

На правах рукописи

Сидорова Анастасия Ивановна

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПОПУЛЯЦИИ БАЙКАЛЬСКОГО ВСЕЛЕНЦА
GMELINOIDES FASCIATUS STEBBING
(CRUSTACEA: AMPHIPODA) НА
СЕВЕРНОЙ ГРАНИЦЕ АРЕАЛА (ОНЕЖСКОЕ ОЗЕРО)

03.02.08 - экология

Автореферат на соискание ученой степени кандидата
биологических наук

Петрозаводск-2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте водных проблем Севера Карельского научного центра РАН

Научный руководитель доктор биологических наук,
заведующая лабораторией гидробиологии
Института водных проблем Севера
Карельского научного центра РАН
Калинкина Наталия Михайловна

Официальные оппоненты: **Китаев Станислав Петрович,**
доктор биологических наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт биологии
Карельского научного центра РАН
главный научный сотрудник

Курашов Евгений Александрович,
доктор биологических наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки
Институт озераведения РАН,
заведующий лабораторией гидробиологии

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Зоологический институт
Российской академии наук (ЗИН РАН)

Защита состоится 5 июня 2013 г. в 14.00 в ауд. 117 на заседании диссертационного совета Д 212.190.01 при Петрозаводском государственном университете по адресу: 185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Красноармейская, 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Петрозаводского государственного университета, с авторефератом - на сайтах <http://vak.ed.gov.ru> и www.petrsu.ru.

Автореферат разослан " " мая 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат биологических наук



Дзюбук И.М.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Начиная с середины XX века, во многих районах Земного шара произошли перемены, связанные с проникновением в естественные и искусственные экосистемы несвойственных для них, чужеродных видов живых организмов из других регионов - биологические инвазии (Orlova et al., 2006; Berezina et al., 2009; Walther et al., 2009; Стерлигова, Ильмаст, 2009; Орлова, 2010; Strayer, 2010; Panov et al., 2010; Дгебуадзе, 2011; Keller et al., 2011; Berezina et al., 2012). Под биологическими инвазиями понимаются все случаи проникновения живых организмов в экосистемы, расположенные за пределами их первоначального (естественного) ареала. Таким образом, к биологическим инвазиям относятся вселения чужеродных видов, произошедшие в результате: разрушения естественных географических барьеров (создание инвазийных коридоров); естественных перемещений, связанных с флуктуациями численности и климатическими изменениями; интродукции важных в хозяйственном отношении полезных организмов; случайных заносов с балластными водами, с импортной сельскохозяйственной продукцией, с интродуцентами и т.п. (Дгебуадзе, 2002; Berezina, 2007).

Инвазийные чужеродные виды по праву считаются второй по значению угрозой биоразнообразию, после разрушения мест обитания (Панов, 2002; Алимов, и др., 2004).

Степень разработанности исследования. В России проблема биоинвазий пресноводных экосистем связана с работами по обогащению водоемов видами байкальского и каспийского происхождения. Интродукцию водных беспозвоночных проводили в 1960-1970-х гг. с целью увеличения кормовой базы рыб (Иоффе, 1960, 1968; Бекман, 1962). Так, в 1970-х гг. амфипода байкальского происхождения *Gmelinoides fasciatus* Stebbing 1899 была внесена в ряд озер Карельского перешейка. Впоследствии вид-вселенец успешно акклиматизировался и начал проникать в другие водоемы. К 1996 году вид заселил всю литоральную зону Ладожского озера (Панов, 1994; Panov, 1996; Матафонов и др., 2005; Барков, 2006; Курашов, и др., 2011). В 2001 году *G. fasciatus* был обнаружен вдоль западного берега Онежского озера (Безина, Панов, 2003), к 2006 году байкальский вид распространился и практически по всей литорали Онежского озера (Калинкина и др., 2006; Полякова, 2008; Кухарев, и др., 2008; Савосин, 2009; Савосин, 2010). Вид-вселенец является эврибионтным, обладающим высокой экологической пластичностью (Бекман, 1962; Матафонов, 2003).

До настоящего времени оставалась неизученной роль бокоплава *G. fasciatus* в литоральной зоне Онежского озера. Такие популяционные показатели вида как сезонная динамика численности и биомассы, характер размножения, пространственное распределение, продукционные характеристики позволяют оценить роль вселенца в функционировании донных сообществ литоральной зоны Онежского озера. Незизученным оставалось влияние температурного фактора на популяцию *G. fasciatus* на северной границе ареала. Особенно большое значение имеют эти

исследования в условиях антропогенного воздействия. Изучение чужеродного для Онежского озера вида *G. fasciatus* необходимо с точки зрения познания закономерностей биоинвазии, роли вида в изменении биоразнообразия, процессах переноса вещества и энергии в сообществах литоральной зоны. Подобных исследований на литорали Онежского озера не проводилось, что обуславливает актуальность данной темы.

Вид *G. fasciatus* обитает в прибрежье и испытывает воздействие разнообразных загрязняющих веществ, поступающих с водосборной территории. В связи с этим особенный интерес представляет изучение реакции вида *G. fasciatus* на антропогенное воздействие (влияние ливневых стоков, различных токсических веществ). Большую практическую значимость имеет оценка возможности использования вида *G. fasciatus* в качестве тест-объекта при биотестировании, что определяет необходимость сравнения реакции вида на действие загрязняющих веществ со стандартными тест-объектами.

Цель исследования: изучить структурно-функциональные характеристики популяции байкальского вселенца *Gmelinoides fasciatus* в Онежском озере на северной границе ареала европейской части России.

При выполнении работы решались следующие задачи:

1. изучить сезонную динамику численности, биомассы, размерно-возрастную и половую структуру популяции *G. fasciatus* в связи с температурным фактором и типом биотопа;

2. изучить популяционные показатели *G. fasciatus* в связи с действием антропогенного фактора;

3. оценить продукционные показатели в различных типах биотопов литорали Онежского озера;

4. изучить роль *G. fasciatus* в питании бентосоядных рыб младших возрастных групп в литоральной зоне Онежского озера;

5. изучить влияние ливневых стоков с городского побережья Петрозаводской губы на *G. fasciatus* и оценить возможность использования вида в качестве регионального тест-объекта.

Научная новизна. Впервые получены материалы о распределении *G. fasciatus* в зависимости от глубины, данные о сезонной динамике, размерно-возрастном и половом составе, особенностях размножения, продукционных характеристиках популяции чужеродного для Онежского озера вида - байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* в различных типах биотопов (песчано-каменистом с зарослями макрофитов; каменистом; илистом с зарослями высшей водной растительности с разной степенью открытости для прибойя). Рассмотрено влияние температуры на распределение вида по литорали, в том числе, по горизонтам. Оценена доминирующая роль вселенца в литоральных биоценозах. Показана реакция вида на антропогенное воздействие и доказана его большая чувствительность к действию ливневых стоков с территории г. Петрозаводска в сравнении со стандартным видом *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg.

Теоретическая и практическая значимость. Полученные материалы могут стать основой для проведения мониторинга состояния прибрежной

зоны Онежского озера. Проведенные исследования могут быть использованы в качестве методической основы для использования вида *Gmelinoides fasciatus* в качестве регионального тест-объекта для биотестирования ливневых стоков, поступающих в литоральную зону Онежского озера. Полученные результаты могут быть основой лекционного материала в учебных курсах по биологическим специальностям.

Защищаемые положения.

1. Байкальская амфипода *Gmelinoides fasciatus* успешно натурализовалась в Онежском озере, о чем свидетельствуют высокие показатели численности, биомассы, сопоставимые с показателями этого вида в естественном ареале и других водоемах-реципиентах, а также способность *G. fasciatus* образовывать устойчивые популяции в новых условиях.

2. Вид *Gmelinoides fasciatus* может быть использован как региональный тест-объект для оценки токсичности ливневых вод.

Степень достоверности и апробация результатов. Материалы, которые лежат в основе диссертации, были представлены на 12 конференциях: на III Международной школе-семинаре «Развитие международного сотрудничества - образование для устойчивого развития». «Водная среда и экологическая безопасность населения» (Петрозаводск, 2010); на международной аудио-конференции «Sustainable Water Management 2010»; на IV Международной научной конференции, посвященной памяти профессора Г. Г. Винберга, "Современные проблемы гидроэкологии" (Санкт-Петербург, 2010); на Международной научно-практической конференции «Гармония Севера: человек и природа. Взгляд молодых» (Петрозаводск, 2010); на IV региональной школе-конференции молодых ученых «Водная среда и природно-территориальные комплексы: исследование, использование, охрана» (Петрозаводск, 2011); на всероссийской научной конференции «Экологические проблемы пресноводных рыбохозяйственных водоемов России», посвященной 80-летию Татарского отделения ФГНУ «ГосНИОРХ» (Казань, 2011); на молодежной научно-образовательной сессии и школе молодых ученых, посвященной 65-летию КарНЦ РАН «Фундаментальная и прикладная наука в Республике Карелия: современное состояние и перспективы развития» (Петрозаводск, 2011); на 64-ой конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Науки о земле: задачи молодых». (29 и 30 марта 2012 г.) г. Петрозаводск; на II Всероссийской научной конференции «Естественнонаучные основы теории и методов защиты окружающей среды». 23-24 апреля 2012 год, г. Санкт-Петербург; на 6-й Международной конференции «Экогидромет-2012» Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон, г. Санкт-Петербург; seminar "The development of international cooperation - the science and education for sustainable development" Helsinki, Finland (August, 01-08 2012); на IV Всероссийской научной конференции с международным участием «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения», 2-5 октября 2012 г. Апатиты.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 работ, из которых 2 статьи в журналах, рекомендуемых ВАК.

Содержание работы. Диссертация изложена на 134 странице машинописного текста и состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы. Текст иллюстрирован 57 рисунками, 48 таблицами. Список литературы содержит 202 источника, из них 42 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает глубокую и искреннюю признательность д.б.н. Н.М. Калинкиной за научное руководство работой. Огромная благодарность коллегам, которые помогли в освоении методик изучения, консультировали по различным вопросам - Т.Н. Поляковой (ИВПС КарНЦ РАН), к.б.н. Н.А. Березиной (ЗИН РАН г. Санкт-Петербург). Автор признателен И.П. Сочневой за помощь в определении видов высшей водной растительности. Выражаю благодарность И.В. Дыдик и Т.А. Бегереевой за помощь при сборе гидробиологического материала и постановке опытов по биотестированию ливневых вод.

Искренне благодарю всех родных и близких, в особенности родителей, бабушку и мужа, за проявленное терпение, понимание и поддержку.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Литературный обзор

В главе дается характеристика опубликованных сведений об истории интродукции, современном распространении, биологии и экологических особенностях *G. fasciatus* в разных водоемах: его популяционных показателях, распространении на литорали в зависимости от глубины, особенности жизненного цикла и роли в питании рыб. Приведены литературные сведения о реакции вида *G. fasciatus* на действие разнообразных факторов среды. Рассмотрено влияние на амфиподу абиотических факторов: содержания кислорода, температуры, солёности, совместного воздействия температурного и солёностного фактора, рН, окислительно-восстановительных условий среды, колебания уровня воды. Собран литературный материал о воздействии биотических факторов окружающей среды - взаимоотношения рачка с другими организмами. Рассмотрены материалы об истории вселения инвазионного вида *G. fasciatus* и его роли в экосистеме Онежского озера.

Глава 2. Физико-географическая характеристика района исследования

Представлена характеристика Онежского озера, которое расположено в зоне Европейского севера России, (Онежское озеро..., 2010). Рассмотрены особенности заливов - Петрозаводской губы и Кумса-губы, где проводились исследования.

Глава 3. Материал и методы исследования

Материалом для данной работы послужили гидробиологические пробы, собранные в течение 2010 и 2011 гг. Отбор и обработку проб осуществляли в соответствии со стандартными руководствами по сбору пресноводного бентоса (Методические рекомендации..., 1984). Отбор проб производили модифицированным пробоотборником Панова-Павлова (Панов, Павлов, 1986; Методические рекомендации..., 2005).

Для изучения жизненного цикла амфипод на литорали Петрозаводской губы был собран гидробиологический материал в период с конца мая по начало

октября 2010 года на 3 станциях (П1, П2, П3) каждые 10 дней в трех повторностях (Рисунок 1). Станция П3 находится под воздействием ливневых вод с концентрацией нефтепродуктов, достигающей 0,02 мг/л (Сабылина, 2007).

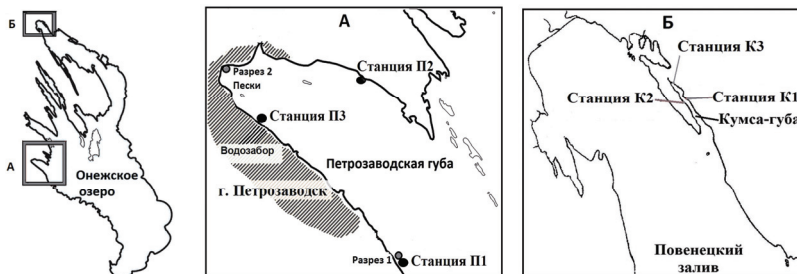


Рисунок 1. Схема расположения мониторинговых станций и разрезов (1, 2) в Петрозаводской губе (А) и Кумса-губе Повенецкого залива (Б) Онежского озера

В 2010 году в Петрозаводской губе было исследовано распространение *G. fasciatus* на двух разрезах (Рисунок 1А) на глубинах 0,5 м, 1 м, 2 м, 3 и 4 м (песчаный биотоп). Пробы бентоса отбирали дночерпателем Экмана-Берджи в трех повторностях (площадь захвата 0,023 м²).

В 2011 году был собран гидробиологический материал в Кумса-губе Повенецкого залива на трех станциях (К1, К2, К3) в двух повторностях каждые 10 дней с конца мая по начало октября. В район станции К3 поступают хозяйственно-бытовые стоки с содержанием общего фосфора 0,098 мгР/дм³ и общего азота 1,65 мгN/дм³ (по данным лаборатории гидрохимии и гидрогеологии института водных проблем Севера КарНЦ РАН).

Амфипод фиксировали в 4 %-ном формалине, затем измеряли под стереомикроскопом МБС-9 с точностью до 0,1 мм и взвешивали на торсионных весах с точностью до 0,1 мг. Было проанализировано 6310 экз. Согласно работам Д.В. Матафонова (2003), Е.А. Курашова и Д.В. Баркова (2011), при изучении жизненного цикла популяции *G. fasciatus* в Онежском озере особей объединяли в следующие размерные группы (р.г.): а) с длиной меньше 1,5 мм - I группа; б) от 1,6 до 3,0 мм - II; в) от 3,1 до 5,0 мм - III; г) от 5,1 до 7,0 мм - IV; д) от 7,1 до 9,0 - V, и е) свыше 9,1 - VI размерная группа. По наличию или отсутствию оостегит определяли пол *G. fasciatus*. Плодовитость и стадии развития яиц рачка анализировали по классификации Р. Weygoldt и А. Skadsheim (Pockl, 1993). Продолжительность жизни амфиподы *G. fasciatus* в условиях Онежского озера оценивали по уравнению Берта-ланфи (Алимов, 1981; Болтачева, Мазлумян, 2001; Барков, Курашов, 2011).

Ориентировочную величину продукции рассчитывали физиологическим методом. Для расчета скорости потребления кислорода применяли уравнение, которое было рассчитано для вида *G. fasciatus* в условиях Ладожского озера (Барков, 2006; Курашов и др., 2011):

$$Q=0.299W_i^{0.764}, \text{ где } Q - \text{СПК, млO}_2 \cdot \text{экз}^{-1} \cdot \text{час}^{-1}; W_i - \text{масса особей, г.}$$

Траты на обменные процессы популяции (R) и ориентировочную продукцию популяции (P) определяли по стандартной методике (Методические рекомендации..., 1984).

Исследования по биотестированию действия ливневых вод с использованием стандартного тест-объекта *Ceriodaphnia affinis* Lillijeborg и молоди *Gmelinoides fasciatus* проводили в июле в 2010 г. и в мае-июле 2011 г. Отбор проб проводили на 4 точках (2 сточных трубы, литоральная зона и ручей) на городском побережье в районе мониторинговой станции ПЗ (см. Рисунок.1 А) Петрозаводской губы. Биотестирование проводили согласно методическим указаниям (Жмур, 2004).

Материал по питанию рыб был собран в течение 9-10 июля 2010 г. В достаточном количестве удочкой были пойманы окуни (95 особей) младших возрастных групп на станции К1 Кумса-губы. Питание анализировали по общепринятой методике (Правдин, 1966; Руководство по изучению питания рыб..., 1961).

Статистическую обработку данных проводили согласно методическим указаниям (Коросов, Горбач, 2007; Ивантер, Коросов, 2010; Ивантер, Коросов, 2011). Для показателей численности, биомассы, длины тела самцов и самок, плодовитости рачков на разных биотопах рассчитывали медианы и их ошибки. Для сравнения распределений показателей численности на шести станциях наблюдения, а также для анализа соотношения полов использовали критерий χ^2 . При оценке достоверности различий между показателями, а также достоверности зависимостей и коэффициентов в уравнениях регрессии принят уровень значимости $p = 0,05$.

Объем работ и личный вклад автора представлен в таблице 1.

Таблица 1. Объем и наименование выполненных работ

Наименование работы	Число измерений, проб, опытов	Период исследования	Вклад автора
Отбор количественных проб бентоса на мониторинговых станциях	219 пробы	май - сентябрь 2010 г., май - октябрь 2011 г.	100 %
Отбор количественных проб бентоса по разрезам	30 проб	август 2010 г.	100 %
Измерение длины тела	6310 промеров	май 2010 - август 2012 г.	100 %
Измерение веса тела	6310 промеров	май 2010 - август 2012 г.	100 %
Оценка плодовитости	942 самки	май 2010 - август 2012 г.	100 %
Биотестирование ливневых вод	3 серии опытов в 7 повторностях. Всего 840 экземпляров вида <i>C.affinis</i> . и 700 экземпляров <i>G. fasciatus</i> .	июль 2010 г. и май - июль 2011 г	50 %
Исследование желудков окуня	95 желудков	июль 2010 – август 2012 г.	100 %

Глава 4. Экология и биология амфиподы *Gmelinoides fasciatus* в Онежском озере

Исследования 2010-2011 гг. показали, что в сообществе литорального бентоса в изучаемых биотопах вид-вселенец *G. fasciatus* играет доминирующую роль, как по численности, так и по биомассе. В Петрозаводской губе его доля в литоральных ценозах варьирует в пределах 55-65% (от общей численности)

и 65-80 % (от общей биомассы). Важно отметить, что аборигенный вид *Gammarus lacustris* Sars, ранее обычный в слабоприбойных местообитаниях (Рябкин, Полякова, 2008), нами не был обнаружен. В Кумса-губе Повенецкого залива амфипода *G. fasciatus* достигает от общей численности литорального бентоса 60-75%. Доля вида от общей биомассы в Кумса-губе составляет 7-13%, что связано с доминированием здесь моллюсков прудовиков *Lymnaea stagnalis* (L.) и жуков Coleoptera рода *Dytiscus*.

4.1. Петрозаводская губа

4.1.1. Пространственное распределение *G. fasciatus* по глубине

В Петрозаводской губе изучено распределение *G. fasciatus* в зависимости от глубины на двух разрезах. Максимальная численность и биомасса отмечены на глубинах до 0,5 м. На разрезе 1 средняя численность достигала 7800 экз./м², при средней биомассе - 18 г/м², а на разрезе 2 составила 250 экз./м² и 650 мг/м², соответственно.

Особо следует обратить внимание на то, что максимальные популяционные показатели отмечены на глубинах до 1 м с наибольшей температурой воды (18-19°C). Полученные нами материалы подтверждаются данными по пространственному распределению *G. fasciatus* в озере Арахлей, где на распределение популяции рачка наибольшее влияние оказывают абиотические факторы среды: температура воды и содержание растворенного в воде кислорода (Матафонов, 2003). С учетом характера распределения вида по глубине мониторинговые станции в Петрозаводской губе и Кумса-губе были приурочены к глубине 0,4 м, где численность рачка была максимальная.

4.1.2. Сезонная динамика популяции *G. fasciatus*

Для популяции видов-вселенцев важно изучать критерии их успешной инвазии в новых условиях - такие, как особенности жизненного цикла, плодовитость, сроки созревания, особенности полового состава, способность жить в разных типах биотопов (Березина, 2004).

Станция П1 (песчано-каменистый биотоп с зарослями макрофитов)

Сезонная динамика численности и биомассы *G. fasciatus* на станции наблюдения П1 имеет 2 пика численности и 3 пика биомассы (Рисунок 2). Максимальные значения численности и биомассы отмечены в конце июня - начале июля (1-й пик) и с середины августа до начала сентября (2-й пик). Средняя численность составила 3454 экз./м², средняя биомасса - 7,7 г/м², при максимальных показателях - 13500 экз./м² и 38,7 г/м², соответственно.

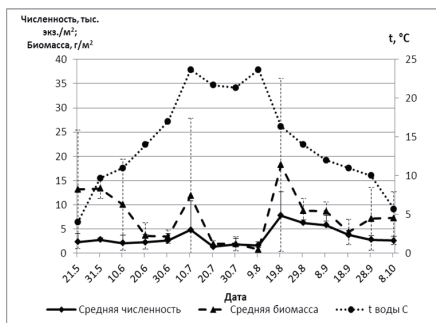


Рисунок 2. Сезонная динамика численности (тыс. экз./м²), биомассы (г/м²) и температуры воды на станции П1 Петрозаводской губы Онежского озера в 2010 г.

Важным фактором, обеспечивающим сезонную динамику, является температура воды. На станции П1 вид *G. fasciatus* успевает пройти все важные фазы жизненного цикла, что обеспечивается необходимым количеством градусо-дней (гр.-дн.). В условиях станции П1 их количество в период с конца мая по начало октября составило 2349. В течение летнего периода (июнь-август) количество градусо-дней составляло 1627 (Таблица 2).

Согласно данным (Berezina, Panov, 2002), для отрождения двух выметов молоди у двух последующих генераций рачков *G. fasciatus* в летний сезон необходимо 1500-2000 гр.-дн. (оз. Ладожское, оз. Псковско-Чудское, оз. Отрадное). Для эмбрионального развития *G. fasciatus* требуется 248 градусо-дней. Для достижения половозрелости молоди новой генерации необходимо от 600 до 770 гр.-дн. (Матафонов, 2003; Барков, Курашов, 2011) Наблюдаемые нами значения градусо-дней укладываются в эти диапазоны, достаточные для развития двух поколений новорожденных рачков до взрослых особей.

Таблица 2. Особенности жизненного цикла *G. fasciatus* на станции П1 в 2010 г.

Месяц	Дата отбора проб	T (°C) воды на станции	Сумма гр.-дн.	Особенности жизненного цикла на станции П1
Май	21.05.	3,9	212	Прошлогодние генерации, копулирующие пары
	31.05.	9,3		
Июнь	10.06.	11,3	420	Начало выхода молоди новой генерации
	20.06.	13,9		
	30.06.	16,4		
Июль	10.07.	22,6	667	Первый массовый вымет молоди новой генерации
	20.07.	21,2		
	30.07.	23,0		
Август	09.08.	21,1	540	Размножение самок прошлогодних генерации и подростков молоди новой генерации; второй массовый вымет молоди
	19.08.	15,3		
	29.08.	14,0		
Сентябрь	08.09.	12,6	330	Завершение размножения
	18.09.	11,0		
	28.09.	10,0		
Октябрь	08.10.	5,7	180	Рост рачков
Итого	131 день		2349	

Таким образом, в Онежском озере на станции П1 температурный фактор не лимитирует развитие популяции *G. fasciatus*. Вид-вселенец *G. fasciatus* имеет одногодичный жизненный цикл с генерациями предыдущего и последующего годов.

Продолжительность жизни, рассчитанная по уравнению Берталанфи (Алимов, 1981; Болтачева, Мазлумян, 2001; Барков, Курашов, 2011) на станции П1 для самцов и самок составила 1,21 года и 1,28 года, при максимальных размерах тела 11,5 мм и 9,5 мм, соответственно.

Рассчитанная нами продолжительность жизни бокоплава *G. fasciatus* на станции П1 Онежского озера близка к этому показателю для рачков из Ладожского озера. Согласно данным (Барков, Курашов, 2011), самцы в Ладожском озере живут 0,93 года, самки - 1,13 года.

Дополнительным доказательством натурализации вида *G. fasciatus* в Онежском озере (станция П1) служат сопоставимые данные по численности и биомас-

се вида в различных водоемах. Так, в озере Байкал численность *G. fasciatus* варьировала в пределах 10000-20000 экз./м², при биомассе 63-100 г/м² (Бекман и др., 1951; Бекман, 1962). В Ладожском озере в 2004-2005 гг. численность составила 936-3141 экз./м², при биомассе 4,2-10,3 г/м². (Барков, 2006), в 2009 г. численность изменялась от 8 до 7160 экз./м², при биомассе - 0,024-15,3 г/м² (Курашов и др., 2010), что сопоставимо с данными, полученными для Онежского озера.

4.1.3. Динамика размерно-возрастной структуры

В мае на станции П1 в популяции доминировали старшие возрастные группы, т.е. III и IV размерные группы (р.г.) (особи прошлогодней генерации). Молодые рачки отсутствовали (Рисунок 3).

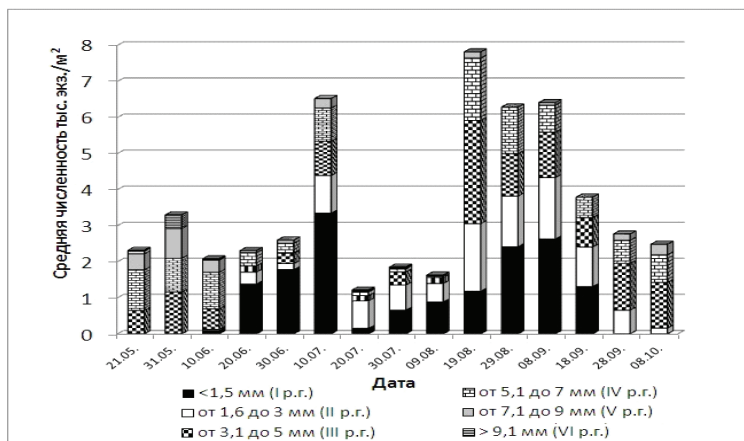


Рисунок 3. Средняя численность (тыс. экз./м²) размерных групп на станции П1 в 2010 г.

В начале июня зарегистрировано появление молоди I размерной группы новой генерации. Массовый вымет молоди (50-65 % от общей численности всех возрастов) был отмечен в конце июня - начале июля. В июле численность I размерной группы начала уменьшаться, доминирующей стала II р.г. (60% от численности популяции). Все возрастные группы популяции представлены в середине июля, с преобладанием II, III и IV р.г.

Второй вымет молоди I размерной группы (53-40% от численности популяции) отмечается с конца августа до середины сентября. В конце сентября молодые особи менее 1,5 мм не встречались, что свидетельствует о завершении размножения *G. fasciatus*. В этот период доминировали рачки размером от 3,1 до 5 мм.

4.1.4. Половая структура популяции

Средний размер самцов на станции П1 составил 6,3±0,1 мм, при средней биомассе - 5,7±0,2 мг. Для самок средний размер был ниже - 4,9±0,1 мм, при средней биомассе 3,6±0,1 мг. Максимальные размеры самок достигали 9,5 мм с биомассой 10,7 мг. Наибольшая длина тела самцов составила 11,5 мм с биомассой 24 мг.

Половой состав в разные даты варьировал: в 8 случаях отбора проб доля самок *G. fasciatus* достоверно превышала таковую самцов, критерий χ^2 Пирсона варьировал в пределах 6,6-22,5. Соотношение самцов и самок чаще всего было 1:1,7. В период второго массового вымета молоди в августе отмечалось доминирование самок *G. fasciatus*, их доля достигала 93 % (1:13). Как известно, преобладание самок в период размножения (образование «гаремов») способствует быстрому нарастанию численности популяции (Березина, 2004). Такие же случаи доминирования самок над самцами были отмечены в зоне зарослей Невской губы (Березина, 2005).

В другие даты отбора проб (21, 31 мая, 20, 30 июня, 20 июля и 28 сентября) процентное соотношение между самками и самцами достоверно не отличалось от соотношения 1:1.

4.1.5. Размножение

В последней декаде мая доминировали самки с яйцами на 2 стадии развития согласно классификации Р. Weygoldt и А. Skadsheim (Pockl, 1993). Эти яйца были недавно отложены, однородными, с исчезнувшими гиалиновыми мембранами. Данный факт свидетельствует о том, что размножение в популяции *G. fasciatus* началось, по крайней мере, в начале мая. В это же время на станции встречалось большое количество копулирующих пар.

В июне присутствовали самки с 3, 4, 5 и 6 стадиями развития яиц, а именно: яйца с вентральной щелью (3 стадия); с зачатками конечностей (4 стадия); эмбрионы, у которых пищеварительная система содержит желтые пигментные клетки (5 стадия); эмбрионы с отчетливо видимыми глазами, конечностями и сегментацией (6 стадия).

В первой декаде июля доля самок с яйцами с полностью развитыми эмбрионами, готовыми к вымету, достигала 20% (7 стадии развития). Это совпадает с первым массовым выходом молоди 10 июля. В то же время доминирующими были самки с 4 стадией развития яиц (65 %). Кроме того, зарегистрировано второе появление самок с начальными стадиями эмбрионального развития (15%). Такое соотношение самок указывает на вторую волну размножения *G. fasciatus*.

Со второй половины июля по начало сентября отмечены самки со всеми стадиями развития яиц. В этот период начали размножаться достигшие половозрелости самки летней генерации, которые постепенно замещают размножающихся самок прошлогодних генераций.

К концу сентября отсутствовали самки с ранними стадиями яиц (2, 3 и 4 стадии развития), и увеличилась доля самок с поздними стадиями развития яиц (5, 6, 7 стадии). Так, доля самок с яйцами 4 стадией развития достигала 40%. Доминировали самки с яйцами 6 стадии (до 45%). Часть яйценосных самок с яйцами 7 стадии эмбрионального развития составила 15% от общего количества яйценосных самок. Эти данные свидетельствуют о завершении процесса размножения *G. fasciatus*.

Как показали расчеты по формуле Н.Н. Хмелевой (1988), самки *G. fasciatus* в течение жизни могут давать до 9 пометов, при минимальных размерах самок с яйцами - 3,4 мм и максимальных 7,3 мм.

4.1.6. Плодовитость

Плодовитость животных следует рассматривать как важнейший фактор, в значительной степени определяющий динамику численности популяции отдельных видов организмов (Алимов, 1989). Знание границ репродуктивных показателей в пределах таксонов необходимо, прежде всего, для раскрытия потенциальных возможностей воспроизводительной способности животных.

Для самок вида *G. fasciatus* в Онежском озере на станции наблюдения П1 плодовитость варьировала от 3 до 24 яиц/самку. Близкие данные были получены другими исследователями. Так, на юго-западном побережье Онежского озера в 2001 году количество яиц на самку изменялось от 8 до 18 (Березина, Панов, 2003). В 2005 году в прибрежье города Петрозаводска плодовитость рачков варьировала от 4 до 15 яиц/самку (Калинкина и др., 2006). В целом, показатели плодовитости по Онежскому озеру близки к показателям *G. fasciatus* Братского водохранилища, где максимальная плодовитость достигала 26 яиц на самку (Камалтынов, Томилов, 2001). В озере Байкал максимальная плодовитость самок вида *G. fasciatus* составила 3-32 яиц/самку (Бекман 1962). Максимальное количество яиц в марсупиуме *G. fasciatus* зарегистрировано в Невской губе Финского залива - 46 яиц/самку (Березина, 2005).

В течение сезона на станции наблюдения П1 средняя плодовитость самок *G. fasciatus* варьировала. Так, в конце мая - начале июня преобладали самки генераций прошлого года, при максимальной индивидуальной плодовитости (12,2 яиц/самку). С конца июля по сентябрь постепенно приступают к размножению самки новой генерации. Об этом свидетельствуют уменьшение средних размеров самок: в конце мая средний размер самок составил 5,4, в августе он снизился до 4,6-4,9 мм. Это отражает смену генераций, начало размножения самок нового поколения.

4.1.7. Соотношение размеров и плодовитости самок

Количественные характеристики особенностей размножения и плодовитости отдельных видов, определенные при различных условиях внешней среды, необходимы для изучения продукционных возможностей популяций животных. Плодовитость пойкилотермных животных непосредственным образом связана с размерами самок, продуцирующих яйца. В толерантных условиях абсолютная плодовитость у пойкилотермных животных конкретных видов возрастает с увеличением размеров их тел (Алимов, 1989).

Нами было рассчитано степенное уравнение, описывающее зависимость плодовитости от размеров тела самок *G. fasciatus* на мониторинговой станции П1:

$E = (0,684 \pm 0,136)L^{(1,608 \pm 0,117)}$, где E - плодовитость, яиц/самку; L - длина тела, мм. R=0,57, при n=420, уравнение и коэффициенты достоверны. Использовали данные по самкам с размерами тела от 3,4 до 8 мм.

Необходимо было оценить применимость полученного уравнения для прогноза плодовитости по линейным размерам тела самок *G. fasciatus*, относящихся к разным размерным классам. Алгоритм проверки заключался в следующем:

1. На первом этапе использовали исходные данные по самкам, относящимся к разным размерным классам (Таблица 3). Для каждого размерного класса расчи-

тали среднюю плодовитость, ее ошибку и доверительные интервалы ($E_x \pm tm$), где E_x - плодовитость, m - стандартная ошибка, t - критерий Стьюдента (≈ 2) при данном числе степеней свободы (df) и уровне значимости ($p=0,05$).

2. Для каждого размерного класса по уравнению зависимости плодовитости от длины тела рассчитывали минимальную, максимальную и среднюю плодовитость. Так, для получения расчетных значений плодовитости для самок первого размерного класса (с длиной тела 3-4 мм), в уравнение подставляли значения пределов размерного класса (3 и 4) и среднюю длину для класса - 3,5. Минимальная расчетная плодовитость оказалась равной 4 яйцам, максимальная - 6, средняя - 5.

3. Сравнивали расчетные средние значения плодовитости с границами доверительных интервалов, полученных для исходных данных.

Проверка уравнения показала, что для пяти изученных размерных классов расчетные средние в трех из них (1, 2 и 4) укладываются в диапазоны доверительных интервалов. Только в двух случаях (для 3 и 5 размерного класса) прогнозируемые значения плодовитости оказались выше реальных данных. Однако различия эти были незначительными. Для самок с размером тела от 5,1 до 6 мм расчетная средняя плодовитость 11 яиц была выше верхнего доверительного интервала (10 яиц) на 1 яйцо. Для самок с длиной тела 7,1-8 мм (5 размерный класс) - средняя расчетная плодовитость 19 яиц превышала верхнюю границу доверительного интервала (17 яиц) на 2 яйца. Различие между прогнозируемым значением и реальными данными можно объяснить недостаточным объемом выборки самок этого размерного класса.

Следовательно, полученное уравнение можно использовать для прогноза плодовитости самок *G. fasciatus* пяти размерных классов.

Таблица 3. Фактические и расчетные значения плодовитости самок на станции П1

Размерный класс	L самок, мм	n	Колебания фактической плодовитости, шт.					Колебания расчетной плодовитости, шт.		
			мин	мах	средняя	доверительные интервалы		мин	мах	средняя
1	3-4	21	3	12	5,6±0,4	5	6	4	6	5
2	4,1-5	117	4	17	7,5±0,3	7	8	6	9	8
3	5,1-6	123	4	19	9,8±0,3	9	10	9	13	11*
4	6,1-7	18	7	24	14,3±1,3	12	17	13	17	15
5	7,1-8	8	11	20	14,4±1,2	12	17	17	21	19*

Примечание: n - количество измерений; * - средняя расчетная плодовитость не входит в доверительный интервал фактической плодовитости.

4.1.7.Связь между массой и длиной тела *G. fasciatus*

Рост особи - это приращение массы или увеличение линейных размеров развивающегося животного. Используя степенную функцию зависимости между линейными размерами (L) и массой (W), можно с достаточной степенью точности рассчитать массу различных животных, исходя из изменений их линейных размеров (Алимов, 1989).

С этой целью нами были рассчитаны зависимости сырой массы от длины тела рачков *G. fasciatus* на станции П1:

Самцы: $W=(0,219\pm 0,026)L^{(1,758\pm 0,058)}$ $R=0,86$, при $n=405$.

Яйценозные самки $W=(0,109\pm 0,016)L^{(2,194\pm 0,085)}$ $R=0,78$, при $n=423$.

Самки без яиц $W=(0,057\pm 0,010)L^{(2,481\pm 0,112)}$ $R=0,88$, при $n=146$.

Молодь $W=(0,078\pm 0,004)L^{(2,240\pm 0,060)}$ $R=0,85$, при $n=934$. Все уравнения и коэффициенты достоверны.

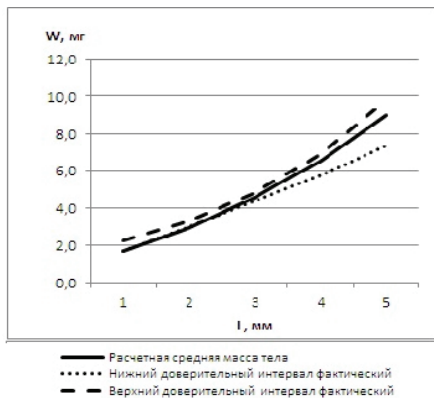


Рисунок 4. Сопоставление реальных данных и прогнозной средней массы тела яйценозных самок на станции П1

Проверка пригодности полученных нами уравнений для прогнозирования массы тела рачков, относящихся к разным размерным группам, проводилась согласно алгоритму, описанному выше. Оказалось, в 27% случаев расчетная масса отклонялась за пределы доверительных интервалов. В основном отклонения прогнозных значений от реальных данных составляли 2-8%. Так, в случае прогноза массы тела яйценозных самок (Рисунок 4) были отмечены лишь два случая несовпадения (на 3-4%). В одном случае отклонение достигло 35%. Таким образом, доказана возможность использования полученных уравнений для прогноза массы тела самцов, яйценозных самок, самок без яиц и молоди *G. fasciatus* по их длине.

4.1.8. Сравнительный анализ популяционных показателей *G. fasciatus* на разных типах биотопов Петрозаводской губы Онежского озера

Мониторинговая станция П2 (каменистый, прибойный биотоп, сумма градусо-дней - 2269). Средняя численность на станции составила 7000 экз./м², средняя биомасса - 4,0 г/м². Динамика этих показателей, половая и возрастная структура в целом совпадали с таковыми на станции П1. В отличие от станции П1 на мониторинговой станции П2 первая немногочисленная молодь (с длиной тела менее 1,5 мм) зарегистрирована уже в конце мая.

Для оценки роли биотопов сравнивали станции наблюдения П1 и П2. Поскольку показатели численности, биомассы, размеров тела и плодовитости распределялись по закону, отличному от нормального, для оценки достоверности их различий на разных биотопах рассчитывали медианы и их ошибки (Таблица 4). Размеры тела самцов ($L_{\text{самцы}}$, мм) были достоверно ниже на станции наблюдения П2, однако различия между медианными значениями составляли всего 2-5%. Размеры тела самок ($L_{\text{самки}}$, мм) на сравниваемых биотопах достоверно не различались. Поскольку различия между размерами тела и их плодовитостью на двух биотопах отсутствовали или были незначительными, следовательно, кормовой фактор не лимитирует развитие рачков в изучаемых условиях (Гиляров, 1987).

Таблица 4. Численность, биомасса, длина тела самцов, самок и плодовитость на трех станциях Петрозаводской губы Онежского озера

Станции	Показатели	Me	m	Me-tm	Me+tm	min	max	n
П1	N, экз./м ²	2998	467	2064	3933	522	13459	-
	B, мг/м ²	5064	1267	2530	7597	404	38676	-
	L _{самцы} , мм	6,4	0,1	6,2	6,5	3,1	11,5	411
	L _{самки} , мм	4,9	0,1	4,7	5,1	3,1	9,5	577
	E, яиц/самку	8	0,3	7	9	3	24	420
П2	N, экз./м ²	1651	316	1018	2284	354	14992	-
	B, мг/м ²	2304	341	1621	2986	61	22269	-
	L _{самцы} , мм	5,9	0,3	5,3	6,5	3,1	11,2	99
	L _{самки} , мм	4,9	0,1	4,6	5,2	3,1	9,5	277
	E, яиц/самку	9	0,6	8	10	4	23	142
П3	N, экз./м ²	480	166	149	811	34	3032	-
	B, мг/м ²	903	227	449	1357	59	2535	-
	L _{самцы} , мм	6,0	0,2	5,7	6,4	3,1	10,9	124
	L _{самки} , мм	4,7	0,1	4,5	4,9	3,1	9,2	157
	E, яиц/самку	9	0,3	7	9	4	26	105

Примечание: N – численность экз./м²; B – биомасса, мг/м²; L – длина тела мм; E – плодовитость, яиц/самку; Me – медиана; m – ошибка медианы; Me-tm, Me+tm – нижний и верхний пределы варьирования медианы; n – число измерений.

Распределения логарифмированных значений численности амфиподы *G. fasciatus* на трех станциях представлено на рисунке 5. Распределения численности на станциях П1 и П2 достоверно не различались ($\chi^2=10,4$). Однако, медианы численности и биомассы на станции П1 (песчано-каменистый затишной биотоп с зарослями макрофитов) были достоверно (в 2 раза) выше, чем на станции П2 (каменистый прибойный биотоп), что связано с возможностью агрегирования рачков в затишных условиях. Скопление рачков в затишных условиях и определило максимальные показатели численности и биомассы на станции П1 в Онежском озере. Подобное явление концентрирования рачков в затишных местах отмечалось М.И. Бекман (1962) в оз. Байкал.

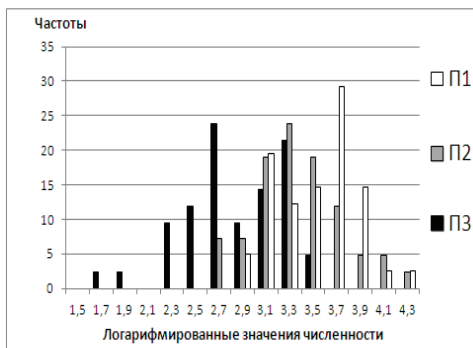


Рисунок 5. Распределения логарифмированных значений численности на трех станциях Петрозаводской губы

Мониторинговая станция П3 (каменистый, прибойный биотоп, подвергающейся воздействию ливневых стоков, количество градусо-дней - 2281). Роль антропогенного фактора изучали в Петрозаводской губе на станции наблюдения П3, в сравнении с результатами наблюдений на условно фоновой станции П2. Станции П2 и П3 характеризуются одинаковым типом биотопа и близким значе-

нием градусо-дней. Средняя численность на станции ПЗ составила 796 экз./м², при средней биомассе - 1,1 г/м².

На станции ПЗ медианные значения численности и биомассы были минимальными и составили 480 экз./м² и 903 мг/м², соответственно (См. Таблица 4). Они были достоверно (в 2-3 раза) ниже, чем на фоновой станции П2. Распределение логарифмированных значений численности амфиподы *G. fasciatus* на станции ПЗ также достоверно отличалось от распределения этих показателей на станции П2 ($\chi^2=28,9$). Уменьшение численности и биомассы на станции П1 связано с отпугивающим действием на рачков ливневых стоков, токсичность которых была доказана в экспериментах (См. Глава 5).

4.2. Кумса-губа Повенецкого залива

4.2.1. Характеристика мониторинговых станций Кумса-губы

В Кумса-губе Повенецкого залива Онежского озера расположены три станции (К1, К2, и К3), на которых проводились наблюдения в 2011 г. Именно здесь проходит северная граница ареала *G. fasciatus* (63° с.ш.) в северо-западной части России (Кухарев и др., 2008).

Мониторинговая станция К1 (илистый биотоп открытого типа с зарослями макрофитов, количество градусо-дней - 2392). Средняя численность *G. fasciatus* на станции К1 составила 2970 экз./м², при средней биомассе 5,6 г/м². В сезонной динамике популяционных показателей Кумса-губы отмечено два пика численности в июле и августе и генерации прошлого и текущего года, как и на станциях наблюдения Петрозаводской губы. Таким образом, в условиях 63° с.ш. температура воды не лимитирует развитие амфиподы *G. fasciatus*.

Размерно-возрастная структура популяции *G. fasciatus* подобна таковой в Петрозаводской губе. В половой структуре преобладало соотношение между самками и самцами 1:1 (в 10 случаях отбора проб). На мониторинговой станции К1 процесс размножения продолжается в те же сроки, что в Петрозаводской губе. Плодовитость самок *G. fasciatus* на станции К1 варьировала от 4 до 22 яиц/самку. В течение сезона средний размер самок снижается, что обусловлено постепенным замещением генерации прошлого года самками последующего года.

Длину тела самок *G. fasciatus* и количество их яиц связывает степенное уравнение:

$E=(0,397\pm 0,147)L^{(1,909\pm 0,215)}$, где E - плодовитость, яиц/самку, L - длина тела самок, мм. R=0,64, при n=109, уравнение и коэффициенты достоверны.

Согласно алгоритму, описанному выше, была произведена проверка достоверности прогноза плодовитости по длине тела самок. Оказалось, что средняя расчетная плодовитость входит в доверительные интервалы фактических показателей плодовитости самок. Исключение составляет наименьший размерный класс самок (3-4 мм), где прогнозируемая плодовитость (4 яйца) на одно яйцо ниже, чем нижняя граница полученных данных (5 яиц). В целом, рассчитанное уравнение хорошо прогнозирует величину плодовитости для разных размерных классов самок на станции К1.

На основе измерений длины (L , мм) и сырой массы (W , мг) тела особей *G. fasciatus* из Кумса-губы Повенецкого залива (мониторинговая станция К1) рассчитаны уравнения их степенной зависимости.

Самцы: $W=(0,089\pm 0,034)L^{(2,198\pm 0,220)}$ $R=0,83$, при $n=134$.

Яйценосные самки: $W=(0,055\pm 0,028)L^{(2,643\pm 0,344)}$ $R=0,89$, при $n=165$.

Самки без яиц: $W=(0,049\pm 0,011)L^{(2,617\pm 0,134)}$ $R=0,95$, при $n=165$.

Молодь: $W=(0,065\pm 0,006)L^{(2,274\pm 0,101)}$ $R=0,81$, при $n=388$; Все уравнения и коэффициенты достоверны.

Была выполнена проверка точности прогноза массы рачков по длине тела на основе полученных уравнений. Оказалось, что расчетные средние массы тела самцов и яйценосных самок практически для всех возрастных классов находятся в пределах доверительных интервалов реальных величин. Исключение составляли размерные классы самцов и самок с яйцами 4,1-5 мм, а также молоди (размеры 1-2 мм), где расчетные параметры отличались от границ доверительного интервала на 14%, 7% и 25%, соответственно. Уравнение для самок без яиц точно предсказывает величину массы тела *G. fasciatus*.

Таким образом, доказана возможность использования полученных уравнений для прогноза массы тела самцов, самок без яиц, яйценосных самок и молоди *G. fasciatus* по их длине. Редкие случаи отклонения прогнозных значений от реальных материалов составляли 7-25 %.

4.2.2. Сравнительный анализ популяционных показателей *Gmelinoides fasciatus* в разных биотопах Кумса-губы Повенецкого залива Онежского озера

Мониторинговая станция К2 (затишной илистый биотоп с зарослями макрофитов, количество градусо-дней - 2626). На мониторинговой станции К2 отмечено максимальное количество градусо-дней, что связано не только с затишными условиями местообитания, но и морфометрическими показателями залива (узкая форма и высокая степень прогревания воды в литоральной зоне). В этом биотопе средняя численность *G. fasciatus* составила 2236 экз./м², при, средней биомассе - 3,5 г/м². Сезонная динамика популяционных показателей на станции К2 близка к динамике таковых на станциях Петрозаводской губы и К1. Однако в июле и августе отмечено достоверное доминирование самок (65-85%) над самцами (формирование «гаремов»). С конца мая по июнь и в сентябре-октябре их соотношение достоверно не отличалось от 1:1.

Для выявления роли биотопа в Кумса-губе сравнивали две станции К1 и К2. Они представлены одинаковыми типом биотопа (илистым с зарослями макрофитов) и близкими значениями количества градусо-дней. Однако станции имели различия по степени открытости (К1 - открытая для прибой, К2 - затишная).

Медианные значения численности (N , экз./м²) и биомассы (B , мг/м²) в 2 раза выше на затишной станции К2, эти различия достоверны (Таблица 5). Распределения логарифмированных значений численности *G. fasciatus* на двух станциях К1 и К2 также различались достоверно ($\chi^2=21,1$) (Рисунок 6). В то же время достоверных различий между длиной тела самцов ($L_{\text{самцы}}$, мм) и плодовитостью

(Е, яиц/самку) на двух станциях не было обнаружено. Отмечено достоверное уменьшение длины тела самок ($L_{\text{самки}}$, мм) на станции К1, однако различия между медианными значениями длины на станциях и границами доверительных интервалов составили всего 6-15%. Отсутствие различий между размерами самцов, плодовитостью самок, а также незначительное различие в размерах самок позволяет утверждать, что на станциях К1 и К2 кормовые условия не лимитируют развитие популяции рачка. Большие численность и биомасса на станции К2 обусловлены ее затишными условиями.

Для оценки влияния антропогенного фактора сравнивали станции К3 и К1.

Мониторинговая станция К3 (илистый биотоп с зарослями макрофитов, поступление хозяйственно-бытовых сточных вод пос. Пиндуши, количество градусо-дней - 2440). Средняя численность амфиподы *G. fasciatus* на станции наблюдения К3 составила 1202 экз./м², средняя биомасса - 1,9 г/м². Размерно-возрастная структура близка в сезонном аспекте к двум другим станциям Кумса-губы и трем станциям в Петрозаводской губе. Половая структура представлена соотношением самок и самцов, достоверно не отличающимся от соотношения 1:1. Медианные значения биомассы и численности *G. fasciatus* на литорали, подверженной антропогенному влиянию (К3), оказались достоверно ниже показателей на фоновой станции К1 (См. Таблица 5). Распределения логарифмированных значений численности на этих станциях также различались достоверно ($\chi^2=34,0$) (См. Рисунок 6).

Таблица 5. Численность, биомасса, длина тела самцов и самок на трех биотопах Кумса-губы Повенецкого залива Онежского озера

Станции		Me	m	Me-tm	Me+tm	min	max	n
К1	N, экз./м ²	1819	204	1410	2228	842	6468	-
	B, мг/м	3089	465	2159	4020	465	7580	-
	$L_{\text{самцы}}$, мм	6,2	0,2	5,8	6,61	3,1	11,5	93
	$L_{\text{самки}}$, мм	4,6	0,1	4,4	4,8	3,1	10	157
	Е, яиц/самку	8	0,6	7	9	4	19	88
К2	N, экз./м ²	2864	268	2328	3399	859	4717	-
	B, мг/м	5285	565	4155	6416	1196	14015	-
	$L_{\text{самцы}}$, мм	6,3	0,2	5,9	6,7	3,1	15	136
	$L_{\text{самки}}$, мм	5	0,1	4,9	5,1	3,1	11	172
	Е, яиц/самку	8	0,3	7	9	3	22	110
К3	N, экз./м ²	1044	136	772	1317	320	3234	-
	B, мг/м	1620	238	1145	2096	403	4151	-
	$L_{\text{самцы}}$, мм	5,5	0,1	5,2	5,8	3,1	11,7	153
	$L_{\text{самки}}$, мм	4,9	0,1	4,7	5,1	3,1	9,3	148
	Е, яиц/самку	8	0,9	6,3	9,7	4	19	81

Примечание: N – численность экз./м²; B – биомасса, мг/м; L – длина тела мм; E – плодовитость, яиц/самку; Me – медиана; m – ошибка медианы; Me-tm, Me+tm – нижний и верхний пределы варьирования медианы; n – число измерений.

Отмечено достоверное уменьшение размеров тела самцов на станции К3. Тем не менее, различия между медианными значениями длины на станциях и границами доверительных интервалов составили всего 7-8%. Достоверных



Рисунок 6. Распределения логарифмированных значений численности на трех станциях Кумса-губы Повенецкого залива

численности *G. fasciatus* на станции К3, видимо, связано с последствиями загрязнения залива токсическими веществами канифольно-экстракционного завода поселка Пиндуши в 1970-2000-ые годы.

4.3. Выявление общих закономерностей функционирования микропопуляций в разных биотопах

Сравнить процессы роста, формирования и закладки яиц рачков в двух заливах возможно при расчете единых уравнений и последующей проверке их пригодности для прогноза массы тела самцов, самок и молоди, а также плодовитости самок по их размерам в шести различных биотопах.

4.3.1. Размерно-весовые характеристики *G. fasciatus* на мониторинговых станциях Петрозаводской губы и Кумса-губы Повенецкого залива Онежского озера

На основе данных по шести мониторинговым станциям Онежского озера были рассчитаны уравнения, связывающие показатели длины и массы тела *G. fasciatus* для самцов, самок без яиц, яйценосных самок и молоди:

Для самцов: $W=(0,155\pm 0,012)L^{(1,942\pm 0,037)}$; $R=0,89$, при $n=1002$.

Для яйценосных самок: $W=(0,099\pm 0,011)L^{(2,270\pm 0,066)}$; $R=0,76$, при $n=829$.

Для самок без яиц: $W=(0,064\pm 0,006)L^{(2,429\pm 0,054)}$; $R=0,90$, при $n=502$.

Для молоди: $W=(0,069\pm 0,002)L^{(2,430\pm 0,037)}$; $R=0,83$, при $n=3487$, где W - сырая масса, мг; L - длина тела в мм, n - число измерений, R - коэффициент корреляции. Все уравнения и коэффициенты достоверны.

Полученные уравнения дают точный прогноз для определения массы тела рачков *G. fasciatus*, относящихся к разным размерным классам, в шести изученных биотопах. Это указывает на сходные процессы соматического роста рачков в двух заливах Онежского озера.

4.3.2. Зависимость плодовитости от длины тела самок *G. fasciatus* на мониторинговых станциях Петрозаводской губы и Кумса-губы Повенецкого залива Онежского озера.

На шести мониторинговых станциях Онежского озера были рассчитаны зависимости плодовитости от длины тела самок. Показано, что все

различий по длине тела самок и их плодовитости на двух биотопах не зарегистрировано.

Таким образом, минимальные показатели численности и биомассы в Кумса-губе были зарегистрированы на станции К3, испытывающей антропогенное воздействие. В экспериментах на *G. fasciatus* и *Ceriodaphnia affinis* токсического действия хозяйственно-бытовых стоков, поступающих в залив в настоящее время, не было обнаружено. Снижение

уравнения достоверны, дают точный прогноз и возможность объединения выборок для получения единого уравнения для Онежского озера (Таблица 6). Применимость единого уравнения для расчета плодовитости по длине тела самок, отобранных из разных биотопов, указывает на сходные закономерности генеративного роста *G. fasciatus* в различных условиях литорали Онежского озера.

Таблица 6. Зависимость плодовитости и длины тела самок *G. fasciatus* в Онежском озере

Станция	Уравнение	R	n
П1	$E=(0,684 \pm 0,136)L^{(1,608 \pm 0,117)}$	0,57	420
П2	$E=(0,308 \pm 0,121)L^{(2,103 \pm 0,227)}$	0,66	142
П3	$E=(1,226 \pm 0,382)L^{(1,282 \pm 0,180)}$	0,55	105
К1	$E=(0,397 \pm 0,147)L^{(1,909 \pm 0,215)}$	0,64	109
К2	$E=(0,548 \pm 0,253)L^{(1,088 \pm 0,270)}$	0,55	88
К3	$E=(1,550 \pm 0,266)L^{(1,782 \pm 0,293)}$	0,62	78
Онежское озеро	$E=(0,396 \pm 0,089)L^{(1,965 \pm 0,131)}$	0,58	942

4.3.3. Продукционные характеристики

Продукционные показатели являются функциональными характеристиками вида и служат для оценки его роли в экосистеме. Наименьшая продукция в исследуемый период зафиксирована на станции П3 и составила 1,84 ккал/м². На этой же станции отношение продукции к средней биомассе за изучаемый период (Р/В коэффициент) составило 1,63. Максимальной величиной продукции характеризуется станция наблюдения П1 - 12,07 ккал/м², Р/В коэффициент составил 1,58 (Таблица 7).

Таблица 7. Продукция (Р, ккал/м²) и суточная интенсивность потока энергии (А, ккал/(г*сут)) через популяцию *G. fasciatus* за вегетационный сезон

Мониторинговая станция	Продукция (Р), ккал/м ²	Р/В	А, ккал/(г*сут)
П1	12,07	1,58	0,161
П2	8,11	2,06	0,087
П3	1,84	1,63	0,027
К1	7,09	2,05	0,076
К2	8,86	1,57	0,121
К3	3,34	1,78	0,042

При изучении биологической продуктивности водоемов важным критерием оценки переноса энергии с одного трофического уровня на другой и эффективности ее использования является величина потока энергии через популяции животных. Поток энергии может рассматриваться как одно из основных свойств популяции (Алимов, 1981). Рассчитана величина потока энергии по уравнению $A=3,12B^{0,94}$ (Алимов, 1977). Величина интенсивности потока энергии на мониторинговых станциях варьировала в пределах 0,027-0,161 ккал/(г*сут) за изучаемый период.

4.3.4. Роль *G. fasciatus* в питании младших возрастных групп окуня на литорали Кумса-губы Повенецкого залива Онежского озера

Результаты исследования показали, что по частоте встречаемости в желудках доминировал *G. fasciatus*. Амфипода была обнаружена во всех ис-

G. fasciatus к ливневым стокам по сравнению со стандартным тест-объектом *C. affinis* позволяет рекомендовать *G. fasciatus* в качестве регионального тест-объекта для оценки токсичности ливневых стоков.

Таблица 8. Выживаемость (%) *Gmelinoides fasciatus* и *Ceriodaphnia affinis* в ливневых стоках в 2010 году, экспозиция 7 суток

Вид		<i>Gmelinoides fasciatus</i>			<i>Ceriodaphnia affinis</i>		
Точки отбора	Разбавление	6 июля	13 июля	21 июля	6 июля	13 июля	21 июля
А	К	100	100	100	100	100	100
	н/р	14*	57*	71	100	86	71
	2х	71	86	86	100	100	71
	5х	86	86	86	86	86	86
	10х	100	100	100	100	100	86
В	К	100	100	100	100	100	100
	н/р	0*	86	100	29*	71	100
	2х	0*	100	86	43*	86	86
	5х	14*	100	100	86	100	100
С	10х	29*	86	100	86	86	100
	К	100	100	100	100	100	100
	н/р	29*	57*	86	86	86	100
	2х	71	71	86	71	100	100
	5х	43*	86	86	86	100	100
D	10х	71	86	86	100	86	100
	К	100	100	100	100	100	100
	н/р	86	71	100	86	100	100
	2х	71	71	86	100	100	100
	5х	100	86	100	100	100	100
10х	86	100	86	100	86	100	

Примечание. К – контроль; н/р – неразбавленная тестируемая вода; 2х – двукратное разведение; 5х – пятикратное разведение; 10х – десятикратное разведение.*– отличия от контроля достоверны ($p < 0,05$).

ВЫВОДЫ

1. Успешная натурализация *G. fasciatus* в новых условиях на северной границе ареала (Петрозаводская губа и Повенецкий залив Онежского озера) объясняется достаточным количеством градусо-дней (2269-2626 за период конец мая - начало октября), которые определяют одногодичный жизненный цикл с генерациями предыдущего года и текущего года.

2. В течение летнего сезона по численности и биомассе чужеродный вид *G. fasciatus* занимает доминирующее положение в литоральной зоне Петрозаводской губы. На литорали Кумса-губы Повенецкого залива Онежского озера амфипода *G. fasciatus* является массовым видом по численности.

3. Кормовые условия не являются лимитирующим фактором для развития популяции *G. fasciatus* на трех типах биотопов – песчано-каменистом с зарослями макрофитов, каменистом, илистом с зарослями макрофитов, различных по степени открытости для прибой. Максимальные показатели численности и биомассы были приурочены к затишным условиям, определяющим возможность *G. fasciatus* образовывать скопления.

4. Половая структура популяции *G. fasciatus* характеризуется стабильностью на всех типах биотопов литорали Онежского озера. За период с конца мая по начало октября в двух заливах преобладающим соотношением полов было 1:1.

5. Рассчитаны уравнения, позволяющие по длине тела прогнозировать массу тела самцов и молоди, а также массу и плодовитость самок, что указывает на сходные закономерности соматического и генеративного роста *G. fasciatus* в различных типах биотопов литорали Онежского озера.

6. Значение продукции популяции вселенца *G. fasciatus* на разных мониторинговых станциях в Петрозаводской губе и Повенецком заливе Онежского озера варьировало от 1,84 до 12,07 ккал/м². Отношение продукции к средней биомассе (P/B коэффициент) изменялось в диапазоне 1,57 - 2,06.

7. Байкальская амфипода *G. fasciatus* активно потребляется окунем младших возрастных групп на литорали Кумса-губы Повенецкого залива Онежского озера, достигая по биомассе 1/3 пищевого комка.

8. Минимальные показатели численности и биомассы *G. fasciatus* были обнаружены в районе побережья г. Петрозаводска, подверженного действию ливневых стоков с высоким содержанием нефтепродуктов.

9. В токсикологических экспериментах установлена более высокая чувствительность *G. fasciatus* к ливневым стокам по сравнению со стандартным тест-объектом *C. affinis*, что позволяет рекомендовать *G. fasciatus* в качестве регионального тест-объекта для оценки токсичности ливневых стоков.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

В изданиях рекомендованных ВАК:

1. Сидорова А. И., Калинин Н. М., Дыдик И. В. Реакция байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* Stebbing на действие ливневых стоков города Петрозаводска // Труды Карельского научного центра РАН. - 2012. - № 2. - С. 125-130.

2. Сидорова А.И. Использование показателей макрозообентоса при оценке качества городской среды (на примере г. Петрозаводска, Карелия) // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. - 2013. - №28. - С. 104-109.

В других изданиях:

3. Калинин Н.М., Березина Н.А., Сидорова А.И. Биотестирование токсичности донных отложений крупных водоемов Северо-запада России с использованием ракообразных // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. Материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием. 2-5 октября 2012 г. Часть 1. - 2012. - С. 190-194.

4. Калинин Н.М., Сидорова А.И., Полякова Т.Н. Динамика популяционных показателей инвазионного вида *Gmelinoides fasciatus* в Петрозаводской губе Онежского озера // Современные проблемы гидроэкологии. Тез. докл. 4-й Международной научной конференции, посвящённой памяти профессора Г.Г. Винберга 11-15 октября 2010 г. Россия, СПб. - 2010. - С.76.

5. Сидорова А.И. Использование показателей макрозообентоса при оценке качества городской среды (на примере г. Петрозаводска, Карелия) // Экологические и

гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон, Экогидромет. Материалы VI международной конф. 2-4 июля 2012 - СПб. - 2012. - С. 44-45.

6. Сидорова А.И. К биологии байкальского вселенца *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing) в экосистеме Онежского озера // Экологические проблемы пресноводных рыбохозяйственных водоемов России. Всероссийская научная конференция с международным участием, посвященная 80-летию Татарского отделения ФГБНУ «ГосНИОРХ». СПб. - 2011. - С. 321-325.

7. Сидорова А.И. Состояние популяции инвазионного вида *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing) в Петрозаводской губе Онежского озера // Водная среда и природно-территориальные комплексы: исследование, использование, охрана. Материалы IV Школы-конференции молодых ученых с международным участием (26-28 августа 2011 г.). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. - 2011. - С.117-120.

8. Сидорова А.И., Калинкина Н.М. Сезонная динамика структурных показателей популяции байкальского вселенца *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing) в Онежском озере // Проблемы современной биологии: Материалы IV Международной научно-практической конференции (20.04.2012). - 2012. - С.114-121.

9. Сидорова А.И., Калинкина Н.М., Дыдик И.В. Оценка состояния популяции амфиоды *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing) на литоральной зоне Онежского озера (район г. Петрозаводска) // II Всероссийская молодежная научная конференция «Естественнонаучные основы теории и методов защиты окружающей среды» (23-24 апреля 2012 г.): тез. докл. - 2012. - С. 40-41.

Подписано в печать 19.04.13. Формат 60x84¹/₁₆.

Уч.-изд. л. 1,4. Усл.-печ. л.1,6.

Тираж 100. Изд. № 370. Заказ 127

Карельский научный центр РАН
Редакционно-издательский отдел
185003, Петрозаводск, пр. А. Невского, 50