро-водосбор (с использованием [Меншуткин, Руховец, Филатов, 2014])

Предлагаемая общая схема реализации интегрированного мониторинга системы Онежское озеро – водосбор представлена на Рисунке 1.

Список литературы

Волкова С.Н., Рублевская О.Н., Тихонова И.О., Гусева Т.В., Иикканен М. 2020. Опыт развития объектов водоотведения ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»: этапы перехода к НДТ. Водное хозяйство России. № 6. С. 104–120.

Дружинин П.В. 2023. Развитие экономики регионов Северо-Западного федерального округа в условиях миграции в Санкт-Петербургскую агломерацию. Балтийский регион. Т. 15. № 3. С. 100–116.

Кондратьев С.А., Брюханов А.Ю., Шмакова М.В. 2024. Оценка возможных изменений биогенной нагрузки на Онежское озеро под воздействием антропогенных и климатических факторов. Водные ресурсы. Т. 51. № 3. С. 157–169. DOI: 10.31857/S0321059624030056.

Меншуткин В.В., Руховец Л.А., Филатов Н.Н. 2014. Математические модели водных экосистем в задачах управления ресурсами озер. Водное хозяйство России. Екатеринбург. №3. С. 100-108.

Скобелев Д.О. 2022. Очередной этап развития системы эколого-технологического регулирования промышленности в России. Экономика устойчивого развития. Т. 49. № 1 С. 83–89. DOI: 10.52531/1682-1696-2022-22-4-49-59.

Филатов Н.Н., Дружинин П.В., Исаев А.В. 2025. Обоснование возможной биогенной нагрузки на Онежское озеро и прогностические оценки изменения его экосистемы при разных климатических и социально-экономических сценариях. Водные ресурсы. Т. 52. № 4. С. 724–737.

Arhonditsis G.B., Neumann A., Shimoda Y. 2019. Castles built on sand or predictive limnology in action? Part A: Evaluation of an integrated modelling framework to guide adaptive

management implementation in Lake Erie. *Ecological Informatics*. Vol. 53. P. 1–26. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2019.05.014.

Isaev A.V., Savchuk O.P., Filatov N.N. 2022. Three-Dimensional Hindcast of Nitrogen and Phosphorus Biogeochemical Dynamics in Lake Onego Ecosystem, 1985–2015. *Fundamental and Applied Hydrophysics*. Vol. 15. No 2. P. 76–97. DOI: 10.48612/fpg/e1m2-63b5-rhvg.

Jenny J.P., Anneville O., Arnaud F. 2020. Scientists' warning to Humanity: Rapid degradation of large lakes. *Journal of Great Lakes Research*. Vol. 46. P. 686–702. DOI: 10.1016/j.jglr.2020.05.006.

Wulf F., Savchuk O., Sokolov A. 2013. Nest – a decision support system for management of the Baltic Sea. A user manual. Technical Report. No. 10. 69 p.

О РАЗРАБОТКЕ ПРАВИЛА РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫЛОВА НОРВЕЖСКО-БАРЕНЦЕВОМОРСКОГО ОКУНЯ-КЛЮВАЧА (*SEBASTES MENTELLA*)**А.А. Филин***Полярный филиал ГНЦ РФ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича), Мурманск, Россия**E-mail: filin@pinro.vniro.ru*

Ключевые слова: окунь-клювач *Sebastes mentella*, регулирование промысла, биологические ориентиры, ОДУ, предосторожный подход.

Окунь-клювач или клюворылый окунь *Sebastes mentella* Travin, обитающий в Баренцевом, Норвежском и Гренландском морях, принадлежит к норвежско-баренцевоморской популяции. Его рассматривают как единый запас, выделенный в отдельную единицу управления. Норвежско-баренцевоморский окунь-клювач относится к глубоководным рыбам, ведёт придонный или пелагический образ жизни, встречается не только на шельфе и континентальном склоне, но в мезопелагиали Норвежского моря, включая его открытую часть (ОЧНМ). Он характеризуется большой продолжительностью жизни, медленным темпом роста и поздним половым созреванием. Ему свойственно яйцеживорождение с внутренним оплодотворением. Взрослые особи способны совершать протяжённые миграции к местам откорма, зимовки и вымета предличинок [Drevetnyak et al., 2011; Planque et al., 2013; Бакай, 2022].

Промысел клюворылого окуня стал возможен благодаря развитию глубоководного тралового лова. С начала 50-х и до середины 60-х годов прошлого столетия его добычей в Баренцевом море и на прилегающих акваториях занимался лишь Советский Союз, затем присоединились другие страны. В последние годы в промысле участвуют 12-15 государств, основная часть общего вылова приходится на долю Норвегии и России. Наибольшие уловы норвежско-баренцевоморского окуня-клювача были достигнуты в середине 70-х годов прошлого столетия, максимальный годовой вылов составил 293 тыс. т. в 1976 г. (Рисунок 1). В 1980-1990-е гг. наблюдалась тенденция снижения вылова, что связывают с высокой промысловой смертностью в предшествовавший период и слабым пополнением. Это стало причиной введения в 2003 г. моратория на специализированный донный промысел окуня-клювача в норвежской экономической зоне и в рыбоохранной зоне архипелага Шпицберген. Добывать его в этих районах разрешалось лишь в качестве прилова. Вместе с тем, с 2004 г. быстрыми темпами стал развиваться пелагический промысел окуня-клювача в ОЧНМ, где уже в 2006 г. общий вылов достиг 29 тыс. т, после чего стал снижаться (Рисунок 1). В 2014 г. специализированный промысел норвежско-баренцевоморского окуня-клювача был возобновлён на всей акватории его обитания, что стало возможным благодаря росту запаса, о чём свидетельствовали результаты модельных оценок.

Регулированием промысла окуня-клювача в 200-мильных прибрежных зонах Норвегии, России и архипелага Шпицберген с 1977 г. занимается Смешанная Российско-Норвежская Комиссия по рыболовству (СРНК). В своих решениях она руководствуется научными рекомендациями, которые изначально разрабатывали в ИКЕС, а с 2022 г. в связи с невозможностью участия российских специалистов в работе этой международной организации, их стали готовить на совместной российско-норвежской рабочей группе по арктическому рыболовству (JRN-AFWG). Контроль за добычей окуня-клювача в ОЧНМ с 2007 г. осуществляет Комиссия по рыболовству в Северо-Восточной части Атлантического океана (НЕАФК).

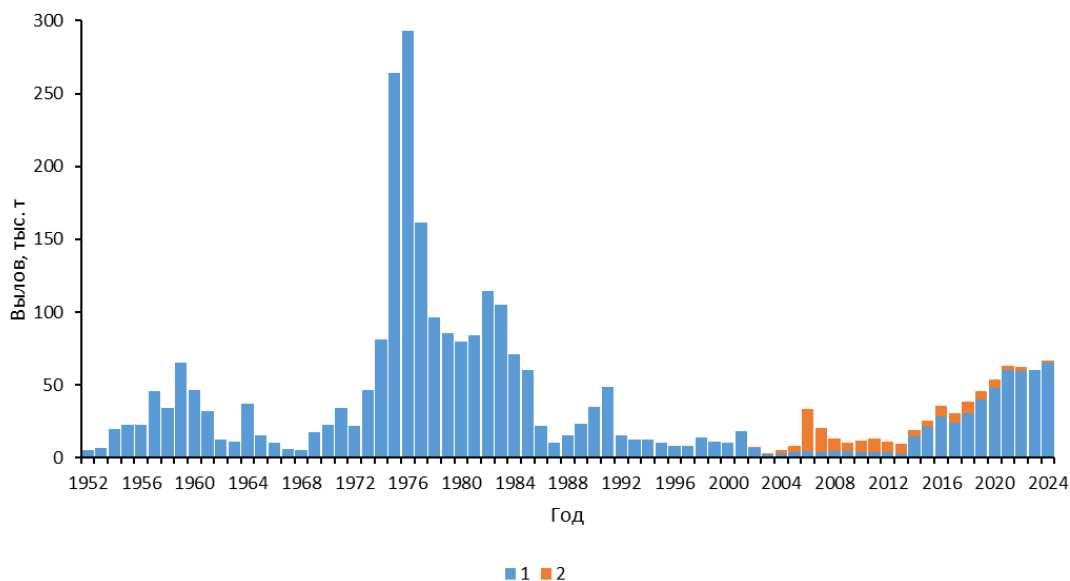


Рисунок 1. Международный вылов норвежско-баренцевоморского окуня-клювача в 1952-2024 гг. (по данным [JRN-AFWG, 2025]):
1 – донный промысел, 2 – пелагический промысел в ОЧНМ

Объём ежегодного промыслового изъятия норвежско-баренцевоморского окуня-клювача регулируют путём установления общего допустимого улова (ОДУ) на основе концепции предосторожного подхода, разработанной в ИКЕС. В соответствии с этой концепцией величина ОДУ должна основываться на оценках запаса и промысловой смертности, а алгоритм её расчёта предполагает использование биологических ориентиров для обеспечения условий долгосрочного и устойчивого промысла. В качестве целевого ориентира для промысловой смертности рекомендуется использовать F_{msy} . Для практической реализации такого подхода предполагается разработать в отношении каждого запаса соответствующие правила регулирования промысла (HCR), обеспечивающие преемственность и транспарентность расчётов ОДУ. СРНК уже использует такие правила для установления ОДУ трески, пикши и мойвы, планируется также разработать их и для остальных объектов, запасы которых находятся под совместным российско-норвежским управлением. Однако для окуня-клювача это сопряжено с рядом сложностей, обусловленных особенностями его биологии и распределения.

Цель работы – обоснование возможности использования унифицированного правила для регулирования вылова норвежско-баренцевоморского окуня-клювача. Для этого были проанализированы основные причины, препятствующие этому, и рассмотрены пути их преодоления.

Использование принятых в ИКЕС биологических ориентиров для регулирования промысла норвежско-баренцевоморского окуня-клювача является проблематичным в связи с высоким уровнем неопределённости оценок его запаса и промысловой смертности. Последнее обусловлено сложностью определения возраста и недостаточным объёмом собираемых возрастных проб, необходимостью разделения совместных уловов окуня-клювача и золотистого окуня, что служит дополнительным источником ошибок для промысловой статистики, а также ограниченностью акватории стандартных съёмок в отношении ареала окуня-клювача в Норвежском и Гренландском морях. Кроме того, не ясен статус пелагической и донной группировок окуня-клювача в Норвежском море и нет единого понимания в отношении миграций особей североатлантической популяции окуня-клювача в открытую часть Норвежского моря и их участия в формировании там промысловых скоплений.

Применение целевых ориентиров для промысловой смертности (F_{pa} , F_{msy}) в расчётах ОДУ требует выбора коэффициентов селективности промысла по возрастам, которые у норвежско-баренцевоморского окуня-клевача могут существенно меняться в зависимости от изменения соотношения пелагического и донного выловов. Эти изменения сложно прогнозировать, учитывая ограниченность наших знаний о распределении клеворылого окуня в Норвежском море за пределами материкового склона. Поэтому изменение селективности промысла норвежско-баренцевоморского окуня-клевача рассматривалось JRN-AFWG в отдельные годы, как одна из основных причин для обоснования использования статус-кво подхода при выборе рекомендуемых коэффициентов промысловой смертности, вместо их расчёта на основе заданного целевого ориентира F_{tag} .

Учитывая высокий уровень неопределённости в модельных оценках запаса, промысловой смертности и значений биологических ориентиров норвежско-баренцевоморского окуня-клевача, на заседании JRN-AFWG в 2025 г. было решено отложить до 2026 г. разработку правила регулирования его вылова. Это связано с тем, что в 2026 г. планируется перейти к использованию новой модели оценки запаса окуня-клевача, что будет сопровождаться пересмотром значений его биологических ориентиров. Предполагается, что новая модель будет менее зависимой от данных о возрастном составе уловов, что позволит снизить уровень неопределённости в оценках запаса и промысловой смертности.

Однако не следует рассчитывать, что совершенствование математической модели оценки запаса норвежско-баренцевоморского окуня-клевача способно обеспечить решение всех проблем, связанных с разработкой правила регулирования вылова норвежско-баренцевоморского окуня-клевача. Первостепенное значение для этого имеет вопрос о статусе промысловых скоплений окуня-клевача в мезопелагиали Норвежского моря, прежде всего в ОЧНМ. Для его решения потребуется не только обобщение и анализ имеющихся данных, но и проведение новых исследований.

Дополнительным ориентиром для регулирования вылова норвежско-баренцевоморского окуня-клевача в условиях существующей неопределённости оценок его запаса и промысловой смертности может стать непосредственно величина годового вылова, полученная при анализе ретроспективных данных. На этой основе можно рекомендовать ОДУ в объёме 100 тыс. т в качестве целевого долгосрочного ориентира, достижение которого должно осуществляться путём постепенного увеличения рекомендуемого вылова с учётом динамики запаса, условий промысла и эффективности реализации ОДУ. Чтобы лучше оценить реакцию запаса на предлагаемую интенсивность промысла, следует устанавливать одинаковый ОДУ на несколько лет, как это было сделано в 2015-2017 гг.

Список литературы

Бакай Ю.И. 2022. Структура сообществ паразитов и особенности популяционной биологии морских окуней Атлантического и Северного Ледовитого океанов // Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича). Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 258 с.

Drevetnyak K.V., Nedreaas K.H., Planque B. 2011. Redfish. Chapter 5.7. The Barents Sea: ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation. Trondheim: Tapir Acad. Press. P. 292–307.

Planque B., Kristinsson K., Astakhov A., et al. 2013. Monitoring beaked redfish (*Sebastes mentella*) in the North Atlantic, current challenges and future prospects. Aquatic Living Resources. Vol. 26. P. 293–306.

JRN-AFWG. 2025. Report of the Joint Russian-Norwegian Working Group on Arctic Fisheries (JRN-AFWG), Report series: IMR-PINRO 2025. No. 6. 287 pp.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА НЕРЕСТОВОГО ХОДА ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ТАУЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО КЛАССА: РЕЗУЛЬТАТЫ 2023–2024 ГГ.

П.В. Хабаров*, В.Г. Григоров

Магаданский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («МагаданНИРО»), Магадан, Россия

**E-mail: khabarovpv@magadan.vniro.ru*

Ключевые слова: тихоокеанские лососи, водные биологические ресурсы, мониторинг, авиаучет, беспилотные летательные аппараты (БПЛА, дроны), река Тауй, Охотское море, нерестовый ход, методы учета, экосистемный подход.

Устойчивое управление запасами тихоокеанских лососей, имеющих критически важное экономическое, социальное и экологическое значение для Дальнего Востока России, требует современных, точных и оперативных методов оценки их численности. Традиционные методы мониторинга (пешие обследования, учет с лодок, пилотируемая авиация) сопряжены с высокими затратами, низкой оперативностью, ограниченным охватом территорий и зачастую фактором беспокойства для экосистем [Остроумов, 1964; Евзеров, 1970; 1973; 1975; Мордовин, 2009]. Внедрение инновационных технологий, в частности беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), открывает новые возможности для решения этих задач.

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО») активно развивает это направление. Сотрудники Магаданского филиала ВНИРО с 2021 г. применяют БПЛА потребительского класса [Метелёв и др., 2023], а с 2023 г. проводят целенаправленные исследования по мониторингу нерестового хода лососей в бассейне реки Тауй. Данная работа обобщает опыт двух полевых сезонов (2023-2024 гг.), демонстрируя динамику развития метода и его практическую эффективность.

Работы проводились в июле-октябре 2023 и 2024 гг. в бассейне реки Тауй (Тауйская губа Охотского моря). Мониторинг осуществлялся мобильными научными группами, что позволило оперативно обследовать несколько водотоков в короткие сроки. В 2023 г. съемки проведены на 7 реках: Ола, Тауй, Ойра, Армань, Дукча, Магаданка и Яна [Метелёв и др., 2024]. В 2024 г. фокус работ был смещен на более детальное изучение бассейна р. Тауй, включая автономную исследовательскую базу «72 км», место слияния притоков Чёломджа и Кава, Хурэнское нерестилище и участок от р. Хурэн до притока Кутана.

Для аэросъемки использовались мультироторные БПЛА потребительского класса, оснащенные высокоразрешающими камерами. Учет численности производителей лососей проводился двумя основными методами:

Прямой аэровизуальный учет с борта БПЛА в реальном времени с последующей фиксацией данных.

Фотограмметрический учет – проведение съемки с последующим подсчетом рыб на полученных снимках и видео материалах [Свиридов, Коцюк, Подорожнюк, 2022].

Основная сложность при работе на р. Тауй была связана с высокой мутностью воды на значительной части русла, что ограничивало применение методов, основанных на визуализации дна.

1. Оперативная эффективность и масштабирование. В 2023 г, являвшемся этапом апробации методики, было выполнено 26 выездов и налетано 55 часов. Это позволило

отработать логику, определить ключевые контрольные участки и оценить потенциал метода. В 2024 г., благодаря накопленному опыту, стратегия была оптимизирована: при меньшем количестве выездов (19) был достигнут значительный прирост в продолжительности полетов – 83 часа. Наиболее показательным результатом стало увеличение общей протяженности обследованных участков реки Тауй и ее притоков на 38%: с 29,94 км в 2023 г. до 41,4 км в 2024 г. Это наглядно демонстрирует эффект масштабирования и роста эффективности использования технологии.

2. *Сравнительные преимущества технологии БПЛА.* Проведенные исследования позволили выделить ряд ключевых преимуществ:

Экономическая эффективность: Затраты на проведение авиаучетных работ с использованием БПЛА на порядок ниже, чем при аренде вертолета или самолета.

Высокая мобильность и оперативность: Мобильные группы с БПЛА способны быстро реагировать на изменения ситуации и в короткие сроки обследовать удаленные и труднодоступные участки рек.

Расширенный охват и детализация: По сравнению с пешими обследованиями, БПЛА позволяют многократно увеличить площадь обследуемой акватории и получить данные о распределении рыб по всей ширине и длине русла.

Минимизация воздействия на экосистему: Беспилотные аппараты проводят съемку с высоты, достаточной для того, чтобы не вызывать беспокойства у рыб, что снижает уровень стресса для производителей на нерестилищах по сравнению с прямым контактом исследователей.

3. *Решаемые задачи.* БПЛА доказали свою эффективность для решения конкретных научно-прикладных задач:

Оценка общей численности зашедших на нерест производителей.

Анализ пространственного распределения рыб по нерестовым площадям.

Рекогносцировка и картирование нерестилищ, в том числе выявление новых.

Мониторинг состояния нерестовых водотоков (уровень воды, мутность, наличие препятствий).

Применение БПЛА потребительского класса в бассейне реки Тауй в 2023–2024 гг. подтвердило их высокую эффективность как инструмента мониторинга. Метод позволяет собирать большие массивы объективных пространственных данных с меньшими затратами и с меньшим воздействием на окружающую среду.

Накопленный опыт создает прочную основу для дальнейшего развития направления. Ключевыми перспективами являются:

Интеграция с ГИС-технологиями: Создание детальных карт нерестилищ с привязкой данных учета к конкретным координатам.

Внедрение методов компьютерного зрения и ИИ: Разработка и обучение алгоритмов для автоматического подсчета рыб на аэроснимках, что позволит исключить субъективный фактор и значительно ускорить обработку данных.

Создание автоматизированных систем предиктивной аналитики: Комплексный анализ данных БПЛА с гидрологическими, метеорологическими и историческими данными для прогнозирования сроков и интенсивности нерестового хода, а также оценки состояния нерестового фонда.

Таким образом, БПЛА трансформируются из вспомогательного инструмента в ключевую компоненту современной системы фундаментальных и прикладных исследований водных биоресурсов, обеспечивающей переход к цифровому и устойчивому управлению рыболовством.

Список литературы

Евзеров А.В. 1970. К методике аэровизуального учета. Известия ТИНРО. Т.71. С. 199–204.

- Евзеров А.В. 1973. Оценка достоверности результатов разовых аэровизуальных учетов лососей. Известия ТИНРО. Т.86. С. 111–118.
- Евзеров А.В. 1975. Оценка погрешностей аэровизуального метода учета лососей. Труды ВНИРО. Т. 106. С.82–84.
- Метелёв Е.А., Смирнов А.А., Панфилов А.М., Абаев А.Д., Фомин Е.А., Григоров В.Г. 2023. Использование малых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) при учёте нерестилищ тихоокеанской сельди в Ольской лагуне Тауйской губы Охотского моря. Рыбное хозяйство. № 1. С. 51–54.
- Метелёв Е.А., Хованская Л.Л., Смирнов А.А., Голованов И.С., Коршукова А.М., Хабаров П.В. 2024. Новые подходы в организации промышленного лова тихоокеанских лососей в Магаданской области в 2022-2023 годах. Рыбное хозяйство. № 1. С. 55–63.
- Мордовин А.И. 2009. О методах учета водных биологических объектов: история вопроса, применяемые и перспективные методы. Сборник научных Трудов МагаданНИРО. Вып. 3. С. 182–191.
- Остроумов А.Г. 1964. Опыт применения аэрометодов для оценки заполнения нерестилищ лососями. Лососевое хозяйство Дальнего Востока. М.: Наука С. 90–99.
- Свиридов В.В., Коцюк Д.В., Подорожнюк Е.В. 2022. Беспилотный фотограмметрический учет тихоокеанских лососей посредством БПЛА потребительского класса. Известия ТИНРО. Т. 202. Вып. 2. С. 429–449.

МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ АМУРСКОГО САЗАНА В ОЗЕРЕ ХАНКА

М.Е. Шаповалов*, Д.Л. Шабельский

Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

**E-mail: maksim.shapovalov@tinro.vniro.ru*

Ключевые слова: озеро Ханка, уровень воды, амурский сазан, промысел, плодовитость, коэффициенты смертности, динамика численности, запас.

В настоящей работе проведена попытка создания модели динамики численности на основе достоверных данных о биологии и размерно-возрастной структуре уловов на примере сазана *Cyprinus carpio haematopterus* озера Ханка.

При создании модели применялись линейные зависимости, описывающие биологические закономерности динамики численности сазана при последовательном переходе с одной стадии онтогенеза на другую. Для расчета численности использовались коэффициенты смертности для каждой возрастной группы по поколениям. Для выведения модели из области неверных решений применялись дополнительные коэффициенты, имитирующие влияние на выживаемость рыб абиотических и антропогенных факторов, таких как многолетние колебания уровня воды в озере и давление промысла. Причём некоторые коэффициенты рассчитаны путём подбора их по поведению модели, т.к. достоверных данных об объёме изъятия с 1982 г. по настоящее время у нас нет.

Поэтапно создание модели динамики численности сазана оз. Ханка выглядело следующим образом:

1. На первом этапе было введено допущение о достоверности промысловой статистики в 1956–1981 гг. («реперные» годы) и подобран повышающий коэффициент (13) для расчёта численности популяции сазана в оз. Ханка как исходных значений для моделирования динамики численности.

2. На основании данных о биологии размножения были получены значения естественной смертности сазана на ранних этапах онтогенеза и коэффициенты естественной смертности ϕ_M по возрастным группам в виде параболы по методу [Зыков, Слепокуров, 1983]:

$$\phi_M = aL^2 + bL + c, \quad (1)$$

где: ϕ_M – коэффициент естественной смертности; L – длина рыбы; a , b , c – коэффициенты.

3. Для расчёта численности сазана в оз. Ханка в период «реперных» лет известный нам вылов за эти годы был распределён в процентном соотношении по возрастному составу популяции в соответствующем году на основании данных о средних размерах и массе сазана оз. Ханка. Была рассчитана масса рыб каждого возрастного класса MC (кг):

$$MC_{ij} = Y_j \times B_i, \quad (2)$$

где: Y_j – улов сазана в год j ; B_i – доля рыб i –го возрастного класса в улове.

Далее были рассчитаны значения численности возрастных групп сазана в оз. Ханка в период 1956 – 1981 гг. по формуле:

$$Ч_{ij} = MC_{ij} / m_{ij}, \quad (3)$$

где: m_{ij} – средний вес рыбы каждого возрастного класса.

Используя рассчитанную по «реперным» годам численность была рассчитана численность поколений сазана с 1982 до 2030 г. Для этого было необходимо отразить значение факторов (уровень воды в озере, перелов и т.п.), безусловно влияющих на выживаемость сазана в оз. Ханка на разных этапах онтогенеза.

4. На основе анализа данных о смертности икры и личинок до перехода на внешнее питание [Бурлаченко, Яхонтова, 2015] было принято, что для соответствия модели экспертным представлениям об уровнях запасов смертность на ранних этапах онтогенеза сазана в оз. Ханка должна составлять порядка 99%. Рассчитанный таким образом коэффициент смертности от икры до малька составил 0,000119, что соответствует выживаемости 1 малька возраста 1 год из 8400 выметанных икринок. Общее количество продуцируемой каждым поколением молоди рассчитывалось как сумма выметанной икры всеми самками поколения (согласно данным о средней плодовитости самок различных возрастов при соотношении полов 1:1) умноженное на коэффициент естественной смертности икры с учётом коэффициента уровня воды в озере по известным данным за соответствующие годы.

5. Паводковый режим во время нереста значительно влияет на урожайность фитофильных рыб [Крыжановский, Смирнов, Соин, 1951]. Для учёта влияния циклических колебаний уровня воды в озере был введён соответствующий коэффициент, корректирующий выживаемость ранней молоди коэффициент уровня воды (КУ), значение которого определялось по формуле:

$$KY = 0,005X - 0,5Y, \quad (4)$$

где X – уровень воды в см [Зуенко, Шаповалов, Курносова, 2020], а Y определялся как значение отклонения от среднего уровня воды, выраженное в долях.

Эта формула справедлива для следующего диапазона значений: $0 < KY < 2$. Этот коэффициент применяется для корректировки смертности на ранних этапах онтогенеза и отражает влияние среднегодового уровня воды на выживаемость икры и личинок до стадии малька возрастом 1 год.

6. Для определения степени влияния промысла был введён коэффициент промысловой смертности в виде «маски промысла» (Таблица 1), представляющей собой коэффициенты промыслового изъятия для размерных групп сазана, что распределяло ежегодную промысловую нагрузку по поколениям в соответствии со среднемноголетними данными о размерно-возрастной структуре уловов.

Таблица 1. Доли промыслового изъятия сазана в зависимости от возраста.

Возраст рыбы, лет	4	5	6	7	8	9	10
Доля вылова, %	10	25	20	20	15	5	5

Для дополнительной корректировки влияния промысла в отдельные периоды чрезмерного роста либо снижения промысловой нагрузки был введён коэффициент «перепромысла», устанавливаемый экспертно. Коэффициенты промысловой смертности накладывались на матрицу расчета численности каждого возрастного класса сазана.

Для расчёта численности годовиков использовались следующие формулы:

$$N_I = N_{икры} / KСИ \times KY, \quad (5)$$

где N_1 – количество годовиков, $N_{икры}$ – количество выметанной икры в предыдущем году; $KСИ$ – коэффициент смертности икры и личинок сазана; $KУ$ – коэффициент уровня озера Ханка.

$$N_{икры} = \sum_{i=5}^{15} (N_i \times P_i), \quad (6)$$

где i – возраст рыбы, N_i – количество нерестящихся самок возраста i ; P_i – величина средней плодовитости для самок возраста i .

Количество 2х и 3х годовиков рассчитывалось только с учётом естественной смертности для этих возрастов, так как они не используются промыслом.

$$N_2 = N_1 \times M_2 \quad (7)$$

$$N_3 = N_2 \times M_3 \quad (8)$$

Количество рыб от 4 до 15 лет рассчитывалось с учётом естественной смертности и действия промысла:

$$N_i = N_{i-1} \times M_i - N_{ипр.}, \quad (9)$$

где: N_i – численность рыб возраста i , от 4 до 15 лет; N_{i-1} – численность рыб возраста $i-1$, от 3 до 14 лет; M_i – доля выживших рыб возраста i , учитывается естественная смертность; $N_{ипр.}$ – численность изъятых промыслом рыб возраста i , рассчитанная в соответствии с официальными данными о промысле, «маской промысла» и коэффициентом «перепромысла».

Анализ полученного соотношения параметров убыли популяции сазана оз. Ханка показывает, что при использовании некоторых допущений, касающихся расчётов численности популяции в «реперные» годы и введении ряда коэффициентов, отражающих реальное влияние некоторых факторов (уровень воды, смертность на ранних этапах онтогенеза, маска промысла), основным рычагом для регулирования поведения модели является введение коэффициента промысловой смертности.

Сравнительный анализ полученных путём моделирования значений параметров запаса с принятыми на данный момент прогностическими значениям показало, что существующие прогнозные оценки величины общего запаса сазана в озере Ханка в среднем в 9,9 раз ниже, чем рассчитанные в предложенной модели. Значения величины промыслового запаса в 4,5 раза ниже смоделированных.

Анализ динамики параметров убыли популяции сазана оз. Ханка показал, что подобранное для модели значение коэффициента общего промыслового изъятия при вычитании из него величины декларируемого (официального) вылова показывает совокупный уровень недекларируемого промысла сазана в оз. Ханка, превышающий официальный вылов в последнее десятилетие в среднем в 4,8 раза.

Полученные в модели расчетные величины запаса позволяют более аргументировано подходить к расчету ОДУ сазана в озере Ханка в условиях дефицита промысловой информации из-за недостоверности промысловой статистики.

Список литературы

Бурлаченко И.В., Яхонтова И.В. 2015. Рыбоводные технологии в искусственном воспроизводстве: современное состояние, проблемы, решения. Труды ВНИРО. Т. 153. Искусственное воспроизводство и аквакультура. С. 137–153.

Зуенко Ю.И., Шаповалов М.Е., Курносова А.С. 2020. Современные изменения уровня озера Ханка и их последствия для промысловых ресурсов. Известия ТИНРО. Т. 200. Вып. 4. С. 935–950. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-935-950.

Зыков Л.А., Слепокуров В.А. 1983. Уравнение для оценки коэффициентов естественной смертности рыб (на примере пеляди оз. Ендырь - Согомский). Рыбное хозяйство. №3. С. 36–37.

Крыжановский С.Г., Смирнов А.И., Соин С.Г. 1951. Материалы по развитию рыб р. Амура. Труды Амурской ихтиологической экспедиции 1945 – 1949 гг. М. изд. МОИП, Т. II. С. 5–222.

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ОСЕДАНИЯ ПРИМОРСКОГО ГРЕБЕШКА НА ИСКУССТВЕННЫЕ СУБСТРАТЫ В БУХТЕ КИЕВКА (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Н.В. Щербакова, И.С. Турабжанова*

Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

*E-mail: irina.turabzhanova@tinro.vniro.ru

Ключевые слова: приморский гребешок, плотность оседания спата, коллекторы.

В связи с активным использованием природных поселений ценных двустворчатых моллюсков, таких как приморский гребешок *Mizuchopecten yessoensis*, эффективным методом экстенсивных технологий марикультуры является сбор молоди (спата) на искусственные субстраты (коллекторы).

Цель работы: оценка интенсивности оседания молоди приморского гребешка на коллекторы в бухте Киевка, расположенной в восточной части побережья Приморья.

Для оценки интенсивности оседания спата в 2023-2025 гг. в первой декаде июня в бухте Киевка выставляли гребешковые коллекторы (сетные мешки размером 30×40 см с наполнителем из полипропиленовой дели и размером ячеей 1 см). Коллекторы собирали в гирлянды по 10 штук и экспонировали в водной толще, начиная с глубины 0,5 м с интервалом в 1 м. Осенью в октябре оценивали численность осевшего спата гребешка (в экземплярах на коллектор), а также измеряли высоту раковин моллюсков с точностью до 1 мм, что позволило построить их размерную структуру.

В 2023 г. в бухте. Киевка плотность оседания спата приморского гребешка изменялась от 6 до 107 экз./коллектор и в среднем составила 41 экз./коллектор. Высота створок молоди гребешка варьировала в пределах 6-20 мм с преобладанием особей размерной группы 11-15 мм (Рисунок 1).

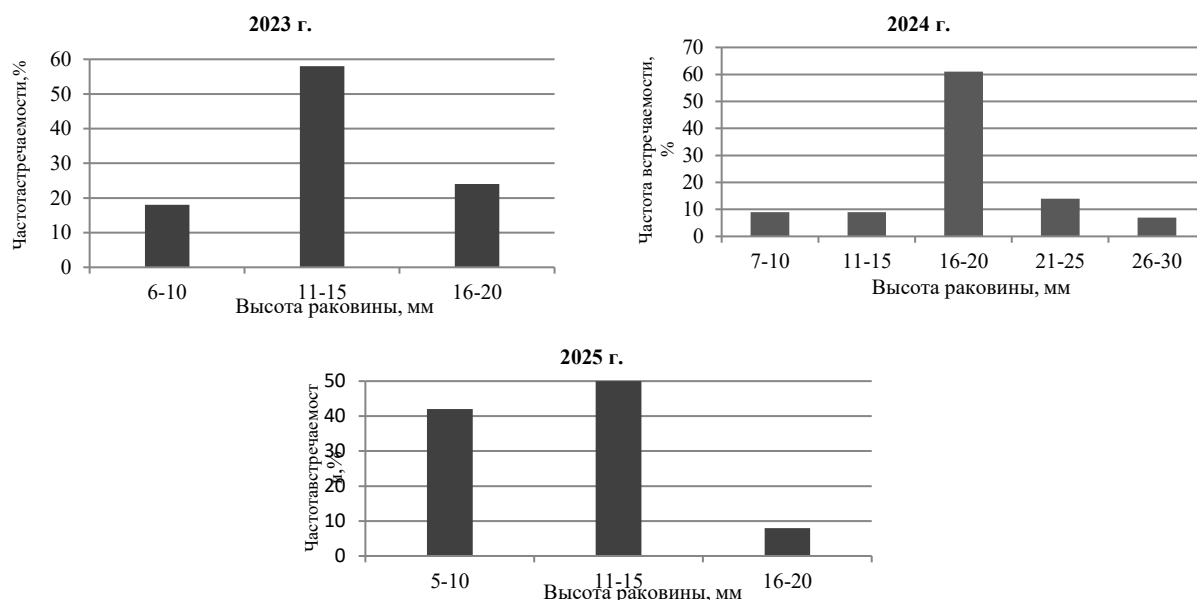


Рисунок 1. Размерный состав молоди приморского гребешка в коллекторах в бухте Киевка осенью 2023-2025 гг.

Осенью 2024 г. в бухте плотность осевшего спата приморского гребешка изменялась от 4 до 146 экз./коллектор и в среднем составила 65 экз./коллектор. Высота створок гребешка варьировала в пределах 7-30 мм с преобладанием особей размерной группы 16-20 мм. В 2025 г. в бухте плотность спата приморского гребешка изменялась от 306 до 1561 экз./коллектор и в среднем составила 782 экз./коллектор. Высота створок молоди гребешка варьировала в пределах 5-20 мм с преобладанием особей размерной группы 11-15 мм. По нормативным данным [Инструкция ..., 2011] при промышленном сборе гребешка плотность спата должна составлять в среднем 250 экз./коллектор, что обеспечивает экономическую эффективность работ. Наиболее благоприятным за период исследований для оседания спата гребешка был 2025 г.

В 2023-25 гг. в бухте Киевка температура воды, благоприятная для нереста приморского гребешка (8-10°C) в диапазоне глубин от поверхности до 10 м устанавливалась к началу июня (Рисунок 2). В июне 2025 г. вода в бухте быстро прогрелась, и оседание гребешка было максимальным за весь период исследований. В 2024 г. в августе в период роста спата на коллекторах температура воды была благоприятной – не более 20°C, без резких перепадов, в связи с чем размеры молоди в этом году были оптимальными.

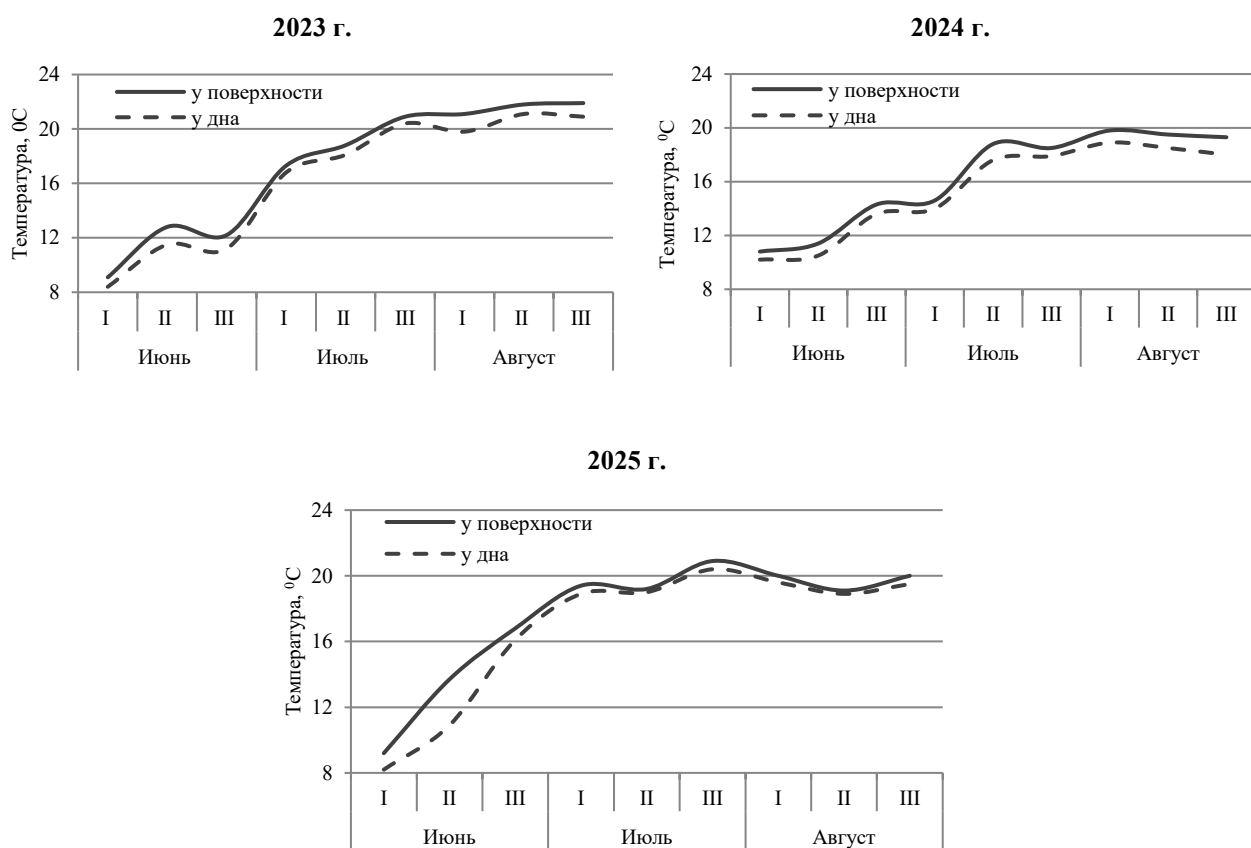


Рисунок 2. Изменение средней температуры воды по декадам в бухте Киевка летом 2023-2025 гг.

В предыдущие годы проведения аналогичных работ (2018-2020) среднее оседание гребешка на коллектор было близким к оптимальному в 2018 г. – 275 экз./коллектор и в 2020 г. – 290 экз./коллектор, минимальные значения отмечены в 2019 г. – 28 экз./коллектор [Щербакова, 2022]. В ходе проведенных исследований за шесть лет установлено, что средние показатели плотности оседания гребешка на коллекторы значительно варьируют в разные годы (Таблица 1).

Таблица 1. Средние показатели плотности оседания и размеров спата приморского гребешка на коллекторах осенью 2018-2025 гг. в б. Киевка

Год исследований	2018	2019	2020	2023	2024	2025
Плотность, экз./коллектор	275±45	28±9	290±48	41±8,2	65±14,4	782±117
Высота створки, мм	11,8±1,7	20,7±1,9	23±2,1	12,5±1,6	17,5±1,8	11,5±0,4

Согласно исследованиям, проведенным вначале 2000 гг. [Ляшенко, 2012] воспроизводство приморского гребешка в бухте Киевка также было нестабильно, за пять лет исследований только два были благоприятными для сбора спата на коллекторы.

Таким образом, оседание приморского гребешка и рост его в коллекторах за пределами залива Петра Великого в открытой бухте Киевка значительно варьирует в разные годы в зависимости от гидрологических условий. В 2018, 2020 и 2025 гг. интенсивность оседания была достаточной для обеспечения эффективности промышленного сбора. Оценка динамики численности оседания молоди на коллекторы имеет важное прикладное значение для организаций, которые занимаются разведением приморского гребешка экстенсивными методами марикультуры.

Редактор О.С. Юрова
Компьютерная верстка Ю.С. Яковлев
Подписано в печать 2.03.2026
Тираж 300 экз.