

На правах рукописи



ЧАЛИЕНКО
Мария Олеговна

РАЗМЕРНЫЙ СОСТАВ ПОСЕЛЕНИЙ И РОСТ
СЕРОГО МОРСКОГО ЕЖА (*STRONGYLOCENTROTUS INTERMEDIUS*)
У БЕРЕГОВ ПРИМОРЬЯ

03.02.10 – гидробиология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2021 г.

Работа выполнена в Тихоокеанском филиале Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («ТИНРО»), г. Владивосток

Научный руководитель: **Борисовец Евгений Эммануилович**
кандидат биологических наук, заведующий лабораторией промысловых беспозвоночных и водорослей Тихоокеанского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»)

Официальные оппоненты: **Максимович Николай Владимирович**
доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой ихтиологии и гидробиологии биологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета

Ежова Ольга Владимировна
кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии беспозвоночных биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова Российской академии наук, г. Москва

Защита состоится 27 мая 2021 г. в 13³⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 307.004.04 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ «ВНИРО») по адресу: г. Москва, ул. Верхняя Красносельская, д. 17.

Телефон: 8-499-264-90-90, электронный адрес kzh@vniro.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБНУ «ВНИРО»: http://www.vniro.ru/files/disser/2021/chalienko_disser.pdf

Автореферат разослан «___» _____ 2021 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат биологических наук



Жукова
Кристина Алексеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Серый морской ёж *Strongylocentrotus intermedius* (А. Agassiz, 1863) – ценный промысловый объект. У берегов Приморского края этот вид распространен повсеместно, при этом для его скоплений характерна значительная пространственная неоднородность размерного состава. Отмечено, что на некоторых акваториях постоянно преобладают ежи промысловых размеров, а на других – в основном мелкоразмерные особи (Борисовец и др., 2000; Викторовская, Седова, 2000), представленные либо молодью, либо взрослыми тугорослыми ежами. Несмотря на длительный период промысла *S. intermedius* (более 30 лет), размерный состав его поселений и особенности роста в районе от мыса Поворотный до мыса Золотой изучены не достаточно полно.

Большой интерес представляют исследования индивидуального роста гидробионтов методами ретроспективной оценки по регистрирующим структурам. У морских ежей годовые кольца четко прослеживаются на пластинках панцирей. Однако пластинки имеют ряд специфических особенностей, которые не позволяют применить существующие методы по аналогии, например с чешуей и отолитами рыб или приростами раковин моллюсков. Таким образом, разработка методики ретроспективной оценки роста правильных морских ежей по регистрирующим структурам представляет собой отдельную задачу.

Кроме того, актуальной темой исследования *S. intermedius* в прибрежье Приморья является определение возраста и размеров особей при наступлении половой зрелости. На основе этих параметров устанавливается минимальный промысловый размер ежей. Имеющиеся литературные данные по этому вопросу значительно различаются, что, вероятно, связано с локальными особенностями условий обитания вида.

Результаты исследований размерного состава скоплений и особенностей роста серых ежей, а также возраста и размеров особей при наступлении половой зрелости необходимы для применения дифференцированного подхода

к оценке состояния их скоплений. Это имеет большое практическое значение для рационального освоения ресурсов серого ежа.

Цель исследования: дифференцировать скопления *S. intermedius*, различающиеся по размерному составу, и выявить закономерности роста ежей в прибрежье Приморья.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. выделить акватории, различающиеся по размерному составу населяющих их ежей;
2. определить особенности размерного состава *S. intermedius* на каждом участке;
3. изучить групповой линейный рост в поселениях *S. intermedius*;
4. разработать методику оценки индивидуального линейного роста морских ежей по регистрирующим структурам;
5. выявить закономерности индивидуальной изменчивости роста;
6. определить возраст и размер *S. intermedius* при наступлении половой зрелости.

Научная новизна. Впервые на основе определения возраста серых морских ежей по регистрирующим структурам получены количественные характеристики их группового линейного роста в различных скоплениях северо-западного побережья Японского моря (севернее мыса Поворотный).

Материалы данной работы дают целостное представление о пространственной организации размерной структуры скоплений на всей акватории от мыса Поворотный до мыса Золотой, являющейся одним из основных районов промысла этого вида в Японском море.

Впервые разработана методика ретроспективной оценки роста серых морских ежей, выявлены особенности их индивидуального роста.

Установлено, что размеры и возраст *S. intermedius* при наступлении половой зрелости в различных поселениях прибрежья Приморья существенно различаются. Отмечена взаимосвязь между темпами роста и размерами при наступлении половозрелости серых ежей.

Теоретическая и практическая значимость. Полученные результаты исследования индивидуального роста, а также сроков и размеров полового созревания *S. intermedius* вносят существенный вклад в понимание закономерностей внутригрупповой изменчивости темпов роста животных.

Использование методики ретроспективной оценки роста *S. intermedius* позволяет прогнозировать изменение биологических характеристик с возрастом. Результаты исследования размерного состава скоплений и темпов роста серых ежей послужат основой для применения дифференцированного подхода к оценке и прогнозированию промыслового запаса этого вида. Результаты изучения возраста и размера наступления половозрелости *S. intermedius* подтверждают обоснованность существующей промысловой меры.

Положения, выносимые на защиту.

1. Серый морской ёж в прибрежье Приморья формирует ряд поселений, различающихся по размерному составу и темпам роста. В скоплениях, где постоянно преобладают особи непромыслового размера, их темпы роста снижены.

2. В пределах одного скопления среди одновозрастных ежей у наиболее крупных особей раньше происходит смена восходящей траектории прироста на нисходящую, что связано с достижением половой зрелости. В связи с более ранним началом снижения темпов роста такие особи достигают меньших предельных размеров.

3. Размеры достижения половозрелости *S. intermedius* тесно связаны с интенсивностью их роста. В поселениях с более высоким темпом роста значения этого показателя выше, чем с низким.

Личный вклад. Чалиенко М.О. принимала участие в сборе материала для определения размерного состава, возраста и состояния гонад морских ежей во время проведения научно-исследовательских рейсов в 2015–2019 гг. вдоль северо-западного побережья Японского моря. Автором лично проведены анализ, обработка биологических данных, обобщение, осмысление результатов и сопоставление их с имеющимися литературными сведениями.

Апробация работы. Основные положения работы были представлены на V научно-практической конференции молодых ученых «Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса» (Москва, 2017); на 21-й Международной Пущинской школе-конференции молодых ученых «Биология – наука XXI века» (Пущино, 2017); на III научной школе молодых ученых и специалистов по рыбному хозяйству и экологии, посвященной 140-летию со дня рождения К.М. Дерюгина (Москва, 2018); на VII научно-практической конференции молодых ученых и специалистов с международным участием «Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса» (Москва, 2019); на годовых отчетных сессиях Тихоокеанского филиала «ВНИРО» («ТИНРО») (2016, 2018, 2020).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, выводов, списка литературы, включающего 177 источников, из которых 49 иностранные. Работа изложена на 148 страницах, включает 60 рисунков и 19 таблиц.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 работ. Из них 3 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК.

Благодарности. Автор выражает огромную благодарность своему научному руководителю – к.б.н. Е.Э. Борисовцу. Глубоко признательна к.б.н. М.В. Калининой за обучение методикам сбора и обработки материала по определению состояния гонад морских ежей. Сердечно благодарна д.б.н. А.И. Буяновского, д.б.н., профессора Ю.С. Решетникова, д.б.н. М.В. Мину, д.б.н. Е.П. Дулепову, к.б.н. Л.Г. Седову, Д.А. Соколенко и Е.Н. Дробязина за их критические замечания и ценные рекомендации. Выражаю искреннюю признательность к.б.н. В.Н. Кулепанову и к.г.н. В.И. Матвееву, принимавшим участие в исследовании влияния факторов среды на рост *S. intermedius*, а также всем коллегам лаборатории промысловых беспозвоночных и водорослей за всестороннюю помощь и поддержку.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе приведены литературные сведения по биологии и экологии серых морских ежей. Рассмотрены данные отечественных и зарубежных авторов по срокам и размерам наступления половозрелости *S. intermedius*, особенностям размерной структуры скоплений. Проанализированы результаты исследований валидности метода определения возраста морских ежей по регистрирующим структурам. Рассмотрены геоморфологические, гидрологические и климатические особенности побережья от мыса Поворотный до мыса Золотой (материковое побережье северо-западной части Японского моря).

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

2.1. Материал. Материал для исследования размерного состава поселений *S. intermedius* собран в ходе водолазных съемок 1999–2019 гг. (20 лет) в летне-осенний период в районе от мыса Поворотный до мыса Золотой (северное Приморье). Всего была промерена 271 тыс. особей.

Исследования группового роста, а также размера и возраста ежей при наступлении половой зрелости проводили по материалам, собранным в 2015–2017 гг. в летне-осенний период водолажным способом на нескольких участках вдоль побережья северного Приморья (рис. 1, 2). Всего для определения темпов группового роста ежей было исследовано 1489 экз., для определения размера и возраста наступления половозрелости – 499 экз.

Для разработки методики ретроспективного анализа роста *S. intermedius* у мыса Южный собрано 200 экз. ежей, при этом отбирали по 40 особей каждого сантиметрового класса в диапазоне от 1 до 5 см.

В районах сбора проб ежей на возраст проведена оценка обилия и видового состава водной растительности, температурного режима водоемов и рельефа дна. Учет водной растительности проведен на основе материалов, полученных в 2004, 2005, 2007, 2015 и 2016 гг. В целом съемками был охвачен период с мая по сентябрь. Для определения температурного режима акваторий использованы

данные океанологических наблюдений 1975–2015 гг. океанографического массива «ТИНРО» и OCEAN DATA VIEW (Johnson et al., 2013).

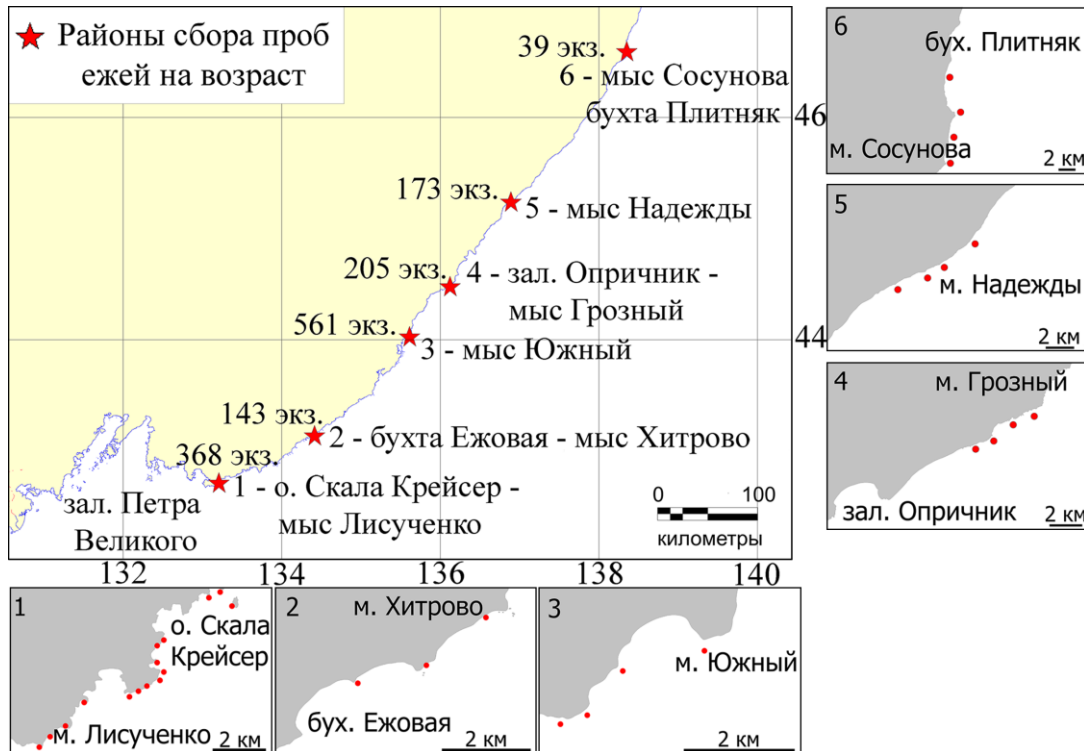


Рис. 1. Карта-схема районов сбора проб для определения темпов группового роста *S. intermedius*



Рис. 2. Карта-схема районов сбора проб для определения размера и возраста *S. intermedius* при наступлении половозрелости

2.2. Методики. Для определения размерного состава скоплений *S. intermedius* по всему побережью от мыса Поворотный до мыса Золотой выполнено 710 разрезов. На каждом разрезе сделана серия водолазных станций, как правило, на глубинах 3, 5, 10, 15 и 20 м. На станциях из трех случайным образом расположенных рамок площадью один квадратный метр отбирались все ежи. У собранных особей измеряли длину панциря с помощью штангенциркуля с точностью до 1 мм. Промысловыми считали ежей размером более 45 мм (Правила рыболовства..., 2019).

Возраст *S. intermedius* устанавливали путем подсчета концентрических полос роста на интерамбулакральных пластинках панцирей. Для этого пластинки обрабатывались по методу М. Йенсен (Jensen, 1969), затем их просматривали с помощью цифрового USB-микроскопа. Измерения зон роста на пластинках ежей проводили с помощью программного обеспечения для USB-микроскопов Micro Capture. Для описания группового роста *S. intermedius* было применено уравнение Берталанфи. Значения коэффициентов уравнения подбирали по алгоритму, описанному Н.В. Максимовичем (1989, 1990).

Для определения возраста и размера *S. intermedius* при наступлении половой зрелости общий биологический анализ проводили в основном у особей размером менее 45 мм: измеряли диаметр панциря (точность ± 1 мм), общую массу и массу гонад (точность $\pm 0,1$ г), рассчитывали гонадный индекс. Пол и стадию зрелости гонад определяли на прижизненных мазках под световым микроскопом по классификации Ю.С. Хотимченко с соавторами (1993). Особей дифференцировали на ювенильных и половозрелых по степени развития половых желез (Fuji, 1960; Найденко, Дзюба, 1982; Agatsuma, Momma, 1988). Размером и возрастом наступления половозрелости *S. intermedius* считали размер и возраст, при котором 50 % особей в скоплении становятся половозрелыми. Эти параметры рассчитывали с помощью уравнения Ферхюльста (Лакин, 1990).

Сбор материала по обилию и видовому составу водной растительности осуществляли водолажным способом в прибрежной зоне, от уреза воды до

глубины 5–10 м в соответствии с постоянной схемой водолазных разрезов (Барашков, 1965; Блинова и др., 2003). Сбор водорослей проводили с площади 0,25 м². Для оценки обилия макрофитов использовался индекс плотности поселений (IP) (Броцкая, Зенкевич, 1939), который рассчитывался по следующей формуле: $IP = \sqrt{BN}$, где В – биомасса, кг/м²; N – частота встречаемости макрофитов на станциях, %.

Тип грунта определялся водолазом визуально по классификации морских осадков (Арзамасцев, Преображенский, 1990). Для исследования температурного режима водоемов использованы станции до глубины 25–30 м. Проводился расчет средних многолетних месячных значений температуры для глубин 0,5; 10,0 и 20,0 м. Расчет суммы тепла осуществлялся по методике Г.И. Викторовской и В.И. Матвеева (2000).

ГЛАВА 3. РАЗМЕРНЫЙ СОСТАВ СКОПЛЕНИЙ *S. INTERMEDIUS* В ПРИБРЕЖЬЕ ОТ МЫСА ПОВОРОТНЫЙ ДО МЫСА ЗОЛОТОЙ

3.1. Выделение участков акватории, различающихся по размерному составу скоплений *S. intermedius*. Для выделения акваторий со сходным размерным составом (РС) серых морских ежей вся акватория от мыса Поворотный до мыса Золотой была разбита на 92 первичных участка (ПУ). По каждому ПУ за каждый год подсчитывали кумулятивные частоты встречаемости (в процентах) особей 7 размерных классов: 15–24 мм, 25–34, 35–44, 45–54, 55–64, 65–74 и 75 мм и более. Всего было исследовано 905 кумулят.

Для изучения данной выборки использован анализ главных компонент (ГК) (Андрукович, 1973; Афифи, Эйзен, 1982). Факторизации подвергали матрицу ковариаций. Оказалось, что две первые ГК учитывают свыше 95 % вариабельности изучаемых размерных структур. При этом первая ГК определяет положение моды на гистограмме, описывая ее смещение слева направо, а вторая – в некоторой степени описывает контраст между одно- и полимодальными гистограммами.

Далее для выделения акваторий, характеризующихся сходным размерным составом, вычислялись межкластерные расстояния между каждой парой ПУ как осредненное расстояние Евклида между всеми точками кластеров. Такая же процедура выполнялась и для каждого ПУ, чтобы оценить изменчивость РС в ряду лет. В результате этой процедуры получена симметричная матрица различий, где представлено попарное несходство в размерном составе между первичными участками, а на диагонали лежит оценка несходства РС внутри первичных участков. Надежный и испытанный временем прием анализа такой матрицы состоит в формировании порогового графа для выделения кластеров (Миркин, 1976, 1980). Для выбора величины порога анализировали матрицу межкластерных расстояний (осредненных Евклидовых) и отдельно ее диагональные элементы, которые описывают изменчивость РС внутри первичных участков. Этот подход позволил выделить 16 акваторий, обладающих сходством размерного состава в течение исследуемого периода (рис. 3).

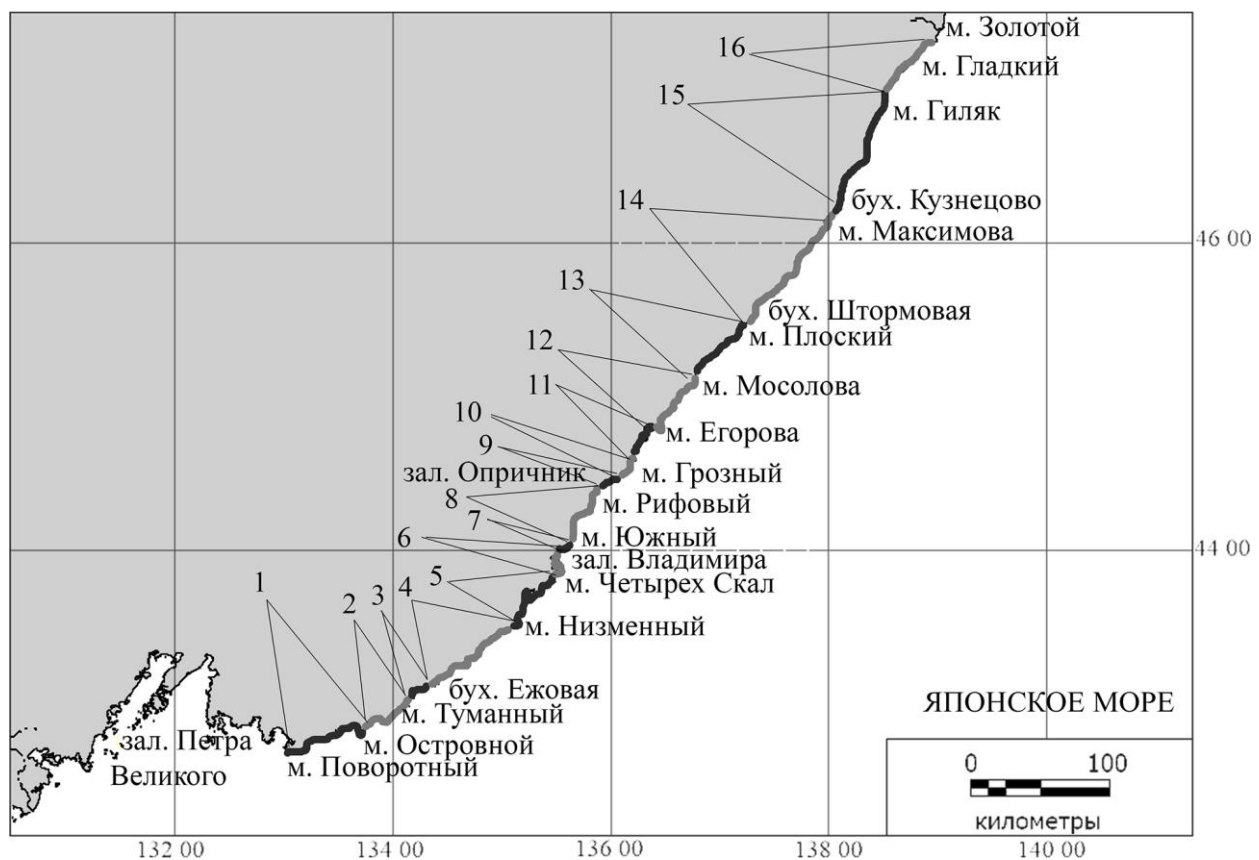


Рис. 3. Карта-схема распределения 16 выделенных акваторий, различающихся по размерному составу скоплений *S. intermedius*

3.2. Особенности размерного состава скоплений *S. intermedius*. Среди 16 акваторий, выделенных с помощью методики, описанной выше, отмечены 6 районов, где модальные группы в большинстве лет исследования смещены в правую часть графиков размерного состава – в область крупных промысловых ежей размером от 55 до 75 мм (от мыса Поворотный до мыса Островной (№ 1), от мыса Островной до мыса Туманный (№ 2), от мыса Четырех Скал до зал. Владимира (№ 6), от мыса Южный до мыса Рифовый (№ 8), от зал. Опричник до мыса Грозный (№ 10) и от мыса Егорова до мыса Мосолова (№ 12) (рис. 3)). Характерной особенностью этих участков является сравнительно низкая доля особей непромысловых размеров. По среднемноголетним данным она изменялась в пределах от 10,8 % в районе № 1 до 34,1 % в районе № 2. Крупные скопления ежей размером 15–25 мм на всех 6 акваториях встречались лишь в отдельные годы, и их доля варьировала от 1,5 % на участке № 1 до 6,6 % на участке № 10. Средние размеры животных здесь были крупнее, чем на других участках. По среднемноголетним данным они изменялись от 51,6 мм на участке № 2 до 60,7 мм на участке № 1. Общая протяженность районов, где модальные группы постоянно представлены крупными ежами, составила 304 км (34 % всего района исследования). Низкая доля непромысловых особей здесь может быть связана с ослабленным, нестабильным пополнением. Промысловая эксплуатация таких скоплений должна проводиться с особой осторожностью.

Кроме того, выделены 4 акватории, где положение модальных групп во все годы исследования приурочено к левой части полигонов размерного состава – области ежей размером 15–45 мм (от бухты Ежовая до мыса Низменный (№ 4), у мыса Южный (№ 7), от мыса Мосолова до мыса Плоский (№ 13) и от мыса Гладкий до мыса Золотой (№ 16)). Доля непромысловых особей здесь была гораздо выше, чем промысловых. Данные акватории характеризуются более стабильным размерным составом, чем рассмотренные ранее, что отчасти связано с меньшим размерным диапазоном ежей в этих скоплениях. Характерной особенностью выделенных участков является высокая доля

животных размером 15–25 мм, которая по среднемноголетним данным изменялась по районам от 15,2 до 56,7 %. Особи размером более 75 мм на всех четырех акваториях почти не встречались. Средние размеры *S. intermedius* были низкими и по среднемноголетним данным варьировали от 24,7 мм в районе № 16 до 37,2 мм в районе № 4. По результатам исследования роста *S. intermedius* в прибрежье северного Приморья, установлено, что меньшие в среднем размеры животных здесь, в сравнении с другими участками, связаны со снижением темпов роста ежей (Чалиенко, 2017а, б, 2018а; Чалиенко, Турчинская, 2017). Протяженность данных районов составила 188 км (21 % всего района).

На одном из 16 участков – от мыса Низменный до мыса Четырех Скал (№ 5) – протяженностью 67 км модальные группы в основном приходились на область средних размерных диапазонов 35–55 мм. По соотношению промысловых и непромысловых особей, а также доле самых мелких и самых крупных ежей данный участок занимает промежуточное положение между двумя предыдущими категориями районов.

На остальных акваториях положение модальных групп было нестабильно. Кривые размерного состава в этих районах часто были би- или полимодальными. Как правило, при модальных группах, приходящихся на особей непромысловых размеров, отмечались высокие второстепенные пики численности особей промысловых размеров и наоборот. Все это указывает на сравнительно стабильное пополнение данных скоплений молодью. Доля непромысловых ежей в этих районах была относительно высокой, по среднемноголетним данным она варьировала от 36,8 до 59,9 %. Общая протяженность таких участков составляет 273 км (30,5 % всего района).

ГЛАВА 4. ОСОБЕННОСТИ ГРУППОВОГО РОСТА

***S. INTERMEDIUS* У БЕРЕГОВ ПРИМОРЬЯ**

4.1. Групповой рост *S. intermedius*. Исследованы темпы группового роста *S. intermedius* на 6 участках, различающихся по размерному составу поселений. Пробы были собраны в трех районах, где размерный ряд был

представлен в основном мелкими непромысловыми ежами: бухта Ежовая – мыс Хитрово, у мысов Южный и Надежды; а также в трех районах, где обычно преобладали крупные особи промысловых размеров: зал. Опричник – мыс Грозный, о. Скала Крейсер – мыс Лисученко, мыс Сосунова – бухта Плитняк.

В результате проведенных исследований установлено, что наибольшие темпы роста характерны для *S. intermedius* на акватории от зал. Опричник до мыса Грозный (рис. 4), на которой 50 % ежей достигает промысловых размеров 45 мм в возрасте около 3,5+, а также в районе о. Скала Крейсер – мыс Лисученко, где промысловыми ежи становятся в основном в возрасте 4,5+. На акватории мыс Сосунова – бухта Плитняк ежи младше 5+ лет отсутствовали в пробах. На этом участке половина особей в скоплении предположительно становятся промысловыми в возрасте от 3,5+ до 4,0+. Наименьшие темпы роста *S. intermedius* отмечены для акваторий у мысов Южный и Надежды. Большинство особей в данных районах не достигают промысловых размеров.

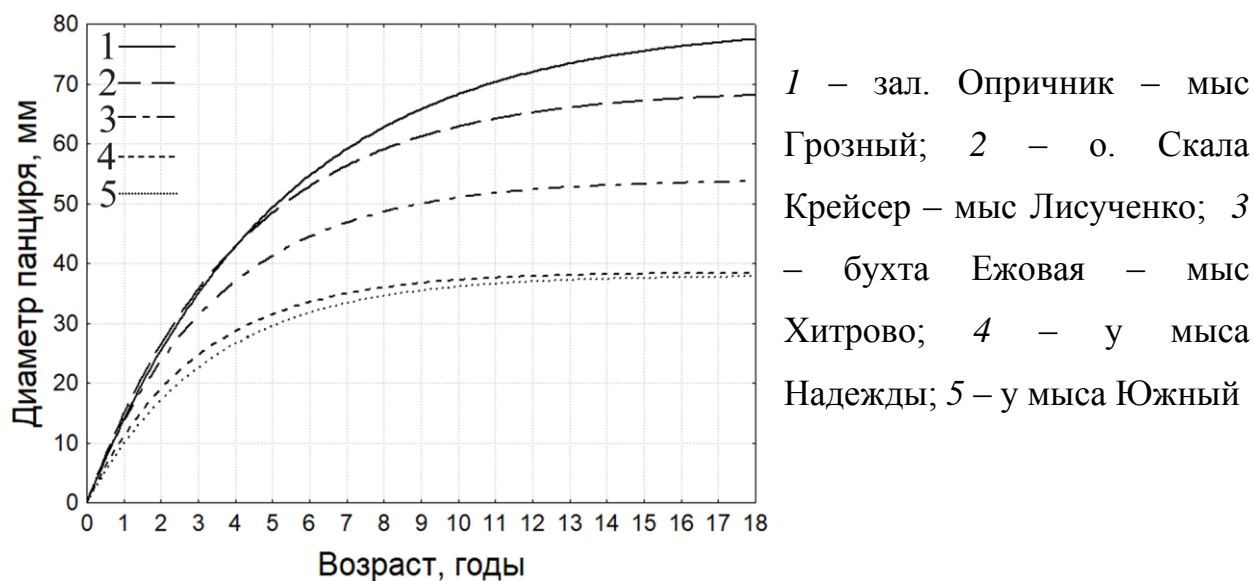


Рис. 4. Кривые группового роста *S. intermedius* в прибрежье Приморья

Промежуточное положение по ростовым характеристикам занимают ежи, собранные в районе бухта Ежовая – мыс Хитрово, где промысловыми половина особей в скоплении становится в возрасте 6+ (рис. 4). Таким образом, для поселений *S. intermedius* у берегов Приморья характерна пространственная

вариабельность в скорости роста, что определяет отмеченные ранее различия в их размерном составе.

4.2. Условия обитания *S. intermedius* в скоплениях с разными темпами роста. Акватории с высокими темпами роста животных (от мыса Сосунова до бухты Плитняк, от зал. Опричник до мыса Грозный и от мыса Лисученко до о. Скала Крейсер) характеризуются наибольшей плотностью и видовым разнообразием макрофитов (IP от 13,80 до 15,72). У мыса Южный, где темпы роста морских ежей самые низкие, растительность менее обильна (IP 7,01). На участках от бухты Ежовая до мыса Хитрово и у мыса Надежды показатели обилия водной растительности довольно высокие (IP соответственно 11,65 и 12,94), однако наблюдаемое здесь снижение интенсивности роста ежей, по нашему мнению, обусловлено дефицитом свободного жизненного пространства. В этих районах плотность *S. intermedius* гораздо выше, чем на других участках. Так, на акватории от бухты Ежовая до мыса Хитрово в местах сбора проб она достигает 55 экз./м² при средней 17,2 экз./м², а у мыса Надежды – 34 экз./м² при средней 20,8 экз./м². Кроме того, эти районы характеризуются узкой полосой твердых грунтов, пригодных для обитания серых ежей (до глубины 5–8 м).

На акваториях с высокими темпами роста *S. intermedius* грунты были представлены крупнообломочными материалами – глыбами, крупными и мелкими валунами, предоставляющими животным укрытия от стрессового воздействия прибоев. В районах же с низкими темпами роста ежей, они обитают на слабозащищенных участках дна, образованного плоской скалистой платформой, где в большей степени подвержены воздействию волн, что и способствует снижению темпов их роста.

Исследуемые участки различаются по степени прогрева, выхолаживания, а также средним значениям температуры воды в разные сезоны года, однако во всех районах температурные условия не выходят за рамки оптимальных значений для серого ежа. Скопления с высокими темпами роста наблюдались как в относительно теплых, так и в более холодных районах. Таким образом,

различия в темпах роста *S. intermedius* в нашем случае обусловлены не столько широтной изменчивостью температурного режима, сколько локальными условиями обитания, в которых наиболее важный фактор – обилие пищи.

ГЛАВА 5. РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ РОСТА

S. INTERMEDIUS

5.1. Особенности роста пластин панциря *S. intermedius* и некоторые аспекты методики определения возраста по зонам роста. Известно, что рост морского ежа происходит за счет не только увеличения пластин по периферии, но и добавления новых пластинок, которые появляются на краю апикальной



1 мм

Рис. 5.

Пластинки панциря *S. intermedius* в возрасте 1+

системы (Raup, 1968). Поскольку пластинки панциря добавляются на разных этапах жизненного цикла животных, на новых пластинках отсутствуют годовые кольца, характеризующие рост ежа в прошлые годы. Кроме того, по мере добавления новых пластинок скорость роста предыдущих снижается (Raup, 1968). Таким образом, вдоль одного ряда пластинок размеры светлых и темных зон роста и их соотношение значительно различаются (рис. 5). При вычислении размеров ежей в прошлые годы жизни по приростам какой-то одной пластинки мы получим результат, который будет отличаться от расчетов, полученных по любой другой пластинке, при этом ни один из них не будет отражать действительные изменения размеров особи в процессе роста.

Некоторые авторы считают, что наиболее подходящими для определения возраста морских ежей являются первые 7 пластинок от ротового отверстия (Jensen, 1969; Брыков, 1975), так как они закладываются до первой задержки в росте. В настоящей работе установлено, что у *S.*

intermedius, обитающих у мыса Южный, до первой задержки роста количество пластинок варьирует от 3 до 10 шт. при среднем $6,0 \pm 0,14$ шт. и коэффициенте вариации 23,88 %. У большинства ежей в возрасте 0+ отмечено 5 (27 %), 6 (21 %) и 7 (22 %) пластинок. Из этого следует, что при определении возраста *S. intermedius* для выявления первых зон роста лучше начинать их подсчет с самых старых пластинок, как минимум с 3-й от ротового отверстия. При подсчете зон роста у старых медленно растущих особей необходимо учитывать, что по мере увеличения панциря ежа скорость роста самых первых пластинок значительно снижается и крайние приросты на них могут быть не различимы. У таких особей для подсчета крайних зон необходимо проследить их образование на пластинках, появившихся позже.

5.2. Методика ретроспективной оценки роста *S. intermedius*.

Предложено два метода ретроспективной оценки роста *S. intermedius*, в которых для восстановления размеров ежей по приростам пластинок измерение каждого годового кольца должно проводиться на той пластинке панциря, на которой оно имеет наибольшую длину в латеральном направлении.

Метод 1. Как известно, измерение размера морских ежей происходит по амбитусу – наиболее расширенной в горизонтальном сечении части панциря. Пластинки, расположенные в зоне амбитуса, самые длинные в латеральном направлении. Сумма длин этих пластинок, как амбулакральных, так и интерамбулакральных, образует периметр панциря ежа. Полагая, что в проекции контур панциря может быть приближен к окружности и что пятилучевая симметрия распространяется на размеры рядов пластин, зная периметр особи, легко вычислить ее диаметр. Таким образом, для определения размеров *S. intermedius* на каждом году жизни необходимо знать длину амбулакальной и интерамбулакальной пластинок, расположенных в зоне амбитуса, в соответствующем возрасте.

Так как пластинки на амбитусе самые длинные в латеральном направлении, каждое годовое кольцо будет также иметь наибольшую длину на пластинке, которая была расположена на амбитусе в прошлые годы жизни животного. В

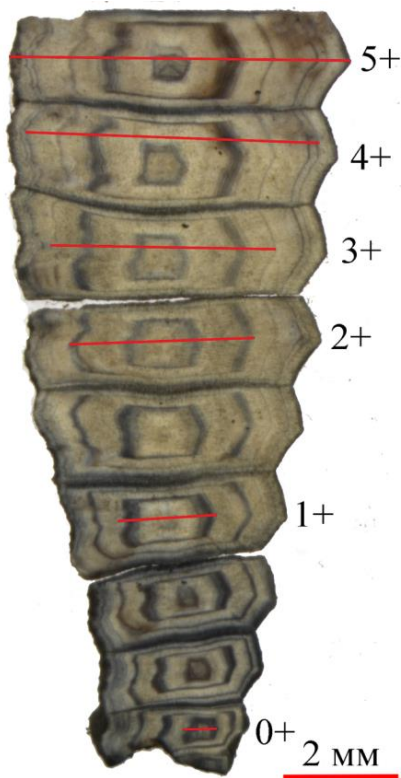


Рис. 6. Пластинки интерамбулакralьного ряда панциря от амбитуса до ротового отверстия

связи с этим измерение каждого годового кольца проводится на той пластинке, на которой оно имеет наибольшую длину в латеральном направлении. Например, у ежа с диаметром панциря 33 мм в возрасте 5+ на амбитусе расположена 9-я от ротового отверстия интерамбулакральная пластинка, а в возрасте 1+ амбитусной была 4-я пластинка, так как на ней соответствующая первому году жизни зона роста наибольшая (рис. 6). Поскольку пластинки панциря между соседними рядами соединены между собой внахлест, для расчета периметра панциря промеры годовых колец на пластинках проводятся по наибольшей и наименьшей длине в латеральном направлении.

Определение размеров амбулакральной пластинки, расположенной на амбитусе, для каждого года жизни ежа осложнено тем, что половина пластинки перфорирована отверстиями для амбулакralьных ножек и на перфорированной части зоны роста не различимы. Однако, так как на гладкой половине зоны роста видны довольно четко, можно восстановить размеры перфорированной части пластины по размерам гладкой с помощью уравнения линейной зависимости.

Построенные по обучающей выборке зависимости между размерами пористой и гладкой частей амбулакralьных пластинок оказались близки к прямолинейным (коэффициенты корреляции по наибольшим промерам – 0,982 и по наименьшим – 0,968, при $p < 0,0001$). Качество методики восстановления размеров ежей по их периметру с использованием уравнений зависимости пористой части амбулакralьной пластинки от гладкой оценивалось по квадратному корню из среднего квадрата невязок диаметров панцирей. Установлено, что разница между расчетными и наблюдаемыми данными во

всех размерных классах в среднем не превышает 1 мм (табл. 1), что, учитывая принятую нами точность измерений диаметра штангенциркулем – 1 мм, вполне допустимо.

Метод 2. Также в настоящей работе приведена методика восстановления диаметров *S. intermedius* по зонам роста на интерамбулакральных пластинках, расположенных в зоне амбитуса в прошлые годы жизни ежа, с помощью уравнения линейной зависимости. Как и в предыдущем методе, измерение каждого годового кольца проводится на той интерамбулакральной пластинке, на которой оно имеет наибольшую длину в латеральном направлении. При этом зоны роста измеряются по их наибольшей длине.

Зависимость между диаметром панциря и размером интерамбулакральной пластинки, расположенной на амбитусе, близка к прямолинейной (коэффициент корреляции 0,997 при $p < 0,0001$). При использовании этой зависимости для вычислений диаметров панцирей ежей средняя абсолютная погрешность расчетов во всех размерных классах не превышала 1 мм (табл. 1).

Таблица 1

Погрешности расчетов диаметров панцирей *S. intermedius*

Размерный класс	Метод	<10 мм	10–19 мм	20–29 мм	30–39 мм	40–50 мм
Абсолютная погрешность расчетов, мм*	1	<u>0,30</u> 0,004–0,870	<u>0,58</u> 0,01–1,58	<u>0,61</u> 0,01–1,74	<u>0,82</u> 0,10–2,09	<u>0,82</u> 0,05–2,65
	2	<u>0,43</u> 0,001–1,030	<u>0,48</u> 0,03–1,60	<u>0,82</u> 0,01–1,80	<u>0,90</u> 0,05–1,99	<u>0,76</u> 0,02–2,0
Относительная погрешность расчетов, %*	1	<u>4,29</u> 0,48–8,42	<u>3,92</u> 0,03–9,89	<u>2,42</u> 0,05–6,11	<u>2,32</u> 0,31–5,65	<u>1,90</u> 0,13–6,63
	2	<u>5,50</u> 0,02–13,70	<u>3,31</u> 0,19–12,60	<u>3,36</u> 0,03–8,20	<u>2,57</u> 0,14–5,53	<u>1,79</u> 0,04–5,01

*Значения представлены в виде средней величины (над чертой) и пределов ее изменчивости (под чертой).

5.3. Особенности индивидуального роста *S. intermedius*. Для исследования индивидуальных особенностей роста ежей была использована выборка из 57 экз. размерами от 28 до 47 мм при среднем 37,8 мм, в возрасте от 4+ до 8+. Расчет диаметров панцирей на каждом году жизни проводили по методу 1.

Индивидуальные приросты панцирей морских ежей варьировали от 0,81 до 17,73 мм за год. По обобщенным данным наибольший прирост панцирей

происходит в возрасте 2+, затем линейные приросты уменьшаются (рис. 7 А). Индивидуальные кривые роста у многих ежей существенно отличались от кривой группового роста. Максимальный абсолютный прирост панциря (МАПП) у разных особей происходил в возрасте от 0+ до 5+ (рис. 7 Б).

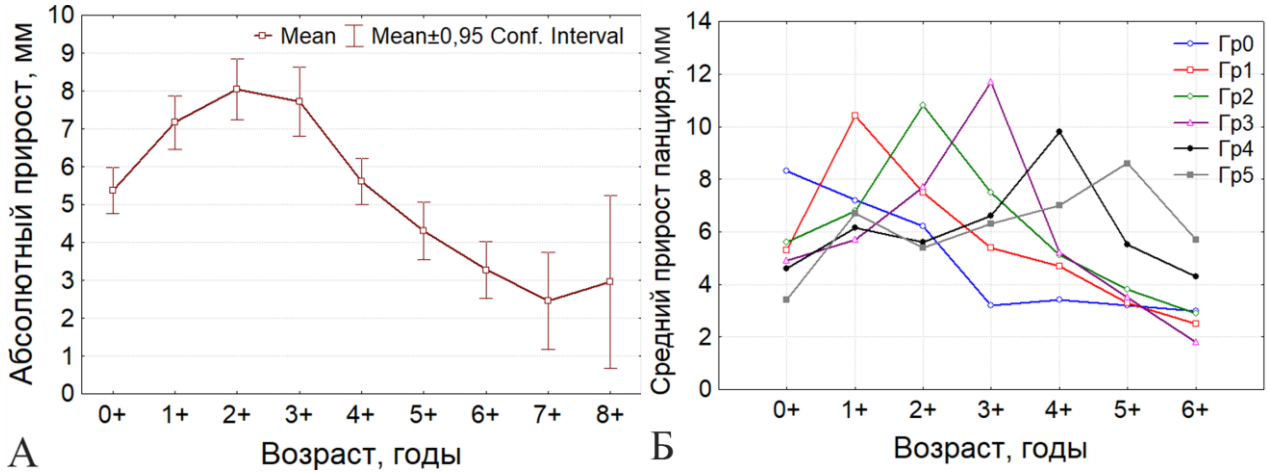


Рис. 7. Кривые прироста панциря *S. intermedius*: **А** – все особи; **Б** – по группам, различающимся возрастом достижения максимального прироста панциря

У большинства просмотренных экземпляров МАПП отмечен на втором (31 %) и на третьем годах жизни (29,1 %) (рис. 8). Для выявления закономерностей индивидуальной изменчивости роста *S. intermedius* всех ежей разделили по возрасту достижения максимального абсолютного прироста панциря на 6 групп (Гр0, Гр1, Гр2, Гр3, Гр4, Гр5) и в каждой группе определили средние размеры особей в разные годы жизни (табл. 2).

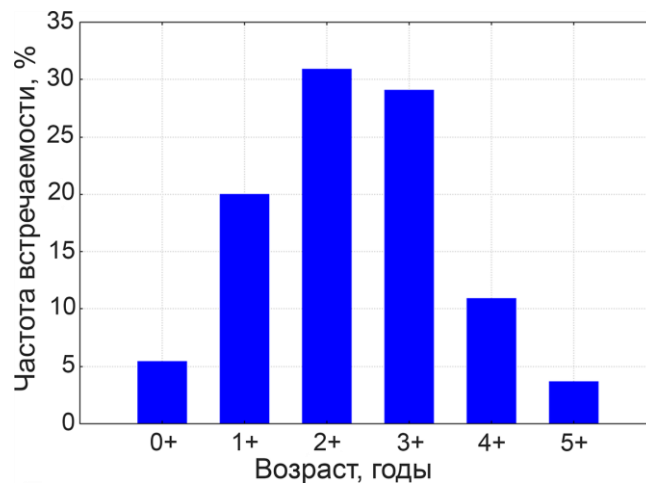


Рис. 8. Частота встречаемости МАПП *S. intermedius* по возрастным группам

Из данных табл. 2 видно, что в каждой возрастной группе особи, у которых отмечен максимальный прирост панциря были крупнее, чем те, у которых МАПП происходит позже. После того как начинается замедление темпов роста этих ежей, происходит ускорение темпов роста более мелких особей с размерами, наиболее близкими к предельным. К концу следующего года средние размеры и тех, и других выравниваются, но затем изначально более мелкие ежи, у которых максимальный прирост панциря и дальнейшее снижение темпов роста происходят позже, достигают, как правило, больших размеров. При этом отсутствует четкая приуроченность возраста достижения ежами максимального прироста к определенному размеру панциря.

Таблица 2

Средние размеры ежей в разные годы жизни по группам, различающимся возрастом достижения МАПП, мм

Возраст	Гр0	Гр1	Гр2	Гр3	Гр4	Гр5	Все особи
0+	<u>8,3±1,2</u> 6,4–10,6	<u>5,3±0,5</u> 3,3–8,5	<u>5,6±0,5</u> 2,5–9,7	<u>4,9±0,5</u> 2,5–9,0	<u>4,6±0,5</u> 2,3–5,8	<u>3,4±1,0</u> 2,4–4,4	<u>5,3±0,3</u> 2,3–10,6
1+	<u>15,6±2,8</u> 12,5–21,1	<u>15,7±0,9</u> 11,6–20,7	<u>12,4±0,8</u> 8,15–18,40	<u>10,6±0,5</u> 7,6–14,9	<u>10,8±0,9</u> 7,5–13,1	<u>10,1±1,4</u> 8,8–11,5	<u>12,5±0,5</u> 13,4–21,1
2+	<u>21,8±3,4</u> 17,9–28,6	<u>23,2±1,4</u> 16,4–34,2	<u>23,2±1,1</u> 13,7–30,7	<u>18,4±0,6</u> 13,5–22,0	<u>16,4±1,0</u> 13,8–19,2	<u>15,5±1,0</u> 14,6–16,5	<u>20,7±0,6</u> 13,4–34,2
3+	<u>25,0±3,1</u> 21,7–31,1	<u>28,9±1,5</u> 21,1–37,7	<u>30,7±1,2</u> 18,2–38,9	<u>30,0±1,0</u> 23,7–34,9	<u>23,0±1,0</u> 19,6–27,3	<u>21,8±1,4</u> 20,3–23,2	<u>28,7±0,7</u> 18,2–38,9
4+	<u>28,4±2,9</u> 24,3–34,0	<u>31,4±1,7</u> 25,2–37,5	<u>35,7±1,3</u> 22,2–43,3	<u>34,9±1,0</u> 27,6–40,3	<u>32,8±1,7</u> 27,3–38,9	<u>28,7±1,5</u> 27,3–30,2	<u>33,7±0,7</u> 22,2–43,3
5+	<u>32,3±3,8</u> 28,5–36,1	<u>33,5±2,0</u> 27,2–39,4	<u>36,8±1,7</u> 27,5–44,8	<u>37,2±1,9</u> 30,1–45,2	<u>38,3±2,1</u> 32,1–43,8	<u>37,3±1,7</u> 35,6–39,1	<u>36,3±0,9</u> 27,2–45,2

Примечание. Значения представлены в виде средней величины и ошибки средней (над чертой) и пределов ее изменчивости (под чертой).

Результаты оценки удельной скорости роста для разных групп *S. intermedius*, выделенных по возрасту МАПП, отражают описанные выше особенности роста. Во всех группах ежей наблюдалась общая тенденция к падению скорости роста с увеличением возраста. При этом в возрасте, в котором у ежей наблюдался МАПП, удельная скорость роста была выше, чем у особей в других группах (рис. 9).

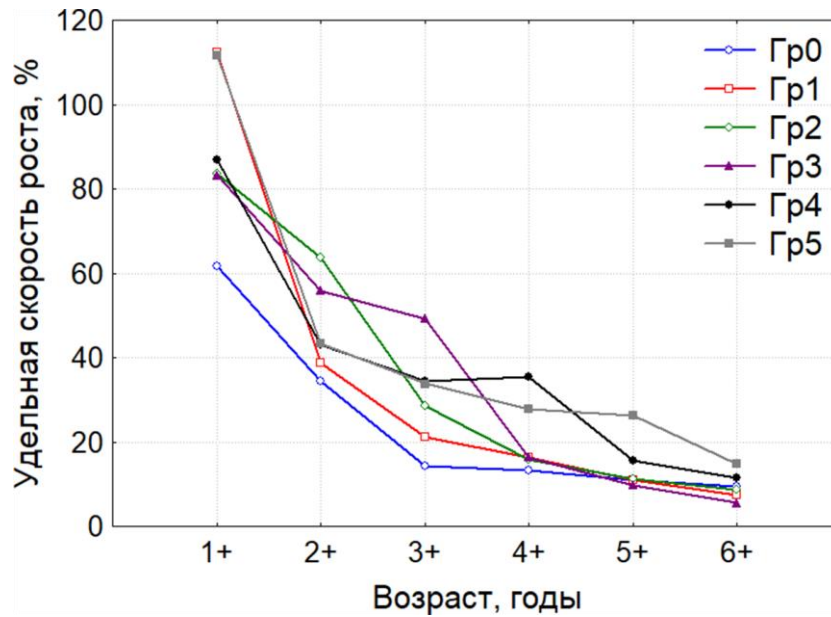


Рис. 9. Удельная скорость роста *S. intermedius* по группам, различающимся возрастом достижения МАПП

Многими исследователями показано, что при достижении половой зрелости темпы роста животных разных систематических групп заметно снижаются (Константинов, 1952; Wikbur, Owen, 1964; Ивлева, 1969; Брегман, 1971; Мина, Клевезаль, 1976; Найдено, 1983 и др.). В настоящем исследовании установлено, что частота встречаемости МАПП в разных возрастных группах (рис. 8) коррелирует с долей половозрелых особей по возрастным группам (рис. 11 Б). Таким образом, можно предположить, что постепенное снижение темпов роста *S. intermedius* после пика абсолютного прироста связано с наступлением половой зрелости.

ГЛАВА 6. ВОЗРАСТ И РАЗМЕР *S. INTERMEDIUS* ПРИ НАСТУПЛЕНИИ ПОЛОВОЙ ЗРЕЛОСТИ В ПРИБРЕЖЬЕ ПРИМОРЬЯ

Исследованные нами акватории различаются по темпам группового роста *S. intermedius*. Сравнительно высокие темпы роста характерны для скоплений ежей в бухте Соколовская, у мыса Подчасок и о. Скала Крейсер, а у мысов Южный и Надежды они значительно ниже (рис. 10). В районе бухта Ежовая – мыс Хитрово темпы роста ежей имеют средние показатели.

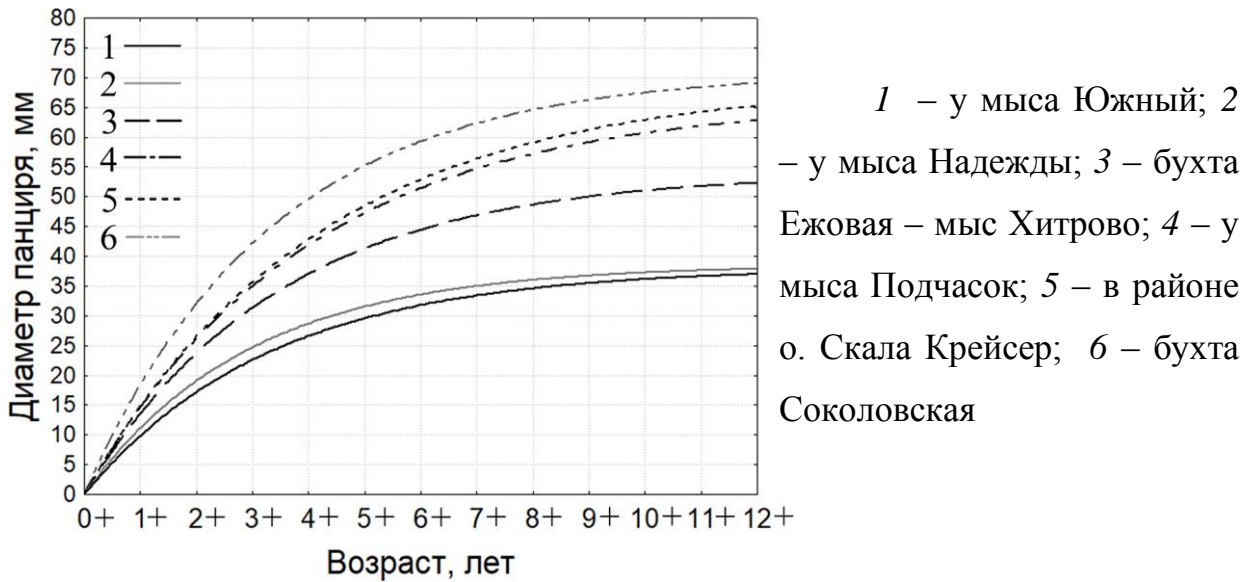


Рис. 10. Кривые группового роста *S. intermedius* у побережья Приморья

Размеры исследованных *S. intermedius* изменялись от 5 до 51 мм. Минимальные размеры половозрелых особей на разных участках варьировали от 15 мм (у мыса Южный) до 31 мм (у о. Скала Крейсер). Половина особей в скоплении у о. Скала Крейсер достигает половой зрелости при диаметре панциря 35 мм, в бухте Соколовская — 34 мм, у мыса Подчасок — 30 мм, на участке бухта Ежовая — мыс Хитрово — 28 мм, у мыса Южный — 20 мм и у мыса Надежды — 22 мм (рис. 11 А) (Чалиенко и др., 2021).

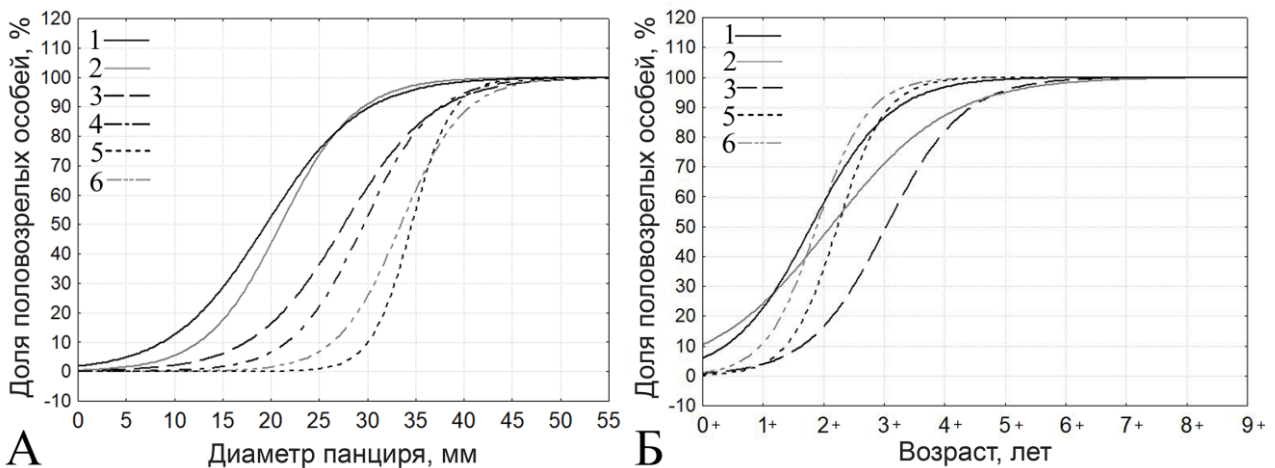


Рис. 11. Кривые изменения доли половозрелых особей *S. intermedius* в разных размерных (А) и возрастных классах (Б): 1 — у мыса Южный; 2 — у мыса Надежды; 3 — бухта Ежовая — мыс Хитрово; 4 — у мыса Подчасок; 5 — в районе о. Скала Крейсер; 6 — в бухте Соколовская

Возраст морских ежей в пробах варьировал от 1+ до 8+ лет. В большинстве районов (у о. Скала Крейсер, в бухте Соколовская, у мысов Южный и Надежды) 50 % ежей в скоплениях становятся половозрелыми к возрасту около 2+, а на участке бухта Ежовая – мыс Хитрово – к возрасту 3+ (рис. 11 Б). У мыса Подчасок в пробах были отмечены только экземпляры в возрасте 1+ и 2+. Учитывая, что у этих ежей в гонадах присутствовали зрелые половые клетки (соответственно у 48 и 70 %), с большой долей вероятности можно утверждать, что 50 %-ной половозрелости они достигают в возрасте от 1+ до 2+. Зрелые гаметы в гонадах ежей в возрасте 1+ также отмечались во всех остальных районах (кроме района от бухты Ежовая до мыса Хитрово), где доля таких ежей варьировала от 15 до 23 %.

Таким образом, в районах с высокими темпами роста *S. intermedius* (у о. Скала Крейсер, в бухте Соколовская и у мыса Подчасок) размеры 50 %-ной половозрелости были значительно выше, чем в районах с низкими темпами роста (у мысов Южный и Надежды). Ежи, обитающие на участке бухта Ежовая – мыс Хитрово, по этому показателю занимают промежуточное положение.

ВЫВОДЫ

1. В прибрежье северного Приморья выделены акватории, которые в течение ряда лет обладают определенным сходством размерного состава населяющих их ежей.

2. Определены районы, где обычно преобладают крупные промысловые животные, и участки, где скопления постоянно представлены мелкоразмерными ежами. Установлено, что для *S. intermedius* характерна значительная пространственная вариабельность темпов группового роста, что определяет различия в размерном составе скоплений.

3. В поселениях, для которых характерны высокие темпы роста, большинство особей достигают промысловых размеров в возрасте от 3,5 до 4,5 лет. В поселениях, где постоянно преобладают мелкоразмерные особи, темпы роста снижены и ежи могут не дорасти до промысловых размеров (что

наблюдается у мысов Южный и Надежды) или достигать их в более позднем возрасте (на участке бухта Ежовая – мыс Хитрово в возрасте 6+).

4. Разработана методика ретроспективной оценки роста *S. intermedius*.

5. Смена восходящей траектории прироста на нисходящую раньше происходит у наиболее крупных особей одновозрастной группы, что связано с достижением половой зрелости. Такие ежи достигают меньших предельных размеров. Изначально более мелкие особи становятся половозрелыми позже, но при больших размерах панциря.

6. Размеры наступления половозрелости тесно связаны с интенсивностью роста *S. intermedius*: в скоплениях с высоким темпом роста размер 50 %-ной половозрелости составляет 30–35 мм, а с низким 20–22 мм. В большинстве районов половина особей в скоплениях становятся половозрелыми в возрасте 2+.

Список публикаций по теме диссертации

Статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК

1. Чалиенко М.О. Особенности группового роста серого морского ежа (*Strongylocentrotus intermedius*) у северо-западного побережья Японского моря // Изв. ТИНРО. – 2018. – Т. 194. – С. 3–17.

2. Чалиенко М.О., Калинина М.В., Кулепанов В.Н., Матвеев В.И. Размер и возраст наступления половозрелости серого морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* у северо-западного побережья Японского моря // Океанология. – 2021. – Т. 61, № 1. – С. 79–90.

3. Чалиенко М.О., Кулепанов В.Н., Матвеев В.И. Влияние некоторых факторов среды на рост серого морского ежа (*Strongylocentrotus intermedius*) у северо-западного побережья Японского моря // Изв. ТИНРО. – 2018. – Т. 195. – С. 111–127.

Публикации в других изданиях

4. Чалиенко М.О. Локальные особенности роста серого морского ежа (*Strongylocentrotus intermedius*) у северо-западного побережья Японского моря //

Биология – наука XXI века: 21-я Междунар. Пущинская школа-конференция молодых ученых: сб. тез. – Пущино, 2017. – С. 303.

5. Чалиенко М.О. Методика ретроспективной оценки роста серых морских ежей *Strongylocentrotus intermedius* // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса : мат-лы VII науч.-практ. конф. молодых ученых с международным участием. – М.: ВНИРО, 2019. – С. 491–496.

6. Чалиенко М.О. Ретроспективный анализ роста *Strongylocentrotus intermedius* у берегов Приморья // Перспективы рыболовства и аквакультуры в современном мире : мат-лы III науч. школы молодых ученых и специалистов по рыбному хозяйству и экологии, посвященной 140-летию со дня рождения К.М. Дерюгина. – М.: ВНИРО, 2018. – С. 146.

7. Чалиенко М.О. Рост серого морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* у берегов Приморья // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса : мат-лы V науч.-практ. конф. молодых ученых с международным участием. — М.: ВНИРО, 2017. – С. 272–278.

8. Чалиенко М.О., Турчинская К.А. Особенности роста непромысловых особей серого морского ежа (*Strongylocentrotus intermedius*) у северо-западного побережья Японского моря // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование : мат-лы VIII Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 75-летию рыбохоз. образования на Камчатке. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2017. – Ч. 1. – С. 194–198.