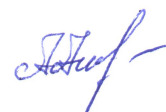


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

На правах рукописи



АЛДУШИН АНДРЕЙ ВИКТОРОВИЧ

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА
ПЕЛАГИЧЕСКОГО ИХТИОЦЕНОЗА ОЛИГОТРОФНОГО
ОЗЕРА НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА ВИШТЫНЕЦКОГО**

03.02.06 Ихтиология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени кандидата биологических наук

Научный руководитель

доктор биологических наук, профессор

Шибает Сергей Вадимович

Калининград – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	10
2 ОЗЕРО ВИШЫТЕЦКОЕ КАК СРЕДА ОБИТАНИЯ РЫБ	15
2.1 Физико-географическая и гидрологическая характеристика.....	15
2.2 Гидрохимические условия.....	21
2.3 Зоопланктон и зообентос	23
2.4 Ихтиофауна	25
2.5 Рыболовство	27
3 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕЛАГИЧЕСКОГО ИХТИОЦЕНОЗА ОЗЕРА ВИШТЫНЕЦКОГО.....	29
3.1 Методика исследования пелагического ихтиоценоза традиционными методами	29
3.2 Видовая структура пелагического ихтиоценоза по данным контрольных обловов ставными сетями.....	30
3.2.1 Частота встречаемости	30
3.2.1 Виртуальный размерно-видовой состав	31
3.2.2 Виртуальный размерный состав.....	36
3.2.3 Виртуальная размерная структура	44
3.3 Видовая структура пелагического ихтиоценоза по данным экспериментальных траловых съемок	47
4 ГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЕЛАГИЧЕСКОГО ИХТИОЦЕНОЗА ОЗЕРА ВИШТЫНЕЦКОГО	54
4.1 Гидроакустический метод оценки водных биоресурсов и используемое программно-аппаратное обеспечение.....	54
4.1.1 Гидроакустический метод оценки водных биоресурсов	54
4.1.2 Программно-аппаратный комплекс «АсКор»	58
4.2 Общая характеристика методологии гидроакустических исследований.....	60
4.3 Пространственная структура пелагического ихтиоценоза.....	65
4.3.1 Вертикальная структура пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого	

.....	66
4.3.2 Горизонтальная структура пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого	77
4.4 Количественная оценка пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого.....	82
4.5 Размерная структура пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого	85
5 ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДУКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПЕЛАГИЧЕСКОГО ИХТИОЦЕНОЗА.....	91
5.1 Состояние запаса и динамика промысла ряпушки озера Виштынецкого.....	91
5.2 Промыслово-биологическая характеристика ряпушки озера Виштынецкого .	93
5.3 Биологические ориентиры управления промысловым использованием популяции ряпушки озера Виштынецкого	96
5.4 Экономические ориентиры управления промысловым использованием популяции ряпушки озера Виштынецкого	121
5.5 Оценка оптимального комплекса орудий лова и возможного вылова ряпушки в озере Виштынецком	125
5.5.1 Оптимальный комплекс орудий лова для ведения целевого промысла ряпушки озера Виштынецкого	126
5.5.2 Оценка возможного вылова ряпушки озера Виштынецкого.....	135
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	144
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	147

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Исследование пространственно-временной динамики ихтиоценозов является одним из важнейших источников информации по количественной оценке рыбных запасов и выработке решений по их рациональному использованию. Между тем рассмотрение закономерностей распределения рыб является сложной методологической проблемой и представляет собой многоаспектное биологическое явление, изучение которого должно выполняться с применением как традиционных методов исследований при помощи активных и пассивных орудий лова, так и с использованием других современных методов, среди которых наиболее эффективным показал себя гидроакустический [22]. В настоящее время работы по его применению достаточно широко распространены, а его теория и практика наиболее полно представлены в фундаментальной работе по гидроакустике [122]. Однако несмотря на то, что в океаническом рыболовстве гидроакустический метод является одним из основных при оценке состояния запасов рыб, включая проведение траловых и личиночных съёмов [22], на внутренних водоемах применение такого подхода имеет некоторые ограничения. Прежде всего они связаны со сложной морфологией водных объектов, наличием мелководных участков акватории. Указанные ограничения также не дают в полной мере использовать активные орудия лова, а слабое развитие технических средств и рыбодобывающего флота организаций, ведущих промысел на внутренних водоемах, не позволяет применить виртуально-популяционный анализ для оценки численности рыб в том числе из-за невысокой интенсивности промысла и применения рыбодобывающими организациями разнотипных орудий лова различной спецификации. При этом следует отметить, что гидроакустический метод не позволяет с высокой точностью определять видовой и размерный состав регистрируемых гидробионтов, что требует проведения контрольных обловов. Несмотря на то, что используемые при традиционных методах ихтиологических исследований жаберные сети дают относительное представление о распределении рыб, а по объемам их вылова невозможно выйти на показатели плотности скоплений и абсолютной численности, применение комплексного подхода к изучению рыбного сообщества с использованием

традиционных подходов, дополненных данными гидроакустических съемок, позволяют получить не только видовой и размерно-весовой состав исследуемого рыбного сообщества, но и оценить его пространственную и временную структуры, провести абсолютную оценку численности и дать рекомендации по рациональному их использованию. Наиболее удобен данный подход в изучении пелагического ихтиоценоза олиготрофных озер, которые отличаются большими глубинами и сезонной стратификацией вод. Это связано, прежде всего, с тем, что обнаружение рыбных скоплений в толще воды и их учет представляет для гидроакустических комплексов более простую задачу, нежели чем оценка придонных концентраций рыб. Вторая особенность связана с тем, что пелагический ихтиоценоз олиготрофных озер представлен обычно несколькими видами [7, 12, 48, 59], что, наряду с данными о размерном и видовом составе ихтиофауны по результатам контрольных обловов, позволяет более точно сопоставлять данные гидроакустических съемок с конкретными видами рыб, составляющих пелагический ихтиоценоз.

В данной работе рассматривается оценка пространственно-временной динамики пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого. Актуальность рассматриваемой темы связана с падением уловов (по сравнению с советским периодом) одного из массовых видов рыб данного водоема – европейской ряпушки (*Coregonus albula* (L., 1758)). После возрождения промысла попытки увеличения вылова данного вида промысловыми организациями с использованием традиционного способа лова – ставных пелагических сетей с шагом ячеи 18 мм – оказались малоэффективны, а объемы вылова были на порядок ниже, чем в период интенсивного рыболовства в 1970-е годы [94, 95, 121] (Рисунок 1). Вместе с тем, основные индикаторы экологического состояния – биомасса и видовой состав зоопланктона и зообентоса, гидрохимические параметры за последние десятилетия изменились несущественно [2, 121]. В этой связи возникла необходимость определения численности ряпушки. Применение традиционных методов, активных и пассивных орудий лова, как отмечалось ранее, имеет свои ограничения, в связи с чем для определения запаса был применен специальный, комплексный, подход к изучению ихтиоценоза пелагиали озера Виштынецкого в целом и ряпушки, в частности, с использованием

как традиционной системы контрольных обловов, так и гидроакустического метода.

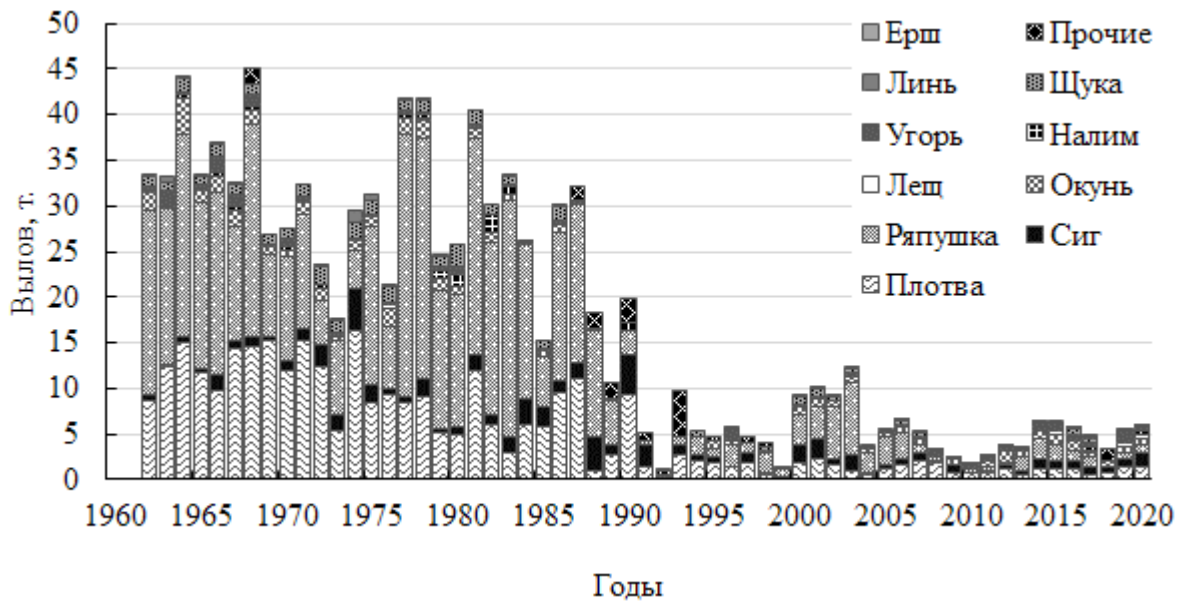


Рисунок 1 – Многолетняя динамика промысла на озере Виштынецком

Степень ее разработанности. Исследования закономерностей распределения рыб посвящено достаточное количество работ [9, 24, 40, 53, 60, 63, 68, 69, 88 и др.], однако большинство из них приходится на морские объекты промысла. По внутренним водоемам подобного рода публикации носят отрывистый характер, и только в последние полтора десятилетия можно отметить тенденцию к увеличению количества работ по данному направлению [9, 24, 50, 60, 88] в том числе основанных на применении гидроакустического метода. Тем не менее, принимая во внимание отмечаемые рядом авторов различия в миграциях одного и того же вида в разных водоемах, когда в одном из них наблюдались суточные миграции, а в другом – нет [61], возникает необходимость выявления закономерностей пространственно-временного распределения рыб в каждом отдельно взятом водном объекте и отработке подходов к его оценке. При этом следует отметить, что несмотря на многолетние комплексные биологические и гидрологические исследования озера Виштынецкого, проводимые с середины прошлого века [4, 13, 21, 29, 43, 66], в последние десятилетия изучение пространственно-временной динамики пелагического ихтиоценоза в полной мере не проводилось [93].

Цели и задачи – характеристика пространственно-временной динамики пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого как основы для рационального использования водных биоресурсов.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- 1) дать характеристику озера Виштынецкого как среды обитания рыб и актуализировать данные по морфометрической структуре водоема, обуславливающей пространственное и временное распределение рыб в толще воды;
- 2) отработать методику изучения пелагического ихтиоценоза олиготрофного озера с использованием пелагических ставных сетей и гидроакустических средств;
- 3) дать характеристику видовой структуры пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого;
- 4) оценить пространственную (вертикальную и горизонтальную) структуру пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого;
- 5) проанализировать временную структуру пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого;
- 6) провести количественную оценку численности ряпушки озера Виштынецкого как основного компонента пелагического ихтиоценоза;
- 7) разработать промысловую модель и оценить оптимальные параметры промысла ряпушки озера Виштынецкого, а также эффективность ведения ее промысла с помощью различных орудий лова.

Научная новизна. Впервые проведены комплексные исследования пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого с использованием традиционных методов исследований и гидроакустических средств, уточнен его видовой состав. По результатам гидроакустических съемок были актуализированы морфометрические характеристики озера Виштынецкого, впервые построена трехмерная модель рельефа дна данного водоема. Изучены пространственная и временная структуры ряпушки как основного компонента пелагического ихтиоценоза. Разработана модель ее промыслового использования на основании динамики основных популяционных параметров под воздействием промысла, позволяющая оценить потенциальные возможности рационального промысла данного вида с учетом как биологического,

так и экономического аспектов. На основании модели определена зависимость для поиска оптимальных параметров (период промысла, коэффициент уловистости, промысловая смертность; для трала дополнительно учитываются ширина зоны облова и скорость траления) промысла ряпушки.

Теоретическая и практическая значимость работы. Предложенный комплексный подход к оценке пространственно-временной динамики пелагического ихтиоценоза и рационального использования его продукционных свойств может быть применен на других олиготрофных водоемах. Полученные данные могут быть использованы для целей оптимизации и управления промыслом ряпушки на озере Виштынецком. Определены оптимальные сроки проведения учетных съемок по количественной оценке численности ряпушки озера Виштынецкого, а также оптимальные районы, горизонты лова и объем возможного вылова для данного вида.

Методология и методы исследования. В ходе исследований были применены стандартные и оригинальные методики. Для анализа результатов использовались методы вариационной статистики.

Положения, выносимые на защиту:

- 1) методология изучения пелагического ихтиоценоза с использованием комплекса разноячейных ставных сетей и гидроакустики;
- 2) закономерности пространственно-временного распределения и вертикальных миграций ряпушки озера Виштынецкого.
- 3) оптимальные параметры промыслового использования ряпушки озера Виштынецкого;

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов подтверждена большим объемом собранного и обработанного фактического материала за многолетний период, одновременным использованием нескольких методов его получения. Анализ материала осуществлялся с использованием математической статистики и методов математического моделирования. С целью оценки достоверности полученных результатов использовался t-критерий Стьюдента для уровня значимости $\alpha=0.05$, доверительные интервалы для генераль-

ных средних определялись с вероятностью $P=95\%$ [41, 56]. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на VI юбилейной международной научной конференции «Инновации в науке и образовании – 2008» (Калининград 21–23 октября 2008 года, Калининград), VII международной научной конференции «Инновации в науке и образовании – 2009» (20–22 октября 2009 года, Калининград), седьмом всероссийском научно-производственном совещании по биологии, биотехнике сиговых рыб (15–19 февраля 2010 года, Тюмень), I Всероссийской конференции с международным участием (12–16 сентября 2011 года, Борок).

Публикации результатов исследований. По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ, 2 из них в изданиях, рекомендованных ВАК, одна – в изданиях из Международных баз Scopus.

Личное участие автора. Автором лично проведены гидроакустические исследования на водоеме, принимал активное участие в работах по сбору первичного материала в период с 2007 по 2020 годы. Лично осуществлял камеральную обработку первичных материалов, математическую и статистическую обработку данных гидроакустических съемок и контрольных обловов, разработал модель промыслового использования ряпушки озера Виштынецкого для селективных и неселективных орудий лова.

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 160 стр., содержит 92 рисунка, 18 таблиц, состоит из введения, 5 глав, заключения. Библиография включает 124 наименования, в том числе 15 иностранных источников.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю д-ру биол. наук, профессору С.В. Шibaеву, канд. биол. наук, доценту О.А. Новожилову, канд. биол. наук, профессору К.В. Тылику, канд. биол. наук, доценту Ю.К. Алдушиной, директору ООО «Промысловая гидроакустика» А.И. Дегтеву, а также сотрудникам кафедры ихтиологии и экологии ФГБОУ ВО «КГТУ» за всестороннюю помощь в работе и ценные рекомендации.

1 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом для настоящей работы послужили комплексные рыбохозяйственные исследования ихтиофауны озера Виштынецкого кафедрой ихтиологии и экологии ФГБОУ ВО «КГТУ» за период 2007–2020 г., в которых автор принимал непосредственное участие. Работы включали в себя изучение морфологии водоема, проведение гидроакустических исследований, оценку параметров среды обитания рыб и контрольные обловы по стандартной сети станций. Объем собранного и обработанного материала приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Объем собранного и обработанного материала

Год	Сетепостановки	Траловые обловы	Массовые промеры, экз	Биологический анализ, экз	Эхолотные съемки
2007	70	-	2766	180	4
2008	132	-	5479	300	5
2009	215	-	10626	826	2
2010	175	-	8683	309	4
2011	169	-	12062	371	5
2012	125	11	10771	532	6
2013	44	4	2556	487	4
2014	68	-	8006	526	2
2015	69	-	11746	425	1
2016	85	-	6825	301	4
2017	70	-	6974	301	1
2018	41	-	2265	354	1
2019	88	-	4215	370	1
2020	10	-	733	-	1
Итого	1361	15	93707	5282	41

Видовая структура пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого определялась на основании данных контрольных обловов ставными сетями с шагом ячеи 6.5, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 35, 40 мм. Сети выставлялись в толще воды через каждые 5 м, начиная от поверхности, на различных горизонтах глубин на расстоянии не менее трех метров ото дна с целью избегания облова придонного горизонта (Рисунок 2). Контрольные обловы проводились в разных частях акватории водоема в местах с глубинами более 40 м с целью изучения вертикальной и пространственной структуры пелагического ихтиоценоза (Рисунок 3). Продолжительность постановки порядка (набора) сетей составляла 0.5-1 сутки.

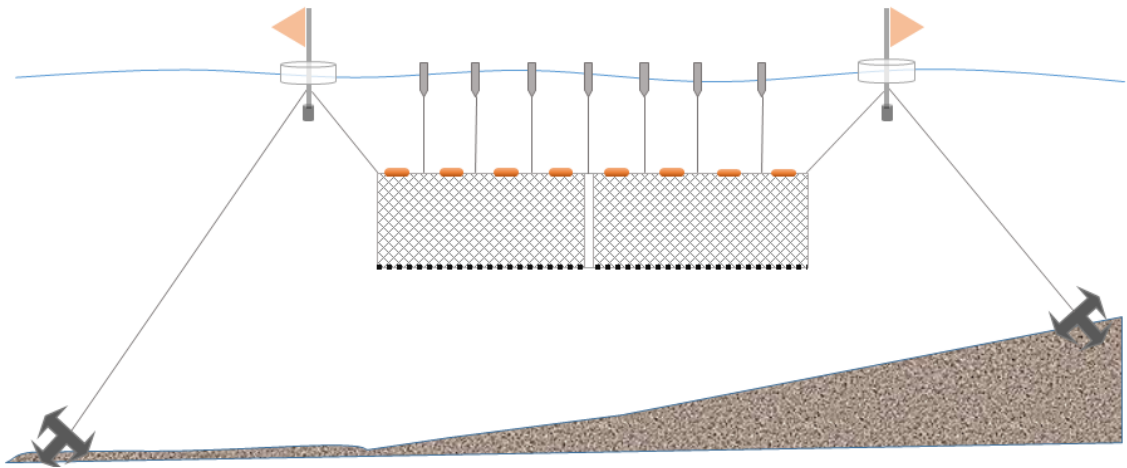


Рисунок 2 – Схема постановки ставных (пелагических) сетей в толще воды

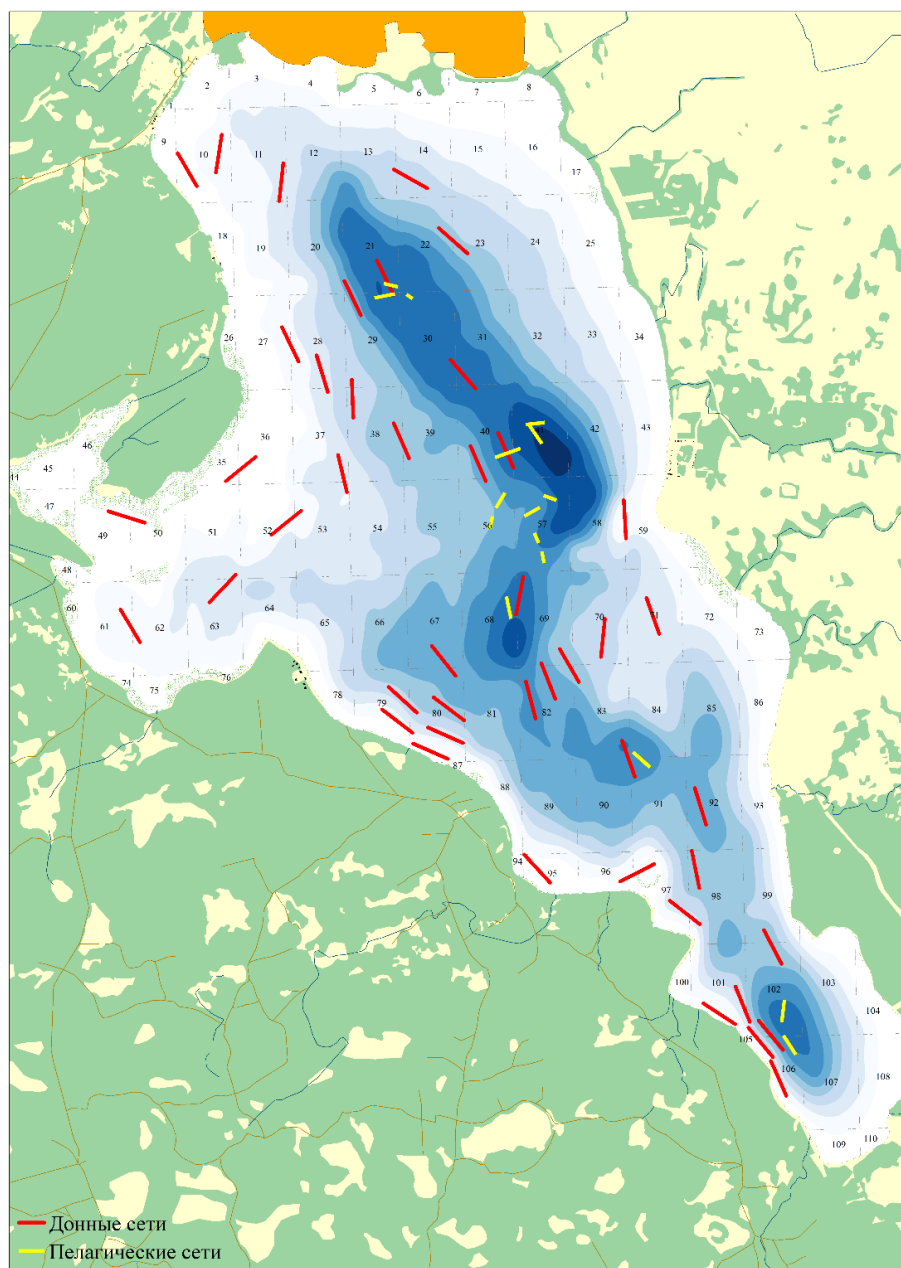


Рисунок 3 – Сеть станций контрольных обловов на озере Виштынецком

Помимо сетного лова в 2012-2013 годах были выполнены 15 экспериментальных тралений с одновременными гидроакустическими измерениями, в которых автор принимал участие. Это позволило, во-первых, «определить видовой и размерный состав пелагического ихтиоценоза, а во-вторых, оценить коэффициент уловистости трала и изучить возможность его использования на промысле» [2, с. 55]. Конструкция используемого трала «характеризовалась следующими параметрами: пелагический (разноглубинный), четырехпластный, набор ячей 80, 60, 30, 18, 12, 10, 5 мм; вертикальное раскрытие – 5 м, горизонтальное раскрытие – 7 м; скорость траления 3-5 км/ч; горизонт лова задавался путем подбора необходимой длины ватеров. Траление осуществлялось близнецовым способом двумя мотолодками с подвесными моторами мощностью 25 л.с. каждый» [2, с. 55].

При сборе и обработке данных контрольных обловов использовались стандартные методики сбора и обработки биологического материала [70]. В работе использовались данные по биологическому анализу ряпушки озера Виштынецкого в количестве 5.2 тыс. особей, и данные массовых промеров уловов пелагических ставных сетей и разноглубинного трала – 93.7 тыс. рыб.

Все материалы по контрольным уловам стандартизированы и приведены к общим показателям: частоте встречаемости вида рыбы в орудиях лова (f_q), улову на усилие, выраженном в численном (Y_n/f) и весовом (Y_w/f) выражениях. Учитывая, что при прочих равных условиях «улов на усилие обуславливается плотностью рыбного сообщества, указанные показатели могут рассматриваться как индексы численности и биомассы конкретного вида с учетом селективности сети с определенным шагом ячеи» [90, с. 159]. Обработка и анализ информации по проведенным контрольным обловам, материалам массовых промеров и биологического анализа осуществлялись с использованием информационно-аналитической системы «Рыбвод» [101, 103] и программы для работы с электронными таблицами MS Excel.

Гидроакустические съемки проводились в весенне-летний период в дневное и ночное время научно-исследовательским гидроакустическим комплексом вертикального зондирования «АсКор» [33] на базе эхолота Furuno LS-4100 по схеме гал-

сов по типу «меандр». За рассматриваемый период были проведены три вида съемок: дневные, ночные и суточные. Первые два вида охватывали зоны с глубинами более 5-10 м и были направлены на выявление закономерностей пространственного распределения рыб по акватории водоема. Ночные съемки использовались также для количественной оценки рыбных скоплений. Обследуемая площадь при этом в среднем составляла около 1.2 тыс. га за съемку, средняя протяженность галсов одной съемки – 29 км, среднее время съемки – 4 часа. Суточные съемки проводились по укороченной схеме галсов, охватывая часть акватории по направлению к глубоководной впадине и обратно, и проводились с целью более детального изучения закономерностей суточных вертикальных миграций рыб. Обследуемая площадь составляла при этом до 150 га за съемку, средняя протяженность маршрута – 7–9 км, среднее время проведения съемки – до 80 минут. При проведении съемок скорость движения лодки не превышала 8 км/ч. «По собранным данным через глубоководные впадины озера были построены гидроакустические разрезы с целью получения наглядной картины вертикального и пространственного распределения рыб по акватории водоема» [2, с.55].

Обработка гидроакустических данных осуществлялась по частоте 200 кГц, интервал усреднения составлял 100 посылок. Полученные результаты, включая плотность скоплений рыб, определяемую комплексом «AcCor» методом эхоинтегрирования [34], совместно с пространственной привязкой использовались для последующей обработки средствами электронных таблиц MS Excel, а также географическими информационными системами ArcGis и Surfer. Восстановление размерного состава обнаруживаемых гидробионтов осуществлялось на основе общего уравнения Лава, заложенного в программную часть комплекса, и на основании приведенного в литературе уравнения регрессии для ряпушки [116].

Вычисление абсолютной численности рыб по озеру Виштынецкому осуществлялось на основе геостатистического метода интерполяции, который все больше применяется в подобного рода расчетах [120]. Он предполагает «восстановление абсолютной численности рыб на основании локализованных значений плотности

рыбных скоплений, полученных при обработке гидроакустической информации» [2, с.55]. «При обработке материалов для интерполяции пространственно-разнесенных локализованных значений плотности в узлы регулярной решетки использовался метод «Кригинг» с линейной моделью вариограммы и шагом между узлами решетки 100 м» [2, с. 55]. Численность рыб при этом вычислялась автоматически, как объем трехмерной фигуры [22]. Параллельно была произведена оценка численности площадным методом, при этом для каждого года использовались площадные характеристики конкретных глубинных слоев водоема, в которых отмечались скопления рыб, а также средняя плотность этих скоплений (экз./га) по данным гидроакустических съемок. При оценке численности гидроакустическим методом учитывались отраженные сигналы от рыб со значением силы цели (TS) $-50\text{дБ} < TS < -25\text{дБ}$.

На основании результатов обработки пространственно-соотнесенной информации, собранной в процессе проведения гидроакустических съемок, с использованием географических информационных систем (ArcGis, Surfer [25, 111]) были получены современные морфометрические характеристики озера Виштынецкого.

Оценка промысловых уловов и анализ объемов возможного вылова ряпушки на озере Виштынецком осуществлялись на основании данных промысловой статистики Западно-Балтийского территориального управления Росрыболовства [44]. Оценка оптимальных параметров промысла осуществлялась с использованием модифицированной модели Рикера [74, 92] и применением граничных ориентиров промысла и критерия $F_{0.1}$ [92], при этом для ставных сетей дополнительно учитывались коэффициенты селективности для каждого шага ячеи.

Величина возможного вылова ряпушки озера Виштынецкого базировалась на применении современных подходов к его оценке, изложенных в литературе [92, 113].

Статистическая обработка материала осуществлялась с использованием стандартных методов вариационной статистики [41, 56]. Основные статистические расчеты всей работы производились в среде электронных таблиц Microsoft Excel.

2 ОЗЕРО ВИШЫТЕЦКОЕ КАК СРЕДА ОБИТАНИЯ РЫБ

2.1 Физико-географическая и гидрологическая характеристика

Озеро Виштынецкое «входит в Виштынецкую группу озер» [17, с. 20], расположено на юго-востоке Калининградской области на высоте 172 м выше уровня моря и является единственным водоемом из системы Мазурского (Польша) и Литовского поозерий, находящимся на территории России [15, 67]. Озеро является трансграничным водоемом и по его акватории проходит государственная граница между Российской Федерацией и Литовской Республикой [86]. Согласно «классификации И.В. Баранова, оно относится к группе глубоких озер, в которых ветровое перемешивание не везде проникает до дна» [15, с. 95]. Географическое положение озера Виштынецкого определяется следующими координатами [15]:

- северная точка: 54°27'14" с.ш.; 22°42'28" в.д.;
- южная точка: 54°23'10" с.ш.; 22°45'49" в.д.;
- западная точка: 54°25'47" с.ш.; 22°40'53" в.д.;
- восточная точка: 54°23'30" с.ш.; 22°46'20" в.д.

Озеро имеет ледниковое происхождение, «рельеф дна – сложный, чаша озера поперечным порогом разделена на две обширных котловины: северную и южную» [15 с. 95] (Рисунки 4–5).

Северная котловина имеет ассиметричную форму, широкая, с обширными отмелями и пологими склонами, бухтой Тихой и Утиным заливом (с глубинами менее 1–2 м) на западе, восточная ее часть отличается наличием глубоких впадин и более крутыми склонами. Южная котловина – узкая, симметричная, с достаточно крутыми склонами (начиная с 10-метровой изобаты) [15].

Первые исследования морфологических особенностей озера были выполнены в 1970 году, а на их основе были получены его основные морфометрические характеристики [89]. В 1998 г. работы по данному направлению были продолжены сотрудниками географического факультета РГУ им. Канта [27], однако отмечаемые в работе [102] ряд неточностей и возникшая потребность в получении цифровой мо-

дели рельефа дна озера для решения ряда задач привели к необходимости проведения нового этапа исследований в данном направлении и актуализации основных морфометрических характеристик озера Виштынецкого. В результате были уточнены следующие основные морфометрические характеристики озера: «длина озера – 8.5 км, ширина – 4.4 км (средняя – 2 км), максимальная глубина – 54 м, длина береговой линии – 25 км, площадь зеркальной поверхности – 1.8 тыс. га, объем воды – 368 млн. м³» [102, с. 157]. На протяжении последующих 12 лет исследований автором были актуализированы батиметрические параметры озера и модель рельефа дна водоема (Таблица 2, Рисунок 6). Порядка 65% общей площади водоема занимают глубины до 20 м, и только около 13% приходится на глубины более 30 м.

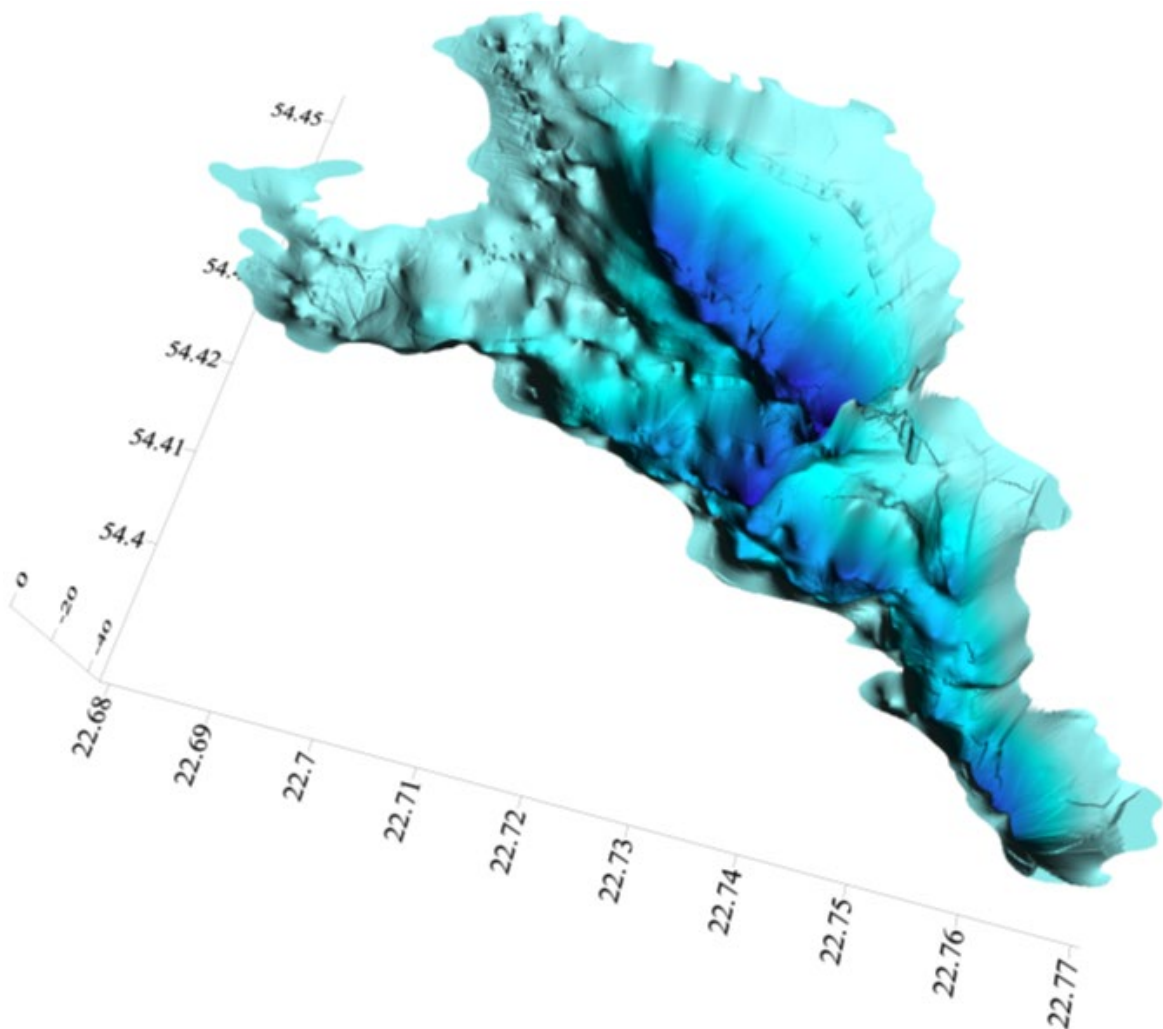


Рисунок 4 – Трехмерное изображение дна озера Виштынецкого (наши данные)

Полученные характеристики играют важную роль при достоверной оценке численности популяции пелагического ихтиоценоза, поскольку распределение рыб

по акватории и по глубинам может быть неравномерным, и на разные глубины могут приходиться разные их концентрации.

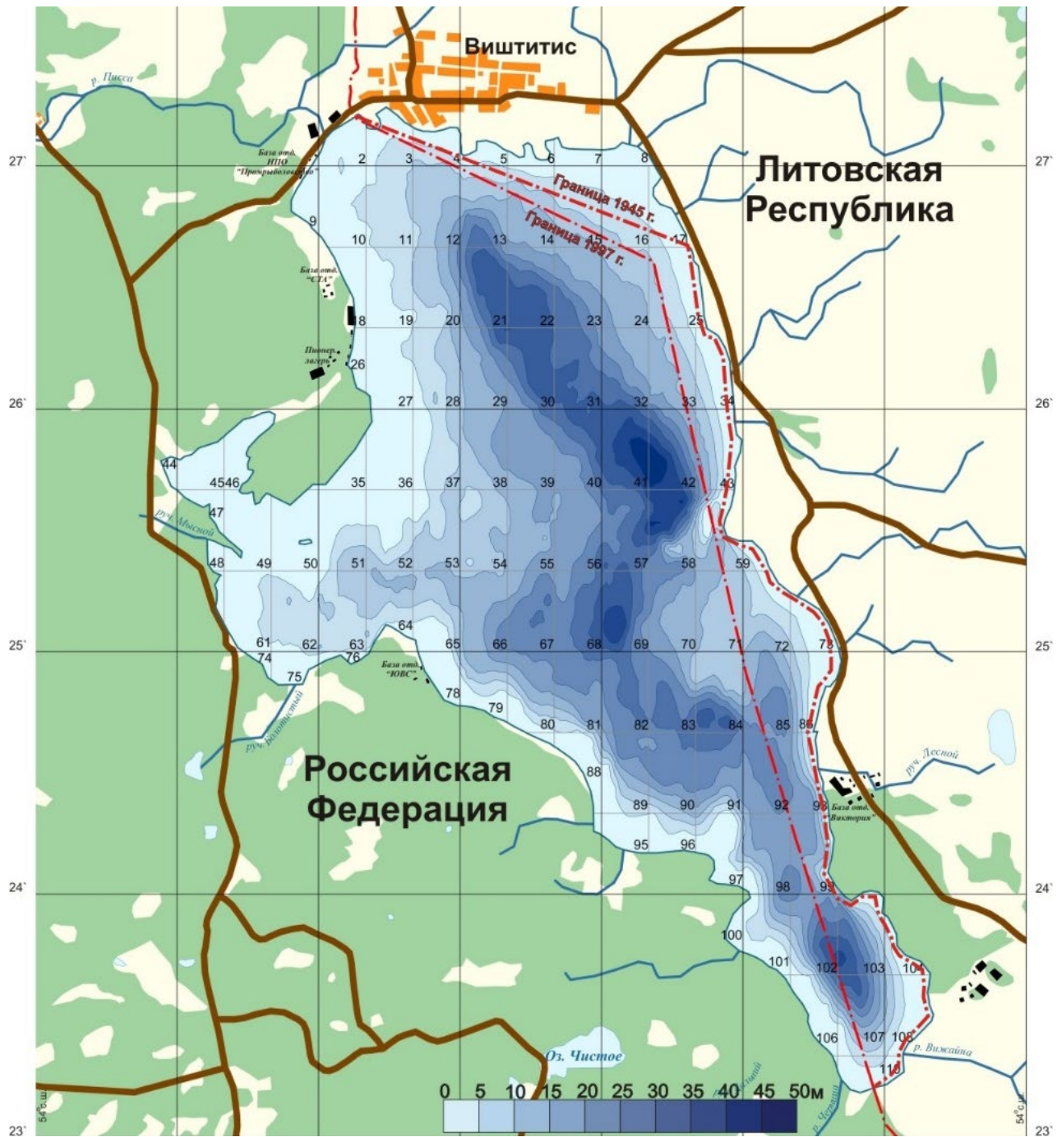


Рисунок 5 – Карта глубин озера Виштынецкого (наши данные)

Таблица 2 – Морфометрические характеристики озера Виштынецкого

Глубина	Площадь водной поверхности		Объем воды	
	га	в % от общей площади	млн. м ³	в % от общего объема
0	1800.9	100	280.4	100
5	1367.7	75.9	206.3	73.6
10	1109.6	61.6	143.3	51.1
15	851.8	47.3	92.4	32.9

Окончание таблицы 2

Глубина	Площадь водной поверхности		Объем воды	
	га	в % от общей площади	млн. м ³	в % от общего объема
20	633.7	35.2	55.6	19.8
25	415.0	23.0	28.9	10.3
30	232.4	12.9	12.7	4.5
35	124.3	6.9	4.4	1.6
40	27.8	1.5	0.9	0.3
45	5.0	0.3	0.1	<0.1
50	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
54	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

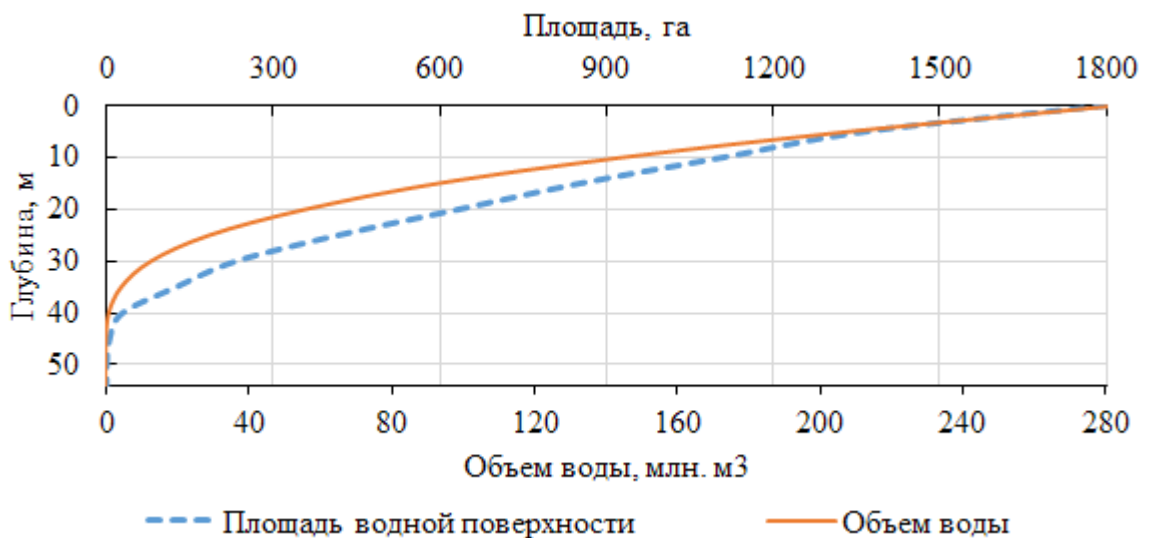


Рисунок 6 –Батиметрические кривые (кривая площадей и кривая объемов) озера Виштынецкого

В озеро впадают 10–12 водотоков, причем только пять из них имеют сток круглый год, остальные «пересыхают в сухие летние месяцы или не имеют стока зимой» [15, с. 95]. В южной части «озеро принимает сток двух небольших речек, берущих свое начало на территории Польши: Черницы и Вижайне, река Вижайне, кроме того, протекает еще и по территории Литвы» [15, с. 95]. Сток из озера «осуществляется одной рекой – Писсой» [15, с. 95], которая соединяет его с Вислинским заливом Балтийского моря через реки Анграппа и Преголя [15, 81].

Озеро Виштынецкое весьма разнообразно по представленным в нем донным осадкам, при этом между рельефом дна и распределением фракций механических элементов прослеживается четкая зависимость [17]. Черные полужидкие илы, содержащие значительное количество остатков наземной и водной растительности,

покрывают дно глубоководных впадин водоема. Пески, в некоторых частях водоема содержащие также гравий и, иногда, гальку, отмечаются в донных осадках озера на глубинах 10 м и менее [15, 17].

Вода в озере характеризуется достаточно высокой для малых водоемов прозрачностью, которая «в центральных частях озера в холодный период может достигать 6–8 м» [17, с. 30]. Прозрачность «снижается по направлению от центральной части водоема к его берегам, достигая значения 1 м и менее в Утином заливе, а также в период вегетации» [17, с. 30].

«Термические процессы, происходящие в озере, характерны для пресноводных глубоких водоемов» [17, с. 33]. В зимний период «температура изменяется от значений, близких к температуре замерзания у поверхности, до 4 °С в придонных горизонтах, т.е. складывается обратная стратификация (расслоение). В начале весны, по мере прогрева воды, температура воды в озере в результате процессов ветрового и конвективного перемешивания становится во всей толще одинаковой (близкой к 4 °С), т.е. устанавливается весенняя гомотермия» [17, с. 33–34]. В теплую часть года складывается «прямая стратификация, при которой температура воды с глубиной уменьшается: появляется слой скачка плотности, но еще не резко выраженный» [17, с. 34]. В летние месяцы формируется слой воды с большим (до 2.5 °С/м) вертикальным градиентом температуры. «В сентябре слой скачка опускается на глубину и постепенно размывается, в октябре-ноябре устанавливается осенняя гомотермия» [15, с. 97] (Рисунок 7). Виштынецкое озеро в соответствии с термической классификацией Домрачева П.Ф. [36] относится к классу умеренно-холодных водоемов, характеризующегося «средней интегральной температурой в летний период в пределах 10–15 °С» [49, с. 22; 47].

Формирующийся в летний период «слой температурного скачка делит водную толщу на три слоя: эпилимнион (верхний, расположенный над слоем скачка), металимнион (средний, слой скачка) и гиполимнион (нижний, расположенный под слоем скачка)» [17, с. 34]. Верхний слой характеризуется временной изменчивостью условий и высокой зависимостью от погодных явлений [17]. «В металимнионе происходит быстрый переход от условий среды над ним к условиям в глубинах

озера» [17, с. 35]. Гиполимнион характеризуется «однородностью свойств и относительным их постоянством во времени» [17, с. 35], постоянно холодный, температура воды даже в жаркое лето обычно не поднимается выше 8–9 °С, опускаясь в придонных горизонтах глубоких впадин до 7 °С и ниже. В литературных источниках отмечается, что «нижняя граница слоя скачка, независимо от степени прогрева воды выше этого слоя, как правило, находится на глубине 13–15 м» [17, с. 36; 15, с. 96].

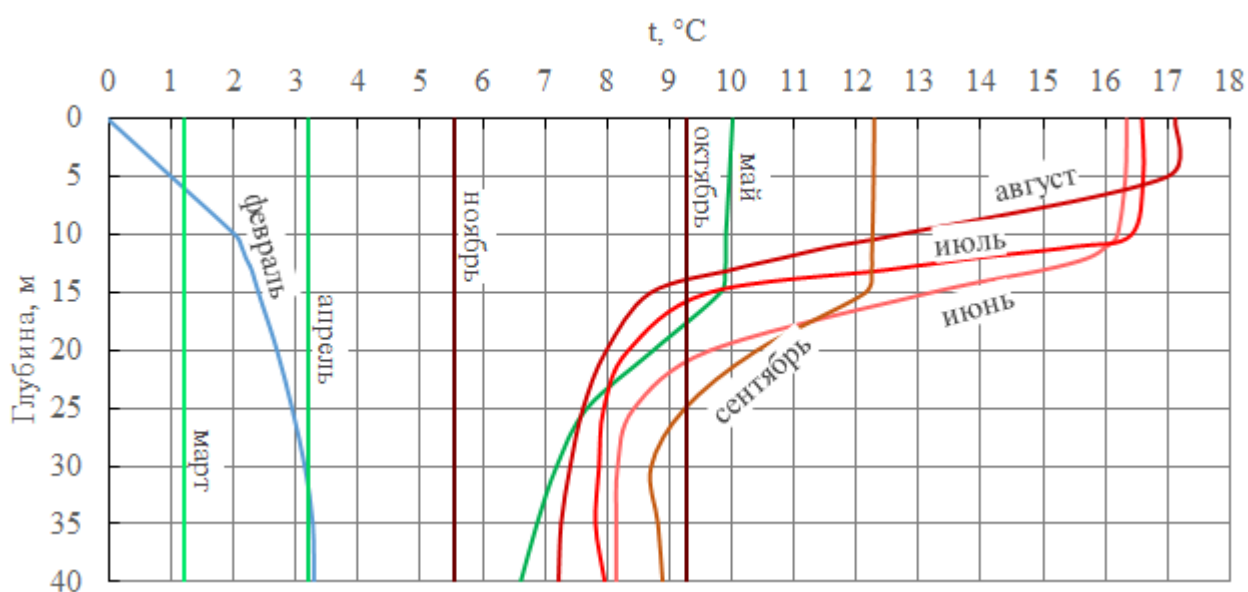


Рисунок 7 – Типичные кривые сезонного изменения вертикального распределения температуры воды в северо-западной котловине озера Виштынецкого [17, с. 34]

Погодные условия как года в целом, так и в период наблюдений, оказывают влияние на основные параметры слоя температурного скачка: его глубину, толщину, время установления и вертикальные градиенты в нем [19, 20, 77]. Несмотря на то, что «нижняя граница слоя скачка летом не опускается ниже 13–15 м» [17, с. 36], многими авторами отмечается вариабельность сроков его формирования из года в год [15, 19, 20, 49, 77]. Например, в 2011 году слой скачка «был сформирован уже в начале июня на всей акватории озера на глубине 10 м и по мере прогрева воды в водоеме лишь опускался» [49, с. 24], тогда как в 2017 году к середине июня «термоклин не имел еще выраженных границ, и глубина его залегания была неодинаковой в разных частях водоема» [49, с. 24].

Необходимо учитывать и тот факт, что между северной и южной частями

озера отмечается наличие различий в температурном режиме, особенно в эпилимнионе [15, 49]. Более прогретой является южная часть озера, что «обуславливается его мифрометрическими особенностями и географическим расположением» [49, с. 24].

Терморегуляционное поведение рыб, определяющее «выбор зоны избираемой температуры в градиентных условиях» [42, 30, 46], является важной теоретической и практической информацией при решении вопросов организации эффективного промысла на исследуемом водоеме. Подобные сведения могут способствовать выявлению точных сроков ведения промысла с целью получения наибольших уловов целевого вида и минимизации экономических затрат на его ведение.

2.2 Гидрохимические условия

Виштынецкое озеро, по гидрохимическим показателям, – «олиготрофный водоем с некоторыми чертами мезотрофности в прибрежных частях, в бухте Тихой и особенно в Утином заливе» [14, с. 97]. «Залив Утиный по свойствам приближается к эвтрофным водоемам» [17, с. 36].

Минерализация воды озера Виштынецкого изменяется от малой до средней (в соответствии с классификацией О.А. Алекина [3]), класс вод – гидрокарбонатный, группа – кальциевая, тип – второй, вода (в соответствии с классификацией О.А. Алекина [3]) – мягкая [17].

«Распределение растворенного кислорода в значительной степени связано со стратификацией вод. Насыщенность эпилимниона кислородом в течение всего года близка к 100%» [14, с. 97], а содержание кислорода составляет порядка 9–15 мг/л. В слое скачка происходит резкое снижение концентрации растворенного кислорода. В гипolimнионе, изолированном от атмосферы и слоя интенсивного фотосинтеза, содержание растворенного кислорода в воде летом значительно снижено (3–8 мг/л), вплоть до его дефицита (насыщение менее 50%). Весной и осенью по мере развития процессов вертикального перемешивания и исчезновения слоя скачка в условиях гомотермии концентрация кислорода по всей глубине выравни-

вается, содержание кислорода в этот период находится на уровне 10–15 мг/л (Рисунки 8–9) [14, 17].

На содержание кислорода также оказывает влияние характер прогрева вод. В особенно жаркие периоды концентрация кислорода может быть заметно снижена. В эпилимнионе насыщенность воды кислородом может быть на 10–20% ниже обычной, у верхней границы слоя скачка данный показатель падал до 70%, у нижней – до 50% [16, 17].

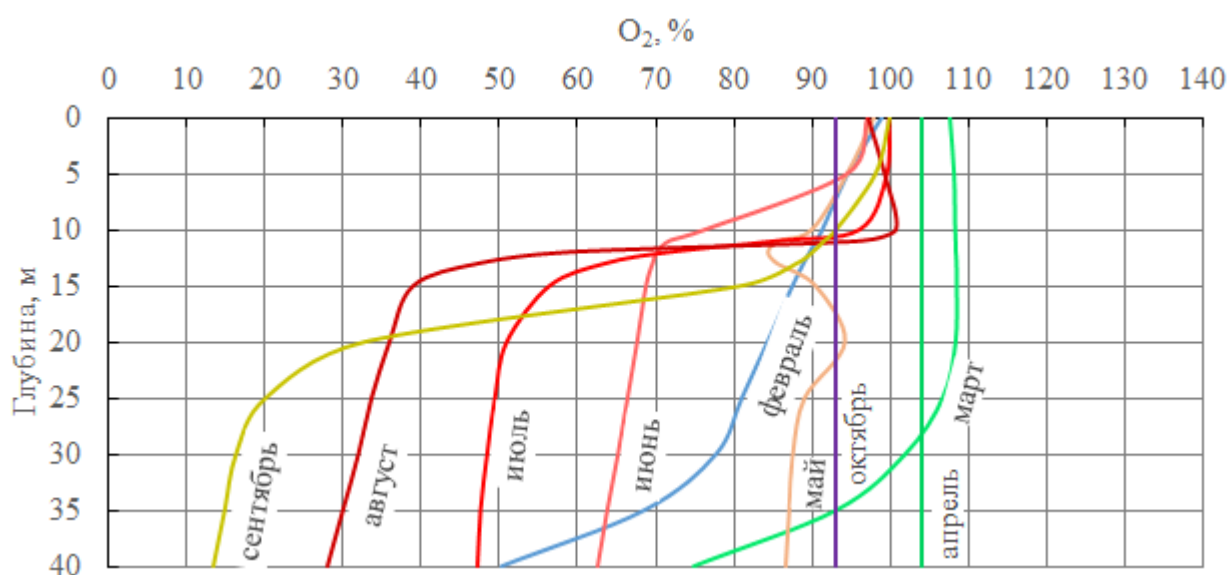


Рисунок 8 – Типичные кривые сезонного изменения вертикального распределения насыщенности воды кислородом в северо-западной котловине озера Виштынецкого [15, с. 97]

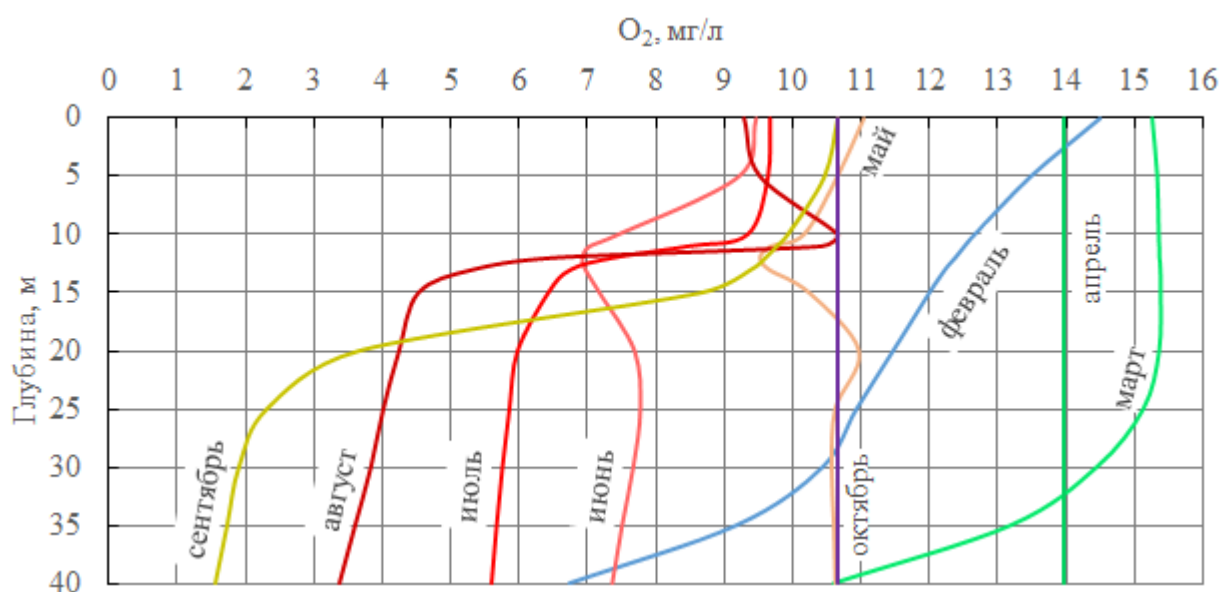


Рисунок 9 – Типичные кривые сезонного изменения вертикального распределения содержания кислорода в воде в северо-западной котловине озера Виштынецкого

Как и температура, кислородный режим оказывает глубокое влияние на жизнь водоема и его обитателей. Учитывая, что пелагические и холодолюбивые рыбы более требовательны к кислороду, чем донные, знания о его содержании в воде играют важную роль в оценке влияния данного параметра на распределение рыб.

«Концентрация, распределение и сезонная динамика биогенных элементов, в основном, соответствуют закономерностям, формируемым сезонностью гидрологических и гидробиологических процессов, а на некоторых станциях отражают еще и степень загрязнения вод» [14, с. 97].

2.3 Зоопланктон и зообентос

В составе зоопланктона озера Виштынецкого обнаружено 115 видов, относящихся к коловраткам (*Rotatoria*), ветвистоусым (*Cladocera*) и веслоногим ракообразным (*Copepoda*). Размеры этих организмов невелики и относятся к микро- и мезопланктону [107]. Многие планктонные животные совершают вертикальные миграции, что способствует переносу вещества на глубины. Среди представителей зоопланктона многие являются биоиндикаторами загрязнения воды. Планктонные животные являются важной составной частью кормовой базы молоди рыб, а также рыб зоопланктофагов. В озере Виштынецком таким зоопланктофагом является ряпушка.

Доминирующими видами зоопланктона на озере Виштынецком являются: коловратки *Asplanchna priodonta*, *A. herickii*, *Kellikottia longispina*, *Cynchilus hippokrepis*; ветвистоусые *Daphnia cucullata*, *D. longispina*, *Bosmina longirostris*, *B. longispina*, *B. coregoni*; веслоногие ракообразные *Cyclops strenuous*, *C. furcifer*, *Acanthocyclops vernalis*, *Mesocyclops leuckarti*, *M. oitonoides*, *Eudiaptomus graciloides*, *Diaptomus castor*.

По акватории озера виды зоопланктона распределены достаточно равномерно, однако максимум видов характерен для пелагической части озера. Наибольшую долю по численности составляют веслоногие ракообразные. Биомасса между группами организмов распределена достаточно равномерно, тем не менее наибольшая ее доля приходится на ракообразных [106]. В сезонном аспекте развитие отдельных

групп зоопланктонных организмов происходит по традиционной схеме – весной преобладают младшие возрастные стадии *Cyclopoidea*, позднее в эту группу добавляются некоторые коловратки, взрослые циклопы, младшие возрастные стадии *Calanoidae* и некоторые ветвистоусые. К началу июля основу биомассы зоопланктона составляют взрослые *Calanoidae*, а к августу существенно возрастает биомасса ветвистоусых.

В составе зообентоса озера Виштынецкого обнаружено 143 вида, являющихся представителями шести классов донных животных: *Oligochaeta* (малощетинковые черви), *Hirudinea* (пиявки), *Bivalvia* (двустворчатые моллюски), *Gastropoda* (брюхоногие моллюски), *Crustacea* (ракообразные) и *Insecta* (насекомые) [106, 107].

Литораль (0–3 м) наиболее богата по качественному составу зообентоса. Среди зарослей водной растительности преобладают брюхоногие моллюски *Radix ovata*, *Physa fontinalis*, *Bithynia tentaculata*, *Pisidium sp.*, *Dreissena polymorpha*; личинки хирономид *Chironomus plumosus*, *Tanytarsus lobatifrons*, *Pocladius ferrugineus*, *Microtendipes chloris*, *Limnochironomus nervosus*, *Sergentia longiventris*; часто встречались пиявки *Glossiphonia complanata*, *Herpobdella octoculata*; ракообразные *Assellus aquaticus*. Кроме того, только в литорали встречаются некоторые виды личинок поденок, ручейников, вислоккрылок, хаборусов и мокрецов. Наиболее разнообразны в видовом отношении группы: *Chironomidae*, *Mollusca* и *Oligochaeta* [105, 107].

В сублиторали (3–7 м) преобладающими видами являются моллюски, в основном дрейссена, в меньшей степени встречаются представители ракообразных бокоплавов и водяных осликов. Группы организмов, в которых наблюдается наибольшее разнообразие, те же, что и в литорали. Сублитораль характеризуется наибольшим разнообразием фауны и максимальной биомассой.

Профундаль (8–42 м) по качественному составу зообентоса достаточно бедна. В основном данная зона представлена моллюсками рода *Pisidium*, олигохетами семейства *Tubificidae* и хирономидами, из которых наиболее многочисленны *Sergentia longiventris*. В литорали и сублиторали встречаются около 90% все видов зообентоса [105].

Распределение зообентоса по ложу озера имеет мозаичный характер распределения, который выражается через качественный состав и численную неоднородность. Однако в целом для озера подавляющую долю численности и биомассы бентоса формируют моллюски [107].

2.4 Ихтиофауна

Ихтиофауна озера Виштынецкого представлена 23 видами рыб, относящихся к десяти семействам, включая сиговых рыб, отсутствующих в большинстве других пресноводных водоемов Калининградской области [4, 5, 79, 80] (Таблица 3). Помимо ряпушки и сига в озере широко представлены обычные виды (карповые, окуневые и др.), которые используют хорошо развитую зону фитали в мезотрофном Утином заливе для размножения и питания [79, 80, 81].

Таблица 3 – Видовой состав рыб озера Виштынецкого [79]

№ п/п	Латинское название	Русское название
Семейство Сиговые - <i>Coregonidae</i>		
1	<i>Coregonus albula (L.)</i>	Ряпушка
2	<i>Coregonus lavaretus (L.)</i>	Сиг обыкновенный
Семейство Щуковые - <i>Esocidae</i>		
3	<i>Esox Lucius L.</i>	Щука обыкновенная
Семейство Речные угри - <i>Anguillidae</i>		
4	<i>Anguilla Anguilla (L.)</i>	Речной угорь
Семейство Карповые – <i>Cyprinidae</i>		
5	<i>Abramis brama (L.)</i>	Лещ
6	<i>Alburnus alburnus (L.)</i>	Уклейка
7	<i>Blicca bjorkna (L.)</i>	Густера
8	<i>Carassius carassius (L.)</i>	Золотой карась
9	<i>Gobio gobio (L.)</i>	Пескарь
10	<i>Leuciscus leuciscus (L.)</i>	Елец
11	<i>Rutilus rutilus (L.)</i>	Плотва
12	<i>Scardinius erythrophthalmus (L.)</i>	Красноперка
13	<i>Tinca tinca (L.)</i>	Линь
Семейство Вьюновые – <i>Cobitidae</i>		
14	<i>Cobitis taenia (L.)</i>	Щиповка обыкновенная
15	<i>Misgurnus fossilus (L.)</i>	Вьюн
Семейство Тресковые - <i>Lotidae</i>		
16	<i>Lota lota (L.)</i>	Налим
Семейство Окуневые – <i>Percidae</i>		
17	<i>Gymnocephalus cernuus (L.)</i>	Ерш обыкновенный
18	<i>Perca fluviatilis L.</i>	Окунь речной
Семейство Рогатковые – <i>Cottidae</i>		
19	<i>Cottus gobio L</i>	Обыкновенный подкаменщик

Окончание таблицы 3

№ п/п	Латинское название	Русское название
Семейство Сомовые – <i>Siluridae</i>		
20	<i>Silurus glanis</i>	Сом обыкновенный
Рыбы, обитающие в реках, впадающих в озеро и вытекающих из него		
Семейство Миноговые - <i>Petromyzontidae</i>		
21	<i>Lampetra planeri (Bloch)</i>	Минога ручьевая
Семейство Карповые - <i>Cyprinidae</i>		
22	<i>Phoxinus phoxinus (L.)</i>	Гольян обыкновенный
Семейство Балиторовые – <i>Balitoridae</i>		
23	<i>Barbatula barbatula (L.)</i>	Усатый голец

Наиболее разнообразной группой в ихтиофауне озера Виштынецкого являются карповые рыбы – 10 видов. Некоторые представители ихтиофауны живут не в самом озере, а в вытекающей из него реке Писсе, поднимаясь для размножения к истоку реки из озера.

В распределении рыб хорошо заметна вертикальная и горизонтальная зональность, а также хорошо выраженная сезонная изменчивость распределения. Вертикальная зональность распределения обусловлена стратификацией вод по температуре в летний период. Гиполимнион благоприятен для холодолюбивых рыб (ряпушка, сиг, налим), литоральная зона и мезотрофный мелководный Утиный залив населены теплолюбивыми видами (линь, уклея, красноперка, густера, лещ и др.), общепресноводные виды (плотва, щука, окунь) «населяют широкий диапазон глубин, включая сублитораль и верхнюю часть профундали» [79, с. 73; 80]. «Горизонтальность распределения рыб связана с радиальным типом распределения глубин от центра озера и ленточным распространением фитали по периметру водоема» [79, с. 73]. Так, центральная часть озера представлена холодолюбивыми видами, прибрежная – теплолюбивыми, остальные виды рыб населяют промежуточную зону [79]. На сезонную динамику распределения рыб оказывает влияние термический режим водоема. Так, например, в период установления осенней гомотермии ряпушка и сиг распределены по всей акватории водоема, а в период нереста отмечается их подход в более мелководные его участки (10–15 м), где присутствует необходимый нерестовый субстрат в виде каменистых или каменисто-песчаных грунтов, которого нет в глубоководных частях озера [79, 80, 81].

По характеру питания также можно выделить несколько экологических групп

рыб. В литорали представлены бентосоядные виды: плотва использует в пищу моллюсков, личинок хирономид, олигохет; лещ, густера, пескарь, щиповка, бычок-подкаменщик питаются личинками хирономид, мелкими донными ракообразными, олигохетами; угорь поедает личинок насекомых. Ряпушка и укляя – планктоноядные рыбы – питаются планктонными ракообразными. К группе фитофагов (растительноядные) относятся красноперка и, отчасти, линь. Щука, налим, крупный окунь ведут хищный образ жизни. Карась и елец являются эврифагами [80, 81].

Существуют различия и по времени нереста: так весной нерестятся щука, окунь и плотва; летом – линь, лещ, густера, укляя; осенью – ряпушка и сиг; зимой – налим [79]. Угорь в озере не нерестится. Для откладки икры рыбы используют разный нерестовый субстрат: растительность (фитофилы) – щука, окунь, плотва, лещ и др.; каменистый грунт (литофилы) – ряпушка, сиг, бычок-подкаменщик; песок (псамофилы) – щиповка, пескарь.

Наличие различных экологических групп рыб, их зональность и сезонная изменчивость распределения объясняются специфическими морфологическими особенностями водоема, значительной глубиной и сезонной термической стратификацией что, соответственно, обуславливает разнообразие биотопов и значительную динамику биологических процессов [79].

2.5 Рыболовство

Достоверных данных о рыболовстве на озере Виштынецком в исторический период не сохранилось. По свидетельству местных жителей, в период до Второй мировой войны лов рыбы не носил коммерческого характера [94].

Официальные данные промысловой статистики озера Виштынецкого датируются 1962 годом. В этот период бригада из девяти человек стала вести промысел на озере. Основными объектами промысла были ряпушка и плотва. Лов осуществлялся с использованием комплекса орудий рыболовства, включающего ставные сети, закидные невода и ловушки. Средние уловы составляли 30–35 т, достигая в отдельные годы 45 т. В целом, вплоть до начала 90-х годов средние уловы составляли 29.6 т [66, 94, 99].

Начиная с 90-х годов XX века наблюдается резкое снижение промысловых уловов, обусловленное, прежде всего, социально-экономическими причинами. За последние три десятилетия (1991–2020 гг.) средний вылов в озере составил 5.3 т при колебаниях от 1.1 (1992 г.) до 12.2 т (2003 г.) (Рисунок 1). В настоящее время промышленный лов на озере Виштынецком ведется двумя организациями и только на российской части водоема на основании разрешений на добычу (вылов) водных биологических ресурсов, выдаваемых Западно-Балтийским территориальным управлением Федерального агентства по рыболовству. В литовской части водоема промышленный лов не ведется, существует только любительское рыболовство, регулируемое на основании общих для Литовской Республики правил рыболовства [99]. В то же время Литовской Республикой ведется специализированный отлов сига в преднерестовый и нерестовый период в рыбоводных целях – для отбора и инкубации икры с целью подращивания молоди и зарыбления других водоемов Литвы, однако объемы его изъятия невелики [94].

С целью искусственного повышения продуктивности озера Виштынецкого водоем не раз зарыблялся различными видами рыб. Так, в 1979–1981 гг. было произведено зарыбление озера молодь угля на стадии стекловидной личинки в количестве чуть более 3-х млн. шт. В 1998 г. с литовской стороны было произведено зарыбление озера 2 млн. личинок ряпушки, в 2001 году – 1 млн. личинок щуки, в 2002 году – 1 млн. личинок налима и в 2006 году – 5 тыс. подрощенной молоди щуки.

На данный момент основными промысловыми видами рыб являются ряпушка, плотва, окунь, сиг, налим, щука, линь, угорь. Основу улова составляют плотва, сиг, окунь, ряпушка. Щука вылавливается в качестве прилова с другими видами рыб. В последние годы данный вид стал одним из основных объектов подводной охоты и по объемам добычи его изъятие дайверами сопоставимо с промышленным ловом [99]. Угорь также является объектом подводной охоты, при этом промысловый лов данного вида по сравнению с 70-ми годами XX века заметно снизился. В качестве прилова при осуществлении промышленного рыболовства в уловах также отмечаются налим, линь и лещ.

3 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕЛАГИЧЕСКОГО ИХТИОЦЕНОЗА ОЗЕРА ВИШТЫНЕЦКОГО

3.1 Методика исследования пелагического ихтиоценоза традиционными методами

Исследование рыбного сообщества внутренних водоемов традиционными методами на предмет оценки структуры ихтиоценоза и плотностей рыбных скоплений имеет определенные особенности. Сложная морфология водных объектов и наличие мелководных участков акватории не дают в полной мере использовать активные орудия лова, а слабое развитие технических средств и рыбодобывающего флота организаций не позволяет применить виртуально-популяционный анализ для оценки численности рыб из-за невысокой интенсивности промысла и применения рыбодобывающими организациями разнотипных орудий лова различной спецификации [90, 96]. Так, например, было отмечено, что «неводные съемки применительно к озеру Виштынецкому малорезультативны ввиду того, что они охватывают только узкую зону литорали, в которую рыбы мигрируют лишь в определенное время суток. Кроме того, высокая прозрачность воды помогает рыбе активно избегать попадания в невод» [96, с. 12]. Одним из вариантов оценки структуры ихтиоценоза на озере Виштынецком активными орудиями добычи могло бы стать использование трала, но отсутствие данного типа орудия лова и специализированных судов, необходимых для его буксировки, не позволяют в полной мере применять указанный способ лова на данном водоеме.

Таким образом, основным способом получения информации о структурных характеристиках пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого традиционными методами стало проведение съемок разноячейными ставными сетями. В качестве методического подхода использовался метод анализа ихтиоценозов малых водоемов, изложенный в литературе [90]. Данный подход предполагает выделение четырех основных характеристик ихтиоценоза, где, наряду с величинами вылова анализируется частота встречаемости вида в уловах. При этом в качестве характеристик

численности (или биомассы) используются данные по уловам на единицу промышленного усилия. Интеграция указанных данных по каждой размерной группе (для ставных сетей аналогом размерной группы выступает шаг ячеи) в совокупности с другими задаваемыми условиями (глубина, местоположение, время проведения наблюдений и т.п.) позволяет получить величину, прямо пропорциональную абсолютной численности (или биомассе), которую в настоящей работе обозначим термином «виртуальная» численность (или биомасса). По сути, это понятие не совпадает с термином, используемым в виртуально-популяционном анализе, и представляет собой эмерджентное свойство, характеризующее взаимодействие представителей ихтиофауны водоема с орудием добычи [90, 101, 104].

3.2 Видовая структура пелагического ихтиоценоза по данным контрольных обловов ставными сетями

3.2.1 Частота встречаемости

В большинстве олиготрофных озер пелагический ихтиоценоз представлен обычно несколькими видами. Количество видов может колебаться, как правило, составляя от двух до семи [7, 12, 48, 59]. В озере Виштынецком, согласно результатам проведенного анализа, установлено, что доминирующим [10] компонентом пелагического ихтиоценоза является ряпушка, которая встречалась более, чем в 70% обловов. Частота встречаемости остальных видов в обловах существенно ниже: на ерша и окуня приходилось 14% и 9% соответственно, на налима – 4%, другие виды (плотва, щука, сиг, уклея) в среднем имели значение частоты встречаемости, близкое к 1% (Рисунок 10).

Ряпушка чаще остальных видов встречалась в сетях с шагом ячеи 6–22 мм. Наиболее высока частота ее встречаемости в сетях с шагом ячеи 9–16 мм, где данный показатель превышал величину 84%. В сетях с большим шагом ячеи наблюдалось уменьшение частоты встречаемости ряпушки (66% и ниже). Начиная с шага ячеи 20 мм данный показатель для ряпушки был сопоставим или ниже такового показателя для прочих видов (Рисунок 11).

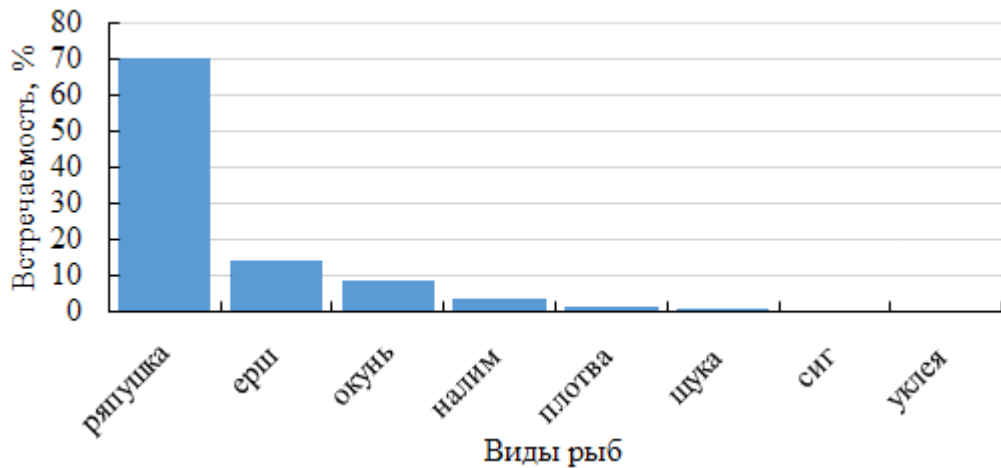


Рисунок 10 – Структура пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого по частоте встречаемости

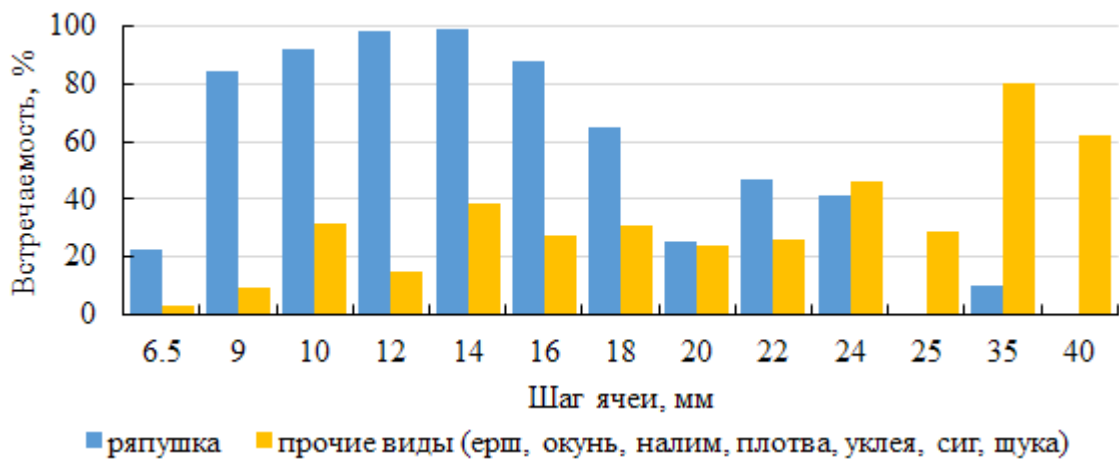


Рисунок 11 – Структура пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого по частоте встречаемости в зависимости от шага ячеи

3.2.1 Виртуальный размерно-видовой состав

Виртуальный размерно-видовой состав пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого, представленный как «набор значений индексов численности каждого из видов рыбы, оцененный по улову» [90, с. 161] ставных сетей с шагом ячеи 6.5, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 25, 35 и 40, показывает, что наибольшие его значения достигались сетями с шагом ячеи 9–14 мм, составляя в среднем 272–398 шт. на единицу промыслового усилия, а его максимальное значение приходилось на сеть с шагом ячеи 14 мм (Рисунок 12). Основная доля вылова по численности в данных сетях приходилась на ряпушку (более 95%), уловы по численности в сетях с шагом ячеи выше 18 мм существенно ниже и составляли в среднем менее 5 шт. на единицу промыслового усилия (Рисунки 12–13).

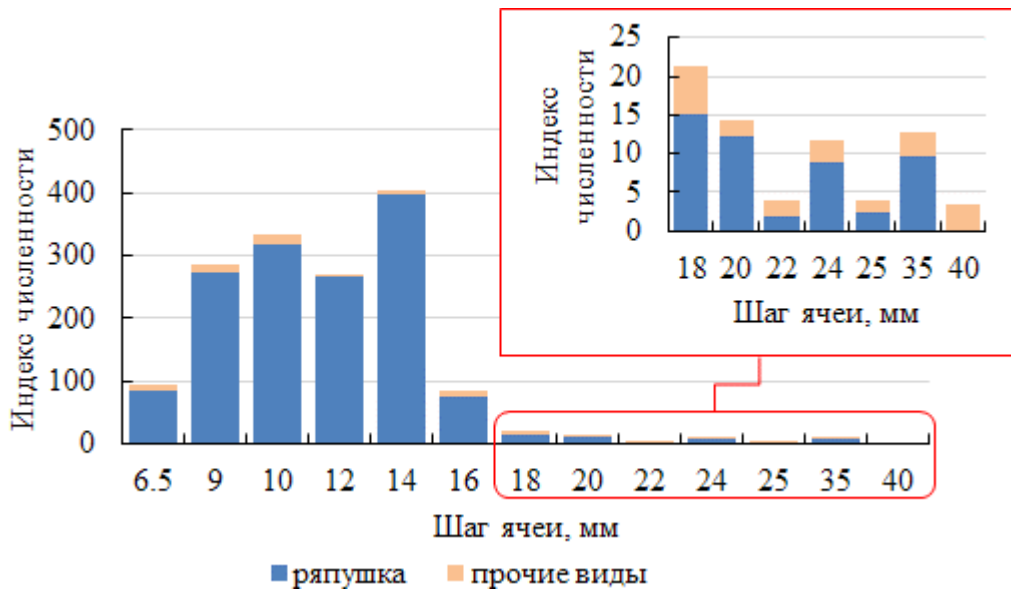


Рисунок 12 – Размерно-видовой состав по численности пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого

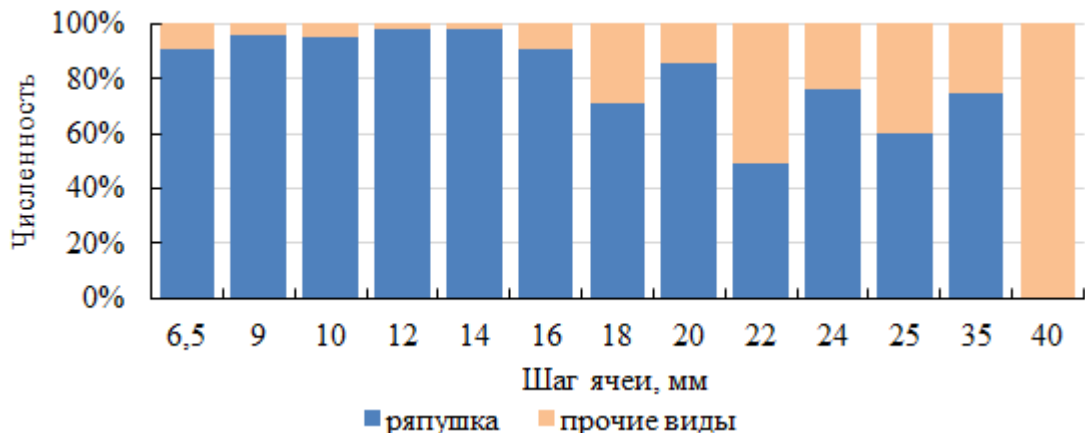


Рисунок 13 – Размерно-видовая структура пелагического ихтиоценоза по численности

Представленный как «набор значений индексов биомассы» [90, с. 161] виртуальный размерный состав пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого имеет следующую картину. Наибольшие показатели данного индекса достигались сетями с шагом ячеи 10–14 мм, в среднем составляя 4.5–9.6 кг на единицу промыслового усилия. Так же, как и в случае с индексом численности, наибольшее значение индекса биомассы приходилось на сеть с шагом ячеи 14 мм, достигая значения 9.6 кг на единицу промыслового усилия (Рисунок 14). Основная доля вылова по массе также приходилась на ряпушку (более 98%). В сетях с более крупным шагом ячеи (35, 40 мм) возрастала биомасса прочих видов, достигая показателей 1.5 кг на единицу промыслового усилия, однако, как видно из виртуального размерно-видового

состава, построенного по индексам численности, уловы таких видов (в основном окунь, плотва, щука) были единичны.

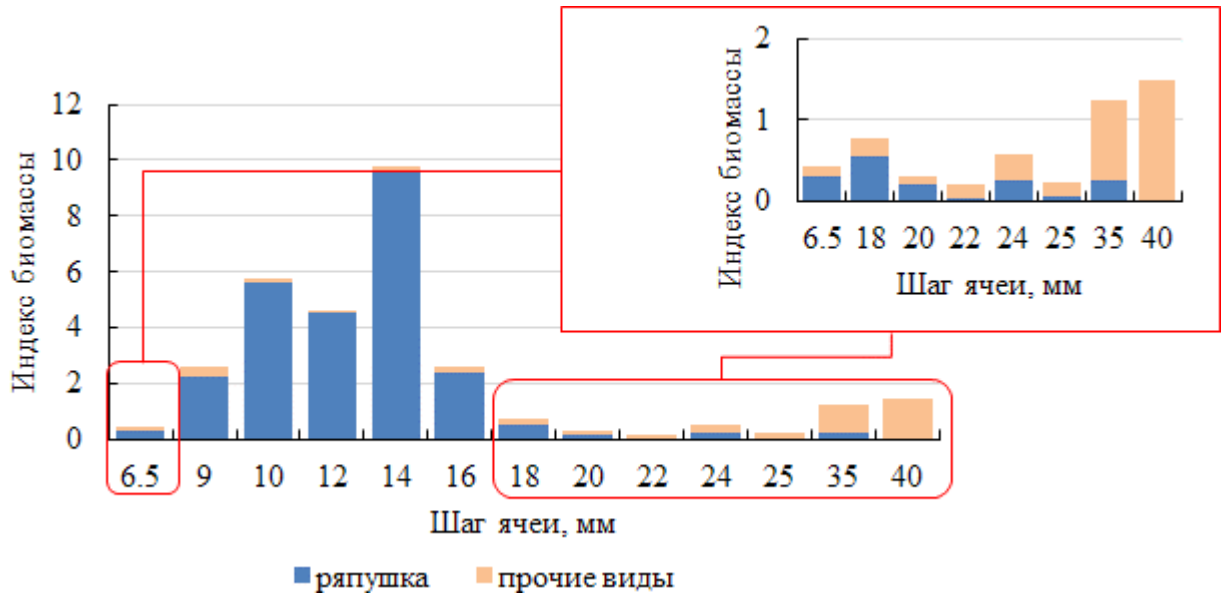


Рисунок 14 – Размерно-видовой состав по биомассе пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого

В целом в ставных сетях с шагом ячей 6–20 мм более 66% биомассы улова приходилось на ряпушку (Рисунок 15).

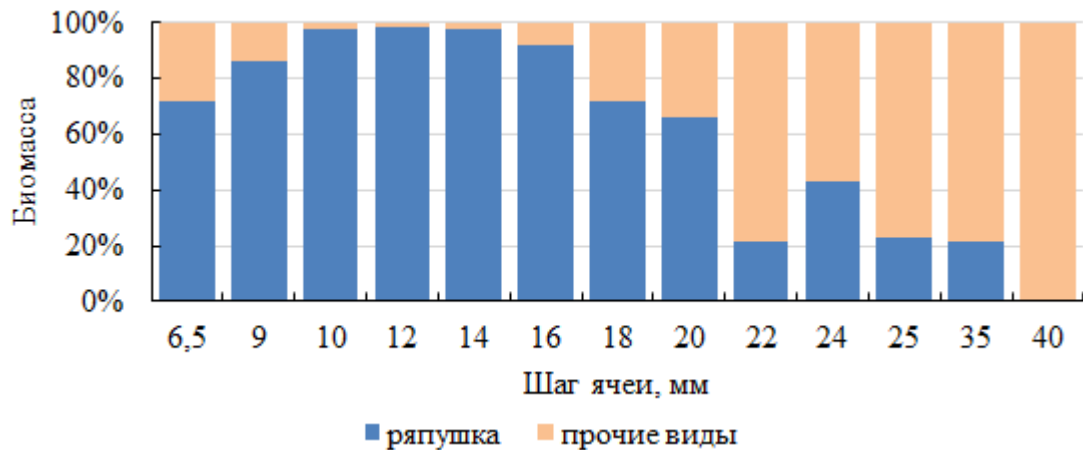


Рисунок 15 – Размерно-видовая структура пелагического ихтиоценоза по биомассе

Сделав допущение, «что коэффициент абсолютной уловистости сетей с разным шагом ячеи одинаков, относительная численность (величина, пропорциональная абсолютной численности, коэффициент пропорциональности для которой неизвестен) каждого вида может быть рассчитана как сумма индексов его численности во всех орудиях лова» [90, с. 161] (формула (1)).

$$Y_{N_{fish}} = \sum_{Mesh=min}^{Mesh=max} Y_{N_{Fish,Mesh}} \quad (1)$$

Такой подход позволяет, например, провести сравнительный анализ динамики относительной численности каждого вида за рассматриваемый период наблюдений (Рисунок 16).



Рисунок 16 – Динамика относительной численности видов пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого

Первые годы наблюдений характеризовались небольшими колебаниями относительной численности ряпушки (за исключением 2010 года, когда наблюдалось снижение данного показателя). Величина ее уловов в сетях составляла в среднем 154 особи на единицу промыслового усилия. Начиная с 2013 года наблюдался рост данного показателя, уловы в 2013–2015 годах достигали своих максимальных значений за рассматриваемый период наблюдений, составляя 245–328 особей на единицу промыслового усилия. С 2016 года показатели уловов снизились: в период 2016–2018 годов вылов составлял порядка 172–227 особей, а в последние два года – в среднем 115 особей на единицу промыслового усилия. Тем не менее, в последний год отмечается незначительный рост величины уловов в ставных сетях по сравнению с предыдущим годом.

Обобщение информации об уловах по горизонтам лова за каждый месяц наблюдений позволило оценить вертикальное распределение рыб в разные времена

года (весенне-летний период) (Рисунок 17).

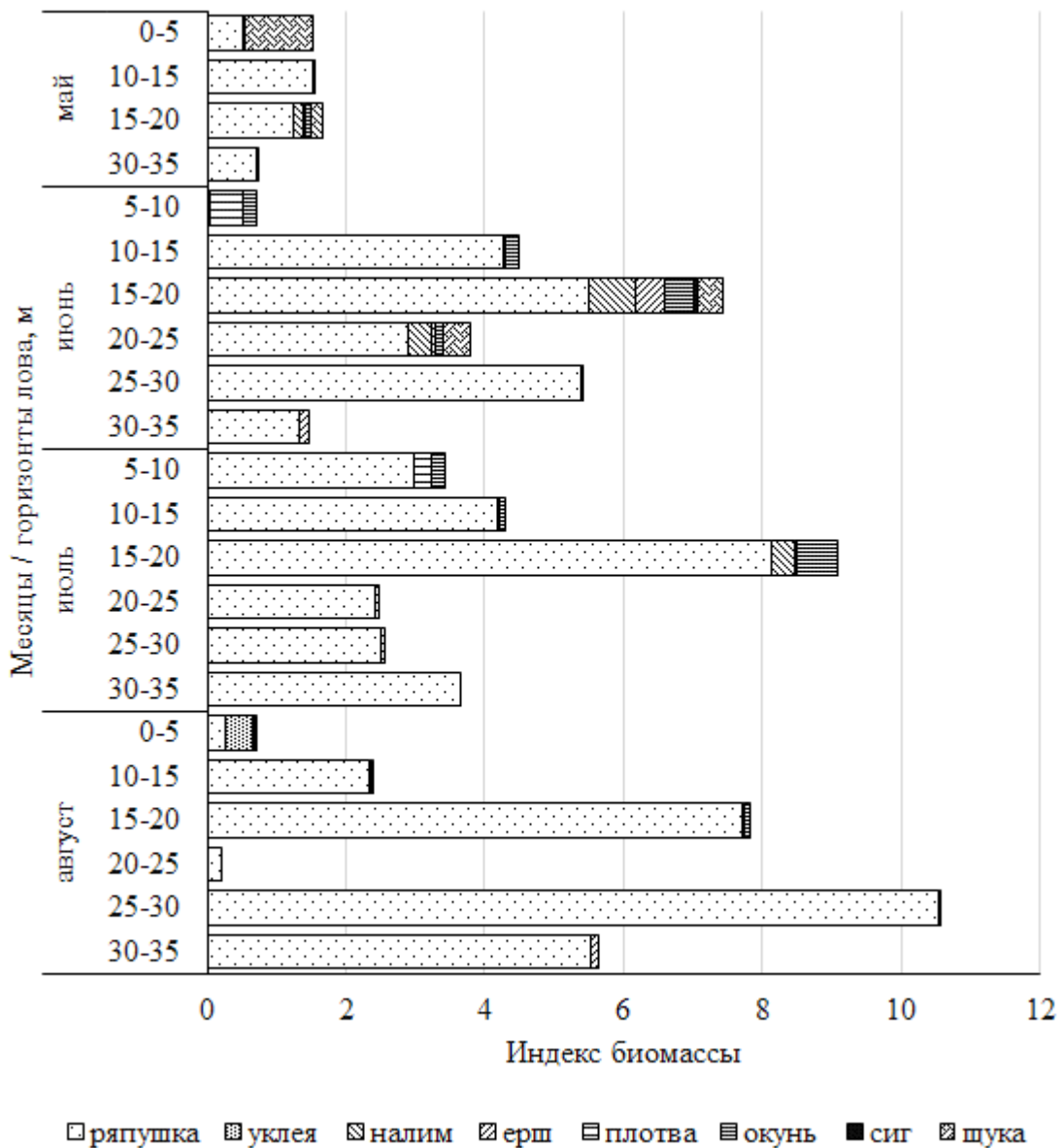


Рисунок 17 – Вертикальная структура видового состава пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого

Результаты показывают, что ряпушка представлена в уловах во всех горизонтах и вне зависимости от сезона (весна-лето) на нее приходились здесь наибольшие величины вылова за исключением самого верхнего слоя (0–5 м), где в уловах преобладали другие виды (укляя, плотва, окунь, щука). В мае средние уловы на усилие по ряпушке не высоки, а особи данного вида отмечались в уловах во всей толще воды. В летние месяцы уловы на усилие возрастали, а в вертикальном ее распределении отмечалось постепенное расслоение, которое становилось наиболее выра-

женным в августе месяце, когда ряпушка была распределена по двум основным горизонтам: 15–20 и 25–35 м. Этот же период характеризовался наибольшими ее уловами, приходящимися на единицу промыслового усилия.

Несмотря на то, что уловы ряпушки, приходящиеся на единицу промыслового усилия, полученные на основании обловов ставными сетями на разных горизонтах лова и разных участках водоема, хоть и позволяют получить информацию о пространственно-временном и вертикальном ее распределении в акватории водоема, тем не менее для более целостного изучения данной картины необходимо использовать дополнительные методы, например, гидроакустические.

3.2.2 Виртуальный размерный состав

«Виртуальный размерный состав популяции пелагического ихтиоценоза для каждого вида рыбы может быть представлен как набор значений индексов численности в уловах» [90, с. 160] ставных пелагических сетей с шагом ячеи 6,5, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 25, 35 и 40 мм, используемых в контрольных обловах на озере Виштынецком в период с 2007 по 2020 годы (Рисунок 18). Более того, представление виртуального размерного состава с учетом горизонта лова позволило получить некоторую дополнительную информацию о соотношении данного индекса по различным глубинам (Рисунки 19–20).

Так, например, для ряпушки наибольшие значения индекса численности приходились на сети с шагом ячей 9, 10, 12 и 14 мм (в среднем порядка 330 шт/ф). Данный вид был представлен практически во всех горизонтах лова, однако более высокие показатели приходились на слой ниже 15 м. Уклея по данному показателю преобладала в сетях с шагом ячеи 10 мм (57 шт/ф) и была представлена только в верхнем горизонте (до 5 м), плотва также фиксировалась только в верхних горизонтах лова (до 10 м), достигая наибольших значений индекса численности (32 шт/ф) в сетях с шагом ячеи 24 мм в диапазоне глубин 0–5 м.

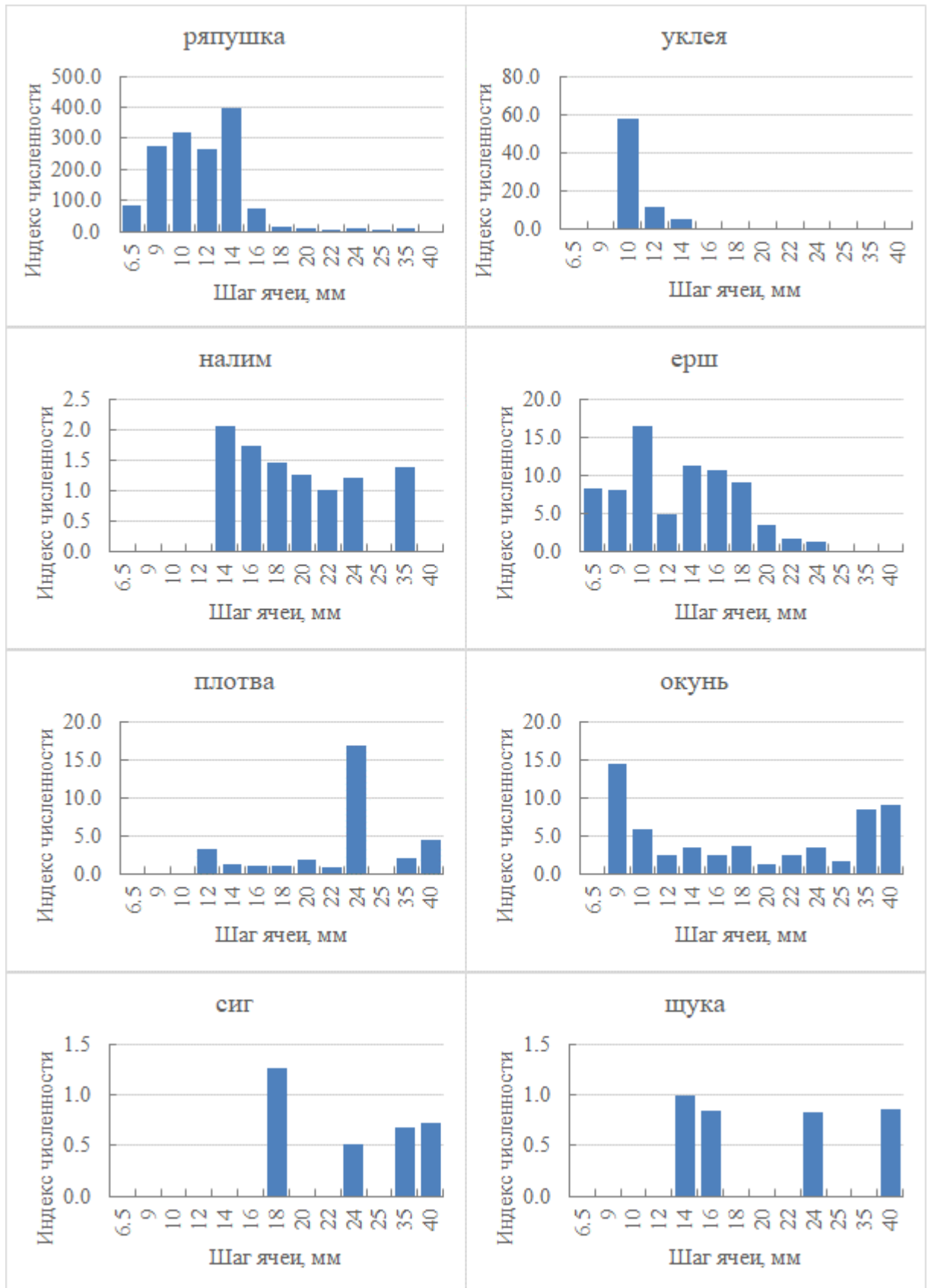


Рисунок 18 – Виртуальный размерный состав (по численности) видов пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого

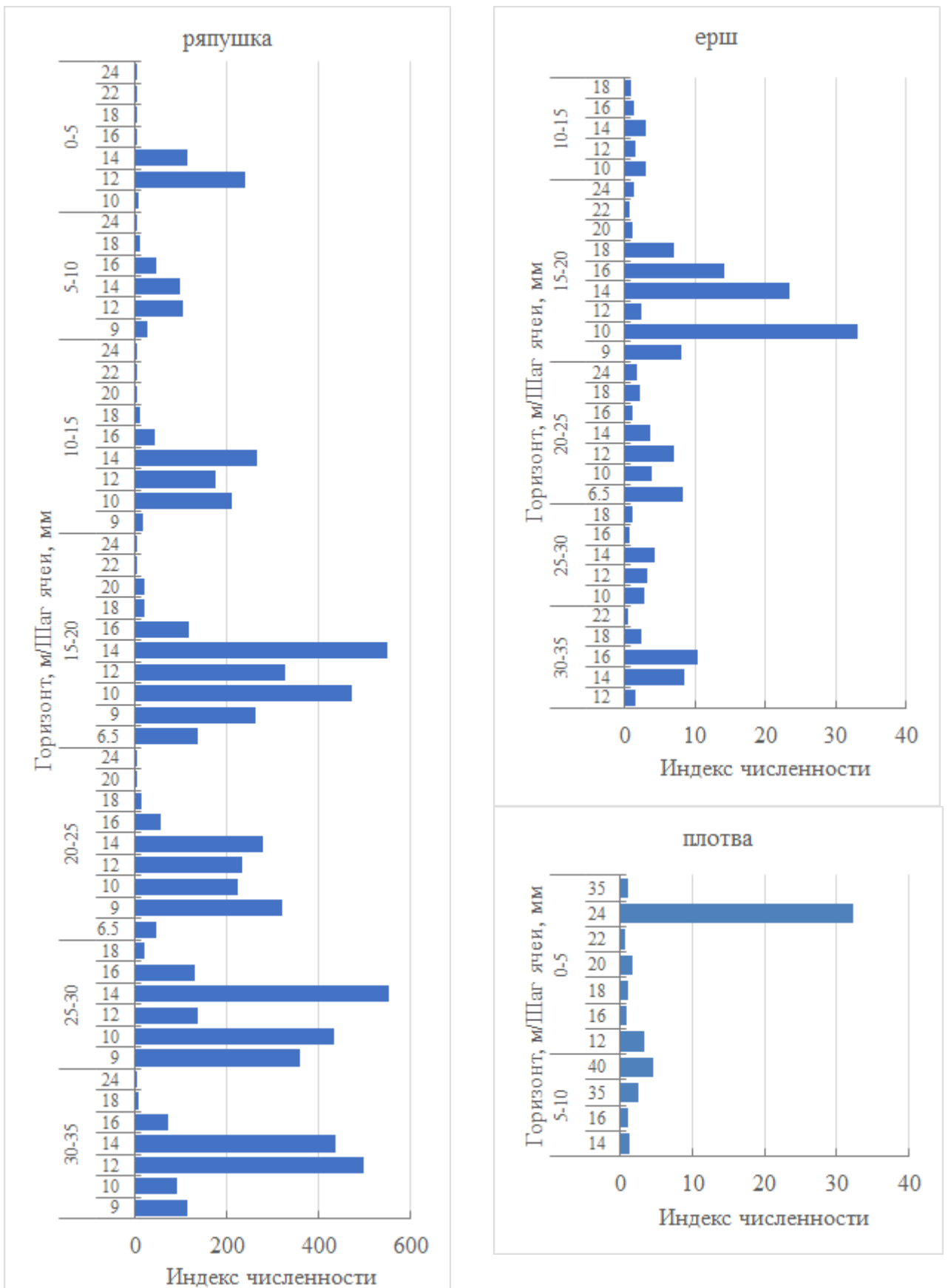


Рисунок 19 – Виртуальный размерный состав (по численности, по горизонтам лова) пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого (ряпушка, ерш, плотва)

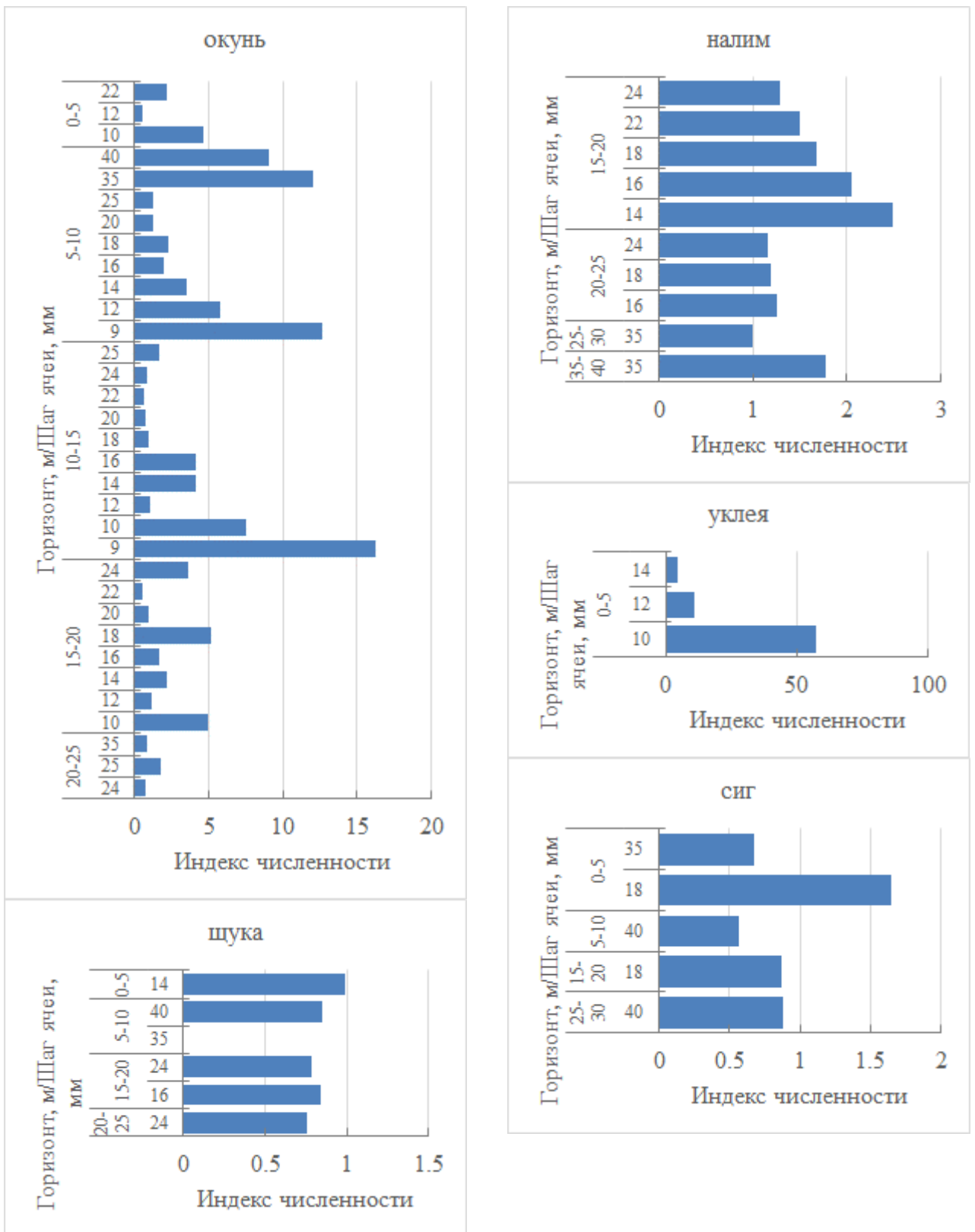


Рисунок 20 – Виртуальный размерный состав (по численности, по горизонтам лова) пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого (окунь, щука, налим, уклея, сиг)

Сиг, щука и налим встречались штучно, индекс численности по данным видам достигал значений 1–2 особи на единицу промыслового усилия. При этом наличие

налима в уловах связано не столько с его обьячеиванием, сколько тем, что, заглатывая ряпушку, он вместе с ней улавливается сетью. Окунь в уловах был представлен в широком диапазоне слоев, однако индекс численности невысок, достигая величины в 16 особей, в среднем составлял 3 особи на единицу промыслового усилия. По сетям с различным шагом ячеи его размерный состав неоднозначен и варьируется с глубиной, в целом наибольшее значение индекса численности достигались в горизонте 5–15 м и приходились на сети с шагом ячеи 9, 35 и 40 мм. Ерш в уловах также был представлен в широком диапазоне слоев (10 м и глубже), в основном в сетях с шагом ячеи до 18 мм. Индекс численности данного вида достигал значений 33 особи, в среднем составляя 8 особей на единицу промыслового усилия. Наибольшие значения данного индекса приходились на сети с шагом ячей 10 и 14 мм.

«Виртуальный размерный состав, представленный как набор значений индексов биомассы» [90, с. 160] в уловах ставных сетей с шагом ячеи 6,5, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 25, 35 и 40 мм, в целом сопоставим с таковой по численности (Рисунок 21), а его представление с учетом горизонта лова позволило получить некоторую дополнительную информацию о соотношении данного индекса по различным глубинам (Рисунки 22-23). Значения индекса биомассы в уловах ставных сетей для ряпушки достигали значений 13.6 кг, в среднем составляя 4.5 кг (для сетей с шагом ячей 10–16 мм) на единицу промыслового усилия и приходились, также, как и в случае индекса численности, на горизонты лова более 15 м. Данный индекс для уклей не превышал значения 1 кг, в среднем составляя 0.4 кг на единицу промыслового усилия. Максимальные его значения приходились на верхний горизонт лова (до 5 м). Значения индекса биомассы у налима в среднем составляли 1.5 кг на единицу промыслового усилия. Схожая картина распределения индекса биомассы по сравнению с индексом численности отмечалась для ерша и плотвы. Однако, если наибольшие значения индекса численности по ершу приходились на сети с шагом ячеи 9 и 10 мм, то по индексу биомассы наибольшие значения достигались сетями с шагом ячеи 6, 10, 14, 16 и 18 мм. В целом смещение индекса биомассы в сторону большего шага ячеи закономерно и объясняется увеличением размеров, и как следствие, массы рыбы, улавливаемой орудием.

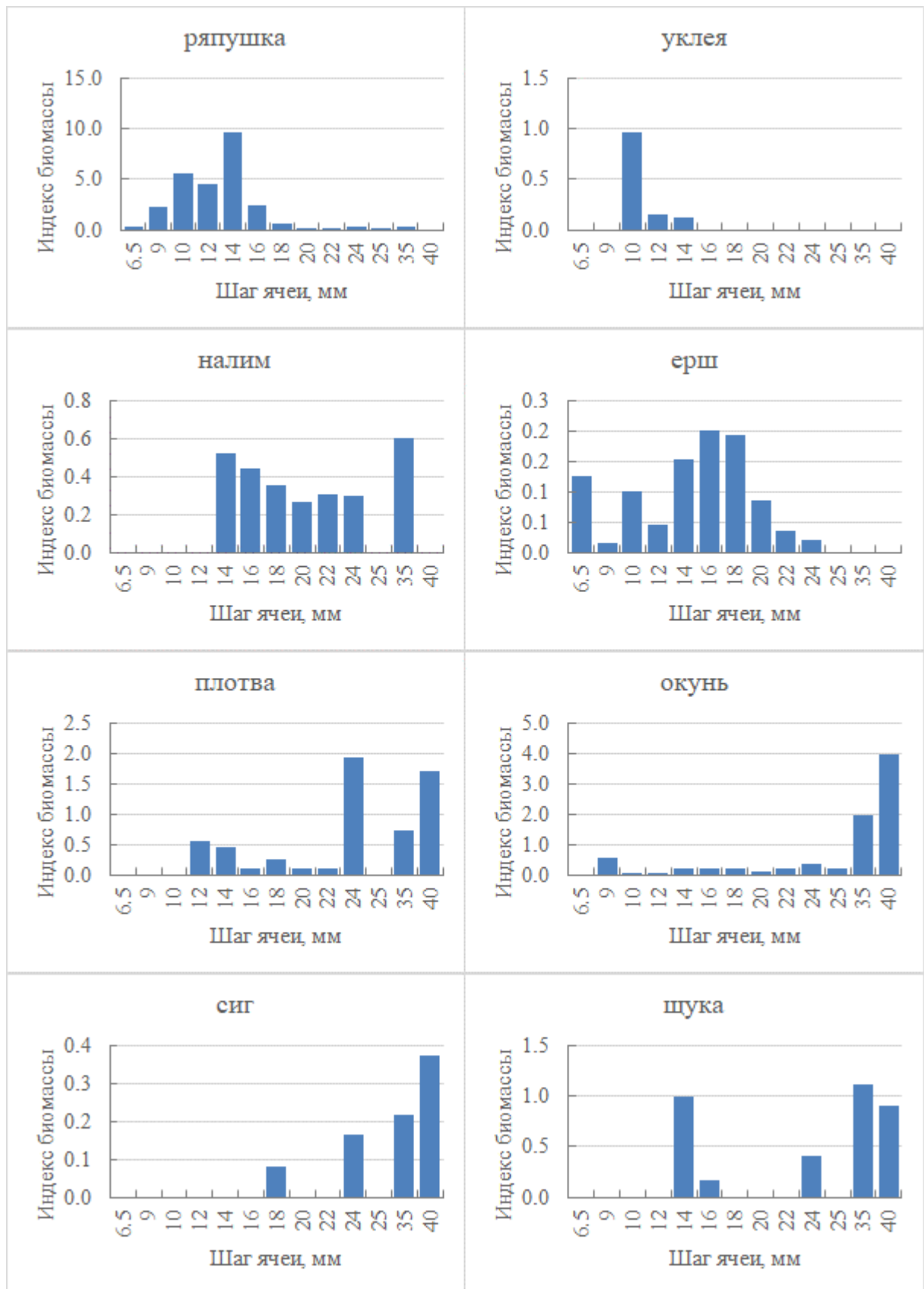


Рисунок 21 – Виртуальный размерный состав (по биомассе) видов пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого

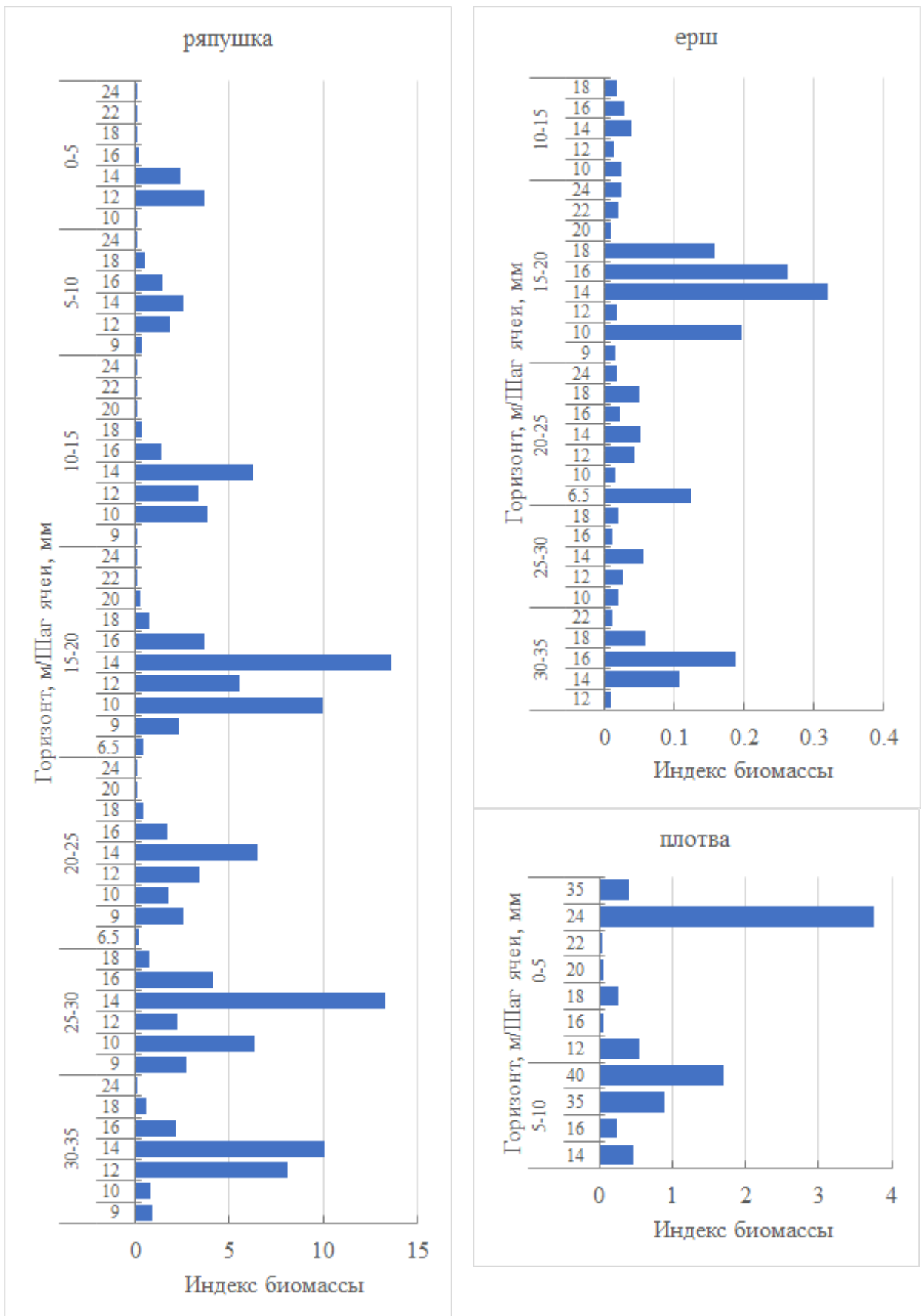


Рисунок 22 – Виртуальный размерный состав (по биомассе, по горизонтам лова) видов пелагического икhtiоценоза озера Виштынецкого (ряпушка, ерш, плотва)

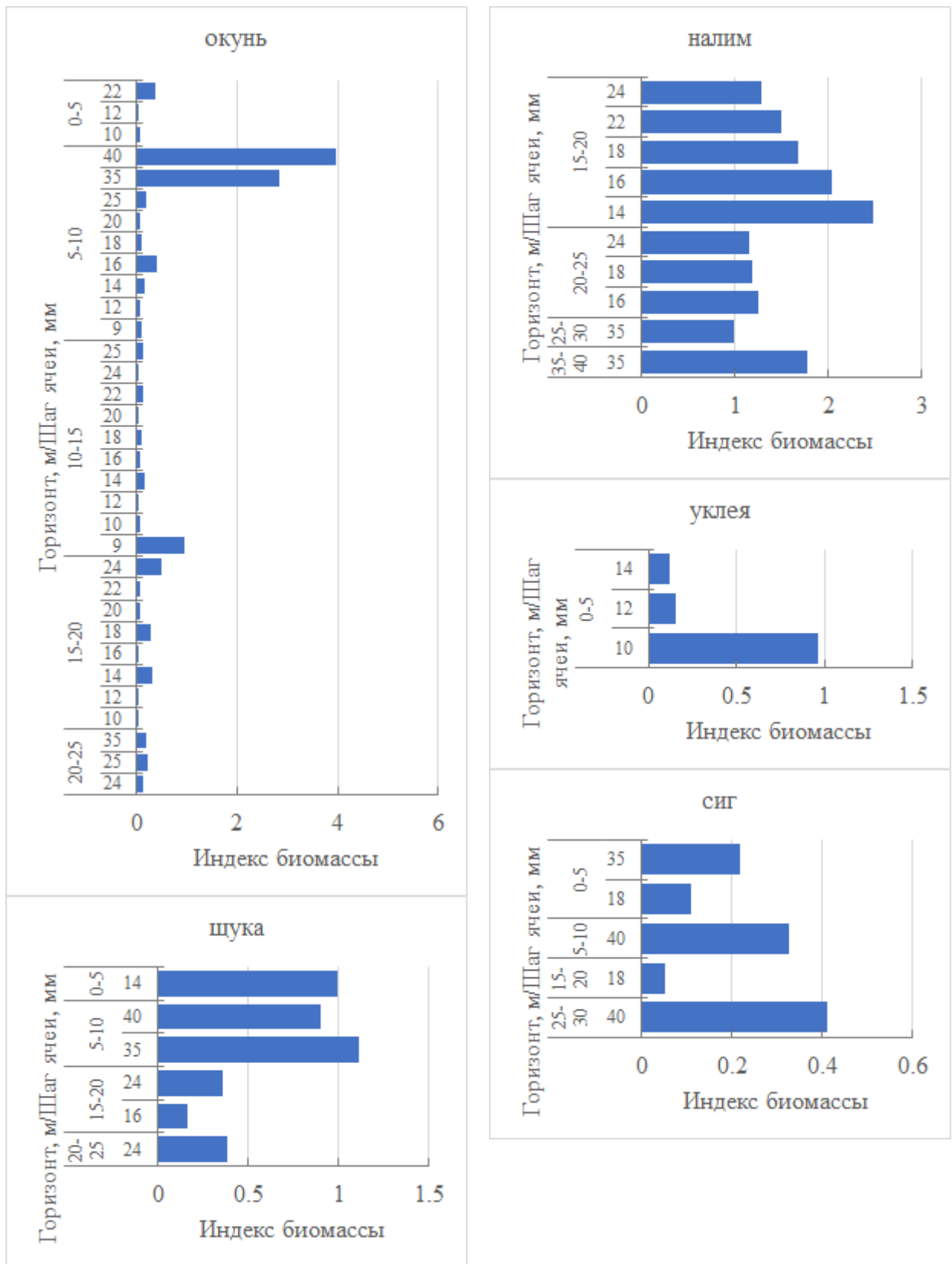


Рисунок 23 – Виртуальный размерный состав (по биомассе, по горизонтам лова) видов пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого (окунь, щука, налим, укляя, сиг)

Несколько иная картина распределения индекса биомассы в сетях с шагом

ячей 6 и 10 мм по сравнению с индексом численности для ерша может быть объяснена тем, что он улавливается орудием лова не только за счет обьячеивания, но и также и за счет всевозможного рода зацепов за сетеполотно, тем самым в сети с более мелким шагом ячей может попасть особь более крупного размера, и, соответственно, веса. Также нельзя не принимать во внимание тот факт, что рост рыбы в течение года не равномерен, и, например, в преднерестовый период вес рыбы при той же длине больше по сравнению с периодом, когда рыба не готовится к нересту (перед нерестом отношение массы гонад к массе тела рыбы максимально [78]). Значения индекса биомассы не высоки, достигая значений 0.32 кг, в среднем составляли 0.06 кг на единицу промыслового усилия.

Наибольшие значения индекса биомассы (3.7 кг на единицу промыслового усилия), также, как и индекса численности, для плотвы приходились на сеть с шагом ячей 24 мм и горизонт лова 5–10 м, однако можно отметить увеличение роли ставных сетей с шагом ячей 35 и 40 мм в виртуальном размерном составе для данного вида: индекс биомассы для данных сетей составлял 1.3 кг на единицу промыслового усилия.

Наибольшие значения индекса биомассы в уловах по окуню достигали значений 3.9 кг на единицу промыслового усилия и приходились на сети с шагом ячей 35 и 40 мм и диапазон глубин 5–10 м. Средние значения индекса биомассы для щуки и сига были невысоки и составляли соответственно 0.6 и 0.2 кг на единицу промыслового усилия.

3.2.3 Виртуальная размерная структура

Виртуальная размерная структура может быть представлена «как совокупность долей по численности (по биомассе) в уловах ставных сетей» [90, с. 160] с разным шагом ячей. Принимая во внимание тот факт, что за рассматриваемый период (2007–2020 годы) на озере Виштынецком для оценки пелагического ихтиоценоза использовался разный набор ставных сетей, с целью сопоставления виртуальных размерных структур за разные годы были взяты сети с шагом ячей 12, 14, 16 и 18 мм, которые применялись во все годы исследований.

Учитывая, что как по частоте встречаемости, так и по размерному составу в сетях с шагом ячеи 12, 14, 16, 18 мм ряпушка является доминирующим видом, виртуальная размерная структура приведена только для данного вида (Рисунок 24).

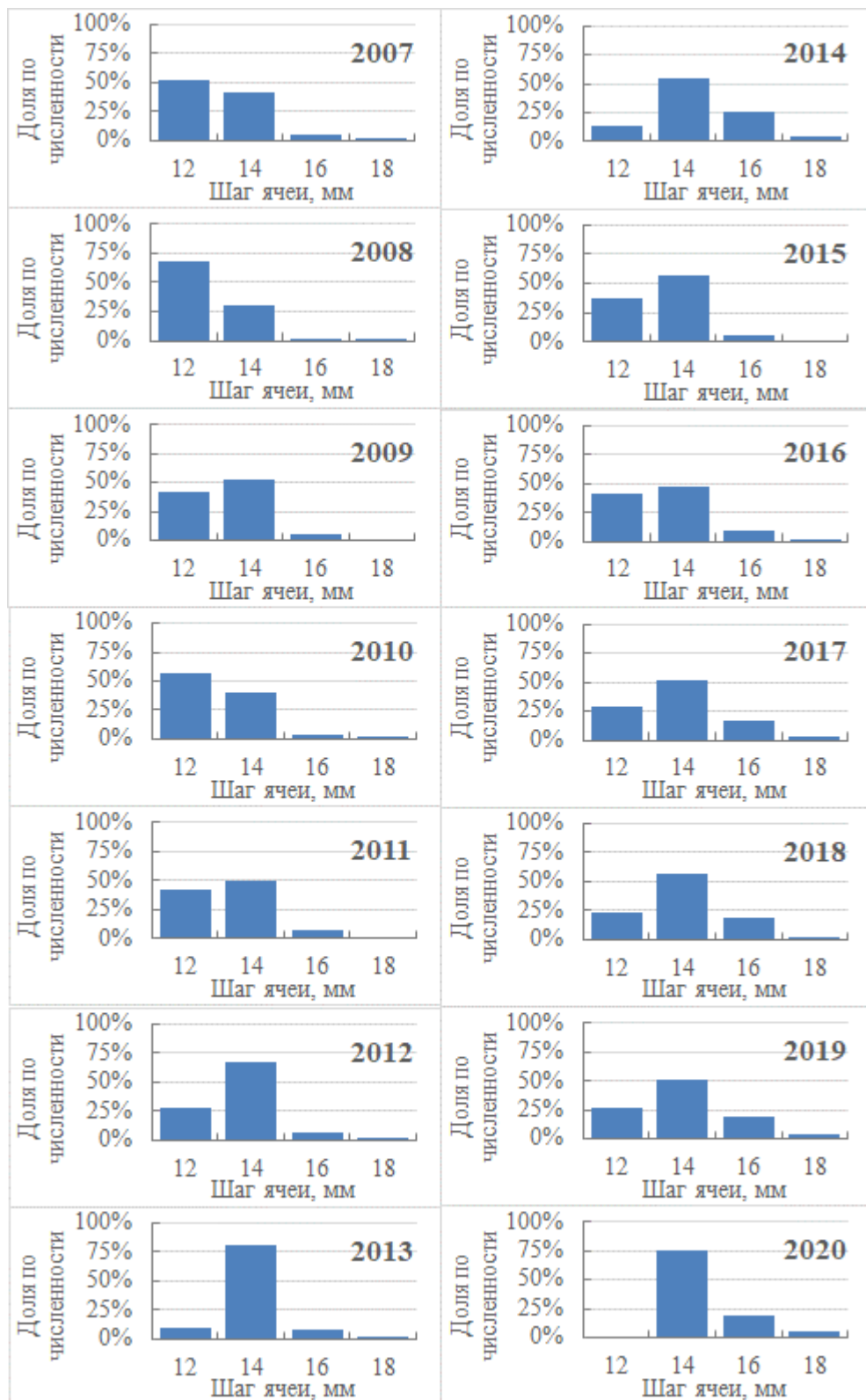


Рисунок 24 – Виртуальная размерная структура ряпушки озера Виштынецкого с 2007 по 2020 годы (по численности)

В целом, можно отметить, что за рассматриваемый период основная доля по численности приходилась на сети с шагом ячеей 12 и 14 мм, причем если в первые 4 года наблюдений преобладающими по данному параметру были в основном сети с шагом ячеей 12 мм, то в дальнейшем основная доля уже приходилась на сети с шагом ячеей 14 мм. Также в последние несколько лет наблюдается увеличение доли численности ряпушки в сетях с шагом ячеей 16 и 18 мм, составляя в среднем 18% и 4% (против 5% и 1% в более ранние годы) от общей ее численности в уловах соответственно.

Виртуальная размерная структура, представленная как совокупность долей по биомассе в уловах ставных сетей с шагом ячеей 12, 14, 16 и 18 мм, в целом сопоставима с таковой по численности. На сети с шагом ячеей 12 и 14 мм приходится более 85% от общей биомассы улова (Рисунки 25-26). В последние годы увеличилась доля ряпушки по биомассе в сетях с шагом ячеей 16 и 18 мм и составила в среднем 23% и 3.5% (против 9.3% и 1.4%) соответственно.

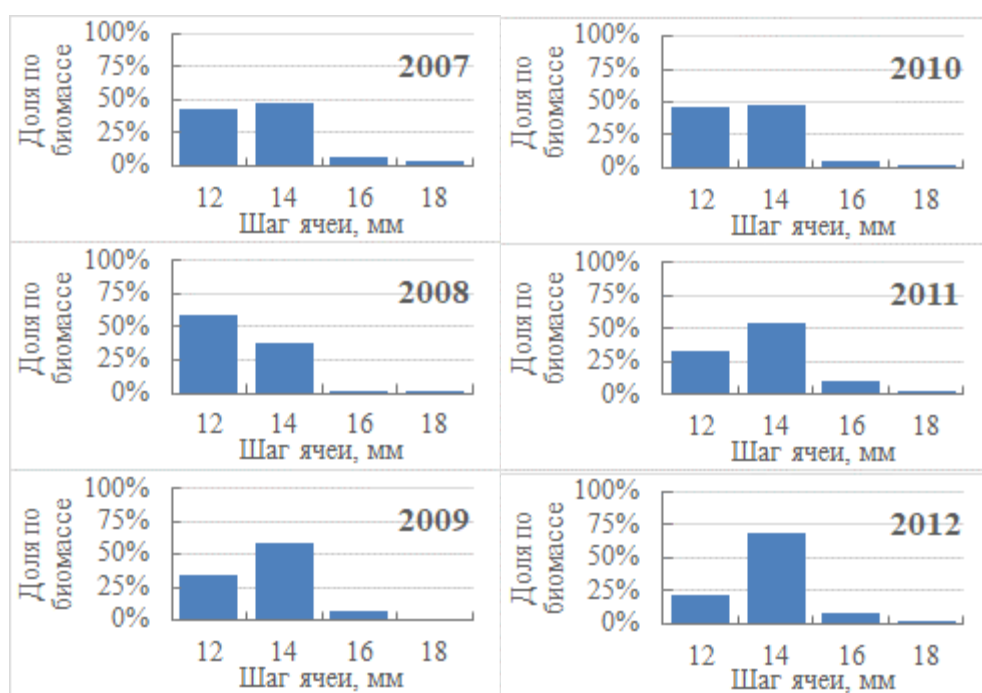


Рисунок 25 – Виртуальная размерная структура ряпушки озера Виштынецкого с 2007 по 2012 годы (по массе)

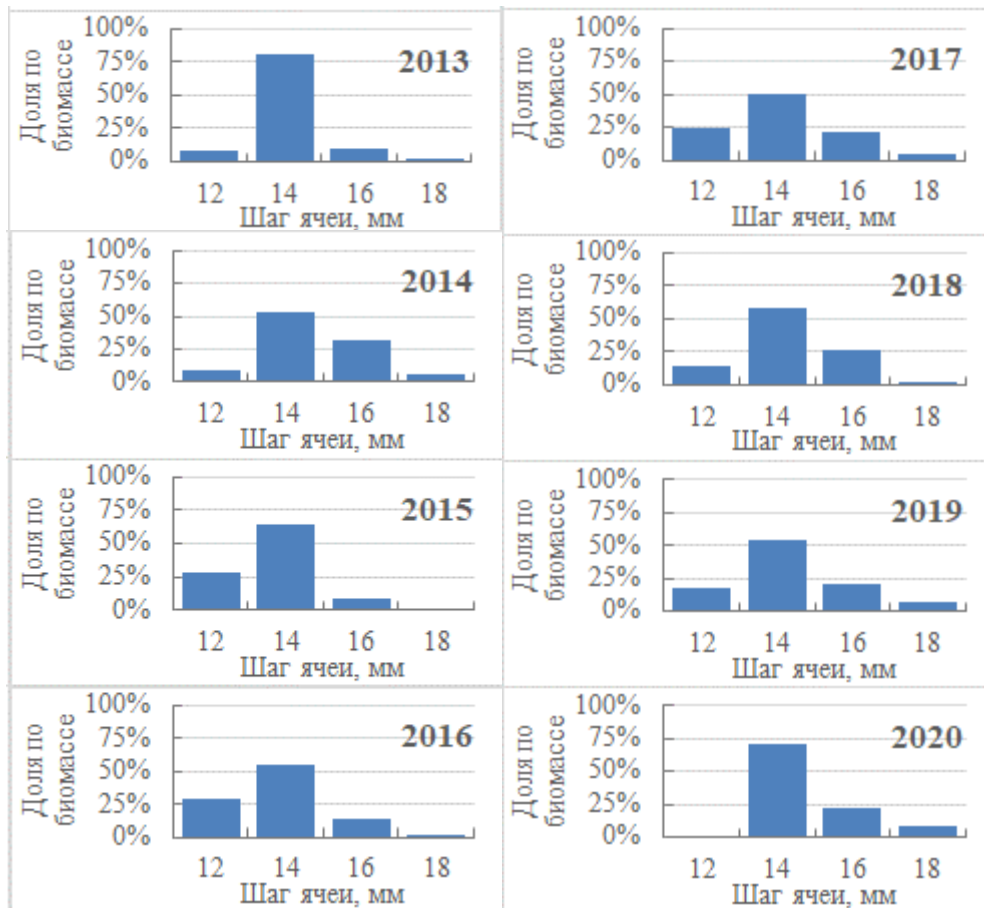


Рисунок 26 – Виртуальная размерная структура ряпушки озера Виштынецкого с 2013 по 2020 годы (по массе)

3.3 Видовая структура пелагического ихтиоценоза по данным экспериментальных траловых съемок

Отсутствие информации о коэффициенте уловистости ставных сетей, используемых при оценке пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого, сложности в сопоставлении данных по уловам на усилие и численности, определяемой по данным гидроакустических съемок, отсутствие полной информации о размерной структуре привели к необходимости оценки возможностей проведения траловых съемок на данном водоеме как для решения научных, так и практических задач [100].

С этой целью представителями кафедр промышленного рыболовства и ихтиологии и экологии КГТУ была разработана конструкция пелагического четырехпластного трала с «набором ячей 80, 60, 30, 18, 12, 10, 5 мм общей длиной 40 м» [100, с. 71]. Трал буксировался в «близнецовом варианте двумя лодками с ис-

пользованием подвесных моторов мощностью 25 л/с каждый. Вертикальное раскрытие трала составило 5 м, горизонтальное – 7 м, скорость траления 3–5 км/ч, горизонт лова задавался путем подбора необходимой длины ваеров» [2 с. 55].

Оценка положения трала в толще воды «осуществлялась с использованием гидроакустического комплекса «АсКор»» [100, с. 71; 33]. Применение средств гидроакустики при проведении траловых съемок позволило достаточно точно наводить его на скопления рыбы в пелагиали озера (Рисунок 27), а также провести оценку плотности рыбных скоплений в зоне работы трала.

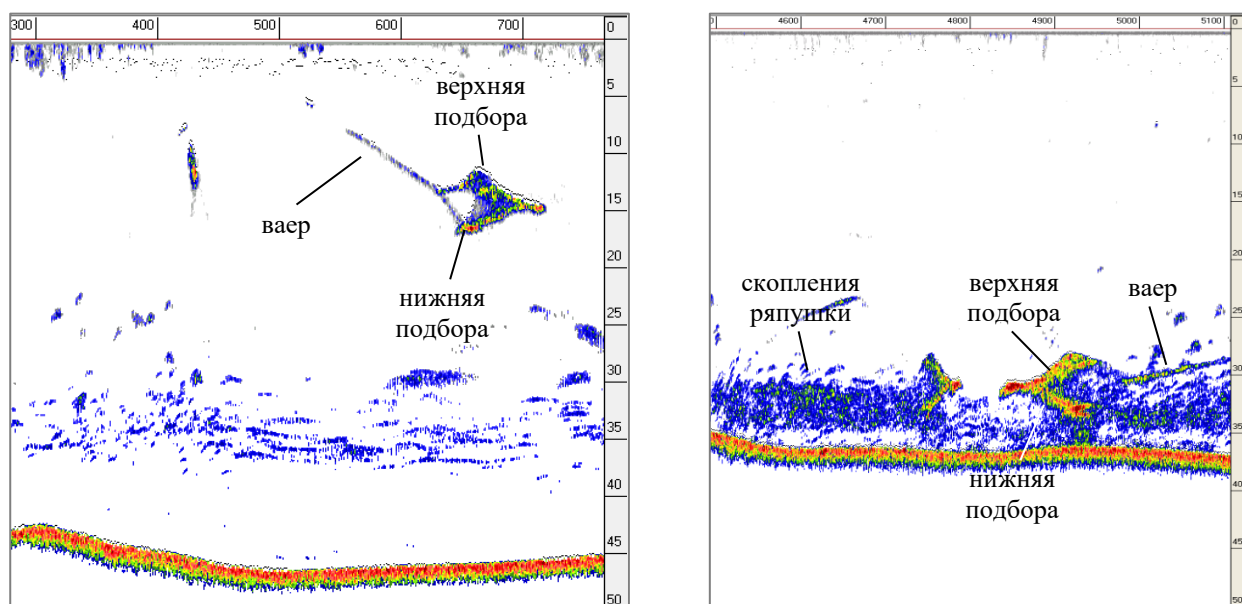


Рисунок 27 – Регистрация трала гидроакустическим комплексом «АсКор» в толще воды

В течение лета 2012–2013 гг. была проведена серия контрольных обловов в дневное и ночное время. Проведенный анализ результатов тралового лова показал, что доминирующим компонентом ихтиоценоза по частоте встречаемости, как и в случае со ставными сетями, является ряпушка, которая встречалась в 100% тралений. По 20% приходилось на налима и ерша (Рисунок 28).

По индексам численности и биомассы (в качестве единицы промыслового усилия принимается улов за час траления) ряпушка также является преобладающим видом: на нее приходилось почти 100% от общей численности и 98% от общей биомассы траловых уловов (рисунок 29).

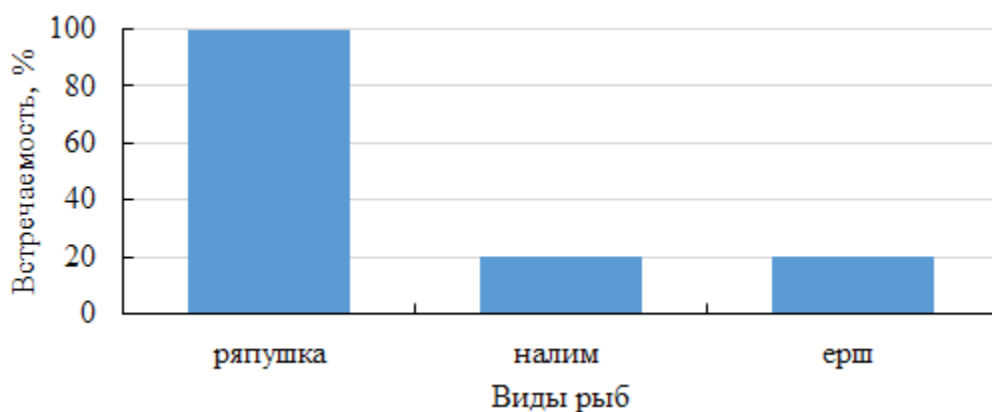


Рисунок 28 – Структура пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого по частоте встречаемости по данным траловых съемок

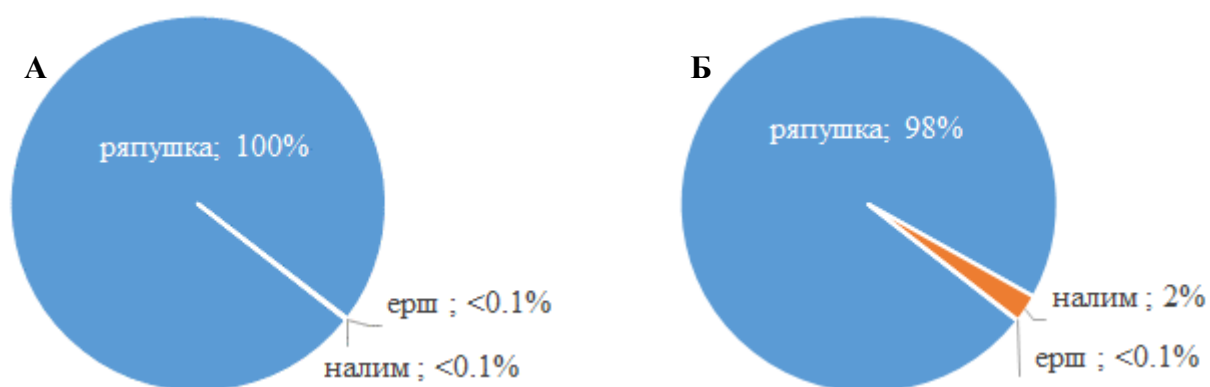


Рисунок 29 – Видовая структура пелагического ихтиоценоза по данным траловых уловов: А – по численности; Б – по биомассе

Принимая во внимание тот факт, что отцеживающее орудие лова селективно-стью не обладает (т.е. предполагается, что будут улавливаться все особи больше некоторой длины, определяемой шагом ячеи в кутке трала (другие факторы, такие как уход рыбы из зоны облова и т.п. в данном случае не учитываются)), виртуальный размерно-видовой состав пелагического ихтиоценоза в данном случае может быть представлен как «набор значений индексов численности» [90, с. 161] каждого из видов рыбы, приведенный для каждой размерной группы. Результаты показывают, что все размерные группы (от 3 до 14 см) в траловых уловах были представлены в подавляющем большинстве исключительно ряпушкой, наибольшие значения индекса приходились на две модальные размерные группы: 4-6 см и 10-13 см, составляя в среднем 96 и 61 шт. на единицу промыслового усилия соответственно (Рисунки 30-31).



Рисунок 30 – Виртуальный размерно-видовой состав по численности пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого



Рисунок 31 – Виртуальный размерно-видовой состав по численности пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого

Представленный как «набор значений индексов биомассы» [90, с. 161] виртуальный размерный состав пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого по данным траловых уловов имеет следующую картину. Наибольшие показатели данного индекса приходились на размерные группы 11–13 см, в среднем составляя 1.4 кг на единицу промыслового усилия, при этом максимальные значения приходились на размерную группу 11 см, достигая величины 1.5 кг на единицу промыслового усилия (Рисунки 32–33). Смещение индекса биомассы в сторону больших размерных групп относительно индекса численности закономерно и объясняется увеличением размеров, и как следствие, массы рыбы, улавливаемой орудием.

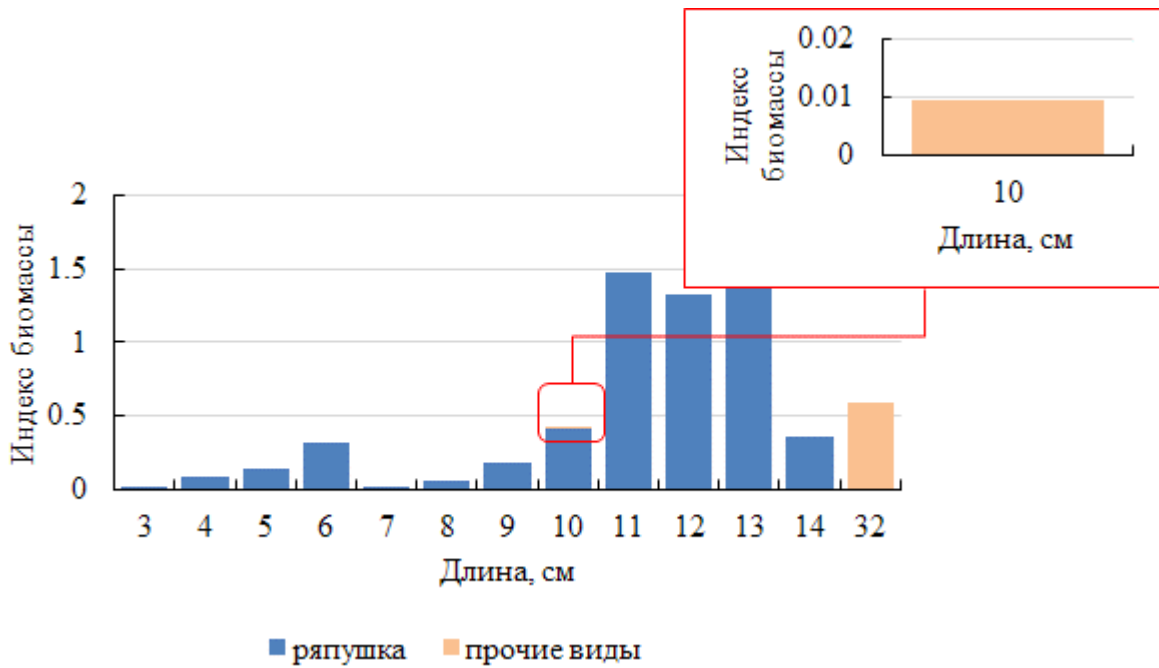


Рисунок 32 – Виртуальный размерно-видовой состав по биомассе пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого



Рисунок 33 – Размерно-видовая структура пелагического ихтиоценоза по биомассе

Сопоставление результатов тралений с периодом их проведения позволило дать комплексную оценку динамики уловов и размерного состава ряпушки в зависимости от времени суток и месяца лова (Рисунок 34). Результаты показывают, что ночные уловы ряпушки тралом вне зависимости от сезона превосходили по величине дневные, при этом разница составляла более чем в 2 раза. И дневные, и ночные уловы в разные летние месяцы были представлены в большинстве своем размерными группами ряпушки от 4 до 14 см, при этом преобладали (по массе) в них относительно крупные особи с размерами 9–13 см. Наибольшие по величине уловы

приходилось на август месяц.

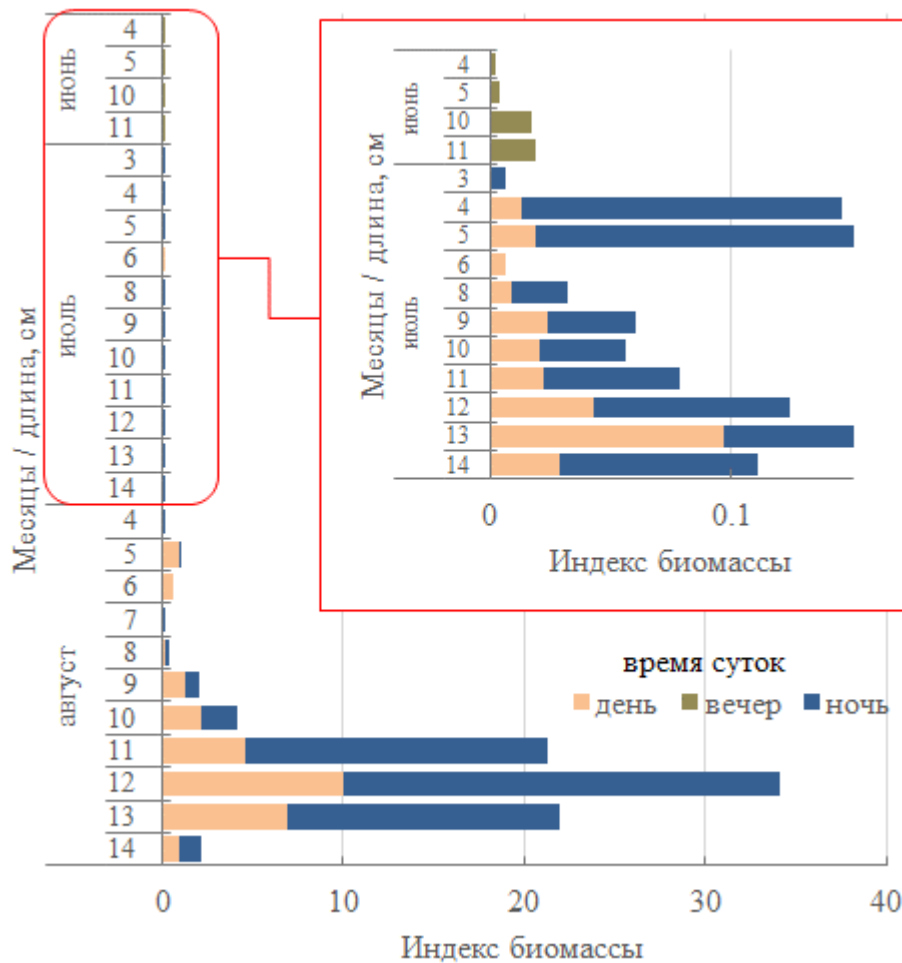


Рисунок 34 – Виртуальный размерный состав (по биомассе, месяцам и времени суток) ряпушки озера Виштынецкого

«Максимальный улов разноглубинным тралом был достигнут в августе месяце в ночное время и составил 1.87 тыс. шт. Параллельная гидроакустическая оценка численности рыб в слое траления дала следующие величины численности: в слое 15–20 м – 8.1 тыс. шт.; 20–25 м. – 10.8 тыс. шт.; 25–30 м – 5.0 тыс. шт. Таким образом, коэффициент абсолютной уловистости трала может находиться в пределах 0.17–0.37, что вполне согласуется с литературными данными по разноглубинным тралам» [100, с. 72].

Траловые съемки, проведенные на озере Виштынецком, позволили впервые получить уловы сеголетков ряпушки и учесть их биологические параметры при оценке перспектив рационального использования данного вида. При этом следует

отметить, что полученные результаты экспериментального тралового лова ряпушки (индексы численности и биомассы, суточная и сезонная динамика изменения данных показателей, коэффициент уловистости) ввиду малого количества совершенных тралений требуют дальнейшей их верификации. Тем не менее, принимая во внимание результаты контрольных обловов ставными сетями пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого, сопоставляя их с данными проведенных траловых съемок, можно сделать вывод, что доминирующим как по численности, так и по биомассе видом пелагического ихтиоценоза является ряпушка. Принимая во внимание указанное обстоятельство, результаты гидроакустических съемок по оценке численности и пространственно-временной динамики распределения рыб в толще воды могут быть интерпретированы как относящиеся только к ряпушке.

4 ГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЕЛАГИЧЕСКОГО ИХТИОЦЕНОЗА ОЗЕРА ВИШТЫНЕЦКОГО

4.1 Гидроакустический метод оценки водных биоресурсов и используемое программно-аппаратное обеспечение

4.1.1 Гидроакустический метод оценки водных биоресурсов

Широко применяемые для оценки, контроля состояния и изучения рыбного населения традиционные методы, включающие в себя проведение обловов различными (как активными, так и пассивными) орудиями лова, не всегда дают необходимую для количественной оценки запасов точность. Так, например, известно, что «результаты траловых съемок в значительной степени зависят от точности данных о селективности и уловистости трала. Не последнюю роль играют опыт и умение судоводителя и квалификация экипажа» [31, с. 128]. При этом трал позволяет обловить за раз только какой-то конкретный диапазон глубин, а «результаты вычислений основываются лишь на данных, полученных в слое облова» [22, с. 5]. Более того, «данные, полученные по результатам тралений, имеют прерывистый характер, поскольку в большинстве случаев расстояния между траловыми станциями значительно больше полос самих тралений. При высокой неоднородности распределения рыбных скоплений степень пространственной неопределенности может быть очень большой» [22, с. 5]. Еще большая неопределенность относится к результатам оценок рыбных запасов на внутренних водоемах, когда для проведения исследований применяются ставные сети. Указанные орудия позволяют получить лишь относительное представление о распределении рыб, а по объемам их вылова невозможно выйти на показатели плотности скоплений и абсолютной численности [22].

Принимая во внимание проблемы традиционных методов количественной оценки водных ресурсов, мировым сообществом были предприняты шаги по поиску методов, основанных на иных принципах измерений. «Оптический метод, основанный на принципах непрерывного лазерного зондирования поверхности воды

с воздуха» [22, с. 6], не получил широкого распространения ввиду «небольшой глубины зондирования и малой вероятности распознавания отдельных рыб» [22, с. 6; 52]. «Водолазный метод изучения распределения рыб с использованием фото и теле систем и других инструментальных способов хоть и позволил получить ценный материал по биотопическому размещению и разноплановой активности рыб на морском мелководье» [22, с. 6; 65] и в различных внутренних водоемах [28, 64], однако его широкое применение ограничивается прерывистым характером получаемых данных (используется сетка станций для отбора проб), временными затратами на проведение съемки, особенно при наличии больших глубин и размеров водоема, а также сложностью его применения в водоемах с повышенной мутностью.

В значительной мере подобного рода недостатков и ограничений лишен гидроакустический метод. В сравнении с традиционными методами оценки водных биоресурсов возможность исследования большого объема акватории за короткое время является одним из важнейших преимуществ данного метода. Благодаря непрерывной регистрации данных, собираемых во время выполнения съемки, становится возможным изучать пространственное распределение рыб. Отсутствие непосредственного контакта с исследуемыми объектами не приводит к травмированию или гибели последних. Исследование всей толщи воды во время проведения съемки является еще одним неоспоримым преимуществом данного метода [22, 53].

Однако, наряду с достоинствами, данному методу присущи и ряд недостатков. Так, «точность гидроакустического метода в значительной степени зависит от используемой в расчетах обилия величины поперечного сечения обратного рассеяния или силы цели объектов исследований, оцениваемой в основном экспериментальным путем *in situ* и имеющей вариабельность в зависимости от сезона, района работ и времени суток» [53, с. 22; 22; 45]. Данное обстоятельство не дает возможности получать видовой и размерный состав по данным гидроакустики, что требует дополнительного проведения контрольных обловов для этих целей [8, 22, 53]. Помимо этого, ошибку в результаты «может вносить неопределенность, связанная с распространением и затуханием звука в среде и с идентификацией объектов на эхо-

граммах» [53, с. 22; 51]. Результаты гидроакустических и траловых съемок подвержены влиянию реакции рыбы на шум, издаваемый судном [54, 55]. И, если «в случае траловых съемок ошибка измерений может быть скомпенсирована дифференцированными коэффициентами уловистости трала» [53, с. 22], то «в случае оценки плотности рыбных скоплений гидроакустикой учесть эффекты влияния шумового поля судна на данный показатель из-за отсутствия методики их учета в настоящее время не представляется возможным» [53, с. 23]. Следует также отметить, что применение гидроакустического метода на водоемах, имеющих обширные мелководные зоны, затруднено ввиду наличия у гидроакустической аппаратуры «мертвой зоны», которая обычно составляет порядка 1.5–3.0 м [8]. Недооценка рыб, находящихся непосредственно на дне, также является недостатком, ограничивающим возможности использования гидроакустических комплексов при изучении донных обитателей водоемов [8]. Тем не менее, по сравнению с гидроакустическим никакой другой метод не может обеспечить столь высокой скорости получения количественных характеристик плотности скоплений рыб и их численности, а также точности получаемых данных и столь большого объема сведений за достаточно короткий промежуток времени [8].

Основу гидроакустического «метода оценки численности составляют две последовательные задачи: количественная оценка локализованных значений плотности и восстановление абсолютных значений численности по данным гидроакустической оценки локализованных значений плотности» [35].

Решение первой задачи осуществляется с использованием двух основных методов: эхосчета и эхоинтегрирования [6, 52, 53]. Первый метод заключается в суммировании зарегистрированных «в зоне действия эффективной диаграммы направленности антенны» [22, с. 19] рыбных целей. Второй метод основан на «решении фундаментального уравнения эхоинтегрирования, в котором плотность биомассы на единицу площади находится в прямо пропорциональной зависимости от метрологических характеристик гидроакустической измерительной аппаратуры и коэффициента обратного поверхностного рассеяния рыб в действующем объеме диа-

граммы направленности антенны» [22, с. 19]. Данный метод «признан наиболее эффективным и надежным методом для количественной оценки как разреженных рыбных скоплений, так и стай различной плотности» [22, с. 19], а его теоретическое обоснование подробно изложено в ряде публикаций [112, 124].

По своей сути, данный метод представляет собой «способ решения обратной задачи рассеяния, в которой эхосигнал описывается как совместный результат трех составляющих: положение цели в пространстве, ее отражательная способность и потери звука в водной среде» [22, 35]. При этом необходимо учитывать, что разные скопления рыб, отличающиеся как размером, так и видовым составом, могут образовывать один и тот же эхосигнал, что требует при определении их плотности наличия дополнительных сведений, в первую очередь, о силе цели разных видов рыб [84, 109, 117].

Значительный объем информации о силе цели для различных видов рыб в дорсальной и боковой плоскостях сканирования были опубликованы Лавом [115]. Сравнительный анализ результатов, полученных им и другими исследователями, позволили сделать вывод о том, что для дорсального ракурса справедливо следующее равенство (формула (2)) [84]:

$$TS = 19.1LgL - 0.9Lgf - 62.0, \quad (2)$$

где TS – сила цели, дБ;
 L – длина, см;
 f – частота, кГц.

Уравнение Лава часто используется при расчётах численности и биомассы рыб, когда отсутствуют экспериментальные зависимости для данного вида рыбы и используемой частоты излучения. В литературе для ряпушки встречаются и экспериментальные зависимости, например, линейная регрессия следующего вида, полученная для частоты 120 кГц (формула (3)) [116]:

$$TS = 25.5LgL - 70.9, \quad (3)$$

где TS – сила цели, дБ;
 L – длина, см.

При разных частотах можно использовать поправку d (формула (4)):

$$d = 0.9Lg \frac{F}{f}, \quad (4)$$

где F – используемая частота, кГц;
 f – референтная частота, кГц.

«Непосредственным результатом количественной оценки плотности водных биоресурсов гидроакустическим методом являются пространственно-распределенные относительные значения плотности оцениваемых гидробионтов» [35]. С целью решения второй задачи - восстановления абсолютных значений численности по данным гидроакустической оценки локализованных значений плотности – используются «детерминистические методы интерполяции, основанные на жесткой модели поведения данных (т.е. формальной зависимости, построенной на априорной информации), и геостатистический» [22, с. 26]. Геостатистические оценки «используют статистические свойства измеренных точек, измеряют пространственную автокорреляцию в измеренных точках и рассчитывают пространственную конфигурацию опорных точек вокруг интерполируемого местоположения» [26]. Восстановление численности и построение карт распределения рыбных скоплений по акватории водоема основывается на «расчетах значений поверхностной плотности в узлах регулярной сетки, ограниченной пределами района гидроакустической съемки» [22, с. 26]. Как детерминистический, так и геостатистический метод могут быть использованы в этом случае, однако именно геостатистические оценки находят все большее применение в последнее время [120], а данный метод включен в функционал современных географических информационных систем [18, 25, 111].

4.1.2 Программно-аппаратный комплекс «АсКор»

С целью обеспечения необходимой точности методов количественной оценки локализованных значений плотности и учета потерь интенсивности эхосигнала используются прецизионные эхолоты с фиксированной временной автоматической регулировкой усиления (ВАРУ). Учет потерь интенсивности эхосигнала от одиночных целей определяется формулой (5) [23, 34, 35]:

$$PP = 40LgR + 2\alpha R, \quad (5)$$

Для групповых целей (скоплений и стай рыб) используется ВАРУ следующего вида (формула (6)) [23, 34, 35]:

$$PP = 20LgR + 2\alpha R, \quad (6)$$

где PP – потери интенсивности распространяющейся звуковой волны, дБ;
 R – дистанция между антенной и целью, м;
 α – коэффициент затухания, дБ/м.

«Электро-акустические параметры (константы) эхолотов определяются путем градуировки с использованием образцовой сферы» [22, с. 19]. Методы градуировки аппаратуры и расчеты ее параметров подробно описаны в руководстве по проведению гидроакустических съемок К.И. Юданова [109].

При проведении работ на внутренних водоемах в основном используются гидроакустические комплексы норвежских, американских и российских производителей: Simrad (Норвегия) – EY-60, EY-M, EY-500; Biosonics Inc. и Hydroacoustic Technology Inc. (США); «АсКор» (ООО «Промгидроакустика», Россия) [22, 33, 53]. Используемые рабочие частоты эхолотов – 38, 50, 70, 120, 200 кГц и 420 кГц. Указанные комплексы позволяют осуществлять «количественную оценку запасов рыб на внутренних водоемах и прибрежных районах морей с глубиной обитания гидробионтов от 5 до 300 м» [22, с. 20]. Программное обеспечение, как правило, включает в себя «программу сбора информации в реальном времени и программу камеральной обработки сформированных в рамках первого этапа эхограмм» [22, 35]. «Разделение сигналов от одиночных и групповых целей осуществляется на основании критерия соответствия длительности эхосигнала и длительности генерируемой посылки эхолота» [35].

Используемый при проведении съемок программно-аппаратный комплекс «АсКор», использующий метод двойного луча для определения размеров рыб, «предназначен для количественной оценки рыбных запасов водных гидробионтов гидроакустическим методом в реальном и отложенном времени в научных и прикладных

рыбохозяйственных работах на внутренних водоемах и прибрежных районах морей с глубиной обитания гидробионтов до 50 м» [33, 34]. Аппаратная часть системы состоит из высокочастотного эхолота (50/200 кГц) Furuno LS4100 и двухчастотной гидроакустической антенны, внешнего GPS навигационного приемника, 16-ти разрядного аналого-цифрового преобразователя (АЦП), аккумулятора с рабочим напряжением 12 В и соединительных кабелей.

Программная часть системы включает в себя следующие компоненты [35]:

- программу сбора информации, используемую при проведении гидроакустической съемки непосредственно на водоеме;
- программу камеральной обработки полученных данных, используемую для просмотра и обработки собранного материала после проведения съемки.

Программа сбора информации позволяет отображать средствами ГИС пройденный лодкой маршрут, ее текущее местоположение, а также визуализировать эхограммы, получаемые комплексом. Вся информация фиксируется на внешнее запоминающее устройство для ее последующей обработки.

Программа обработки позволяет для каждого обрабатываемого ею кадра рассчитывать плотность скоплений рыб в нем. Указанные значения используются в качестве исходных данных для последующей геостатистической обработки и получения количественной оценки рыбных запасов на обследованной акватории.

4.2 Общая характеристика методологии гидроакустических исследований

Гидроакустические съемки на озере Виштынецком выполнялись галсами по типу меандра. Выбор в пользу данного типового элемента покрытия районов был сделан из-за более высокого соотношения покрытой площади к пройденному расстоянию по сравнению с другими фигурами движения. При проведении съемок использовались две схемы галсов [2]. «Первая, поперечная, в направлении границы с Литовской Республикой от левого берега озера и обратно с постепенным смещением галсов к южной части озера. Вторая, продольная, с направлением первого

галса вдоль границы с Литовской Республикой и обратно с постепенным смещением к левому берегу озера (Рисунок 35). Точки поворота галсов определялись у берега глубиной места (5–10 м), где заканчивалась регистрация рыбы, а в открытой акватории водоема – положением границы с Литовской Республикой (расстояние до границы составляло порядка 150–200 м). Обследуемая область составляла в среднем 1.2 тыс. га» [2, с. 54–55].

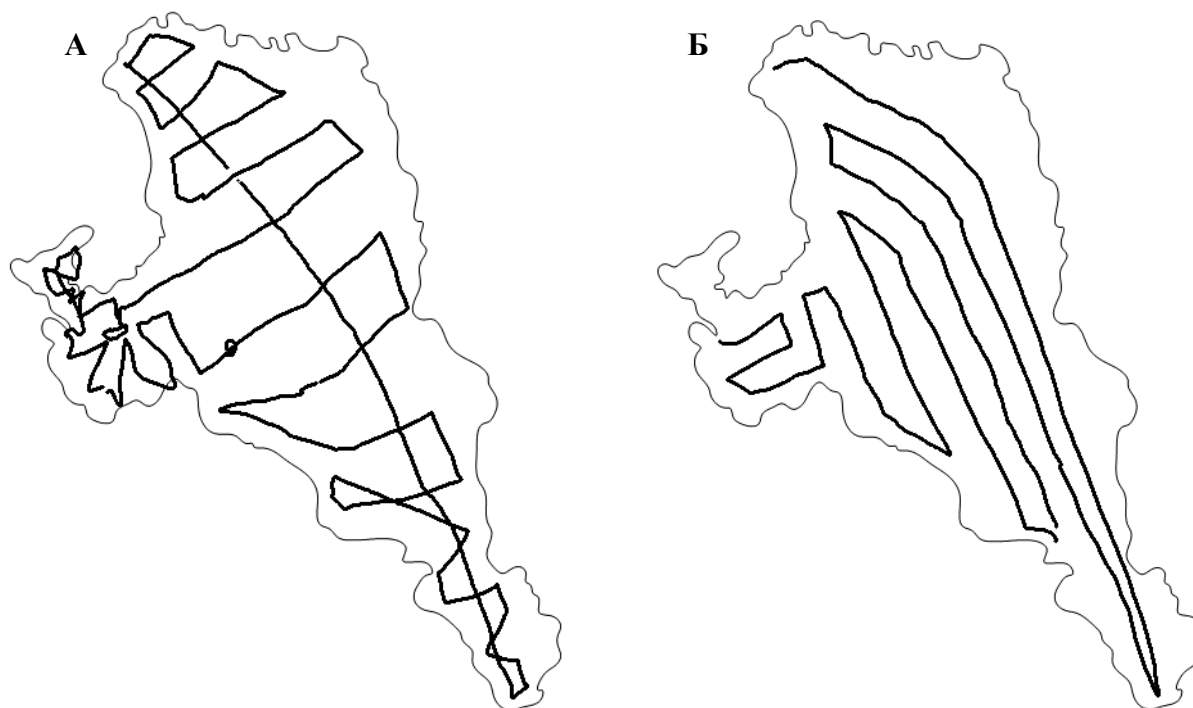


Рисунок 35 – Схема галсов гидроакустических съемок: А – поперечная; Б – продольная [2, с. 56]

Проведение первых гидроакустических съемок осуществлялось по поперечной схеме галсов, в дальнейшем выбор съемки проводились в соответствии со второй, продольной, схемой. Выбор в качестве основного маршрута гидроакустических съемок в виде продольной схемы галсов обусловлен следующими причинами:

1 Результаты исследований первых лет наблюдений показали, что «скопления в пелагиали озера Виштынецкого приурочены к глубоководным областям водоема» [2, с. 55]. Учитывая тот факт, что рельеф озера «имеет вытянутые с севера на юг очертания, предложенная схема галсов позволяет более точно оценить пространственное распределение и локализацию рыбных скоплений» [2, с. 55].

2 Продольная схема галсов позволяет «минимизировать временной интервал

между обследованиями северной и южной частями водоема. С учетом того, что рыбные скопления пелагиали озера Виштынецкого находятся на пути первых двух галсов (ввиду преобладающих здесь глубин более 20 м), это позволяет обеспечить более качественный их сравнительный анализ в отношении вертикального распределения рыб в зависимости от времени суток» [2, с. 55].

Требуемая степень покрытия обследуемой акватории сеткой галсов может быть оценена следующим образом (формула (7)) [1].

$$d = \frac{D_r}{\sqrt{A_r}}, \quad (7)$$

где d – степень покрытия акватории галсами съемки;
 A_r – площадь акватории;
 D_r – общая протяженность галсов.

При этом в литературе отмечается [1, 22], что степень покрытия акватории водоема галсами должна составлять $d \geq 4$. Учитывая, что средняя протяженность маршрута гидроакустических съемок, проводимых на озере Виштынецком, составляла порядка 28 км, а площадь охватываемой галсами акватории – 1.2 га, степень покрытия акватории заданным маршрутом является достаточной.

Проводимые гидроакустические съемки на озере Виштынецком можно условно поделить на три основных вида: дневные, ночные и суточные. «Дневные съемки выполнялись, как правило, с 10 до 16 часов и были направлены на изучение вертикального распределения рыб в дневное время суток, а также на изучение их пространственного распределения по акватории водоема. Ночные съемки выполнялись с 0 до 4 часов и, помимо целей, преследуемых при проведении дневных съемок, были направлены также на оценку численности рыбных скоплений. Суточные съемки проводились в течение суток с интервалом каждые три часа, вначале галсом до глубоководной впадины и обратно (Рисунок 36а), затем обследуемая акватория была расширена и путь был увеличен до второй глубоководной впадины, находящейся в центральной части водоема (Рисунок 36б). Данные съемки были направлены на выявление закономерностей вертикальных миграций рыб в течение суток. По собранным данным также были построены гидроакустические разрезы вдоль

границы с Литовской Республикой (Рисунок 37) с целью получения наглядной картины вертикального и пространственного распределения рыб по акватории водоема» [2, с. 55].

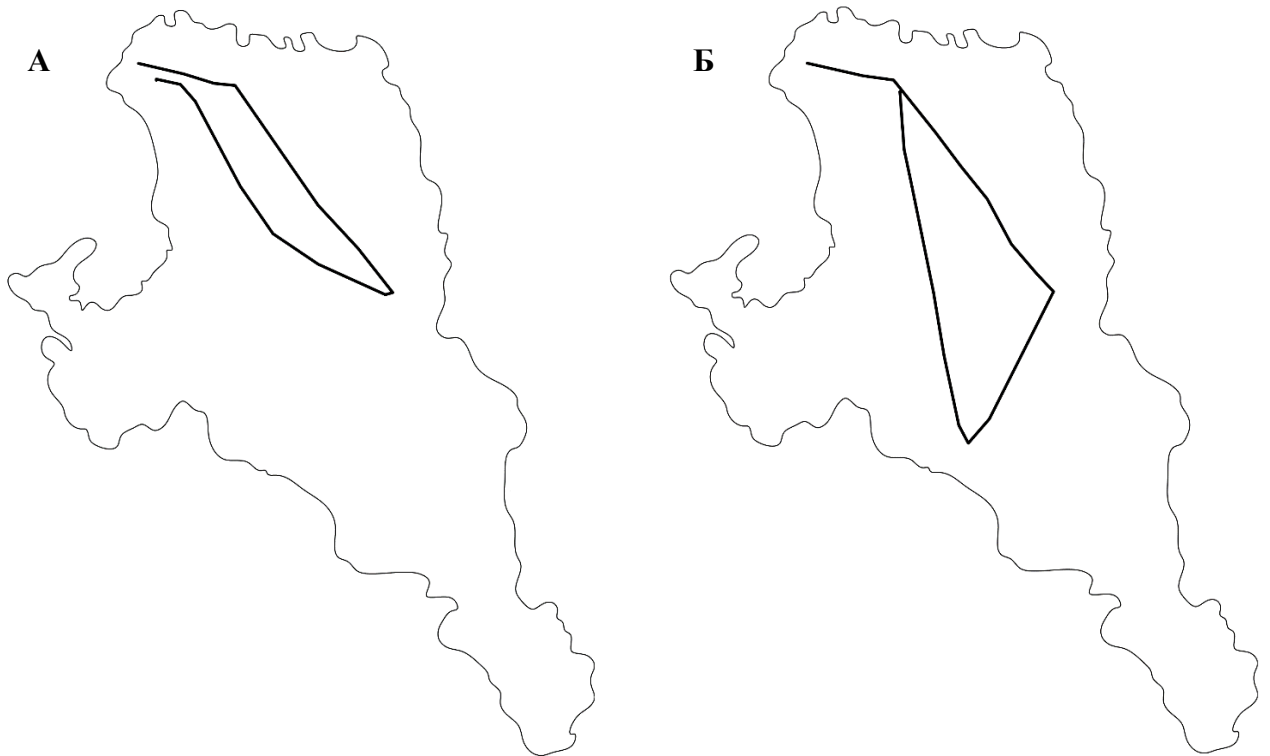


Рисунок 36 – Схема галсов суточных гидроакустических съемок:
 А – суточная съемка (с 0 до 8 ч); Б – суточная съемка (с 9 до 23 ч) [2, с. 56]

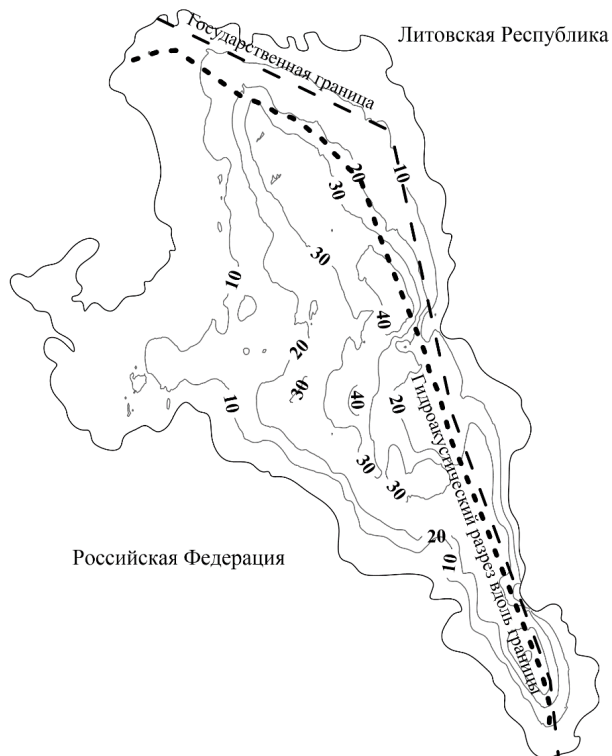


Рисунок 37 – Карта глубин с отображением положения гидроакустического разреза [2, с. 57]

Помимо указанных выше трех видов гидроакустических съемок были выполнены несколько экспериментальных тралово-акустических съемок. Такие съемки «позволили определить видовой и размерный состав пелагического ихтиоценоза, а также оценить коэффициент уловистости трала и изучить возможность его использования на промысле» [2, с. 55].

Условно каждую гидроакустическую съемку можно поделить на следующие три этапа: сбор информации, камеральная обработка данных и геостатистическая обработка данных. Этап сбора информации включал в себя непосредственно проведение съемки на водном объекте по запланированной сетке галсов и фиксацию собираемой информации в виде файлов с оцифрованным гидроакустическим сигналом и навигационными данными.

На втором этапе, при помощи программы камеральной обработки данных, обрабатывающей собранную гидроакустическую информацию по частоте 200 кГц, происходила покадровая обработка эхограмм с целью получения для каждого кадра значений плотностей зарегистрированных рыбных скоплений. «Интервал усреднения был выбран равным 100 посылкам, что соответствовало примерно 33 секундам реального времени или 65–80 м пройденной дистанции. Результаты обработки, включая значения плотностей, определяемые комплексом «АсКор» методом эхоинтегрирования [34] (глубина, плотность (экз./м²), плотность по размерным группам (экз./м²)), совместно с пространственной привязкой записывались в текстовый файл со структурой, доступной для последующей обработки программными пакетами типа Microsoft Excel, Surfer и т.д. Для восстановления размерного распределения зарегистрированных одиночных рыб комплекс «АсКор» [35] использует модифицированный двухчастотный метод «двойного луча»» [2, с. 55].

На третьем этапе пространственно-распределенные зарегистрированные значения плотностей рыбных скоплений интерполировались в узлы регулярной решетки с помощью программного продукта Surfer. В ней представлены различные детерминистические и геостатистические методы интерполяции. Одним из наиболее применимых для решения подобного рода задач является геостатистический

метод «Кригинг», обеспечивающий нахождение таких весовых коэффициентов, которые дают минимум вариации оценки получаемых величин [22]. Последнее обеспечивается за счет применения вариограммы, показывающей пространственную автокорреляцию измеренных опорных точек [26]. Экспериментальная вариограмма формируется программным продуктом Surfer в автоматическом режиме, после чего к ней подбирается соответствующая модель. Численность рыб или биомасса при этом может быть вычислена автоматически, как объем трехмерной фигуры [22]. Наиболее подробно специфика обработки гидроакустических данных с целью проведения количественной оценки численности и биомассы рыб представлена в работе С.М. Гончарова [32].

Непосредственно в данной работе «интерполяция пространственно-распределенных зарегистрированных значений плотностей в узлы регулярной решетки осуществлялась геостатистическим методом «Кригинг» с линейной моделью вариограммы» [2, с. 55]. Расстояние между узлами регулярной решетки должен приблизительно соответствовать интервалу усреднения, используемому при обработке гидроакустической информации [33], в нашем случае он составил порядка 100 м [2]. Поверхности, построенные на основании применения геостатистического метода «Кригинг», позволили сформировать карты пространственного распределения рыб по акватории водоема, а также рассчитать их абсолютную численность.

4.3 Пространственная структура пелагического ихтиоценоза

Рыбы, как и другие водные организмы, значительную часть времени проводят в зонах оптимального предела воздействия ряда факторов, среди которых можно выделить температурные и гидродинамические условия, кормовую базу и т.п. [87]. Распределение видов, составляющих биоценоз, в пространстве называется пространственной структурой биоценоза. При этом выделяют вертикальную и горизонтальную структуру. Как правило, «в наиболее стратифицированных водоемах» (в том числе и озерах, включая озеро Виштынецкое), «где водообмен замедленный

либо полностью отсутствует», больше всего «проявляется терморегуляционно-пищевое поведение» [87, с. 225].

Как горизонтальное, так и вертикальное распределение рыб зависит от биотических (кормовая обеспеченность, конкуренция) и абиотических факторов (гидродинамический режим, условия обитания (температура, степень насыщения кислородом и др.) и т.д.).

Степень освещенности оказывает влияние на питание различных видов рыб [76], при этом зрение и обоняние позволяют выявлять жертву или хищника в воде [119, 110]. Учитывая, что освещенность зависит от глубины и уменьшается при увеличении последней, уход в глубоководную часть водоема позволяет снизить вероятность визуального обнаружения хищником жертвы. Помимо этого, миграция рыб на различные глубины может иметь и сезонный аспект [123], связанный, например, с уходом от рыбоядных птиц, а наибольшая активность рыб отмечается с наступлением сумерек [114].

4.3.1 Вертикальная структура пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого

Знания о вертикальной структуре пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого, в подавляющем большинстве своем представленного ряпушкой, могут сыграть важную роль в оптимизации промысла данного вида. Наличие подобного рода информации может позволить выработать соответствующие рекомендации по выбору нужных горизонтов лова. При этом, необходимо учитывать как сезонную, так и суточную динамику вертикальных миграций ряпушки.

4.3.1.1 Суточная динамика пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого

Суточные вертикальные миграции занимают существенное место среди различных видов миграционной активности. Они характеризуются изменением глубины обитания рыб и связаны в большинстве случаев с 24-х часовым суточным циклом [8, 62].

Суточная динамика вертикальных миграций ряпушки позволяет оценить локализацию скоплений данного вида в толще воды в течение суток. С целью анализа данного аспекта были проведены несколько суточных гидроакустических съемок: в ночное время каждые три часа «галсом до глубоководной впадины и обратно, в остальные часы обследуемая акватория была расширена и путь был увеличен до второй глубоководной впадины, находящейся в центральной части водоема» [2, с. 55] (Рисунок 38).

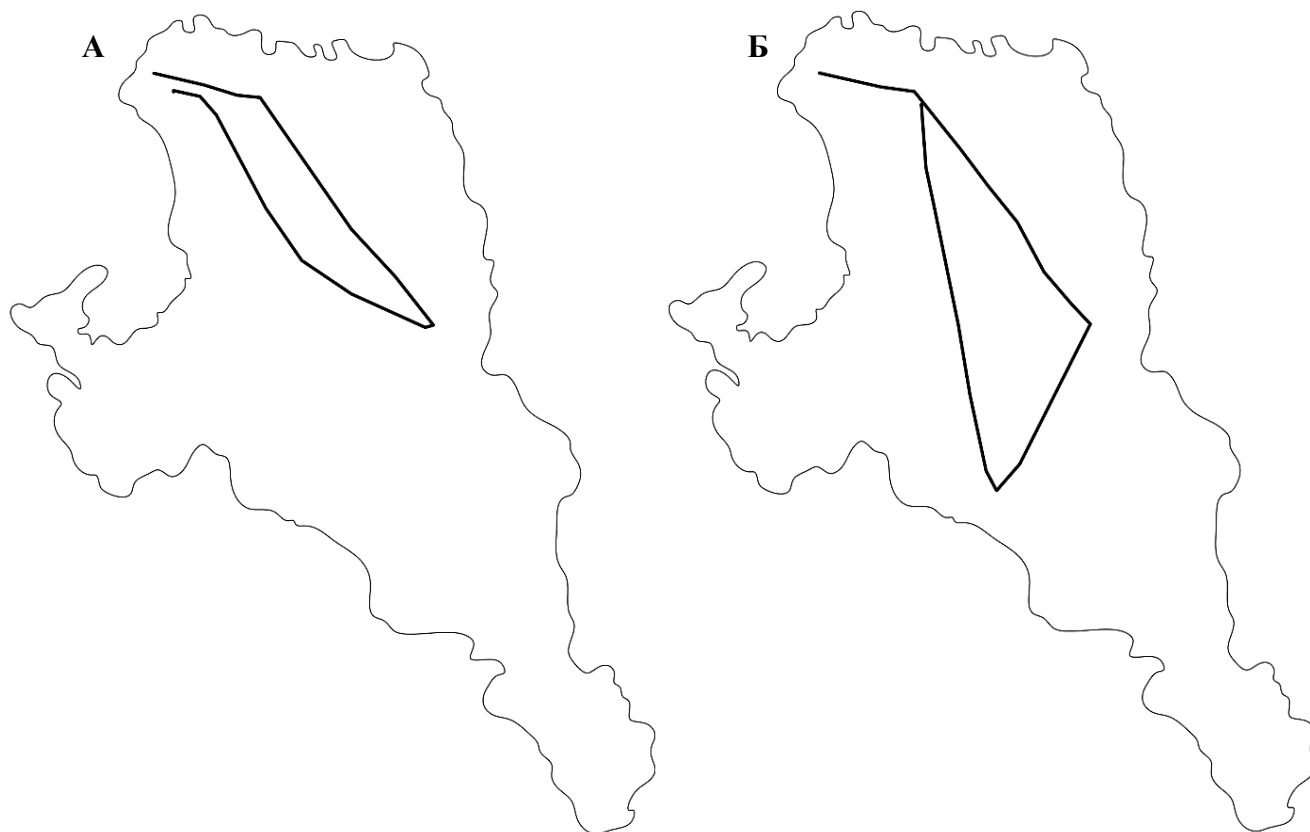


Рисунок 38 – Схема галсов суточных гидроакустических съемок:
А – с 23 до 8 ч; Б – с 8 до 23 ч [2, с. 56]

По результатам проведенных съемок были построены развернутые эхограммы гидроакустических разрезов вдоль линии маршрута галсов (Рисунки 39–40), а также получены количественные характеристики по средней плотности скоплений. Анализ полученных эхограмм показал, что «в дневное время суток рыбные скопления приурочены, в основном, к придонной части водоема» [2, с. 58].

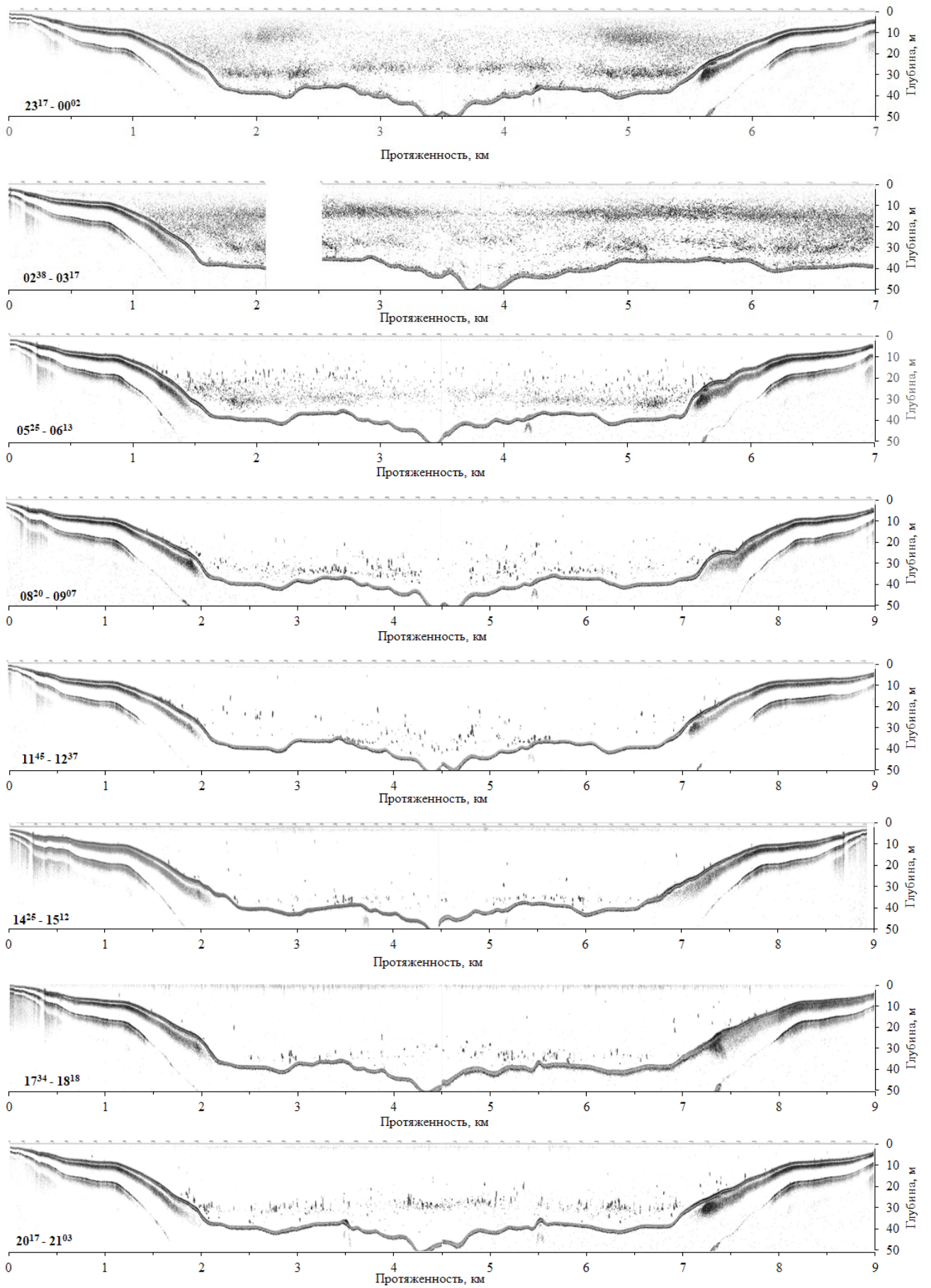


Рисунок 39 – Суточные вертикальные миграции ряпушки озера Виштынецкого по данным гидроакустических разрезов за 2010 год

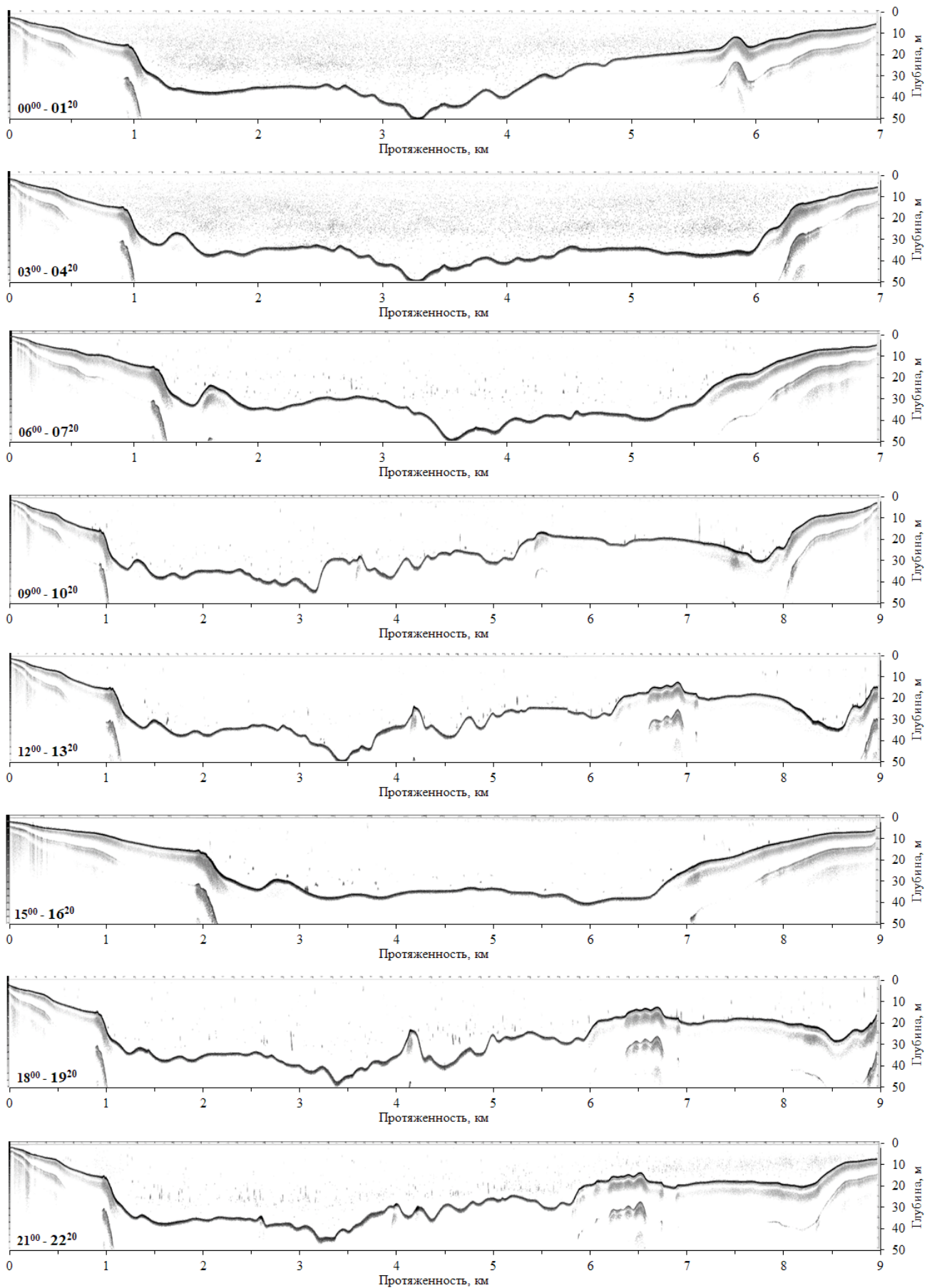


Рисунок 40 – Суточные вертикальные миграции ряпушки озера Виштынецкого по данным гидроакустических разрезов за 2011 год [2, с. 59]

Количество обнаруживаемых скоплений невелико, некоторые из них хоть и характеризуются «высокой отражательной способностью» [2, с. 56], однако не по всем из них можно получить какие-либо количественные оценки ввиду невозможности выделения программным обеспечением в кадре одиночных целей. Значения плотностей, определяемых программной обработки данных, для разрешимых скоплений в этот период были невелики и составляли в среднем порядка 500 экз./га. Основные концентрации ряпушки приходились на глубины 25–35 м. «В вечернее время часть рыбы поднималась ото дна» [2, с. 58], наибольшие концентрации приходились на глубины 20–30 м и составляли в среднем порядка 1000 экз./га. Ночью большая часть рыбы располагалась в толще воды, формируя вертикальный слой порядка 20–25 м. Скопления ряпушки при этом были рассредоточены в слое глубин 10–35 м, плотность достигала в среднем величин 6500 экз./га. С рассветом часть рыбы залегла на дно, а несколькими часами позже она практически вся была приурочена к придонному слою.

Средние значения плотностей рыбных скоплений, зафиксированные по результатам проведенных суточных гидроакустических съемок, представлены в таблицах 4-5.

Таблица 4 – Средняя плотность рыбных скоплений по данным суточной гидроакустической съемки за 2010 год

Временной промежуток, часы	Средняя плотность, экз./га
23 ⁰⁰ -02 ⁰⁰	7204
02 ⁰⁰ -05 ⁰⁰	11264
05 ⁰⁰ -08 ⁰⁰	3010
08 ⁰⁰ -11 ⁰⁰	1021
11 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	707
14 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	386
17 ⁰⁰ -20 ⁰⁰	673
20 ⁰⁰ -23 ⁰⁰	1290

Таблица 5 – Средняя плотность рыбных скоплений по данным суточной гидроакустической съемки за 2011 год

Временной промежуток, часы	Средняя плотность, экз./га
00 ⁰⁰ -03 ⁰⁰	3149
03 ⁰⁰ -06 ⁰⁰	4566
06 ⁰⁰ -09 ⁰⁰	478

Окончание таблицы 5

Временной промежуток, часы	Средняя плотность, экз./га
09 ⁰⁰ -12 ⁰⁰	339
12 ⁰⁰ -15 ⁰⁰	388
15 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	279
18 ⁰⁰ -21 ⁰⁰	520
21 ⁰⁰ -00 ⁰⁰	774

Построенные по величинам плотностей рыбных скоплений за каждые 3 часа диаграммы, в т.ч. по диапазонам глубин, наглядно показывают факт увеличения плотности скоплений ряпушки с наступлением темноты, а также перемещение части рыб в верхние слои в ночное время суток (Рисунки 41–42).

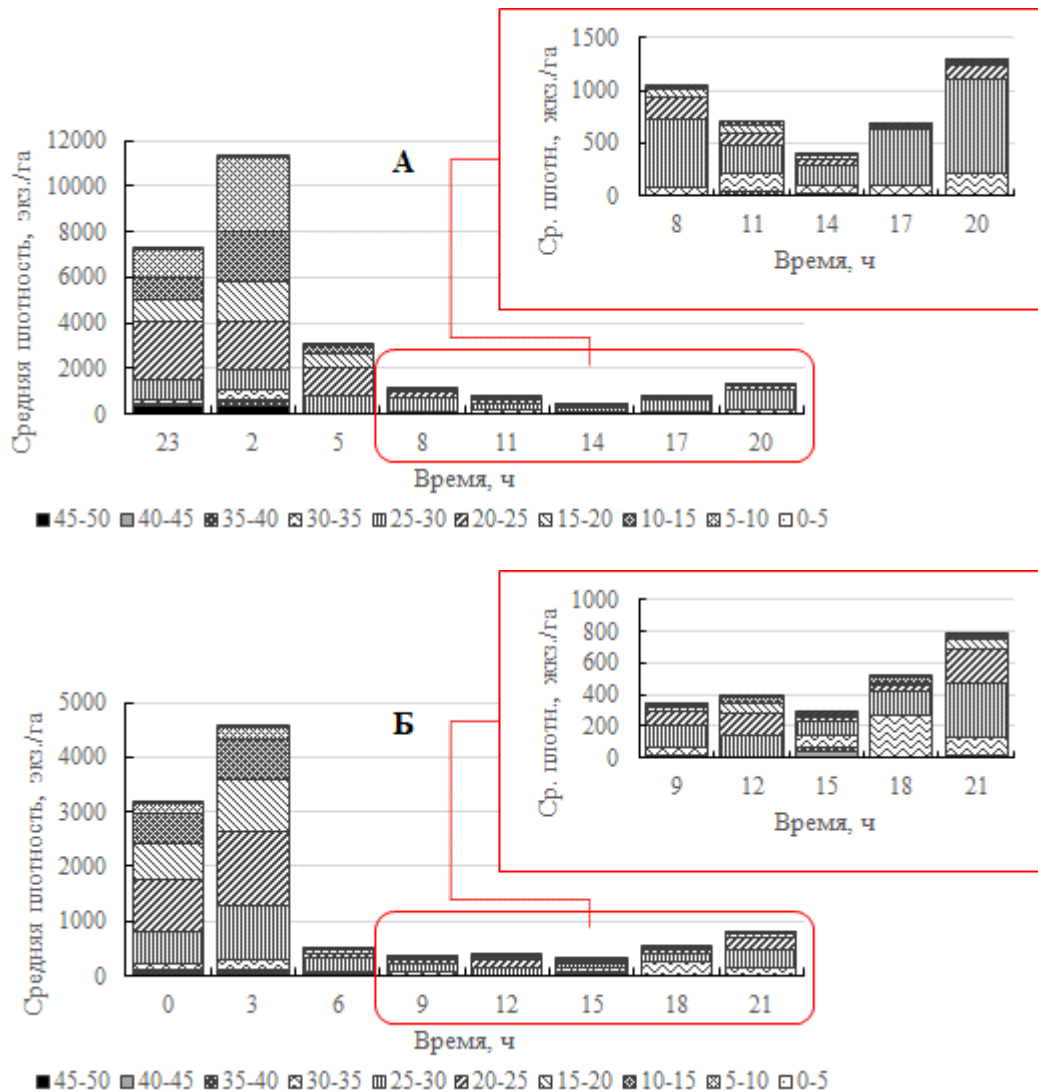
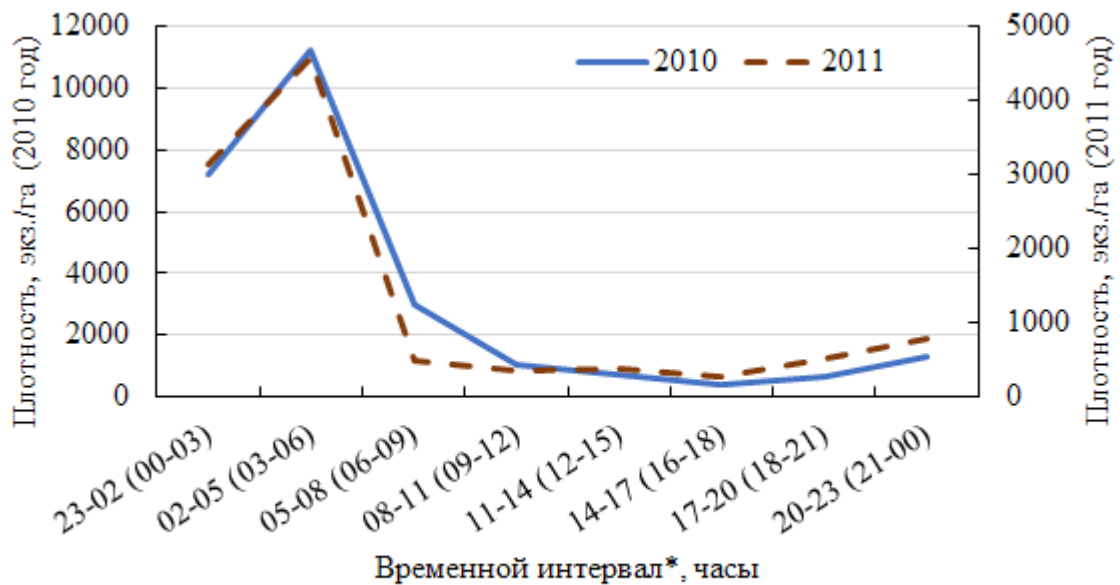


Рисунок 41 – Динамика изменения плотности скоплений ряпушки по глубине в зависимости от времени суток в 2010 (А) и 2011 (Б) годах



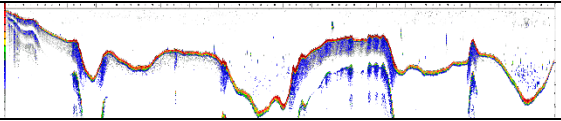
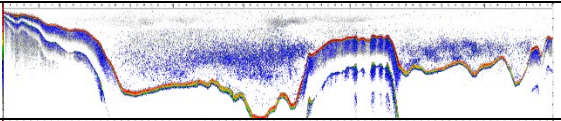
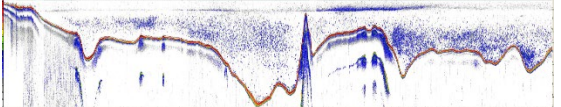
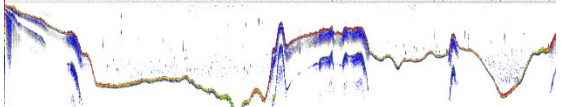
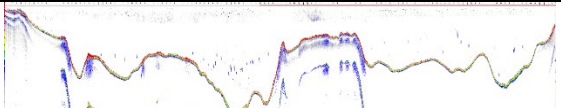
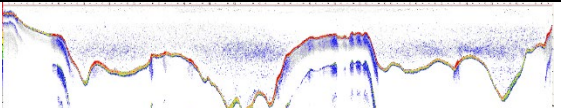
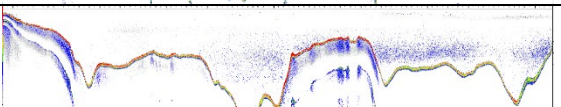
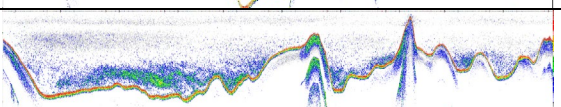
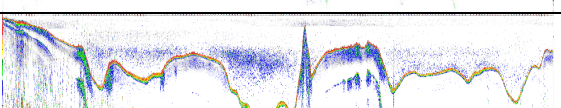
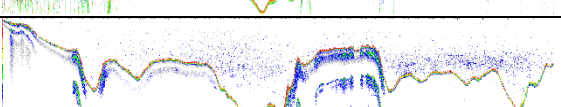
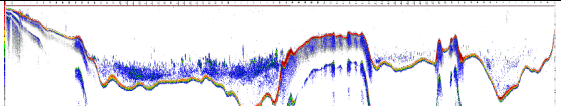
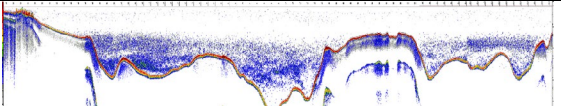
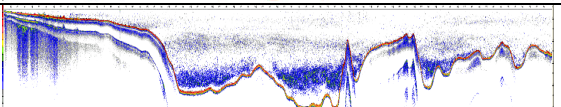
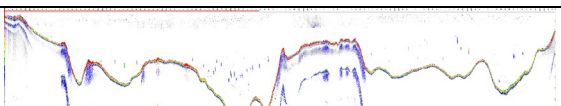
*в скобках указан временной интервал для 2011 года

Рисунок 42 – Динамика изменения плотности скоплений ряпушки в течение суток

Рассчитанный по средним значениям плотностей за два года критерий Манна-Уитни [108] ($U=18$ ($U_{табл}=13$, $P=0.95$)), равно как и визуальный анализ эхограмм гидроакустических разрезов (Рисунки 39–40) и диаграммы (Рисунок 42) показывает, что «проведенные две суточные съемки в разные годы имеют схожую картину вертикального распределения, что свидетельствует о наличии зависимости вертикальных миграций ряпушки от времени суток» [2, с. 59].

Несмотря на то, что в летние месяцы суточные гидроакустические съемки не проводились, сравнительный анализ дневных и ночных съемок, равно как и анализ распределения рыбных скоплений в ночное время суток также свидетельствует о наличии вертикальных суточных миграций ряпушки в летний период. Дневные скопления в этот период также немногочисленны, в большинстве случаев характеризуются высокой отражательной способностью и невозможностью выделения программой обработки одиночных целей (и, соответственно, получения количественных значений). Ночные скопления, напротив, многочисленны, «имеют разреженную структуру с более низкой отражательной способностью» [2, с. 56], при этом характеризуются более высокой плотностью (Таблица 6).

Таблица 6 – Развернутые эхограммы гидроакустических разрезов вдоль линии маршрута галсов в июне и августе месяцах за ряд лет

Год	день	ночь
ИЮНЬ		
2012		
2013	—	
2015		—
2016		
2017	—	
2018	—	
2019	—	
2020	—	
АВГУСТ		
2011		
2012	—	
2016		—

Структура вертикального распределения ряпушки по результатам гидроакустических съемок подтверждается данными по сетным уловам. Так, например, в 2011 году основные уловы ряпушки пелагическими сетями приходились на горизонты лова 10–15 и 15–20 м (Рисунок 43).

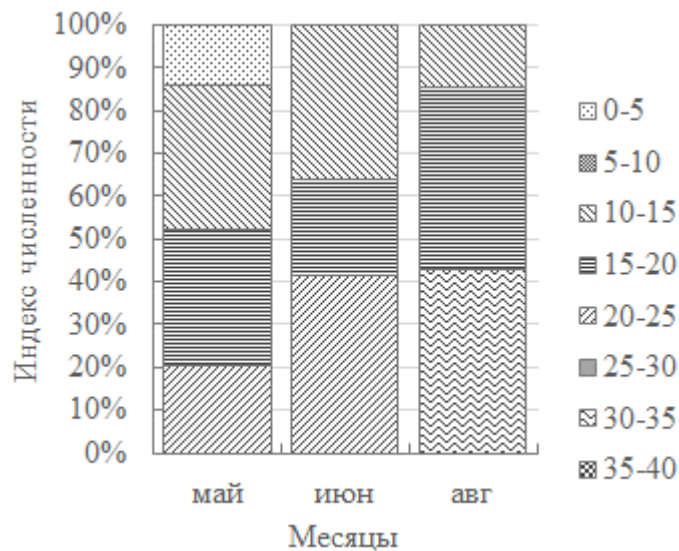


Рисунок 43 – Структура вертикального распределения ряпушки в уловах пелагических сетей в 2011 году

Знания о суточных вертикальных миграциях ряпушки, полученные в результате гидроакустических исследований, позволяют не только определить наиболее оптимальный для организации ее промысла горизонт лова в зависимости от времени суток, но и выбрать наиболее подходящее время для проведения учетных гидроакустических съемок с целью количественной оценки данного вида в озере Виштынецком – в ночное время суток.

4.3.1.2 Сезонная динамика пелагического икhtiоценоза озера Виштынецкого

Вертикальные миграции ряпушки имеют выраженный сезонный аспект. Известно, что данный вид, «как и все сиговые, предпочитает холодные глубоководные водоемы, в которых формируется благоприятные температурные и кислородные режимы на всем протяжении года» [49, с. 22]. «Оптимальные температуры жизнедеятельности ряпушки находятся в пределах от 4 до 14 °С» [49, с. 25]. В летние у данного вида можно наблюдать проявление терморегуляционного поведения [30], которое заключается в уходе в более глубокие слои водной толщи по мере ее прогрева [49]. Данная информация подтверждается результатами серии гидроакустических съемок за рассматриваемый период наблюдений.

Так, «в период весенней гомотермии температура как в толще озера, так и на

его поверхности одинакова и составляет 5–8 °С. Ряпушка в этот период распределена по всей толще воды и выходит на глубины до 8 м (Рисунок 44), высота слоя скоплений может достигать 25 м, максимальные концентрации формируются в диапазоне глубин 15–25 м» [2, с. 60]. Сетные уловы демонстрируют схожую картину вертикального распределения данного вида в весенний период (Рисунок 45).

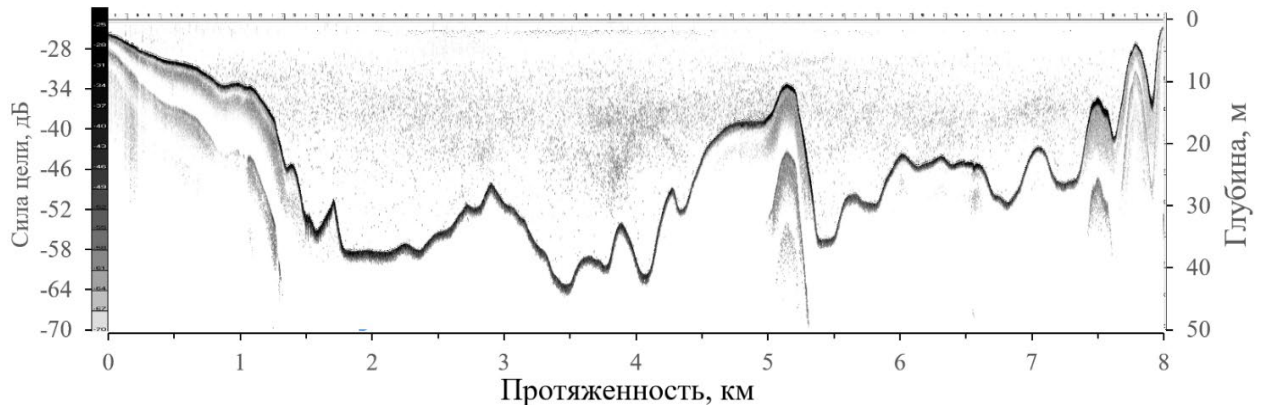


Рисунок 44 – Типичная эхограмма ночных скоплений в период весенней гомотермии

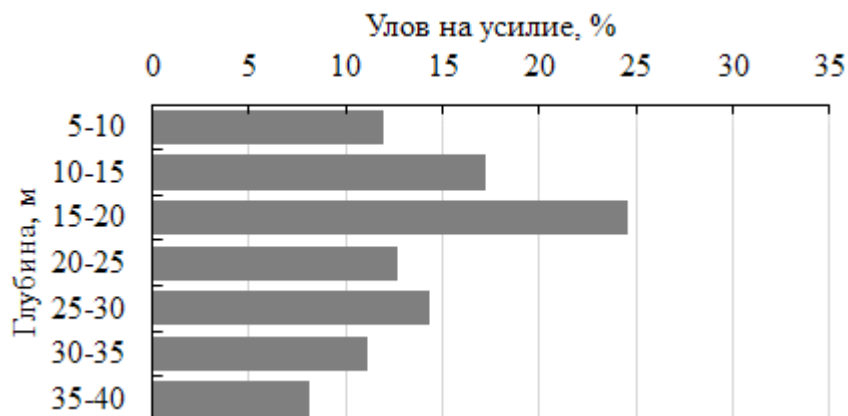


Рисунок 45 – Распределение уловов ряпушки по различным горизонтам лова по данным контрольных обловов в период весенней гомотермии

«По мере прогрева воды в озере формируется слой температурного скачка, который устанавливается в горизонте около 15 м. В этот период ряпушка концентрируется в глубоководной зоне и не выходит за пределы этой изобаты на меньшие глубины (Рисунок 46). Выделяются два основных слоя скоплений – 15–20 и 25–35 м – основные концентрации при этом формируются в диапазоне глубин 25–35 м» [2, с. 60]. Указанные горизонты лова также выделяются по уловам на усилие ряпушки в численном выражении сетными орудиями лова (Рисунок 47).

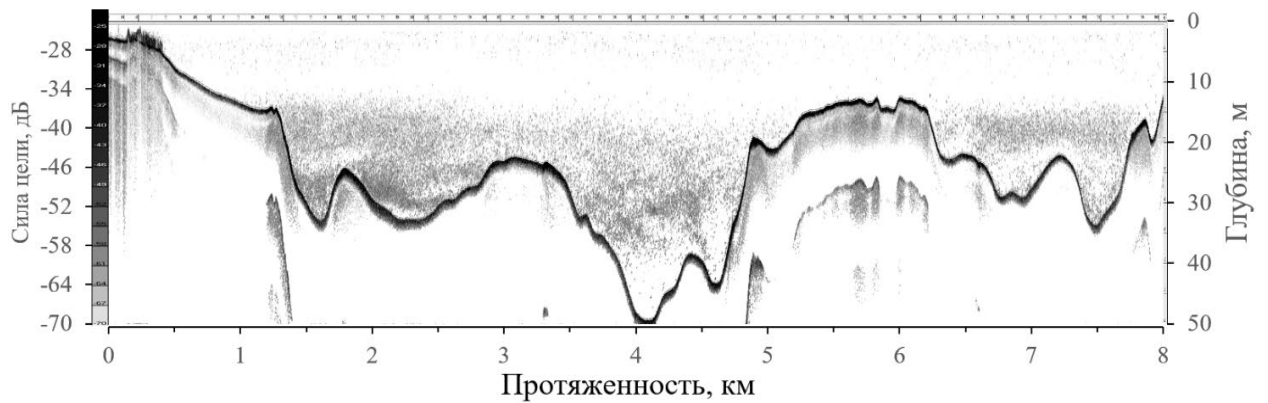


Рисунок 46 – Типичная эхограмма ночных скоплений в период установления слоя температурного скачка на глубине 15 метров

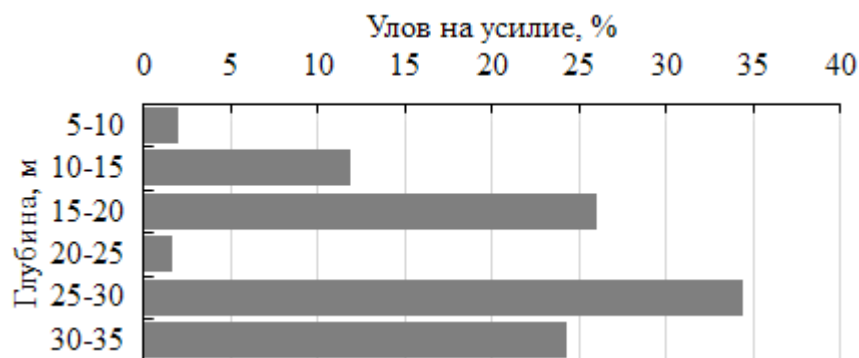


Рисунок 47 – Распределение уловов на усилие ряпушки по различным горизонтам лова по данным контрольных обловов в период установления слоя температурного скачка на глубине 15 м

В сентябре слой скачка опускается на глубину и постепенно размывается, а в октябре-ноябре устанавливается осенняя гомотермия (Рисунок 7) [15, 17]. С октября ряпушка снова распределяется по всей толще воды, картина становится схожей с весенним периодом: высота слоя скоплений достигает 25 м, а максимальные концентрации отмечаются в слое 15-25 м (Рисунок 48).

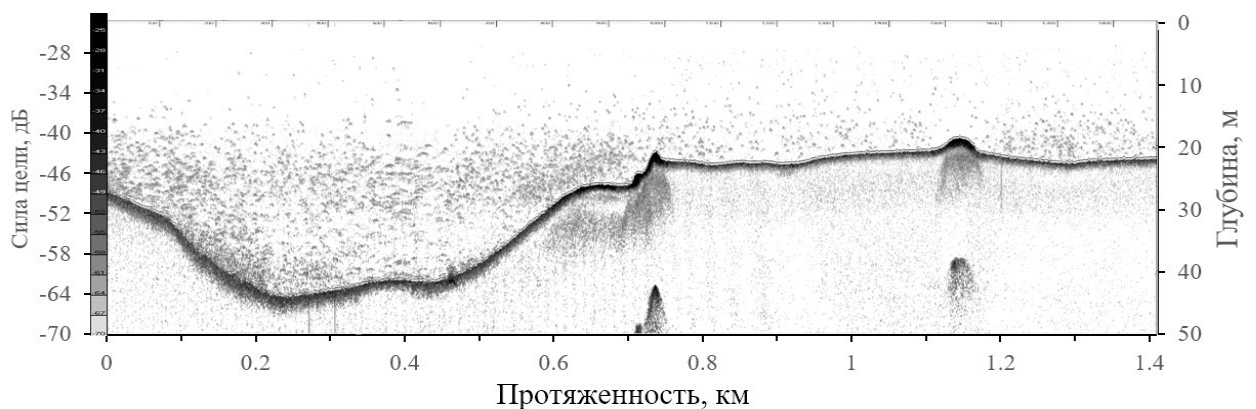


Рисунок 48 – Типичная эхограмма ночных скоплений в период осенней гомотермии

Помимо температурных условий, установившихся в водоеме, на вертикальное распределение ряпушки в толще воды в сезонном аспекте также оказывает влияние содержание растворенного кислорода в воде. И, если температура воды является фактором, лимитирующим верхнюю границу зоны распространения данного вида в толще воды, то кислород ограничивает нижнюю его часть. Так, например, наблюдаемые скопления ряпушки в толще воды в дневное время суток, отмечаемые в некоторые годы наблюдений в августе месяце (Таблица 6), могут быть объяснены сложившимися газовыми условиями в водоеме в указанный период времени. Учитывая, что ряпушка относится к оксифильным видам рыб и принимая во внимание типичные кривые сезонного изменения вертикального распределения содержания кислорода в озере Виштынецком (Рисунок 9), в соответствии с которыми в августе и сентябре месяцах отмечается пониженное содержание кислорода (менее 4 мг/л) на большой глубине, это позволяет сделать предположение о влиянии содержания кислорода на нижнюю границу ее вертикального распределения.

Знания о сезонных вертикальных миграциях ряпушки позволяют выработать рекомендации по оптимальным параметрам ее целевого промысла в указанные периоды. Наиболее эффективным будет являться промысел в летний период, когда на озере сформирован слой температурного скачка. В это время ряпушка образует плотные скопления ниже термоклина, а высота слоя скоплений относительно невысока, что позволяет выставлять сети на один-два горизонта. В период гомотермии эффективность лова снижается, так как ряпушка распределена практически по всей толще воды, тем не менее в указанный период более предпочтительны верхние горизонты лова – 15-25 м.

4.3.2 Горизонтальная структура пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого

Распределение ряпушки как основного представителя пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого по акватории водоема (горизонтальная структура) неравномерно и в течение года претерпевает определенные изменения, что связано с температурными и морфологическими условиями водоема. Данный вывод основан на

результатах многолетних гидроакустических съемок в комплексе с постановками сетных орудий лова.

«В период весенней гомотермии термические условия среды для обитания ряпушки благоприятны на большей части акватории водоема. Поэтому в данный период карта плотностей скоплений ряпушки имеет рассредоточенный характер распределения» [2, с. 60], а относительно крупные скопления ряпушки (21% от максимально зарегистрированной эхолотом плотности) регистрируются на акватории, начиная с глубин 12–15 м (Рисунок 49).

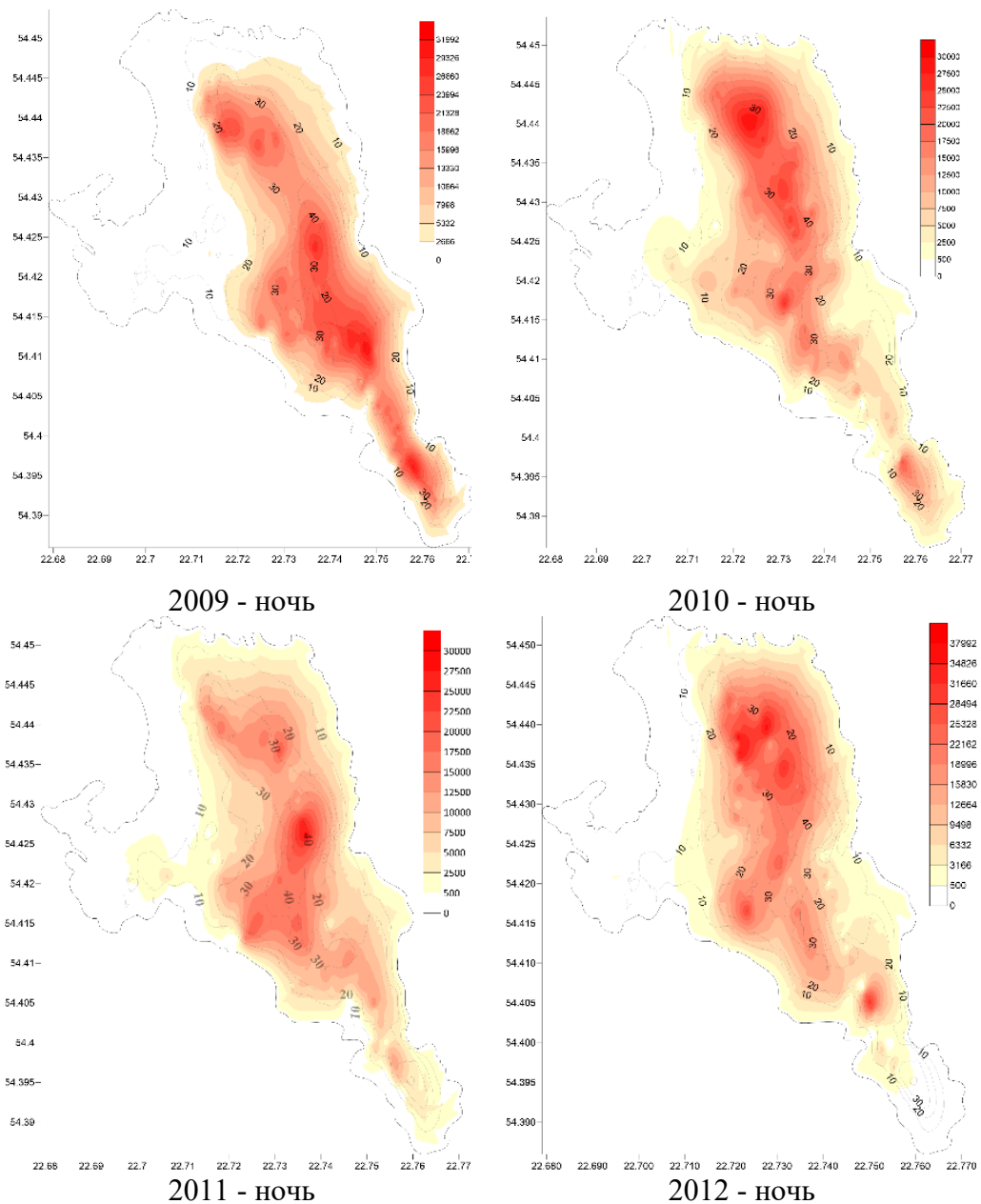


Рисунок 49 – Пространственное распределение плотностей рыбных скоплений по акватории водоема в период весенней гомотермии

По мере прогрева воды и «образования слоя температурного скачка ряпушка мигрирует в сторону больших глубин (15 м и ниже), что, безусловно, сказывается на ее пространственном распределении по акватории водоема: площадь акватории, приемлемая для ее обитания, сокращается, а скопления приурочены в основном к глубоководным впадинам озера» [2, с. 60] (Рисунки 50–51).

Сетные уловы в весенний (период формирования слоя температурного скачка) и летний (период установления слоя температурного скачка) периоды демонстрируют схожий результат. В период весенней гомотермии ряпушка в уловах встречается на большей части акватории озера, начиная с глубин 10–15 м. При этом средние и высокие величины уловов на усилие (более 40% от максимально зафиксированной величины) фиксируются уже над глубинами 15 м и глубже. Летом, когда термоклин уже сформирован, данный вид встречается преимущественно в глубоководных частях водоема с глубинами более 20–25 м. Средние и высокие величины улова на усилие приходятся уже на глубоководные впадины с глубинами более 30–35 м (Рисунок 52).

Как было отмечено ранее в работе, между северной и южной частями озера могут наблюдаться различия в температурном режиме, особенно в эпилимнионе [15, 49], и более прогретой является южная часть озера, что в период установления слоя температурного скачка заметно снижает и без того небольшую площадь (по сравнению с центральной и северной частью водоема), доступную для обитания ряпушки. Учитывая данный факт, наиболее приемлемым для организации целевого промысла данного вида видится использование центральной и северной частей акватории водоема, где площадь, доступная для обитания ряпушки, заметно больше, а расстояние от места базирования рыбопромысловых организаций (северная часть) до предполагаемых мест промысла – меньше (по сравнению с южной частью), что снижает временные и материальные издержки при промысле данного вида рыбы, а также позволяет осуществлять постановку нескольких сетных порядков (что в случае с южной частью затруднительно).

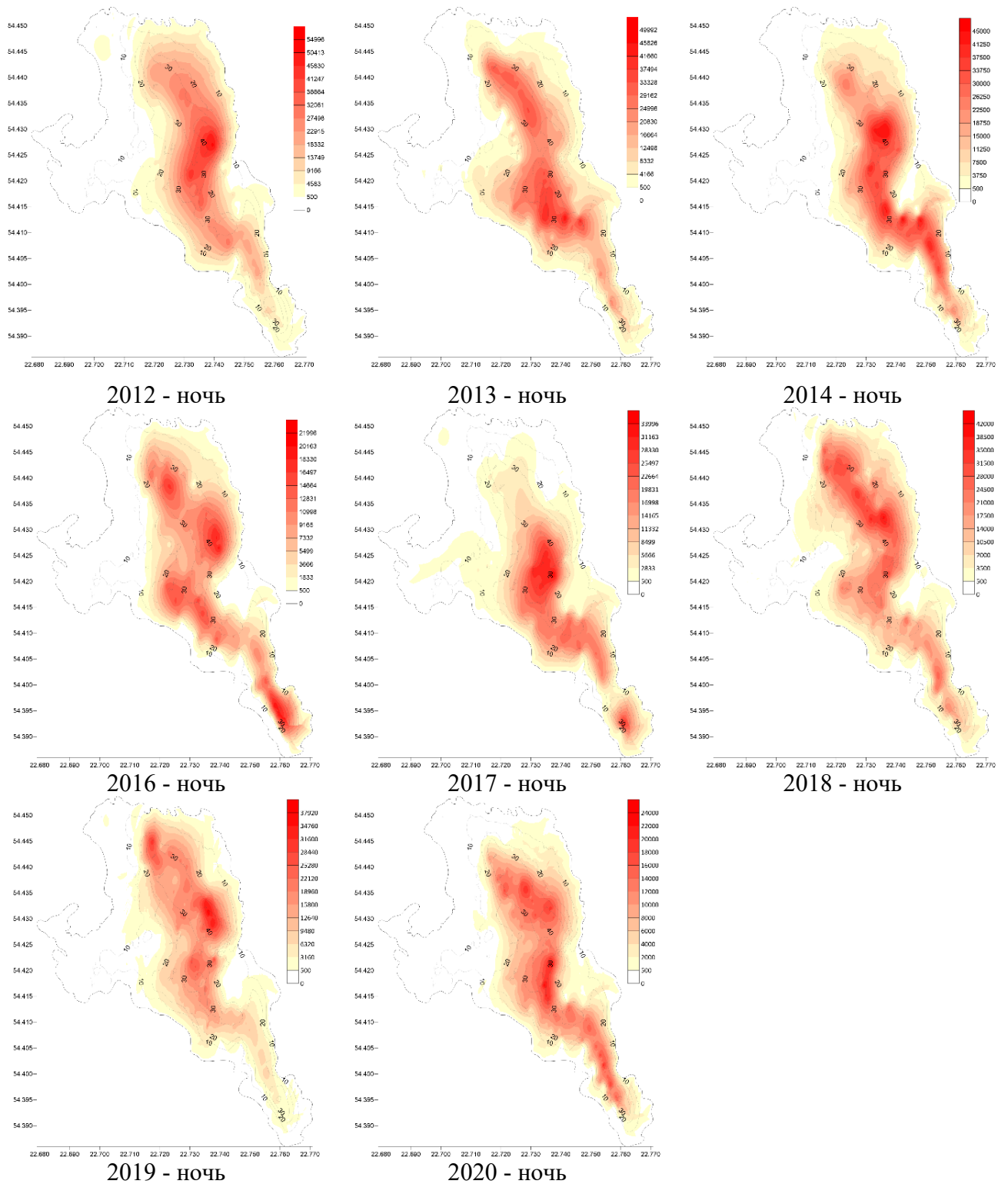


Рисунок 50 – Пространственное распределение плотностей рыбных скопления по акватории водоема в период формирования слоя температурного скачка на глубине 8-10 м

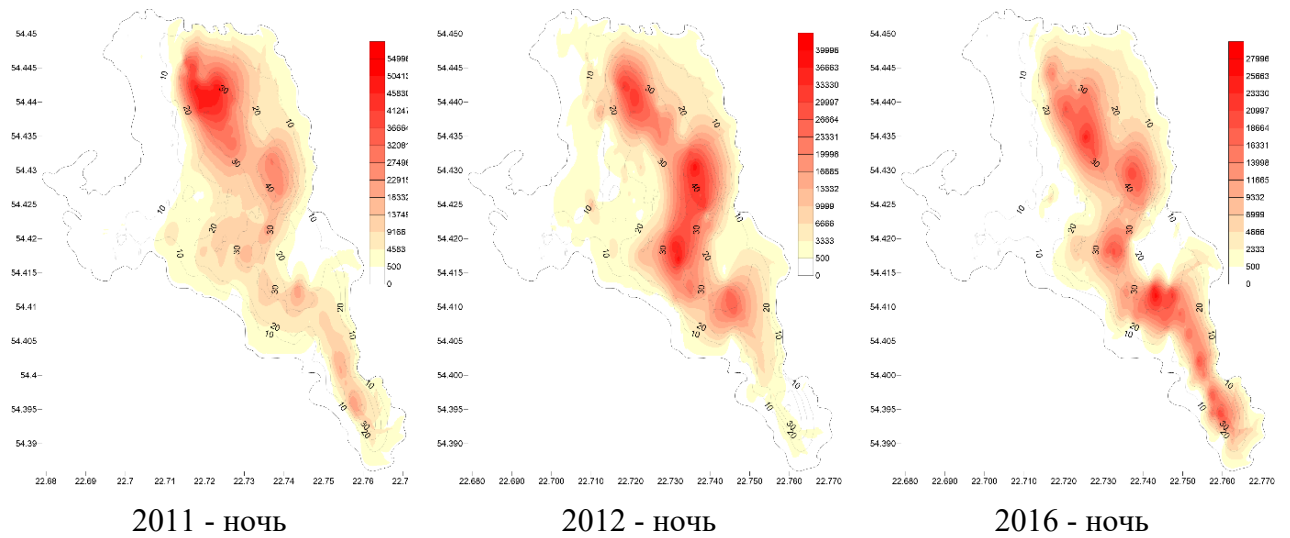


Рисунок 51 – Пространственное распределение плотностей рыбных скоплений по акватории водоема в период сформировавшегося слоя температурного скачка на глубине 15 м

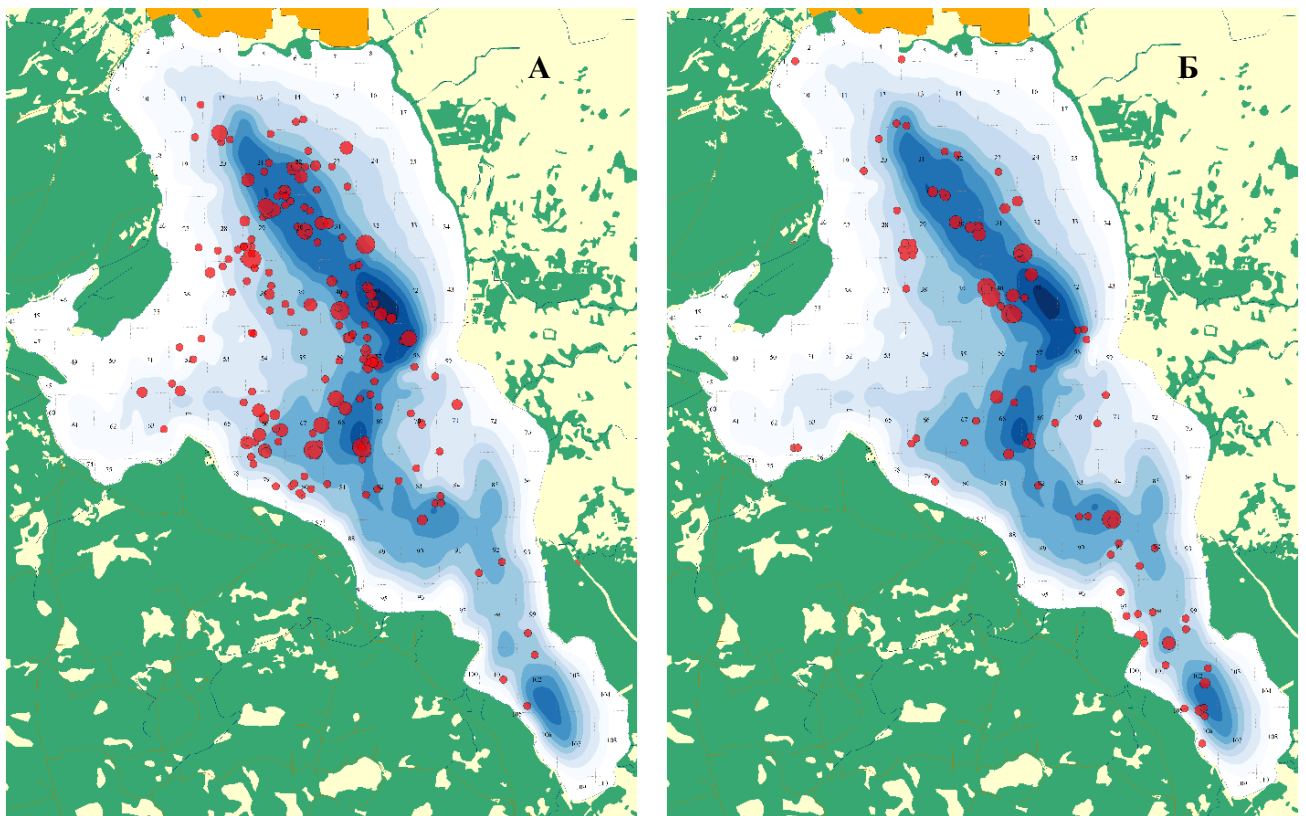


Рисунок 52 – Пространственное распределение плотностей рыбных скоплений по акватории водоема по данным уловов пелагическими ставными сетями в период формирования (А) и установления (Б) слоя температурного скачка

4.4 Количественная оценка пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого

Численность и биомасса рыб являются одними из основных показателей, по которым оценивается состояние ихтиоценоза. Полное «доминирование ряпушки (по численности и биомассе) в пелагиали озера Виштынецкого позволяет произвести оценку численности ее популяции в озере по данным проводимых гидроакустических съемок» [2, с. 60].

Следует отметить, что «первые гидроакустические съемки, выполненные в 2008–2009 годах, показали, что в пелагиали озера в дневное время суток образуются единичные локальные скопления с достаточно высокой отражательной способностью (Рисунок 53а), однако большинство из них не поддаются количественной оценке ввиду того, что программа обработки данных не может обработать кадр, в котором отсутствует возможность выделения одиночной рыбы. В ночное время суток ситуация меняется: в этот период наблюдаются многочисленные скопления, регистрируемые эхолотом в толще воды по всей вертикали водоема с выраженным слоем высотой порядка 10–15 м (Рисунок 53б). Скопления при этом имеют разреженную структуру с более низкой отражательной способностью, однако их плотность достаточно высока: средняя плотность по данным гидроакустической съемки за указанный период достигала 10 тыс. экз./га, а максимальная – 47 тыс. экз./га» [2, с. 56].

Как отмечалось ранее в работе, оценка численности проводилась интерполяцией пространственно-распределенных зарегистрированных значений плотностей в узлы регулярной решетки методом Кригинга. Наряду с этим также была проведена оценка численности площадным методом. Принимая во внимание тот факт, что ряпушка, по данным гидроакустических съемок, занимает не всю толщу воды, а находится преимущественно в определенном слое глубин, при расчете численности площадным методом для каждого года использовались площадные характеристики конкретных глубинных слоев водоема, а также средняя плотность (экз./га) по данным гидроакустических съемок. Результаты расчетов численности площадным

методом, равно как и численность, полученная методом интерполяции, представлены в таблице 7.

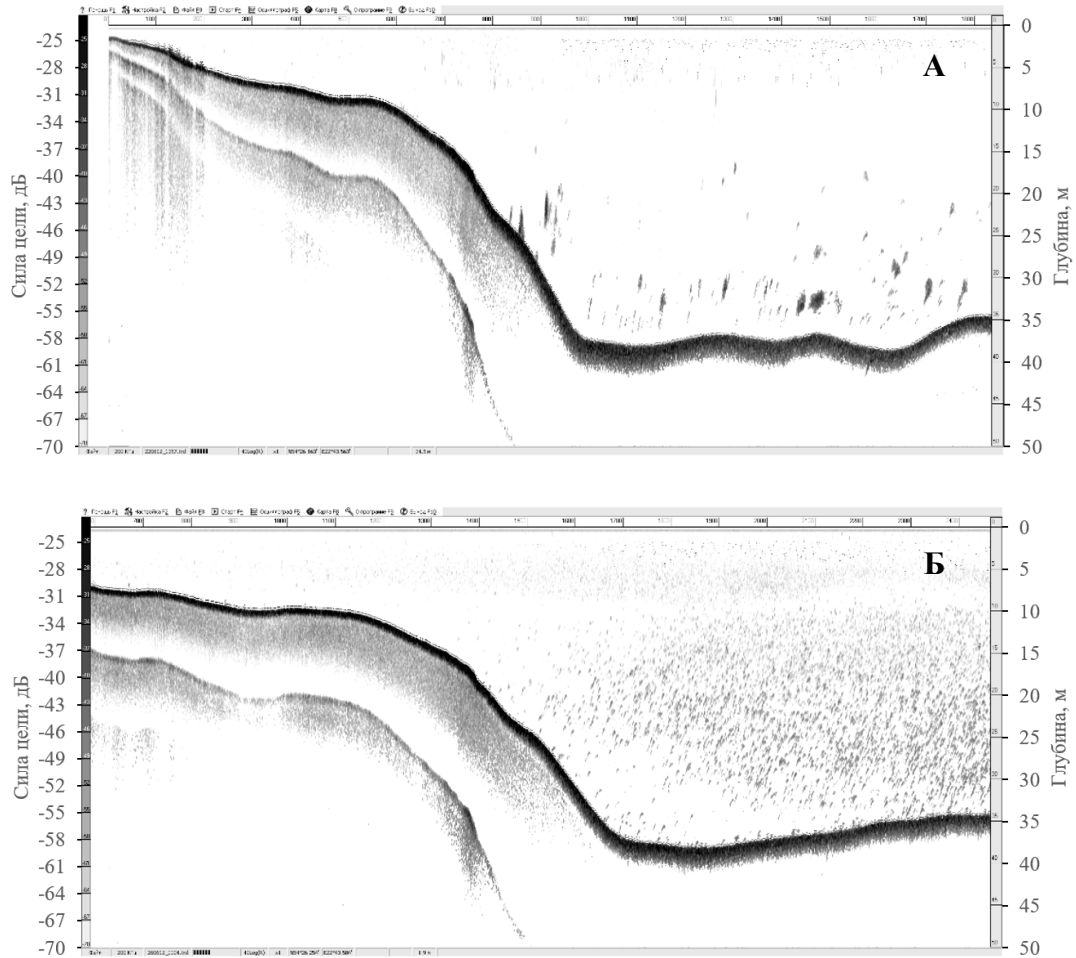


Рисунок 53 - Типичная эхограмма дневных (А) и ночных (Б) скоплений ряпушки весной в озере Виштынецком [38]

Таблица 7 – Показатели численности и плотностей рыбных скоплений по данным ночных гидроакустических съемок

Год	Средняя плотность, экз./га	Максимальная плотность, экз./га	Численность (интерполяция), млн. экз.	Численность (площ. метод), млн. экз.	Общая площадь, га	Диапазон глубин, м
2008	13196	46994	13.68 (11.80÷15.86)	15.18 (13.09÷17.60)	1339.9	5–40
2009	12078	32149	15.82 (13.42÷18.65)	16.07 (13.63÷18.94)	1339.9	5–40
2010	10060	29949	12.02 (10.24÷14.11)	12.14 (10.34÷14.25)	1339.9	5–40
2011	14473	51238	16.16 (13.65÷19.14)	14.65 (12.37÷17.35)	1339.9	5–40
2012	16028	52138	15.78 (12.56÷19.83)	14.28 (11.36÷17.95)	1339.9	5–40

Окончание таблицы 7

2013	16829	46850	17.39 (15.39÷19.65)	16.32 (14.44÷18.44)	1104.7	10–45
2014	10982	45252	14.58 (12.81÷16.59)	13.92 (12.23÷15.84)	985.4	10–35
2016	10982	26971	11.30 (9.93÷12.86)	9.40 (8.26÷10.70)	1339.9	5–40
2017	9801	33460	9.17 (7.67÷10.97)	9.66 (8.07÷11.56)	985.4	10–35
2018	14500	41355	13.21 (11.55÷15.10)	14.70 (12.86÷16.81)	985.4	10–35
2019	10917	36078	9.82 (8.73÷11.04)	10.76 (9.57÷12.10)	985.4	10–35
2020	7719	22656	7.22 (6.43÷8.11)	7.61 (6.78÷8.54)	985.4	10–35

Как видно из таблицы 7, и площадной метод, и метод интерполяции дают в целом сходные результаты, однако применение геостатистической модели, которая базируется на статистической интерпретации данных, видится более обоснованным.

Сравнительный анализ динамики численности по данным гидроакустических съемок и уловов на усиление ставными сетями позволяет сделать вывод о наличии прямой связи между этими показателями (коэффициент корреляции Пирсона 0.74 ($t=3.460$, $t_{\text{крит}}=2.228$, $\alpha=0.05$)) (Рисунок 54), что свидетельствует о достоверности получаемых по результатам гидроакустических исследований данных и позволяет использовать их при оценке численности данного вида рыбы и ее динамике.

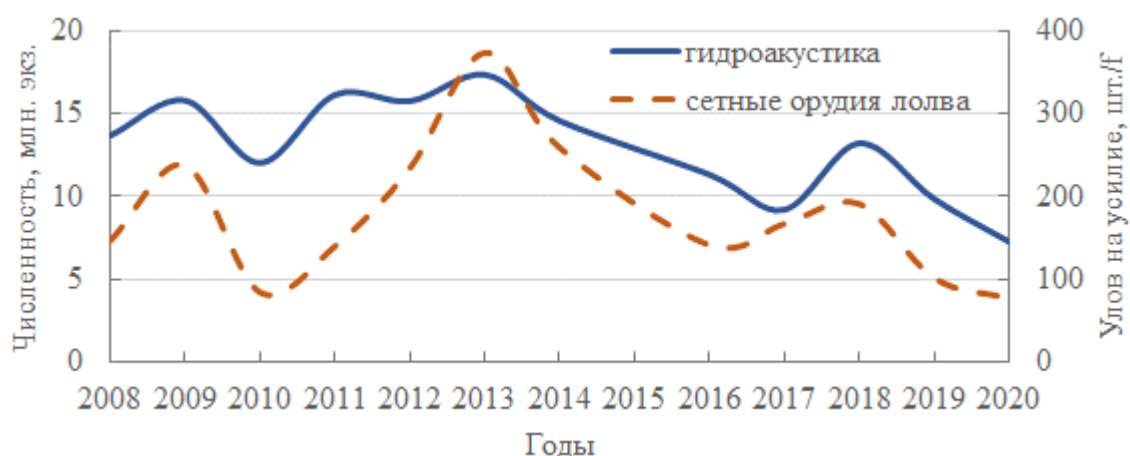


Рисунок 54 – Динамика численности (по данным гидроакустических съемок) и уловов на усиление (по данным сетных уловов)

4.5 Размерная структура пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого

Безусловно, при оценке состояния и управления запасами того или иного вида рыбы важную роль играет изучение его размерного состава. В используемом на озере Виштынецком программно-аппаратном комплексе «АсКор» заложена возможность восстановления размерного состава обнаруживаемых гидробионтов на основе зависимости длина рыбы – сила цели [2], что позволяет применять получаемые комплексом данные для оценки размерной структуры ряпушки озера Виштынецкого. При этом, как правило, следует использовать полученные экспериментальным путем зависимости для данного вида рыбы и используемой частоты излучения. Однако в «АсКор» для восстановления указанной зависимости было заложено общее уравнение Лава, что накладывало определенные ограничения на применение результатов гидроакустических съемок в оценке размерной структуры ряпушки озера Виштынецкого [91]. Принимая во внимание тот факт, что получение экспериментальным путем зависимости длина рыбы – сила цели достаточно затратно в экономическом, временном и организационном аспектах, а в литературе по ряпушке встречаются подобного рода сведения (например, линейная регрессия (формула (3)), полученная для частоты 120 кГц) [116], было принято решение совместно с разработчиком комплекса внести в его программную часть изменения, и вместо формируемых на основании формулы Лава размерных групп регистрируемых гидробионтов использовать исходные значения силы цели. На данном этапе это позволяет использовать уравнение регрессии (формула (3)) для восстановления размерной структуры ряпушки озера Виштынецкого, а в будущем, даст возможность применения уравнения, полученного экспериментальным путем.

Проведенные расчеты показывают, что формула Лава применительно для ряпушки занижает величину при малых значениях длины, и завышает ее при высоких значениях (Таблица 8).

Таблица 8 – Результаты пересчета длины ряпушки по формуле Лава (2) и уравнению регрессии (формула (3)) по силе цели (TS)

Длина, см (по формуле Лава)	Длина, см (по уравнению регрессии для ряпушки с учетом поправочного коэффициента по частоте)	TS, дБ
1.8	3.0	-59
2.1	3.3	-58
2.3	3.6	-57
2.6	3.9	-56
3.0	4.3	-55
3.4	4.7	-54
3.8	5.1	-53
4.3	5.6	-52
4.8	6.1	-51
5.5	6.7	-50
6.2	7.4	-49
6.9	8.1	-48
7.8	8.8	-47
8.8	9.6	-46
10.0	10.6	-45
11.2	11.6	-44
12.7	12.6	-43
14.3	13.8	-42
16.1	15.1	-41
18.2	16.6	-40
20.5	18.1	-39

Занижение длины ряпушки при использовании формулы Лава наглядно подтверждается сравнительным анализом ее размерных структур, полученных по данным уловов комплексом разноячейных ставных сетей и по результатам гидроакустических съемок за период с 2017 по 2019 годы. Восстановление длины ряпушки по исходным значениям силы цели производилось как по уравнению регрессии (формула (3)), так и по формуле Лава (2). Как видно из приведенных диаграмм (Рисунок 55), основной модальный класс по данным сетных уловов приходится на длину 8–9 см (меньшие размерные группы отсутствуют ввиду селективности используемых орудий лова), восстановление длины по уравнению регрессии (формула (3)) по результатам гидроакустических съемок и группировка их в размерные группы дает также модальный класс со значением длины 8 см (для сравнимости данных меньшие модальные размерные группы не учитываются), что близко

к полученному по сетным орудиям лова результату, а вот восстановление длины по формуле Лава (2) дает модальную длину 6 см, что ниже наблюдаемой в уловах величины на 2–3 см.

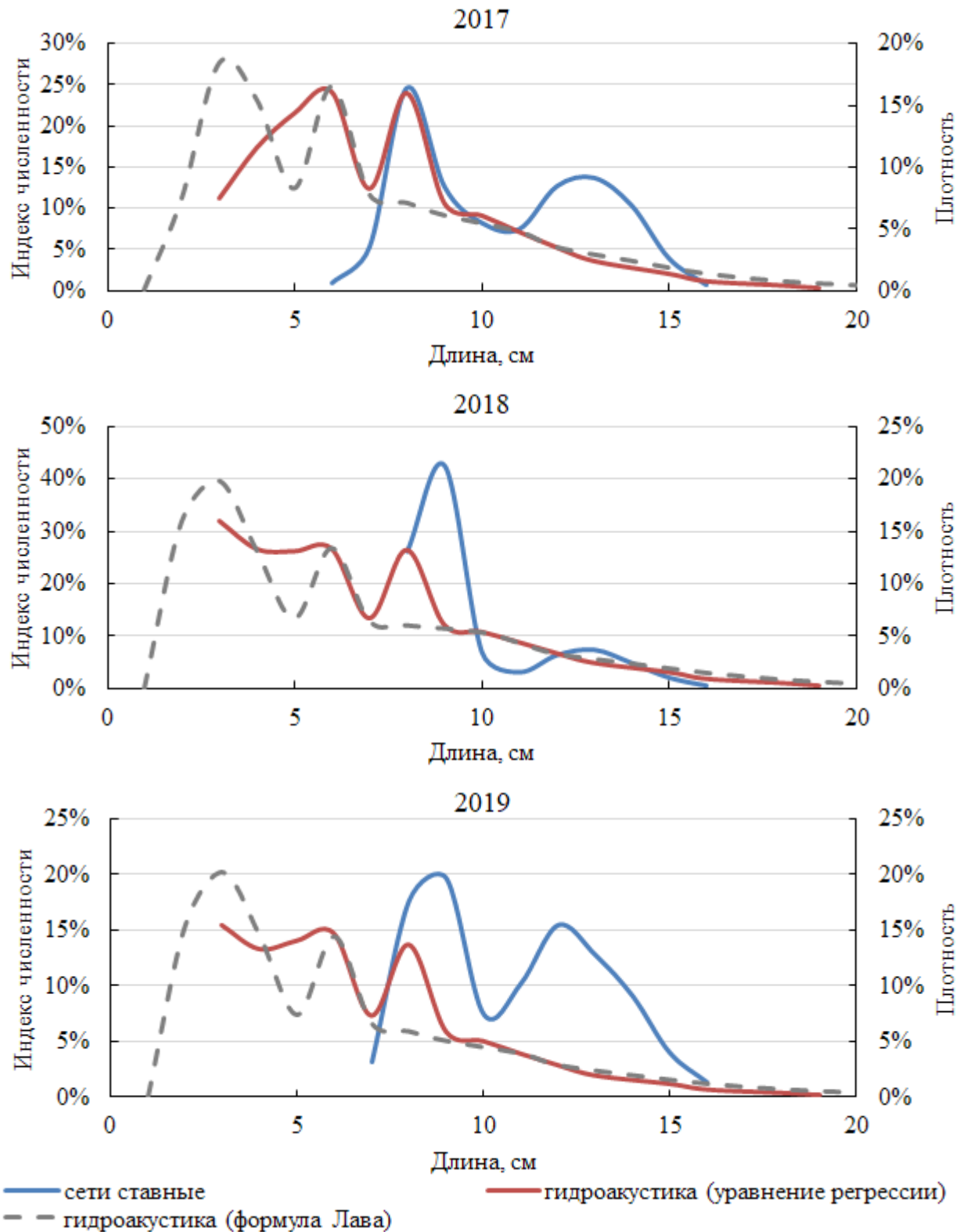


Рисунок 55 – Размерная структура ряпушки озера Виштынецкого по данным сетных уловов и гидроакустических съемок за июнь месяц 2017–2019 годов

В целом за последние четыре года (2017–2020 гг.) размерная структура ряпушки не претерпевает серьезных изменений и имеет следующий вид (Рисунок 56).

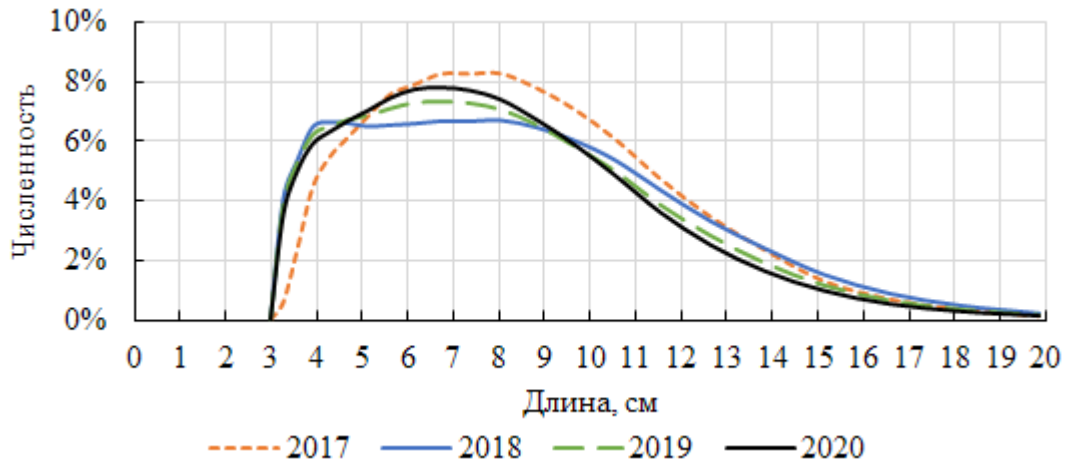


Рисунок 56 – Размерная структура ряпушки озера Виштынецкого за последние четыре года по данным гидроакустики

Основная ее численность приходится на размерные группы 3–10 см, составляя до 90% от общей численности зарегистрированных скоплений. При этом ряпушка длиной менее 3 см не встречается как в результатах гидроакустических съемок, так и в траловых уловах, где минимально зарегистрированная длина составляла 3 см (Рисунок 57). Следует отметить, что особи длиной более 16 см также практически не регистрируется на записях эхограмм (численность по данным гидроакустики составляет менее 1%). Похожий результат отмечается и в результатах контрольных обловов разноячейными ставными сетями с шагом ячеи 6.5–24 мм (Рисунок 57).



Рисунок 57 – Размерная структура ряпушки озера Виштынецкого по данным обловов и гидроакустики

Полученные результаты также подтверждают отмечаемое рядом авторов снижение размерных показателей ряпушки озера Виштынецкого [98], что может быть связано, как с перенаселенностью данного вида ввиду низкой интенсивности промысла, так и с повышенной естественной смертностью крупных особей, как предполагается, в результате воздействия паразитов [97, 37].

В пространственном аспекте размерная структура ряпушки также имеет определенные особенности. В вертикальной структуре ее распределения отмечается преобладание мелкоразмерных особей (до 10 см) в верхних горизонтах (10-20 м) ниже слоя температурного скачка. С увеличением глубины размерная структура ряпушки меняется в сторону увеличения ее длины и на глубинах более 30 м преобладают особи длиной более 10 см (Рисунок 58).

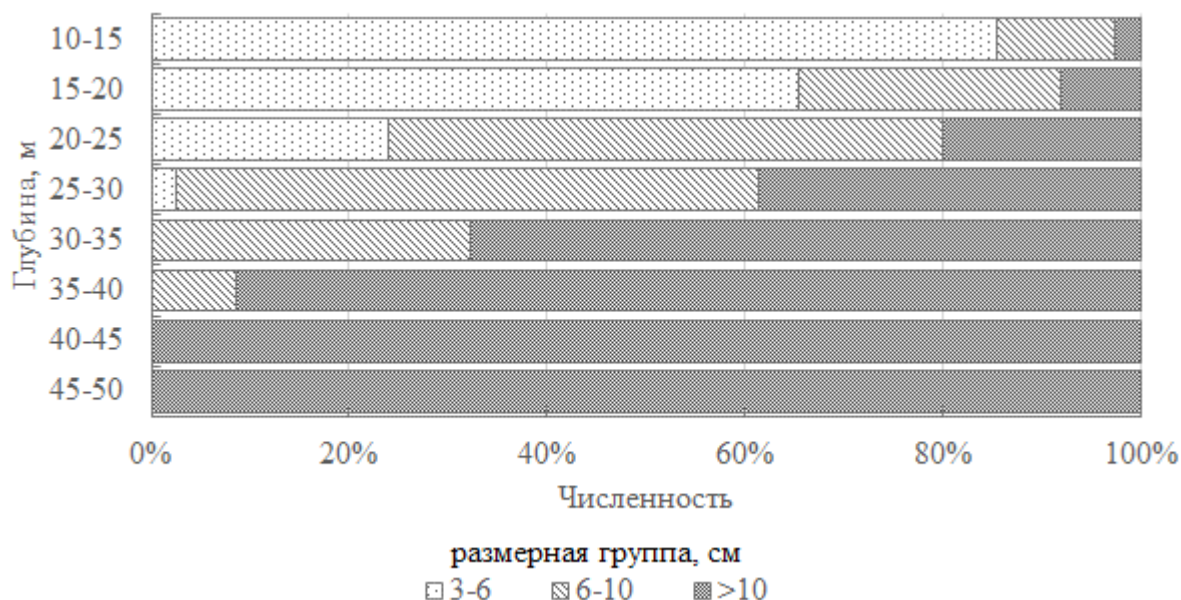


Рисунок 58 – Вертикальная структура ряпушки озера Виштынецкого по трем размерным группам

В пространственном распределении по акватории водоема также можно выделить некоторые особенности, связанные с размерной структурой ряпушки. В центральной части водоема в местах, приуроченных к глубоководным впадинам, а также в глубоководной впадине южной части озера преобладают особи длиной более 6 см, в то время как на склонах на относительно мелких участках водоема (с глубинами менее 30 м) отмечается преобладание особей с длиной менее 6 см (Рисунок 59).

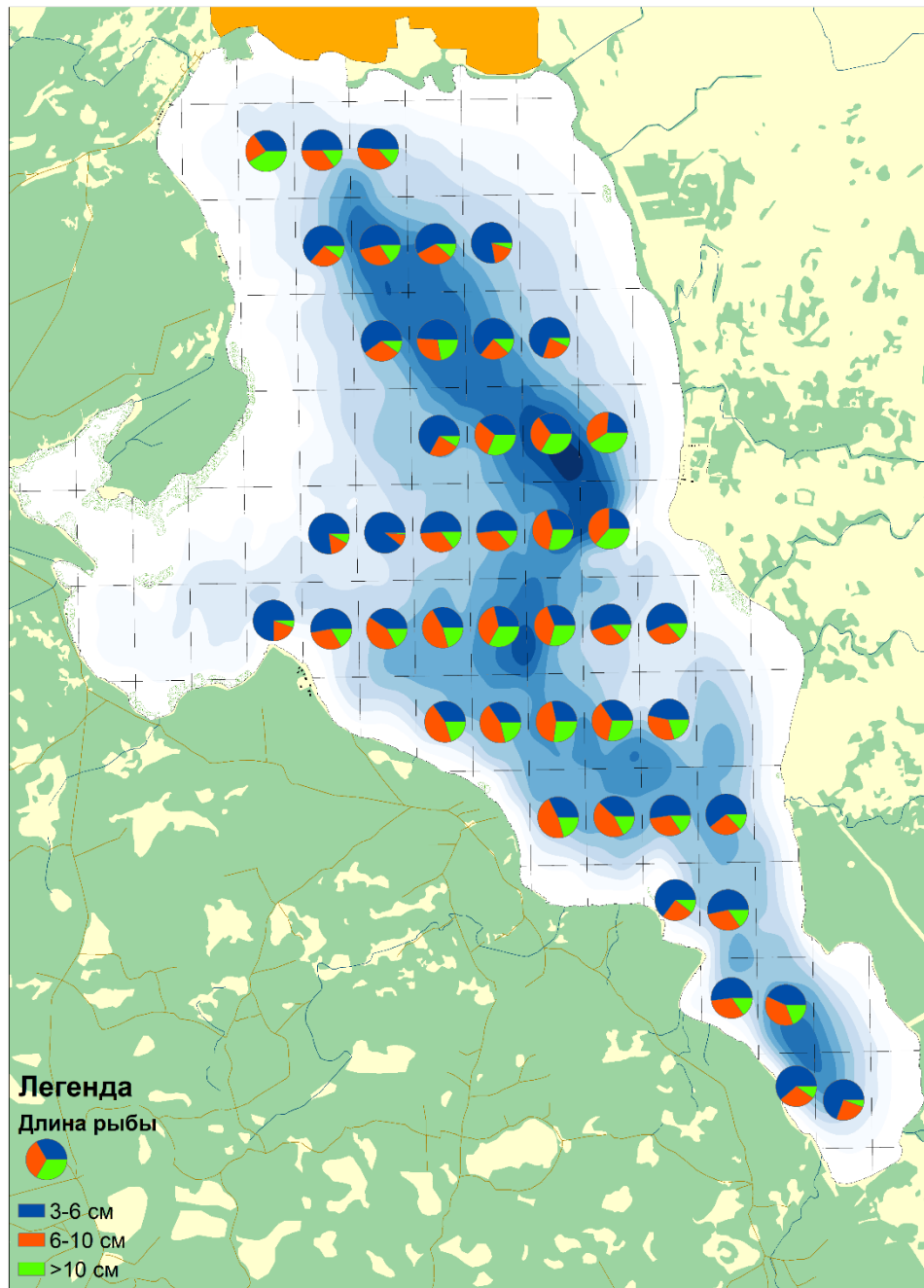


Рисунок 59 – Горизонтальная структура ряпушки озера Виштынецкого по трем размерным группам

5 ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДУКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПЕЛАГИЧЕСКОГО ИХТИОЦЕНОЗА

Разработка принципов рационального использования продукционных свойств популяций рыб базируется на подборе оптимальных параметров промысла, определяющих соотношение между интенсивностью и селективностью промысла, с одной стороны, и величиной улова – с другой. Очевидным является факт, что решение подобного вопроса не может быть осуществлено путем проведения натурного эксперимента ввиду получения возможного негативного эффекта и необратимости протекающих процессов. В связи с этим наиболее эффективным подходом в настоящее время при изучении закономерностей динамики эксплуатируемых популяций рыб и разработке принципов рационального использования является моделирование. Немаловажным в данном вопросе является и определение наиболее эффективных районов промысла, сроков добычи, возможности применения других типов орудий лова и т.п.

Однако, прежде чем непосредственно перейти к разработке биологических ориентиров управления промысловым использованием популяции ряпушки озера Виштынецкого, необходимо рассмотреть текущее состояние запасов данного вида, динамику ее промысла, а также основные промыслово-биологические параметры.

5.1 Состояние запаса и динамика промысла ряпушки озера Виштынецкого

Как отмечалось ранее в работе, ряпушка являлась основным объектом промысла озера Виштынецкого, максимальный официально зарегистрированный улов которой в 1977 г. составлял 29 т. В последующее десятилетие вылов снизился по причине плохой организации рыболовства и его полным прекращением в 1990-е годы (Рисунок 60).

В последние годы рекомендуемый объем добычи данного вида составляет 10.2–11.7 т [44] (11.4 т составляет рекомендованный объем добычи ряпушки на 2021 год), но величина освоения за последние пять лет не превышает 10.2% (рисунок 61), что, как отмечалось ранее, связано с мельчанием данного вида и низкой

эффективностью лова традиционными сетями с шагом ячеи 18 мм [37, 93]. Применение организациями, ведущими промышленный лов, сетей с более мелким шагом ячеи (14–15 мм) оказалось малоэффективным с точки зрения соотношения между величиной улова и затратами времени на обработку сетей из-за возрастания трудности выпутывания пойманной рыбы, поэтому рыбаки, несмотря на возможность применения в соответствии с правилами рыболовства для Западного рыбохозяйственного бассейна [72] сетей с шагом ячеи 14 мм, используют в основном сети с шагом ячеи 16–18 мм.

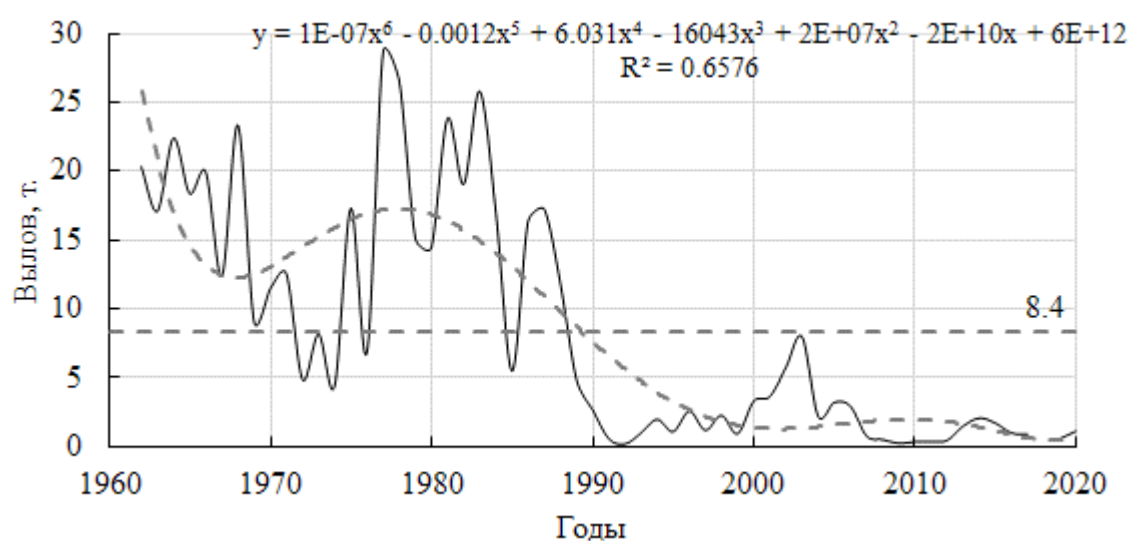


Рисунок 60 - Динамика вылова и тренд уловов ряпушки

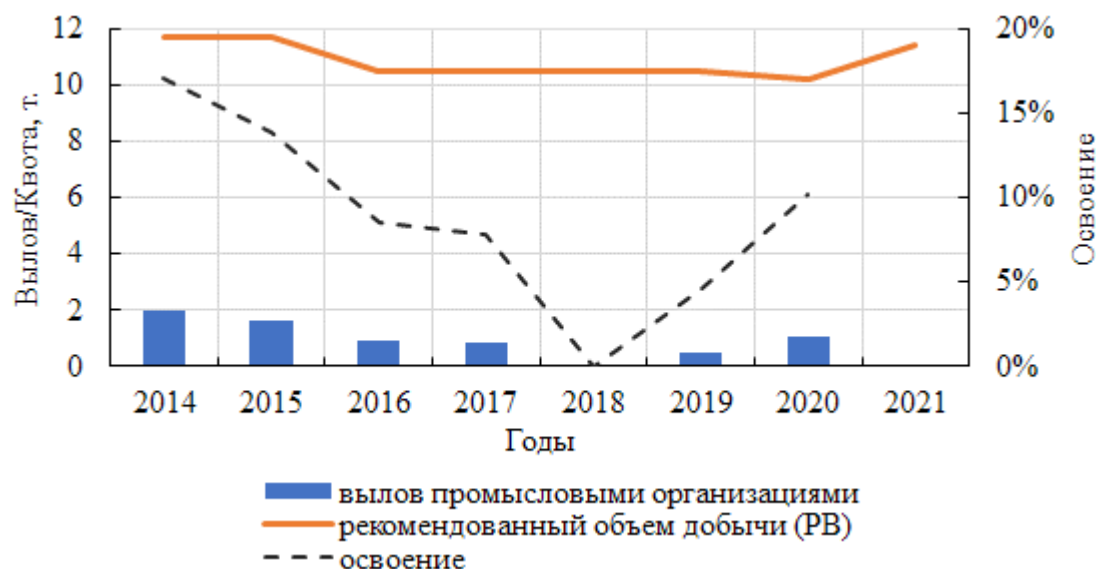


Рисунок 61 – Соотношение между выловом промысловых организаций и величиной рекомендованного объема добычи ряпушки озера Виштынецкого

Отсутствие промысловых уловов ряпушки рыбодобывающими организациями в 2018 г. было связано с временными и финансовыми затратами пользователей, вызванными необходимостью присвоения кодов ОСМ для используемых для лова ряпушки сетей в соответствии с письмом Росрыболовства [83], необходимыми для получения разрешения на лов [85] данного вида рыбы. В 2019–2020 гг. промысел ряпушки возобновился, но в очень небольших объемах и в результате освоение рекомендуемого вылова в 2020 году составило лишь около 10%.

5.2 Промыслово-биологическая характеристика ряпушки озера Виштынецкого

Размеры ряпушки озера Виштынецкого в промысловых уловах колеблются от 9 до 17 см, средняя длина составляет 12–13 см, масса данного вида указанной длины по данным промеров составляет 20–24 г, средняя – 20.5 г. На протяжении последних десятилетий для ряпушки наблюдается снижение ее размерных показателей (средняя длина ряпушки в 1980-е годы составляла более 16 см) [82], что связывают как с перенаселенностью из-за низкой интенсивности промысла, так и с повышенной естественной смертностью крупных особей, как предполагается, в результате воздействия паразитов [37, 93, 39, 38]. За последнее время в ряпушке обнаружено четыре вида паразитов: *Henneguya zschokkei*, *Argulus foliaceus*, *Proteocephalus exiguous* и *Ergasilus briani*. Микроспоридия *Henneguya zschokkei* считается опасным паразитом для лососевых и сиговых рыб и впервые была обнаружена в начале 2000-х годов после акклиматизации рипуса со стороны Литовской республики, однако зараженность данным паразитом относительно невысока и составляет в среднем около 8% [38]. Высокая экстенсивность инвазии в последние годы отмечается у *Proteocephalus exiguous* и *Ergasilus briani*, составляя в среднем 97% и 77% соответственно [39, 38], причем первый паразит повсеместно отмечается у мелко-размерных особей ряпушки, экстенсивность заражения ряпушки вторым паразитом увеличивается с размером (возрастом) рыбы (Рисунок 62).

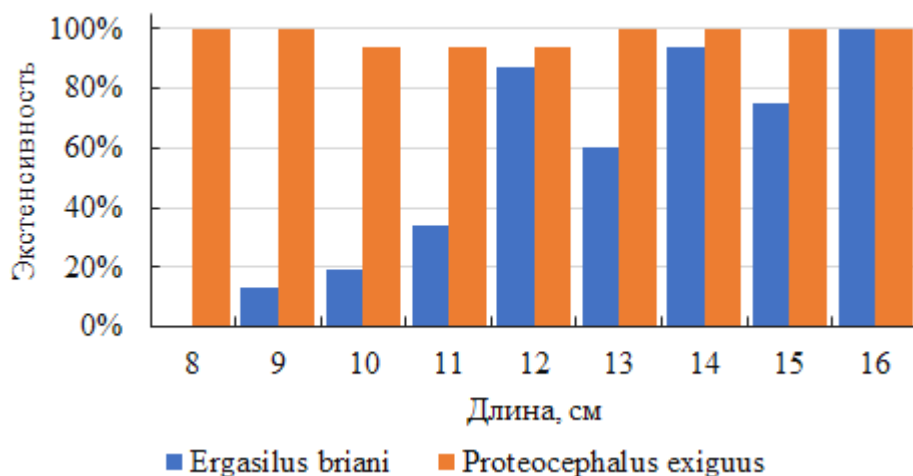


Рисунок 62 – Экстенсивность заражения ряпушки *Proteocephalus exiguus* и *Ergasilus briani* по длине

Максимальная численность ряпушки наблюдалась в 2013 году, когда уловы на единицу промыслового усилия достигали величины 7.5 кг в сети с шагом ячеи 16 мм и 1.5 кг в сети с шагом ячеи 18 мм, а численность по данным гидроакустики составляла 17.4 млн. экз. Промыслом эксплуатируются пять возрастных групп от двух до шести лет (средневзвешенные значения длин составляют 8.8 и 15.7 см соответственно). Основу уловов составляют двух-трех годовики, рыбы старше пяти-летнего возраста встречаются крайне редко. По имеющимся данным биологического анализа ряпушки озера Виштынецкого была определена зависимость между массой и длиной (Рисунок 63).

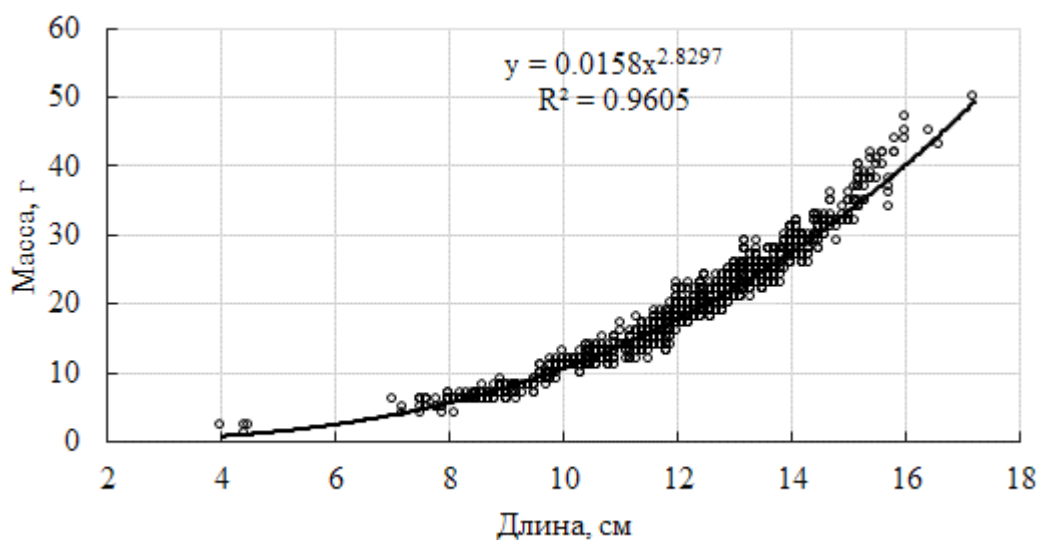


Рисунок 63 – Зависимость массы ряпушки озера Виштынецкого от ее длины

Найденная зависимость массы ряпушки от ее длины позволила перейти от численности данного вида, полученной на основании результатов гидроакустических съемок, к биомассе путем сопоставления размерной структуры ряпушки озера Виштынецкого, восстановленной по формуле (2), с численностью данного вида, определенной по данным гидроакустики (Рисунок 64). Так в последние два года (2019–2020 годы) численность составила 8.5 ± 1.3 млн. экз, а биомасса – 50.0 ± 8.5 т, что, несмотря на наблюдаемые изменения, связанные с мельчанием данного вида и уменьшением его численности как по данным контрольных уловов, так и по данным гидроакустики, сопоставимо с величинами, наблюдаемыми в советское время.

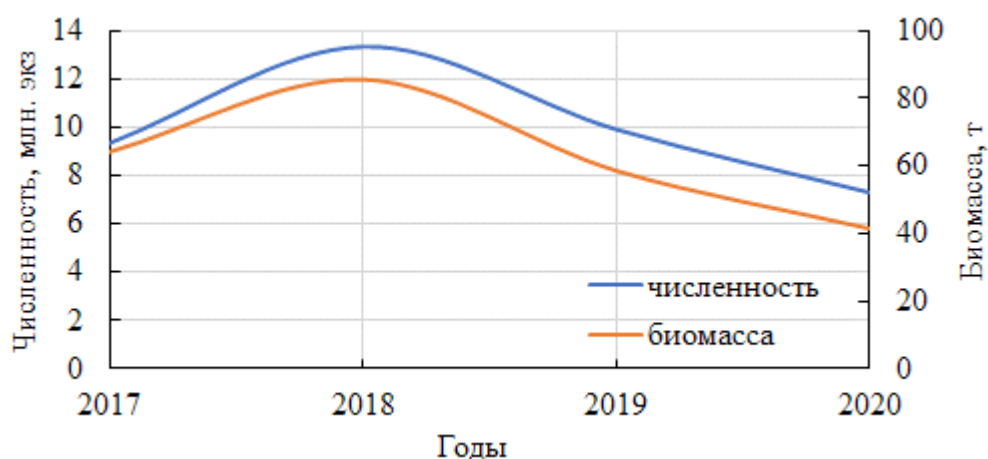


Рисунок 64 – Динамика изменения численности и биомассы ряпушки по данным гидроакустических съемок

Основные промыслово-биологические параметры ряпушки оз. Виштынецкого представлены на рисунках 65–67.

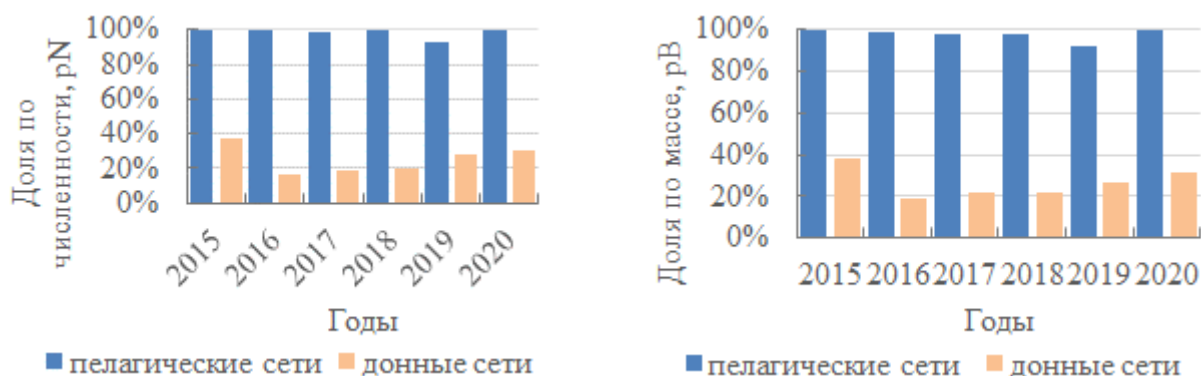


Рисунок 65 – Доля ряпушки в контрольных обловах (пелагические и донные сети с шагом ячеи 14, 16 и 18 мм)

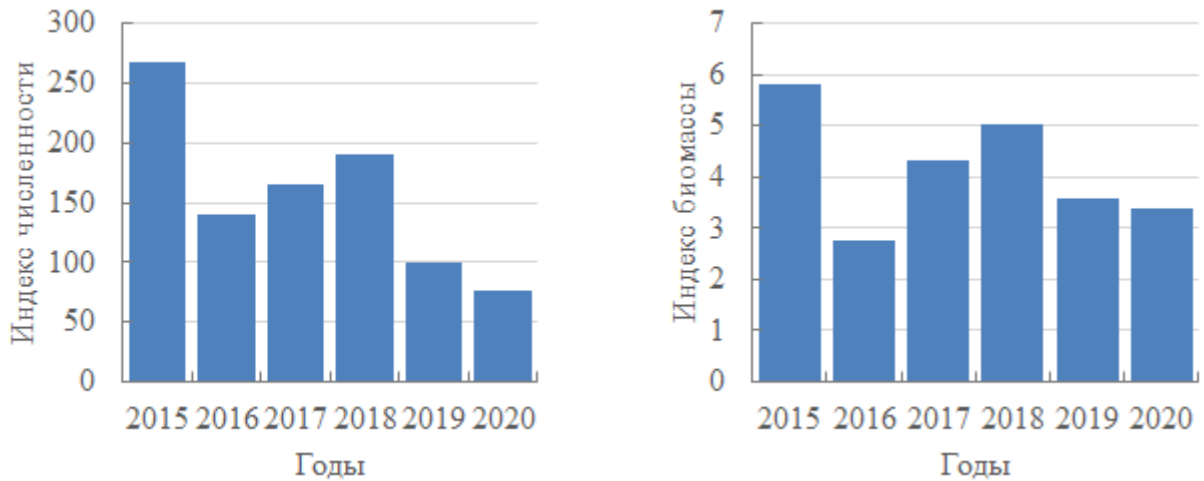


Рисунок 66 – Относительная численность и биомасса ряпушки по данным контрольных обловов ставными сетями

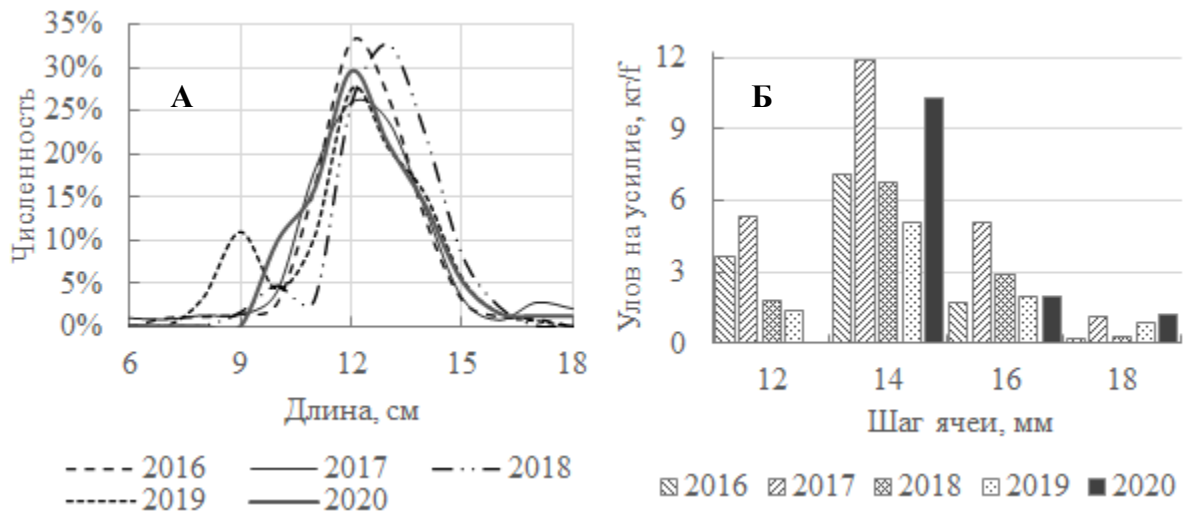


Рисунок 67 – Размерная структура уловов (А) и уловы на усилие (Б) ряпушки озера Виштынецкого ставными сетями с шагом ячеи 12, 14, 16 и 18 мм

5.3 Биологические ориентиры управления промысловым использованием популяции ряпушки озера Виштынецкого

Принимая во внимание тот факт, что в настоящее время промысловое использование ряпушки озера Виштынецкого слабо развито и получение многолетнего ряда данных о величине промысловых уловов, получаемых от каждого поколения на протяжении всей жизни данного вида, затруднительно, для оценки перспектив рационального использования продукционных свойств данного вида была использована модифицированная аналитическая промысловая модель Рикера [74, 92].

Данная модель «основывается на дискретном подходе к анализу динамики эксплуатируемой популяции. При этом рассматриваемая «популяция разбивается на отдельные возрастные группы, для которых определяются следующие основные динамические характеристики – скорость весового роста, естественная смертность, промысловая смертность» [92, с. 345], и предполагается, что «все эти параметры остаются неизменными в течение достаточно большого промежутка времени, а сама популяция находится в уравновешенном состоянии» [75, с. 151].

Принимая во внимание тот факт, что ФГБОУ ВО «КГТУ» ведет научно-исследовательскую работу по изучению возможности внедрения тралового лова ряпушки, указанная модель применялась с целью оценки динамики основных промысловых параметров ряпушки озера Виштынецкого под влиянием промысла как для селективных, так и неселективных орудий лова, а также определения промысловых параметров и разработки рекомендаций по рациональному промысловому использованию данного вида.

Необходимыми входными параметрами для модели Рикера являются [75, 92]:

- параметры уравнения Бергаланфи (предельная масса (W_{max}), константа роста (K) и начальный возраст (t_0));
- возраст пополнения (t_r);
- возраст наступления половозрелости (t_s);
- возраст вступления в эксплуатацию (t_c);
- максимальный возраст (t_{max});
- численность пополнения (R);
- естественная смертность (M);
- предельное снижение запаса.

Учитывая, что в модели Рикера используются параметры уравнения Бергаланфи, а применение данного уравнения предполагает, что зависимость «длина – масса» описывается кубическим уравнением, с этой целью для ряпушки озера Виштынецкого была определена функциональная зависимость между ее массой и промысловой длиной (Рисунок 63).

В результате проведенного анализа было определено, что зависимость между

массой и длиной ряпушки наилучшим образом описывается степенным уравнением $W = 0.0158L^{2.8297}$ ($R^2=0.96$). Поскольку показатель степени уравнения зависимости длина – масса приближается к 3, это свидетельствует о близком к изометрическому росту ряпушки озера Виштынецкого и позволяет использовать для теоретического описания роста густеры уравнения линейного и весового роста Бергаланфи (формулы (8)–(9)):

а) уравнение линейного роста:

$$L = L_{\infty}(1 - e^{-k(t-t_0)}), \quad (8)$$

б) уравнение весового роста:

$$W = W_{\infty}(1 - e^{-k(t-t_0)})^3, \quad (9)$$

где L и W – длина и масса рыбы в момент t соответственно;

L_{∞} и W_{∞} – максимально возможные длина и масса для рыб данной популяции;

K – коэффициент роста;

t_0 – возраст, в котором длина равна нулю.

Уравнение весового роста Бергаланфи для ряпушки озера Виштынецкого аппроксимирует весовой рост (ошибка составляет 7.5%) и имеет следующий вид (формула (10)):

$$W = 54,2(1 - e^{-0,389(t+0,007)})^3, \quad (10)$$

Уравнение линейного роста Бергаланфи для ряпушки представлено формулой (11), ошибка составляет 2.3%.

$$L = 17,5(1 - e^{-0.393(t-0.070)}), \quad (11)$$

За возраст пополнения (tr) был принят «возраст, в котором рыба впервые вступает в промысловое стадо и теоретически может быть отловлена. Данный параметр определяется биологическими особенностями вида и связан с переходом молодежи к образу жизни взрослых рыб» [92, с. 134]. Полученные результаты экспериментального тралового лова, равно как и данные контрольных обловов мелкочейными се-

тями (шаг ячеи 6.5 мм) в пелагиали озера Виштынецкого, в уловах которых встречались особи в возрасте 1 года, позволяют за возраст пополнения ряпушки принять возраст, равный одному году.

Возраст наступления половозрелости характеризует возраст, в котором рыбы становятся половозрелыми и, как следствие, могут принимать участие в воспроизводстве. Принимая во внимание тот факт, что созревание у всех особей поколения происходит неравномерно и растягивается во времени, то обычно «за возраст созревания принимается возраст, когда половозрелыми становятся 50% и более особей» [92, с. 136]. С целью определения возраста наступления половозрелости ряпушки озера Виштынецкого были проанализированы данные биологического анализа данного вида за последние десять лет (2010–2020 гг.) в весенне-летний период. Результаты проведенного анализа показывают, что в возрасте двух лет подавляющая часть особей ряпушки озера Виштынецкого являются половозрелыми и могут принимать участие в воспроизводстве (Рисунок 68).

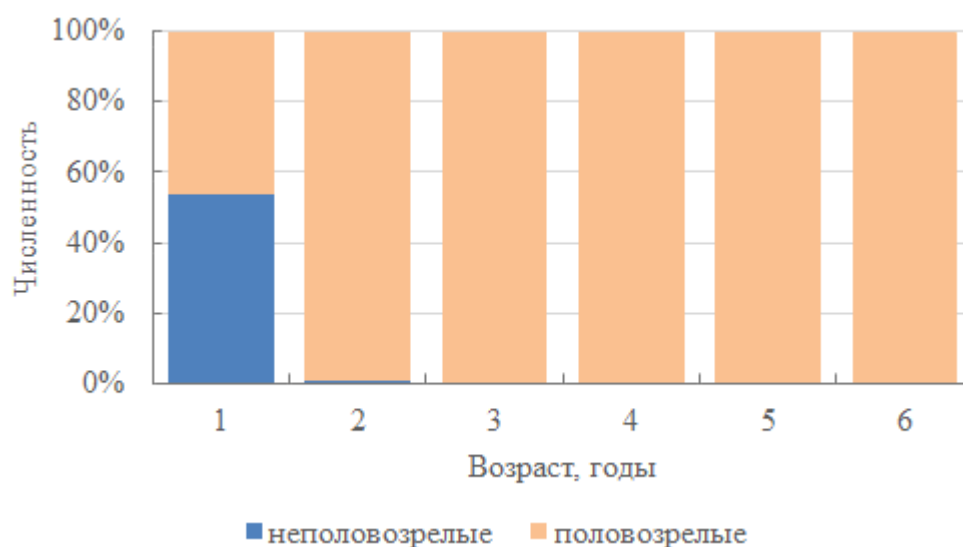


Рисунок 68 – Возрастная структура наступления половозрелости ряпушки озера Виштынецкого (по данным уловов ставных сетей в весенне-летний период)

Выбор диапазона возрастов вступления в эксплуатацию (t_c) в определенной степени условен и определяется в большинстве случаев селективностью используемых орудий лова. При этом в качестве минимального возраста вступления в эксплуатацию для ряпушки использовалось значение возраста пополнения ($t_c=1$), а в

качестве максимального – возраст, численность рыб в котором по данным контрольных обловов была единичной ($t_c=6$).

Максимальный возраст (t_{max}) характеризует «предельный возраст жизни рыбы в промысловой стадии» [92, с. 134] и для ряпушки фактически был принят равным шести годам, т.е. «тому возрасту, до которого доживают наиболее старые особи, участвующие в промысле» [92, с. 134] (по данным контрольных обловов).

Численность пополнения (R) определяется численностью «рыб одного поколения, которые достигнув возраста t_r , вступают в промысловое стадо» [92, с. 135]. Ввиду того, что начальная численность поколения, как правило, не известна, численность пополнения принимается равной единице, а все параметры модели выражаются в виде значений, приходящихся на единицу пополнения.

Естественная смертность «определяется как смертность, обусловленная воздействием всех причин кроме промысла» [92, с. 159]. Оценка смертности базируется на знании о том, является ли рассматриваемая популяция стабильной или нет. В соответствии с формальной теорией жизни рыб, описанной Барановым Ф.И. [11], можно выделить следующие критерии стабильности популяции [92]:

- численность рыб с возрастом должна уменьшаться и «численность каждой более старшей возрастной группы должна быть меньше, чем смежной с ней более младшей, что определяется тем, что в стабильной популяции кривая населения тождественна кривой выживания» [92, с. 66], имеющей форму нисходящей экспоненты;

- по равенству соотношения численности смежных возрастных групп и коэффициенту смертности (если известен) можно говорить о том, что популяция стабильна;

- популяция стабильная в случае стабильности кривых населения, которые в этом случае будут параллельны в два смежных года;

Если популяция стабильна, то по ее возрастной структуре (т.е. кривой выживания) можно определить величину смертности [92].

С целью оценки популяции ряпушки озера Виштынецкого на предмет соот-

ветствия/несоответствия выделенным критериям стабильности, по данным гидроакустических съемок по численности и размерной структуре данного вида за последние четыре года, а также по данным о возрастной и размерной структуре по данным контрольных обловов, были построены кривые населения в простой (А) и полулогарифмической (Б) системе координат (Рисунок 69).

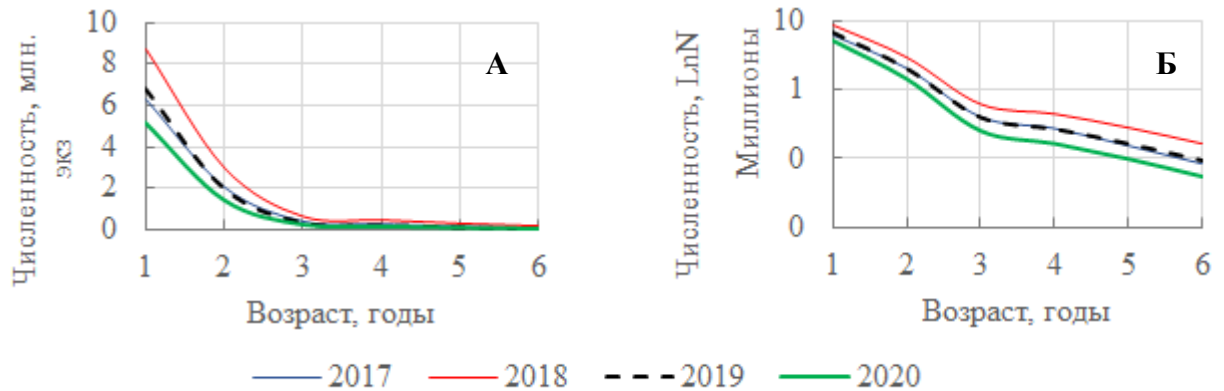


Рисунок 69 – Кривые населения ряпушки озера Виштынецкого по данным гидроакустических съемок (2017–2020 гг.) в простой (А) и полулогарифмической (Б) системе координат

Анализ полученных кривых населения (Рисунок 69) показывает, что в соответствии с первым и третьим критериями, рассмотренными выше, популяция ряпушки озера Виштынецкого может рассматриваться как стабильная. Принимая во внимание тот факт, что промысловое использование ряпушки озера Виштынецкого невелико, естественная смертность может быть приравнена к общей смертности, а оценка коэффициента общей смертности может быть осуществлена по возрастной структуре стабильной популяции.

Оценка общей смертности проводилась по предельному возрасту жизни рыбы по методике Ф.И. Баранова [11], а также путем аппроксимации кривой населения [92]. Дополнительно был использован эмпирический метод Паули, заключающийся в оценке естественной смертности по параметрам уравнения Бергаланфи [118].

«Ф.И. Баранов предложил формулу расчета числа возрастных групп n в зависимости от величины действительного коэффициента общей смертности φ_z , объема выборки S_n и количества особей предельного возраста, обнаруженных в выборке a_n » [92, с. 184] (формула (12)):

$$n = \frac{\ln \frac{a_n}{S_n \varphi_z}}{\ln(1 - \varphi_z)} + 1, \quad (12)$$

В качестве величины S_n использовалась численность, определенная по данным гидроакустических съемок. Число в пробе рыб самого старшего возраста при этом рассчитывается по формуле (13) [92]:

$$a_n = pN_n \cdot S_n, \quad (13)$$

где pN_n – доля по численности n -ой возрастной группы;
 n – максимальный возраст рыбы ($n=6$).

Решение находится методом итераций, где задача стоит в подборе такого значения φ_z , при котором n будет равно количеству возрастных групп (т.е. $n=6$). После мгновенный коэффициент общей смертности может быть рассчитан по следующей формуле (14):

$$Z = -\ln(1 - \varphi_z), \quad (14)$$

Второй метод, заключающийся в оценке коэффициента общей смертности, сводится к аппроксимации кривой населения уравнением Ф.И. Баранова (формула (15)), которое может быть приведено в линейную форму (формула (17)) путем логарифмирования (формула (16)).

$$N_t = N_0 e^{-Zt}, \quad (15)$$

$$\ln(N_t) = \ln(N_0) - Zt, \quad (16)$$

$$y = a_0 - a_1 x, \quad (17)$$

Коэффициент линейной регрессии a_1 при этом будет численно равен мгновенному коэффициенту общей смертности и может быть найден методом наименьших квадратов [92].

Метод Паули базируется на установлении регрессионной зависимости между естественной смертностью и параметрами уравнения Берталанфи и исходит из предположения о том, что естественная смертность определенным образом связана

с предельным возрастом жизни рыбы [92, 118]. Также им было принято во внимание то, что для рыб важное значение имеет температура среды, которую он также учел в своих уравнениях (формулы (18)–(19)).

$$\log M = -0.0066 - 0.279 \log L_{\infty} + 0.6543 \log K + 0.4634 \log T, \quad (18)$$

$$\log M = -0.2107 - 0.0824 \log W_{\infty} + 0.6757 \log K + 0.4627 \log T, \quad (19)$$

Результаты расчета коэффициента общей смертности для ряпушки озера Виштынецкого по данным 2017–2020 годов приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты оценки общей смертности ряпушки озера Виштынецкого

Метод оценки смертности	Смертность Z, год ⁻¹							
	по данным гидроакустики				по данным уловов на усилие в контрольных обловах			
	2017	2018	2019	2020	2017	2018	2019	2020
Метод Ф.И. Баранова	0.829	0.743	0.819	0.869	1.008	0.900	0.980	1.030
	0.815*				0,980*			
Метод аппроксимации	0.854	0.773	0.845	0.894	1.058	0.756	0.732	0.770
	0,845*				0.829*			
Смертность Z, год ⁻¹ (Метод Паули)								
по длине				по массе				
0.818*				0.794*				

* - среднее за ряд лет

Как видно из полученных результатов (Таблица 9), сходимость двух используемых методов оценки смертности по предельному возрасту жизни рыбы, рассчитанная по данным гидроакустики, достаточно высока: разница в полученных значениях не превышает 4%. По сетным уловам на усилие в контрольных обловах разница достигает величин до 25%, что может объясняться влиянием селективности используемых орудий лова на итоговый результат. Метод Паули также дает достаточно близкий к двум предыдущим методам результат, разница в значениях с аналогичными результатами, полученными по гидроакустическим данным, не превышает 6%. Сопоставление полученных результатов по оценке смертности методом Ф.И. Баранова по данным гидроакустики и величины вылова ряпушки рыбопромысловыми организациями позволяет говорить о наличии сильной зависимости между этими параметрами (коэффициент ранговой корреляции Спирмена равен

единице): в 2018 году в период отсутствия промысла коэффициент общей смертности соответствовал минимальной за данный период наблюдений величине, в 2020 году, в период максимально достигнутого за последние четыре года вылова, коэффициент общей смертности также имел максимальную величину, в остальные два года, значение смертности по рангу занимало то же положение, что и величина вылова (Рисунок 70).

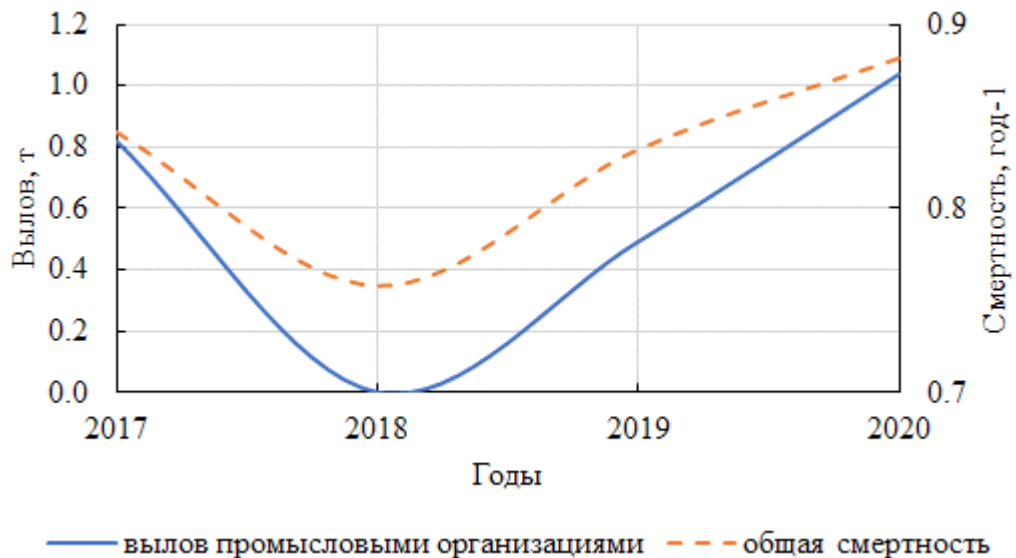


Рисунок 70 – Динамика вылова ряпушки промысловыми организациями и ее общей смертности за последние четыре года

Принимая во внимание полученные результаты, за величину естественной смертности была принята средняя величина на основе значений общей смертности, полученных методом Ф.И. Баранова и методом аппроксимации, в период отсутствия промысла ($M=Z=0.758$, 2018 год).

«Предельное снижение запаса определено, исходя из общих теоретических представлений о допустимых объемах изъятия для популяций рыб с коротким жизненным циклом» [75, с. 152]. В соответствии с концепцией предосторожного подхода был выбран показатель минимальной биомассы запаса, при котором «пополнение составляет половину максимального, теоретически возможного значения, характерного для девственной популяции» [92, с. 455].

Исходные данные, необходимые для исследования динамики эксплуатируемой популяции ряпушки под воздействием промысла с помощью модели Рикера,

приведены в таблице 10. Расчеты выполнены для популяции в целом, без разделения по самкам и самцам.

В соответствии с моделью Рикера «изменение ряда статических параметров популяции можно описать следующими несложными уравнениями: изменение численности (формулы (20)–(21)), индивидуальной массы особей (формулы (22)–(23)) и биомассы возрастной группы (формулы (24)–(25))» [75, с. 163]:

$$\frac{dN}{dt} = -Z_t N, \quad (20)$$

$$N_{t+1} = N_t e^{-Z_t}, \quad (21)$$

$$\frac{dW}{dt} = GW, \quad (22)$$

$$W_{t+1} = W_t e^{G_t}, \quad (23)$$

$$\frac{dB_W}{dt} = (G - Z) B_W, \quad (24)$$

$$B W_{t+1} = B W_t e^{G_t - Z_t}, \quad (25)$$

Таблица 10 – Входные параметры для модели Рикера

Параметр	Значение
Параметры уравнения Берталанфи:	
Предельная масса W_{\max} , г	54.2
Константа роста K	0.389
Начальный возраст t_0 , лет	-0.007
Остальные параметры	
Возраст пополнения t_r , лет	1
Возраст наступления половозрелости (созревания) t_s , лет	2
Возраст вступления в эксплуатацию t_c , лет	1–6
Максимальный возраст t_{\max} , лет	6
Численность пополнения R , шт	1
Естественная смертность M , 1/год	0.758
Предельное снижение запаса, %	50

С целью оценки действительной интенсивности воздействия промысла селективными орудиями лова на популяцию ряпушки, были определены коэффициенты селективности ставных пелагических сетей с различным шагом ячеи (9, 12, 14, 16,

18 и 20 мм). Коэффициент селективности в данном случае представляет собой отношение количества пойманных рыб возраста t к максимальному количеству пойманных рыб, имеющих некоторый оптимальный возраст t_0 . Полученные в результате проведенного анализа кривые селективности (в пересчете значений длины ряпушки озера Виштынецкого на соответствующий им возраст), описывающие зависимость коэффициента селективности ряпушки озера Виштынецкого от ее возраста, приведены на рисунке 71. Коэффициенты селективности использовались в дальнейших расчетах основных параметров эксплуатируемой популяции ряпушки озера Виштынецкого. При расчете параметров эксплуатируемой популяции для не-селективных орудий лова предполагается, что оно с одинаковой интенсивностью воздействует на все возрастные группы старше возраста первой поимки t_c .

Модель Рикера предполагает, что «значение какого-либо исследуемого параметра равно сумме дискретных значений каждой возрастной группы» [92, с. 345]. На основании указанной модели были определены закономерности динамики основных параметров популяции ряпушки озера Виштынецкого. При этом расчет проводился отдельно для селективных (сети с шагом ячеи 12, 14, 16 и 18 мм) и не-селективных орудий лова.

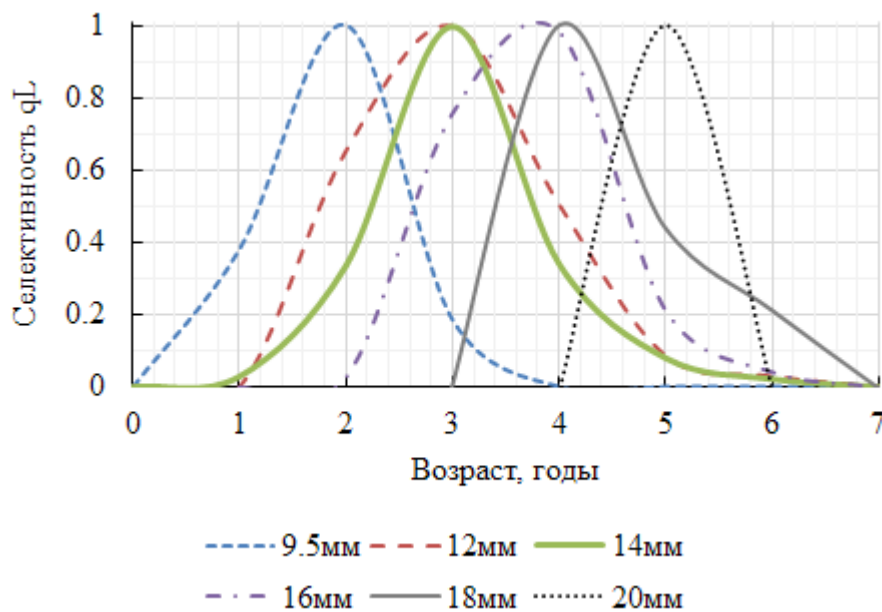


Рисунок 71 – Зависимость коэффициента селективности ряпушки озера Виштынецкого от ее возраста

В качестве основного рассмотрим годовой улов в весовом выражении (Y_W), как один из наиболее значимых с рыбохозяйственной точки зрения параметров, определяемый следующими уравнениями:

а) для возрастной группы t (формула (26)):

$$Y_{W_t} = N_t W_t \frac{F_t}{G_t - Z_t} (e^{(G_t - Z_t)} - 1), \quad (26)$$

б) для всей популяции (формула (27)):

$$Y_W = \sum_{t=t_c}^{t=t_\lambda} Y_{W_t}, \quad (27)$$

С целью анализа совместного влияния интенсивности и селективности промысла ряпушки озера Виштынецкого неселективными орудиями лова на величину улова Y_W были построены изоплетная и точечная (с гладкими кривыми) диаграммы (Рисунки 72–73). При этом можно отметить следующие закономерности: при невысокой интенсивности промысла ($F < 0.5$) наибольшие уловы приходятся на возраст вступления в эксплуатацию (t_c) 1 год и с возрастанием интенсивности промысла уловы падают; при промысловой смертности $F \geq 0.5$ наибольшие уловы приходятся на возраст вступления в эксплуатацию 2 года, а повышение уловов наблюдается при интенсификации промысла. В целом кривая зависимости улова ряпушки в весовом выражении от промысловой смертности за исключением возраста $t_c = 1$, где форма кривой имеет куполообразную форму, представляет собой асимптотическую кривую, величина улова стремится к некоторому предельному значению Y_W при неограниченном возрастании промысловой смертности F . Таким образом, в этом случае естественная убыль всегда превышает скорость прироста ихтиомассы, что является характерным для мелких, короткоцикловых или моноциклических видов, к которым относится ряпушка озера Виштынецкого.

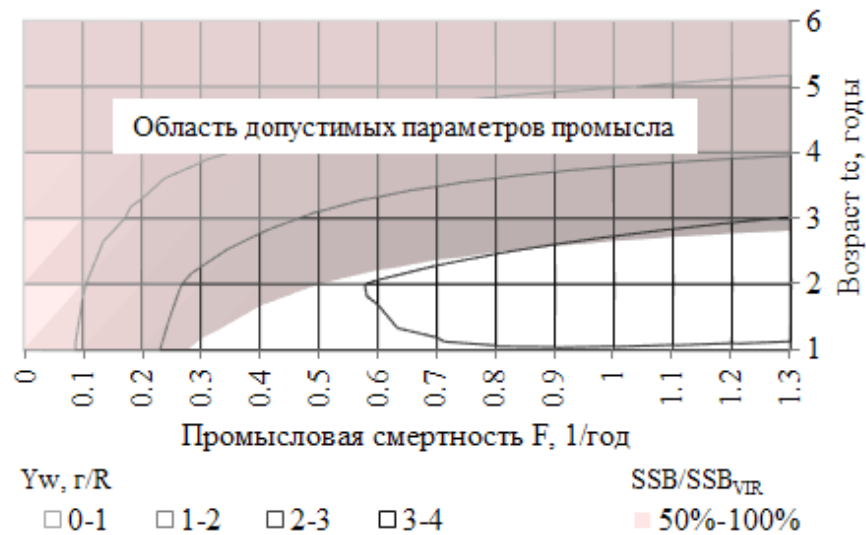


Рисунок 72 - Изоплетная диаграмма уловов в весовом выражении (Y_w/R) на единицу пополнения ряпушки озера Виштынецкого для неселективных орудий лова

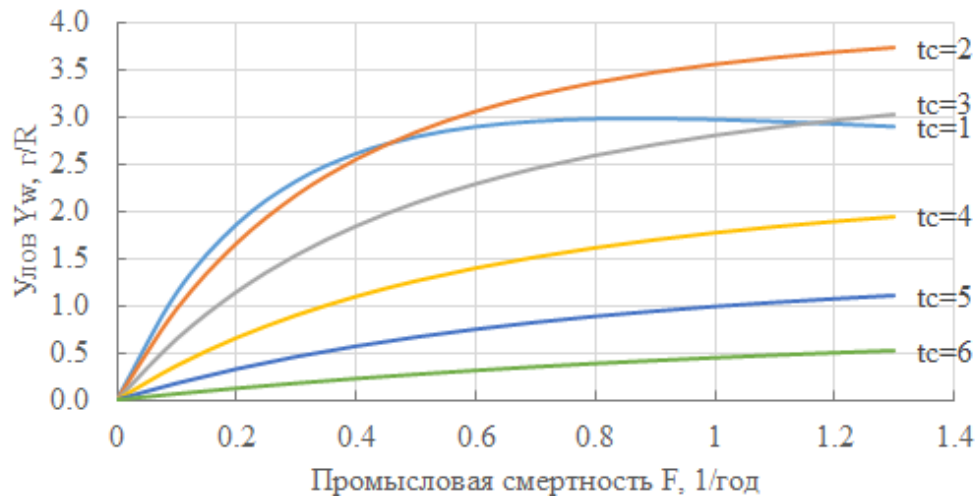


Рисунок 73 - Динамика уловов в весовом выражении (Y_w/R) на единицу пополнения ряпушки озера Виштынецкого при разных значениях промысловой смертности для неселективных орудий лова

С учетом концепции предосторожного подхода, при котором в качестве граничного ориентира был выбран показатель минимальной биомассы запаса, необходимый для нормального воспроизводства, равный 50% биомассы девственной популяции, поиск оптимальных параметров промысла ряпушки озера Виштынецкого неселективными орудиями лова должен осуществляться в области допустимых параметров промысла (на изоплетной диаграмме выделена закрашенной областью) (Рисунок 72). При этом в качестве оптимальных можно выделить следующие параметры промысла: интенсивность промысла $F=0.5 \text{ год}^{-1}$ при возрасте вступления в эксплуатацию $t_c=2$ года. При этом величина улова составит 2.8 г на единицу

пополнения, а минимальная численность запаса составит ровно половину от численности девственной популяции (Рисунок 72). В этом случае возраст вступления в эксплуатацию может быть регламентирован путем использования соответствующей ячеи в кутке тралового орудия лова, которая позволит избежать попадания ряпушки в возрасте 1 года. Несколько большую величину улова (3.3 г на единицу пополнения) можно получить при достаточно высокой интенсивности промысла $F=1.9 \text{ год}^{-1}$ и возрасте вступления в эксплуатацию $t_c=3$ года, однако учитывая небольшую разницу в приросте величины улова (+18%), для достижения которой требуется значительная интенсификация промысла (+280%), сопряженная с экономическими, временными и трудовыми затратами, наиболее целесообразным и оптимальным видится в качестве оптимальных параметров промысла для неселективных орудий лова первая пара значений интенсивности и селективности промысла: $F=0.5 \text{ год}^{-1}$ и $t_c=2$ года.

Построение модели Рикера для селективных орудий лова позволяет выявить следующие закономерности: увеличение улова наблюдается при интенсификации промысла и уменьшении шага ячеи до 12 мм (Рисунки 74–75). Кривая зависимости улова ряпушки в весовом выражении от промысловой смертности, также как и в случае применения неселективных орудий лова, представляет собой асимптотическую кривую, величина улова стремится к некоторому предельному значению Y_W при неограниченном возрастании промысловой смертности F .

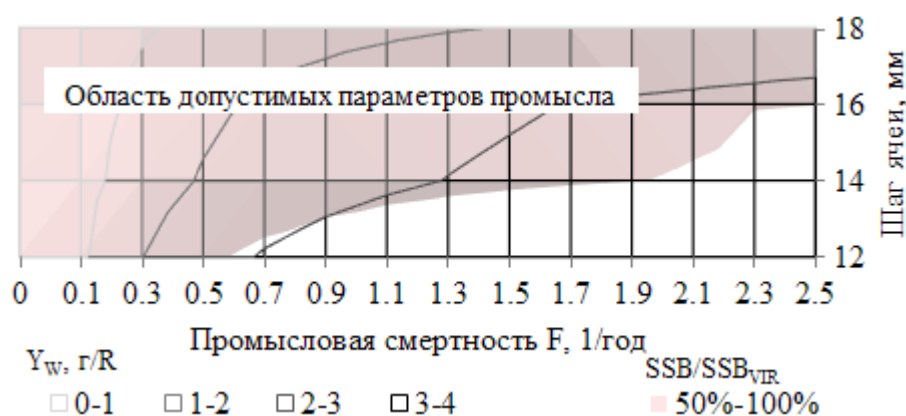


Рисунок 74 - Изоплетная диаграмма уловов в весовом выражении (Y_W/R) на единицу пополнения ряпушки озера Виштынецкого для селективных орудий лова

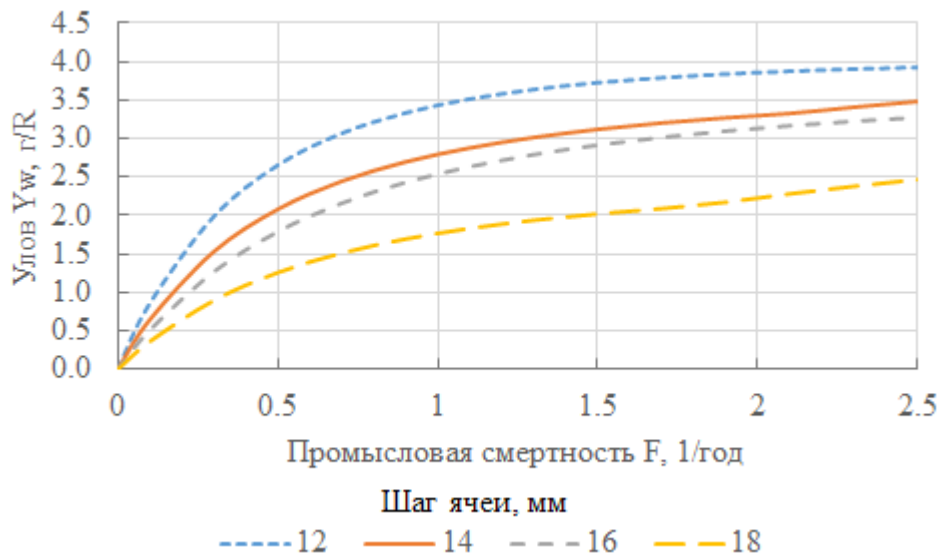


Рисунок 75 - Динамика уловов в весовом выражении (Y_w/R) на единицу пополнения ряпушки озера Виштынецкого при разных значениях промысловой смертности для селективных орудий лова

С учетом концепции предосторожного подхода и выбранного граничного ориентира можно выделить следующие оптимальные параметры промысла ряпушки озера Виштынецкого селективными орудиями лова, находящиеся в области допустимых параметров (на изоплетной диаграмме выделена закрашенной областью) (Рисунок 74): при использовании сетей с шагом ячеи 12 мм оптимальной будет интенсивность промысла $F=0.5$, величина улова при этом составит 2.7 г на единицу пополнения; использование ставных сетей с шагом ячеи 14 мм для достижения ими максимального улова ($Y_w=3.0$ г/Р) потребует интенсификации промысла до $F=1.3$. Использование сетей с большим шагом ячеи для достижения максимального улова с учетом выбранного граничного ориентира потребует еще большей интенсификации промысла $F>2.5$, что в реальных условиях труднодостижимо.

Еще одним параметром, позволяющим составить представление о характере его изменений под воздействием промысла, является годовой улов в поштучном выражении, который в соответствии с моделью Рикера определяется следующими уравнениями:

а) для возрастной группы t (формула (28)):

$$Y_{N_t} = N_t \frac{F_t}{F_t + M_t} (1 - e^{-(F_t + M_t)}), \quad (28)$$

б) для всей популяции (формула (29)):

$$Y_N = \sum_{t=t_c}^{t=t_\lambda} Y_{N_t} \quad (29)$$

Зависимости улова ряпушки озера Виштынецкого в поштучном выражении от интенсивности промысла и возраста вступления в эксплуатацию для неселективных орудий лова приведены на рисунках 76-77. Динамика изменения данного параметра в целом соответствует таковой для улова в весовом выражении: увеличение уловов наблюдается при интенсификации промысла, а кривая улова в поштучном выражении также представляет собой асимптотическую кривую. Однако, если максимальные уловы в весовом выражении приходятся на возраст вступления в эксплуатацию, равный двум годам (при величине промысловой смертности $F > 0.5$), то максимальные уловы в поштучном выражении приходятся на возраст $t_c = 1$ год и с увеличением возраста первой поимки его величина снижается, при этом различия в уловах Y_N для $t_c = 1$ и $t_c = 2$ при высокой интенсивности промысла ($F > 0.1$) достигают двукратных величин.

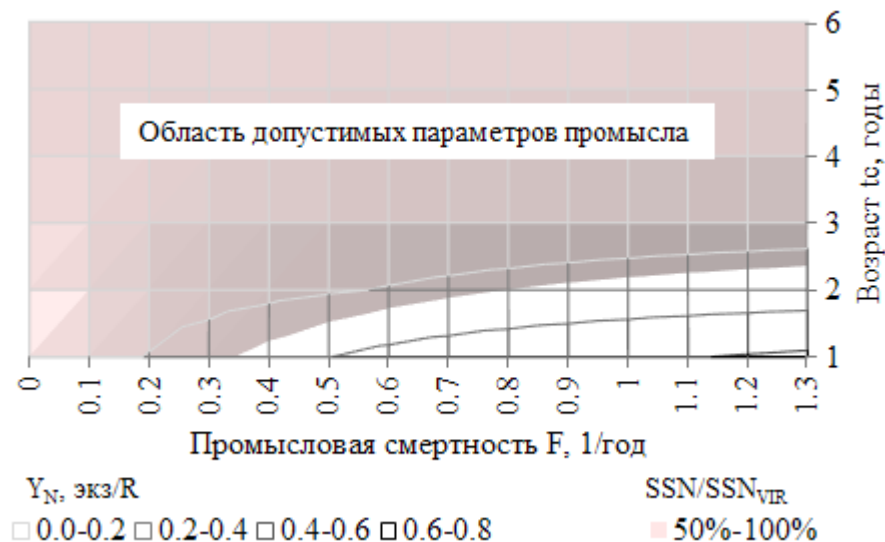


Рисунок 76 - Изоплетная диаграмма уловов в поштучном выражении (Y_N/R) на единицу пополнения ряпушки озера Виштынецкого для неселективных орудий лова

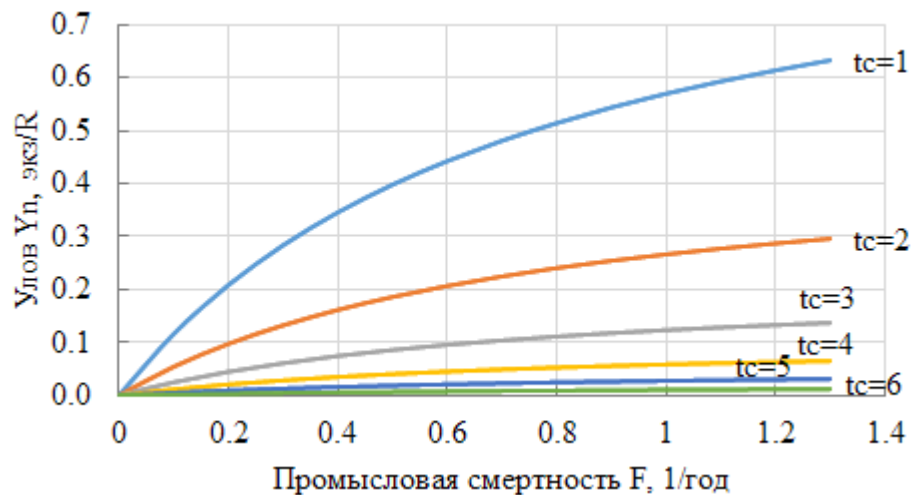


Рисунок 77 - Динамика уловов в поштучном выражении (Y_N/R) на единицу пополнения ряпушки озера Виштынецкого при разных значениях промысловой смертности для неселективных орудий лова

С учетом концепции предосторожного подхода и принятых граничных ориентиров оптимальными согласно модели Рикера будут являться следующие пары значений, находящиеся в области допустимых параметров промысла (на изоплетной диаграмме выделена закрашенной областью) (Рисунок 76): интенсивность промысла $F=0.3$ при возрасте вступления в эксплуатацию $t_c=1$ год (величина $Y_N=0.3$ экз./R), либо $F=0.7$ при $t_c=2$ года ($Y_N=0.2$ экз./R).

Динамика уловов в поштучном выражении ряпушки озера Виштынецкого для селективных орудий лова соответствует отмеченной закономерности для улова в весовом выражении: величина улова Y_N возрастает с увеличением интенсивности промысла и уменьшением шага ячеи до 12 мм (Рисунки 78-79).

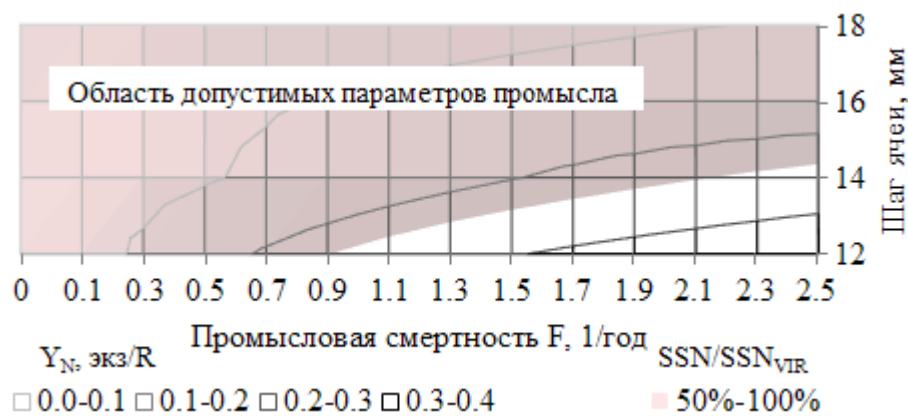


Рисунок 78 - Изоплетная диаграмма уловов в поштучном выражении (Y_N/R) на единицу пополнения ряпушки озера Виштынецкого для селективных орудий лова

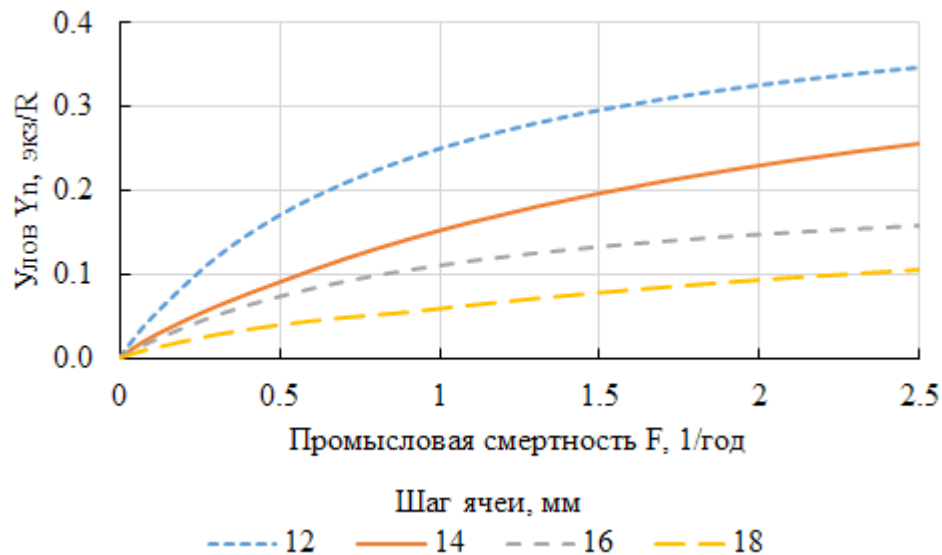


Рисунок 79 - Динамика уловов в поштучном выражении (Y_N/R) на единицу пополнения ряпушки озера Виштынецкого при разных значениях промысловой смертности для селективных орудий лова

В области допустимых параметров промысла можно выделить следующие оптимальные его параметры: максимальные уловы достигаются при использовании сетей с шагом ячеи 12 мм и интенсивности промысла $F=0.9$, при этом величина вылова Y_N составит 0.2 экз./R; примерно такая же величина улова приходится на сети с шагом ячеи 14 мм и интенсивности промысла $F=2.1$. С учетом реально достижимой величины интенсивности промысла оптимальной можно считать первую пару параметров.

Схожий характер динамики под воздействием промысла селективными и не-селективными орудиями лова в той или иной степени отмечается для среднегодовой численности B_N (Рисунки 80-83) и среднегодовой биомассы популяции B_W (Рисунки 84-87).

При этом численность будет включать в себя младшевозрастную неэксплуатируемую часть популяции ряпушки в интервале возрастов t_r-t_c и эксплуатируемую ее часть, включающую возраста t_c-t_λ :

а) для возрастов $t_r \leq t < t_c$ (формула (30)):

$$B_{N_t} = N_t \frac{(1-e^{-(M_t)})}{M_t}, \quad (30)$$

б) для возрастов $t_c \leq t < t_\lambda$ (формула (31)):

$$B_{N_t} = N_t \frac{(1 - e^{-(F_t + M_t)})}{F_t + M_t}, \quad (31)$$

б) для всей популяции (формула (32)):

$$B_N = \sum_{t=t_r}^{t=t_c} B_{N_t} + \sum_{t=t_c}^{t=t_\lambda} B_{N_t}, \quad (32)$$

Среднегодовая биомасса популяции данного вида будет определяться аналогичным образом (формулы (33)-(35)):

а) для возрастов $t_r \leq t < t_c$ (формула (33)):

$$B_{W_t} = N_t W_t \frac{(e^{(G_t - M_t)} - 1)}{G_t - M_t}, \quad (33)$$

б) для возрастов $t_c \leq t < t_\lambda$ (формула (34)):

$$B_{W_t} = N_t W_t \frac{(e^{(G_t - Z_t)} - 1)}{G_t - Z_t}, \quad (34)$$

б) для всей популяции (формула (35)):

$$B_W = \sum_{t=t_r}^{t=t_c} B_{W_t} + \sum_{t=t_c}^{t=t_\lambda} B_{W_t}, \quad (35)$$

Зависимость среднегодовой численности B_N популяции ряпушки озера Виштынецкого от возраста вступления в эксплуатацию и интенсивности промысла для неселективных орудий лова представлена на рисунках 80-81, для селективных – на рисунках 82-83. Численность B_N снижается при увеличении интенсивности промысла. Уменьшение возраста вступления в эксплуатацию t_c (шага ячеи для селективных орудий лова) также приводит к снижению среднегодовой численности популяции ряпушки озера Виштынецкого согласно модели Рикера.

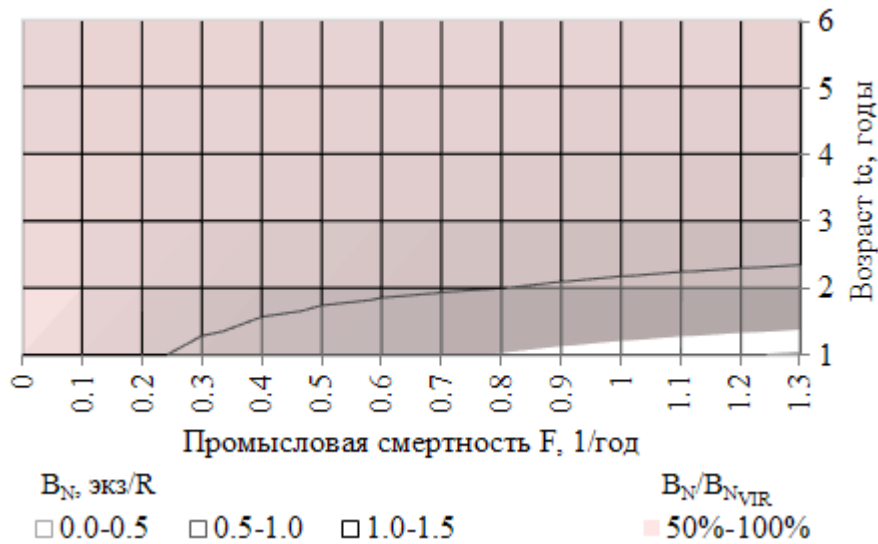


Рисунок 80 - Изоплетная диаграмма среднегодовой численности (B_N/R) на единицу пополнения ряпушки озера Виштынецкого для неселективных орудий лова

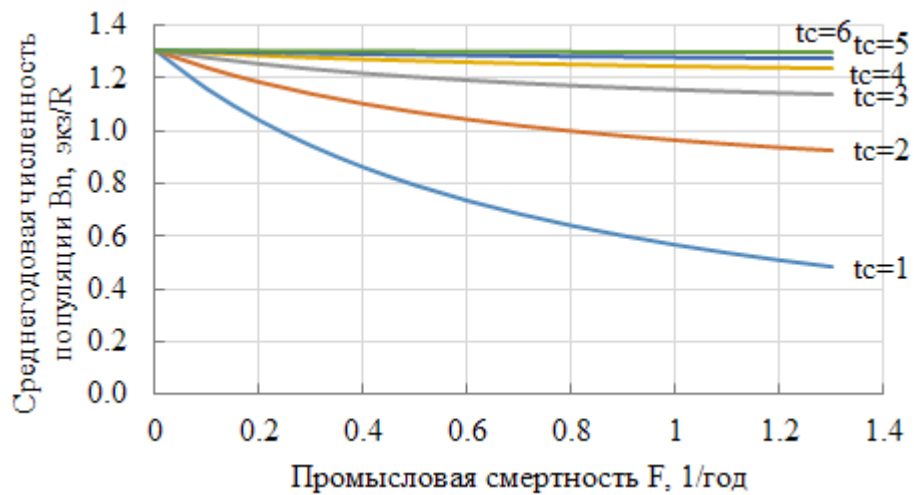


Рисунок 81 - Динамика среднегодовой численности (B_N/R) ряпушки озера Виштынецкого при разных значениях промысловой смертности для неселективных орудий лова



Рисунок 82 – Изоплетная диаграмма среднегодовой численности (B_N/R) ряпушки озера Виштынецкого для селективных орудий лова

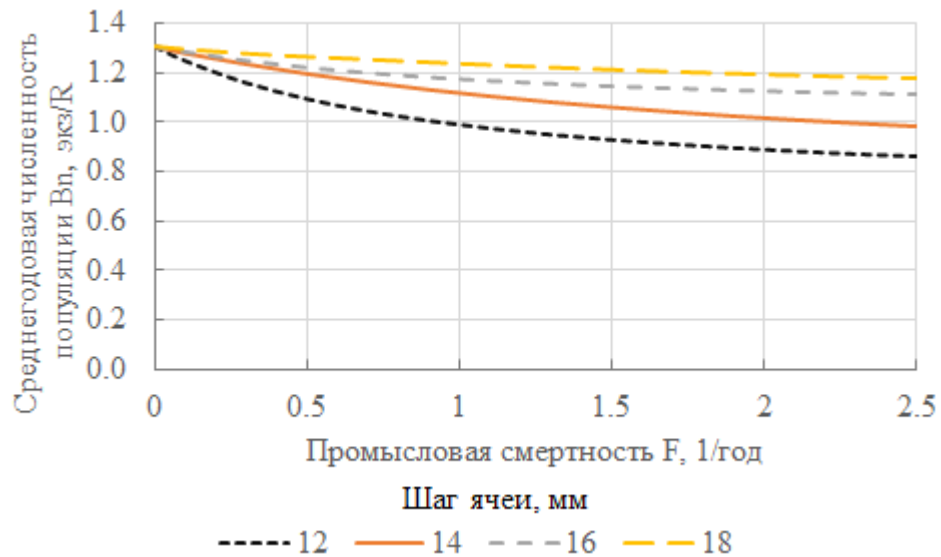


Рисунок 83 - Динамика среднегодовой численности (B_N/R) ряпушки озера Виштынецкого при разных значениях промысловой смертности для селективных орудий лова (сети с шагом ячеей 12, 14, 16 и 18 мм)

Зависимость среднегодовой биомассы B_W популяции ряпушки озера Виштынецкого от возраста вступления в эксплуатацию и интенсивности промысла для неселективных орудий лова представлена на рисунках 84-85, для селективных – на рисунках 86-87. Биомасса B_N снижается при увеличении интенсивности промысла. Уменьшение возраста вступления в эксплуатацию t_c (шага ячеей для селективных орудий лова) также приводит к снижению среднегодовой биомассы популяции ряпушки озера Виштынецкого согласно модели Рикера.

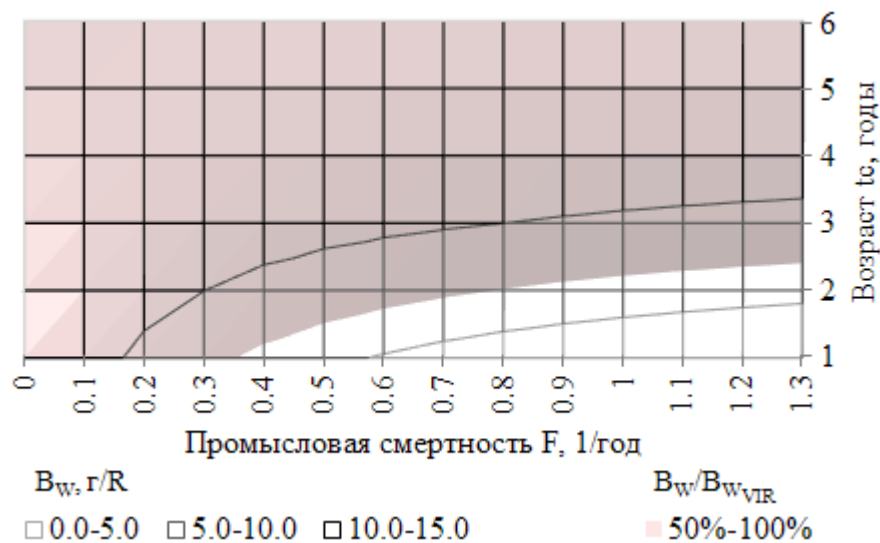


Рисунок 84 - Изоплетная диаграмма среднегодовой биомассы (B_W/R) на единицу пополнения ряпушки озера Виштынецкого для неселективных орудий лова

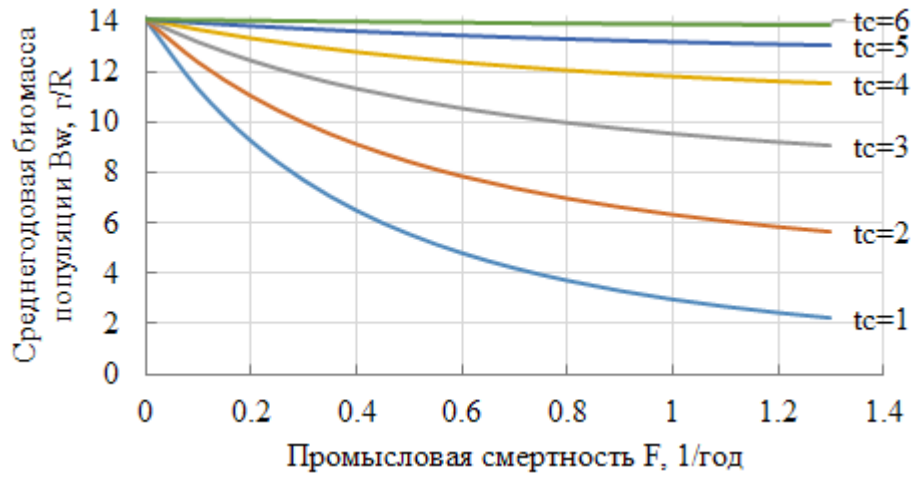


Рисунок 85 - Динамика среднегодовой биомассы (B_w/R) ряпушки озера Виштынецкого при разных значениях промысловой смертности для неселективных орудий лова

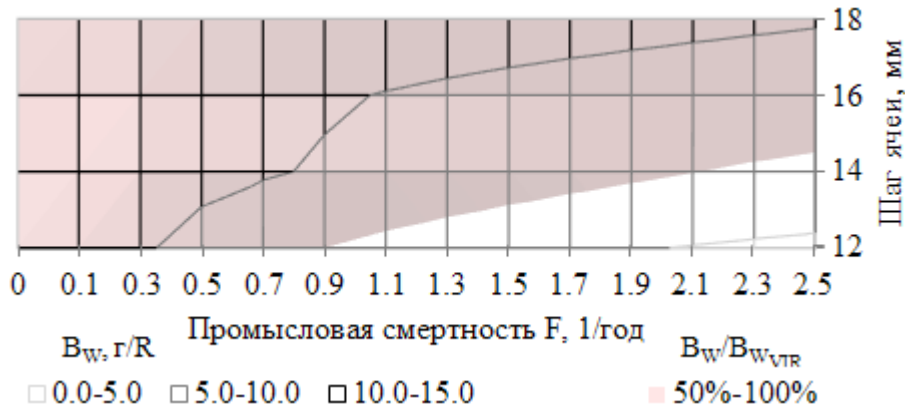


Рисунок 86 – Изоплетная диаграмма среднегодовой биомассы (B_w/R) ряпушки озера Виштынецкого для селективных орудий лова

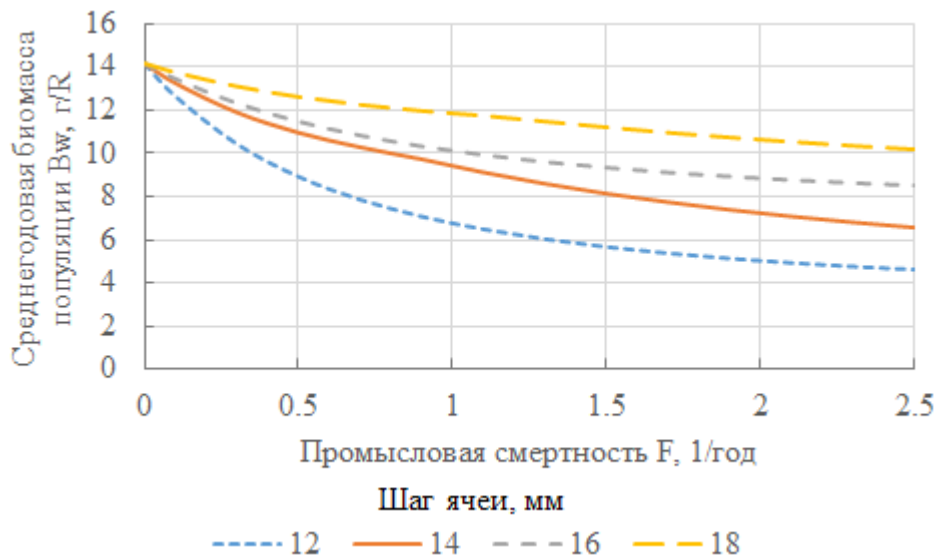


Рисунок 87 - Динамика среднегодовой биомассы (B_w/R) ряпушки озера Виштынецкого при разных значениях промысловой смертности для селективных орудий лова

Средняя масса особи в улове (W_Y) – параметр, играющий важную роль с рыбохозяйственной точки зрения, – вычисляется по следующей формуле (36):

$$W_Y = \frac{Y_W}{Y_N}, \quad (36)$$

Результаты анализа средней навески особи в улове для популяции ряпушки озера Виштынецкого согласно модели Рикера позволяют выявить следующие закономерности: с увеличением возраста вступления в эксплуатацию (шага ячеи для селективных орудий лова) увеличивается средняя масса особи в улове. Увеличение интенсивности промысла как при использовании селективных, так и неселективных орудий лова также приводит к уменьшению величины данного параметра, однако для селективных орудий лова прирост средней навески в улове менее выражен по сравнению с неселективными орудиями лова (Рисунки 88-89). Характер изменений рассмотренных выше параметров и оценка с использованием модели Рикера влияния на них двух основных параметров промысла – селективности и промысловой смертности – позволили для популяции ряпушки озера Виштынецкого для селективного и неселективного видов промысла выявить ряд закономерностей.

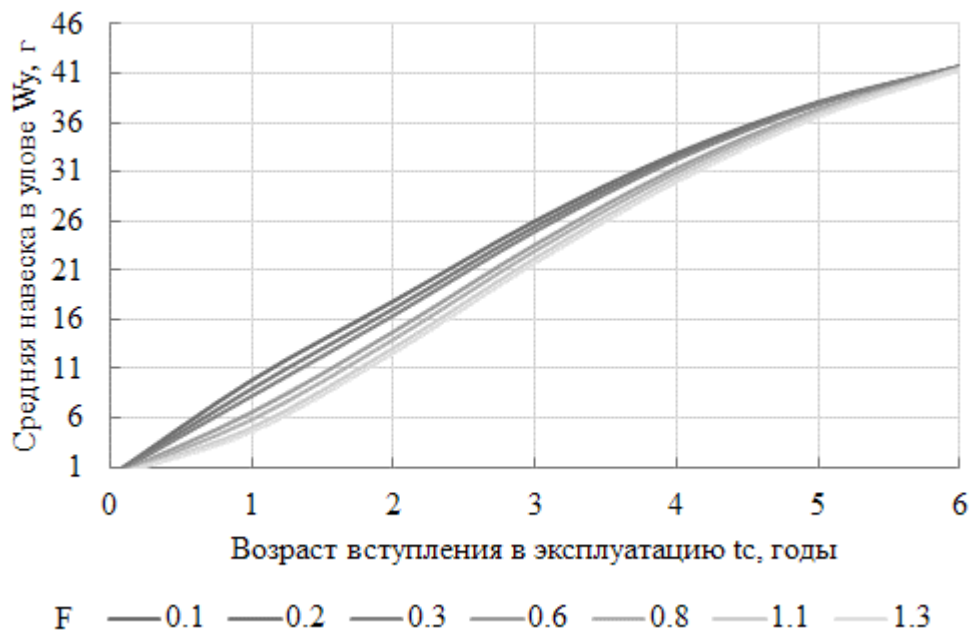


Рисунок 88 - Динамика средней навески в улове (W_Y) ряпушки озера Виштынецкого в зависимости от возраста вступления в эксплуатацию (t_c) при разных значениях промысловой смертности (F) для неселективных орудий лова

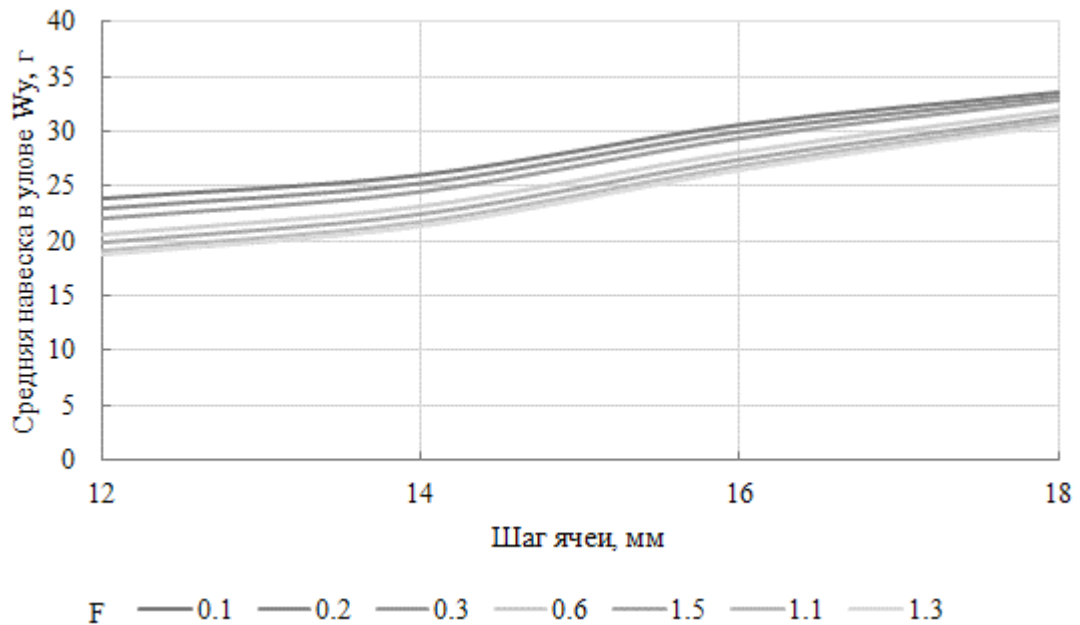


Рисунок 89 - Динамика средней навески в улове (W_Y) ряпушки озера Виштынецкого в зависимости от шага ячеи при разных значениях промысловой смертности (F)

Так, при возможном ведении тралового лова ряпушки озера Виштынецкого, принимая во внимание динамику изменения величины улова в штучном и весовом выражениях, а также средней навески особи в улове (как наиболее важных с потребительской точки зрения) от промысловой смертности и возраста первой поимки в качестве оптимальных параметров промысла, позволяющих сохранить минимальную биомассу запаса на уровне не менее 50% от биомассы девственной популяции, можно выделить следующие: установление возраста первой поимки, равного двум годам, который хоть и дает несколько меньшие величины улова в штучном ($\Delta Y_N = 0.1-0.2$ экз./R) и весовом ($\Delta Y_W = 0.2$ г/R) выражениях по сравнению с $tc=1$ год при малой интенсивности промысла ($0.1 \leq F \leq 0.3$), но при этом обеспечивает почти двухкратную разницу в средней навеске в улове, а при увеличении интенсивности промысла оптимальные параметры соответствуют возрасту $tc=2$ года (Рисунок 90).

Применение идентичных критериев выбора оптимальных параметров промысла к селективному промыслу ряпушки озера Виштынецкого позволяет выделить следующие оптимальные параметры, находящиеся в области допустимых параметров промысла с учетом выбранных граничных его ориентиров: использование сетей с шагом ячеи 12 мм позволяет достичь наибольших величин улова как в

штучном, так и в весовом выражении по сравнению с сетями с большим шагом ячеи при любой интенсивности промысла (Рисунок 91). Принимая во внимание тот факт, что сети с шагом ячеи 12 мм облавливают в большей степени возрастные группы ряпушки двух и трех лет (Рисунок 71), полученные результаты анализа в целом сопоставимы с таковыми для неселективного лова по модели Риккера для возраста t_c , равного двум годам.

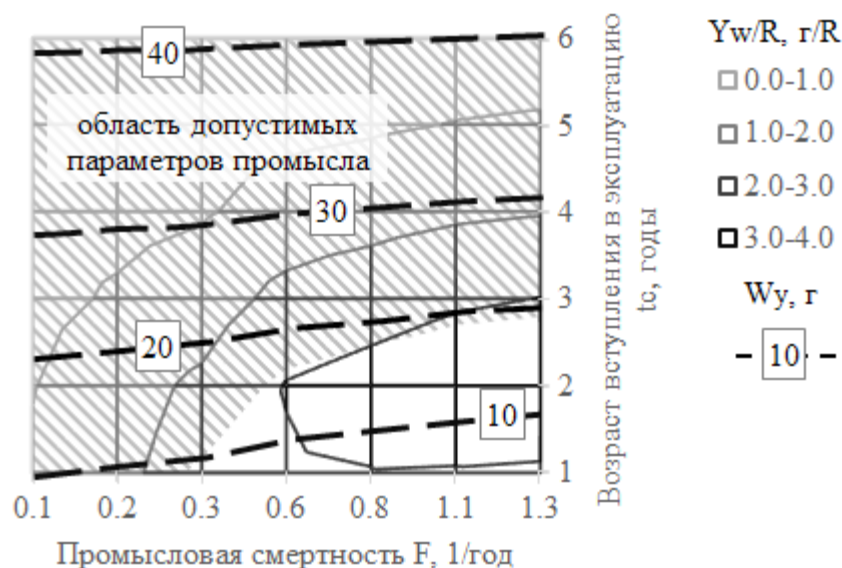


Рисунок 90 – Динамика уловов в весовом (Y_w) и штучном (Y_n) выражении, средней навески в улове (W_y) ряпушки озера Виштынецкого в зависимости от возраста вступления в эксплуатацию t_c при разных значениях промысловой смертности (F) с учетом граничных ориентиров промысла для неселективных орудий лова

Следует отметить, что применение сетей с шагом ячеи 14 мм, минимально разрешенным действующими правилами рыболовства [72] при лове ряпушки в озере Виштынецком, дает меньшую по сравнению с сетями с шагом ячеи 12 мм величину вылова в весовом ($\Delta Y_w = 0.2-0.6$ г/R) и штучном ($\Delta Y_n = 0.1$ экз./R) выражении при не-много большей средней навеске особи в улове ($\Delta W_y = 2.1-2.4$ г) ($F \leq 0.5$). Дальнейшее увеличение шага ячеи в сетях приводит к еще большему снижению показателей среднегодового улова на единицу пополнения как в штучном, так и в весовом выражении.

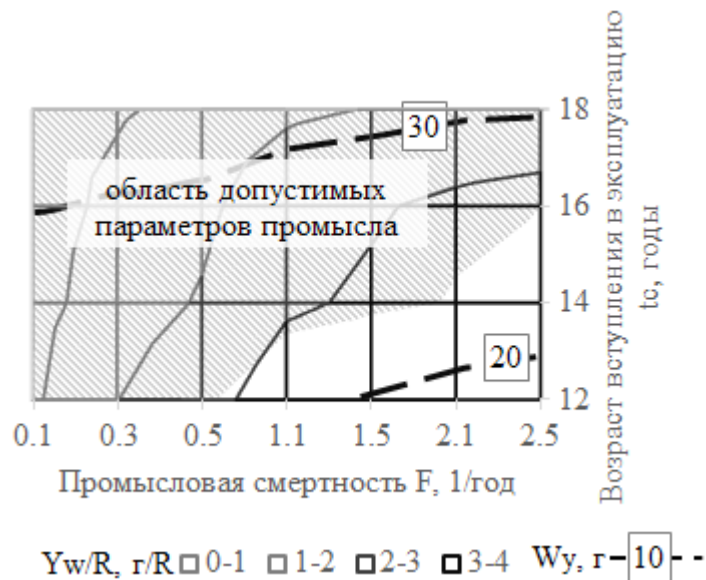


Рисунок 91 – Динамика уловов в весовом (Y_w) и штучном (Y_N) выражении, средней навески в улове (W_y) ряпушки озера Виштынецкого в зависимости от шага ячеи при разных значениях промысловой смертности (F) с учетом граничных ориентиров промысла для селективных орудий лова

5.4 Экономические ориентиры управления промысловым использованием популяции ряпушки озера Виштынецкого

Полученные результаты оценки оптимальных параметров промысла с использованием модели Рикера свидетельствуют о том, что с точки зрения биологических показателей одна и та же величина улова (являющегося оптимальным) может быть получена для разных пар значений селективности и интенсивности промысла. Однако достижение на практике множества оптимальных с точки зрения аналитической модели значений данных параметров сопряжено с различными финансовыми затратами. Принимая во внимание тот факт, что «всякий промысел заинтересован в получении наибольшего эффекта от эксплуатации продукционных свойств популяции рыбы» [92, с. 442], определение критериев оптимального промыслового использования того или иного вида рыбы должно заключаться в поиске такой величины улова, изъятие которого из популяции не только не приводит к нарушению ее воспроизводительной способности, но и обеспечивает максимальную рентабельность промысла и продукцию необходимого товарного качества [92]. В связи с этим, помимо биологической составляющей, важную роль в оценке оптимального улова играет экономическая составляющая.

Поиск оптимальной интенсивности промысла, обеспечивающей достижение максимального экономического улова F_{MEY} , зависит от множества связанных с финансовыми затратами на промысел факторов (способ расчета, стоимость промыслового усилия и т.п.), в связи с чем одновременный учет этих параметров является весьма затруднительным. В целях унификации «при определении величины F_{MEY} возможно применение критерия $F_{0.1}$, значение которого приблизительно соответствует F_{MEY} » [92, с. 449], который определяет такое значение коэффициента промысловой смертности, при котором скорость приращения улова составляет 10% от скорости, имевшей место в начале развития промысла при очень малой его интенсивности [92].

В качестве исходных данных для расчета критерия $F_{0.1}$ были взяты данные среднегодовых уловов в весовом выражении на единицу пополнения, полученные с использованием модифицированной модели Рикера для селективного и неселективного видов промысла ряпушки озера Виштынецкого. Результаты для селективного и неселективного промысла ряпушки озера Виштынецкого с учетом применения селективного и неселективного ее промысла приведены в таблицах 11–12.

Таблица 11 – Расчет оптимальных параметров промысла с помощью критерия $F_{0.1}$ для неселективного лова ряпушки озера Виштынецкого

F	Yw	tc	dYw	dYw%	SSB
0	0.0	-	-	-	100%
0.1	1.1	1	1	100%	76.8%
0.2	1.9	1	0.389	39%	59.9%
0.3	2.3	1	0.198	20%	47.2%
0.4	2.6	1	0.111	11%	37.6%
0.5	2.8	2	0.079	8%	50.0%
0.6	3.0	2	0.072	7%	44.9%
0.7	3.2	2	0.053	5%	40.6%
0.8	3.4	2	0.040	4%	37.1%
0.9	3.5	2	0.031	3%	34.0%
1	3.5	2	0.024	2%	31.4%
1.1	3.6	2	0.019	2%	29.1%
1.2	3.7	2	0.016	2%	27.1%
1.3	3.7	2	0.013	1%	25.3%

Таблица 12 – Расчет оптимальных параметров промысла с помощью критерия $F_{0.1}$ для селективного лова ряпушки озера Виштынецкого сетями с шагом ячеи 12, 14, 16 и 18 мм

F	Y _w	t _c	dY _w	dY _w %	SSB	Y _w	t _c	dY _w	dY _w %	SSB
	шаг ячеи 12 мм					шаг ячеи 14 мм				
0	0.0	-	-	-	100%	0.0	-	-	-	100%
0.1	0.9	2	1	100%	86.7%	0.6	3	1	100%	92.0%
0.2	1.5	2	0.429	43%	75.9%	1.1	3	0.435	44%	85.5%
0.3	2.0	2	0.246	25%	67.1%	1.5	3	0.254	25%	80.1%
0.4	2.4	2	0.159	16%	59.9%	1.8	3	0.167	17%	75.7%
0.5	2.7	2	0.110	11%	53.8%	2.1	3	0.118	12%	71.9%
0.6	2.9	2	0.080	8%	48.8%	2.3	3	0.088	9%	68.7%
0.7	3.1	2	0.060	6%	44.5%	2.4	3	0.067	7%	66.0%
0.8	3.2	2	0.046	5%	40.8%	2.6	3	0.053	5%	63.6%
0.9	3.3	2	0.036	4%	37.6%	2.7	3	0.043	4%	61.6%
1	3.4	2	0.029	3%	34.8%	2.8	3	0.035	3%	59.8%
1.1	3.5	2	0.023	2%	32.4%	2.9	3	0.029	3%	58.3%
1.2	3.6	2	0.019	2%	30.3%	3.0	3	0.025	2%	56.9%
1.3	3.6	2	0.016	2%	28.4%	3.0	3	0.021	2%	55.6%
	шаг ячеи 16 мм					шаг ячеи 18 мм				
0	0.0	-	-	-	100%	0.0	-	-	-	100%
0.1	0.5	3	1	100%	93.7%	0.4	4	1	100%	96.4%
0.2	0.9	3	0.450	45%	88.4%	0.7	4	0.448	45%	93.4%
0.3	1.3	3	0.270	27%	83.8%	0.9	4	0.268	27%	90.8%
0.4	1.6	3	0.183	18%	79.8%	1.1	4	0.181	18%	88.5%
0.5	1.8	3	0.133	13%	76.3%	1.3	4	0.130	13%	86.6%
0.6	2.0	3	0.101	10%	73.3%	1.4	4	0.098	10%	84.9%
0.7	2.2	3	0.079	8%	70.6%	1.5	4	0.077	8%	83.4%
0.8	2.3	3	0.063	6%	68.3%	1.6	4	0.061	6%	82.1%
0.9	2.4	3	0.052	5%	66.2%	1.7	4	0.050	5%	80.9%
1	2.5	3	0.043	4%	64.3%	1.8	4	0.041	4%	79.9%
1.1	2.6	3	0.036	4%	62.7%	1.8	4	0.035	3%	79.0%
1.2	2.7	3	0.031	3%	61.2%	1.9	4	0.030	3%	78.2%
1.3	2.8	3	0.026	3%	59.8%	1.9	4	0.026	3%	77.5%

Принимая во внимание полученные результаты экономической оценки оптимальных параметров промысла ряпушки озера Виштынецкого на основании критерия $F_{0.1}$, сопоставляя их с результатами анализа биологических оптимальных параметров промысла данного вида на основании модели Рикера, можно сделать следующие выводы. При ведении тралового лова ряпушки на озере Виштынецком применение экономически обоснованных значений параметров интенсивности и се-

лективности промысла ($t_c=1$ и $F=0.4$) не позволяет обеспечить сохранение минимальной биомассы запаса, необходимого для нормального воспроизводства, на уровне не ниже 50% биомассы девственной популяции. Однако определенная по модели Рикера оптимальная с точки зрения биологических параметров пара значений $t_c=2$ и $F=0.5$ согласно критерию $F_{0.1}$ является следующей (в порядке убывания от величины приращения улова, равной 10%) по экономической целесообразности, что в целом позволяет говорить о том, что достижение указанных параметров на практике позволит в целом обеспечить получение близкого к экономически рентабельному промыслу ряпушки озера Виштынецкого и сохранить необходимую для нормального воспроизводства данного вида численность запаса.

При использовании для целевого лова ряпушки озера Виштынецкого ставных сетей с шагом ячеи 12 мм применение экономически обоснованных значений параметров интенсивности и селективности промысла ($t_c=2$ и $F=0.5$) позволяет обеспечить сохранение минимальной биомассы запаса, необходимого для нормального воспроизводства, на уровне не ниже 50% биомассы девственной популяции, и соответствует одной из пар оптимальных значений указанных параметров, найденных в соответствии с моделью Рикера.

Последующее увеличение шага ячеи в сетях позволяет достичь экономически обоснованного оптимального улова ряпушки при интенсивности промысла $F=0.6$ год⁻¹. Возраст первой поимки будет определяться применением соответствующего шага ячеи в сетях: для сетей с шагом ячеи 14–16 мм возраст вступления в эксплуатацию будет соответствовать 3м годам, для сетей с шагом ячеи 18 мм – 4 годам, - и при этом будет обеспечиваться биологическая стабильность запаса. Однако величина экономически оптимального улова будет снижаться с увеличением шага ячеи в сетях (Таблица 12).

Полученные результаты позволяют провести оценку оптимального комплекса орудий лова для ведения промысла ряпушки озера Виштынецкого, а также оценку возможно вылова данного вида.

5.5 Оценка оптимального комплекса орудий лова и возможного вылова ряпушки в озере Виштынецком

Помимо определения оптимальных параметров интенсивности и селективности промысла, позволяющих обеспечить получение максимальной величины улова, оценка перспектив рационального использования ряпушки озера Виштынецкого должна включать в себя меры по регулированию рыболовства и оптимизации промысла. Оптимизация промысла в данном случае может заключаться в выборе оптимальных горизонтов лова, районов и сроков промысла.

Результаты анализа суточных вертикальных миграций ряпушки озера Виштынецкого, представленные в настоящей работе, позволяют в качестве оптимального времени для ее лова рекомендовать ночной период, так как именно в этот интервал времени большая часть рыбы располагается в толще воды, образуя многочисленные скопления с достаточно высокой по сравнению с другим временем суток плотностью.

Принимая во внимание знания о сезонных вертикальных миграциях ряпушки озера Виштынецкого, описанные в настоящей работе, в качестве наиболее оптимальных сроков ее добычи может быть предложен летний период, когда на озере сформирован слой температурного скачка и наибольшие скопления ряпушки в этот период приходятся на диапазон глубин 25-35 м. Осенью и весной, в период весенней и осенней гомотермии, эффективность лова снижается, так как скопления ряпушки распределены по всей толще воды. Тем не менее в эти периоды в качестве более предпочтительных для ее лова можно выделить верхние горизонты с глубинами 15-25 м.

Комплексные исследования ряпушки озера Виштынецкого, включающие в себя проведение серий контрольных обловов и гидроакустических съемок, описанные в работе, позволили выявить также закономерности сезонного распределения данного вида по акватории водоема. На основании полученной информации были определены участки, наиболее оптимальные с точки зрения ведения целевого промысла ряпушки. В качестве таковых в весенний и осенний периоды могут быть ре-

комендованы участки акватории озера с глубинами более 20-25 м, когда слой температурного скачка еще не сформирован. В летние месяцы, в период установления слоя температурного скачка, может быть рекомендовано ведение промысла ряпушки на участках акватории водоема с глубинами более 35-40 м. Еще одной рекомендацией при выборе оптимальных районов промысла для лова ряпушки является выбор такого участка акватории озера, который бы обеспечивал наличие 3-5-метровой буферной зоны между нижней подборой сети/трала и дном, чтобы избежать прилова ерша, который широко распространен в придонных горизонтах водоема.

Меры по регулированию рыболовства должны определять такой порядок изъятия определенной доли запаса того или иного вида рыбы, который приводил бы к получению оптимального (с экономической и биологической точек зрения) улова. Современные меры регулирования рыболовства включают в себя более десятка различных мероприятий, из которых могут применяться одно или сразу несколько из них, но целом все они могут быть сведены к регламентации селективности промысла и лимитированию его интенсивности [92]. Рассмотрим, каким может быть оптимальный комплекс орудий лова для ведения целевого промысла ряпушки озера Виштынецкого, а также какие меры регулирования могут быть применены в этом случае.

5.5.1 Оптимальный комплекс орудий лова для ведения целевого промысла ряпушки озера Виштынецкого

Приводимая в данной главе оценка оптимального комплекса орудий лова для ведения целевого промысла ряпушки озера Виштынецкого базируется на действующих правилах рыболовства для Западного рыбохозяйственного бассейна [72], данных рыбопромысловой статистики, результатах анализа, представленных в настоящей работе, а также на личном опыте автора по применению для лова ряпушки разноглубинного трала и ставных сетей, выставляемых в толще воды.

В соответствии с действующими правилами рыболовства [72] допускается использование ставных сетей общей длиной порядка не более 500 м, установленных

друг от друга на расстоянии не менее 200 м в любую сторону. Также ими определены два периода времени, на которые установлен запрет на добычу ряпушки озера Виштынецкого: с 10 апреля по 10 июня – общий запрет на ведение промысла на озере Виштынецком (за исключением специализированного промысла сига), и с 1 ноября по 15 декабря – запрет на лов ряпушки и сига. Согласно данным промысловой статистики, предоставляемой пользователями, ведущими промысел на озере Виштынецком, в Западно-Балтийское территориальное управление Федерального агентства по рыболовству, промышленный лов на данном водоеме осуществляют два пользователя, а промысел ведется с марта по декабрь. Добыча ряпушки ведется на данный момент только одним пользователем в основном в период с 11 июня по 31 октября, таким образом период промысла ряпушки составляет 143 дня. Правилами рыболовства определен и минимальный шаг ячеи, который может применяться для лова данного вида – 14 мм.

Расчеты параметров лова были проведены как для ставных сетей, так и для возможного тралового лова. Несмотря на то, что на данный момент «тралы, близнецовые невода и другие тралящие орудия добычи (вылова)» запрещены к использованию на озере Виштынецком [72], оценка параметров лова отцеживающим орудием позволит оценить перспективы его использования на водоеме. Принимая во внимание тот факт, что согласно модели Рикера оптимальный улов достигается при использовании ставных сетей с шагом ячеи 12 мм ($F=0.5$), несмотря на то что применение сетей с указанным шагом запрещено действующими правилами рыболовства, для орудий лова с указанными характеристиками также были определены оптимальные параметры добычи ряпушки с целью оценки перспектив возможного использования данного шага ячеи при целевом промысле ряпушки.

Одним из важных показателей, принимаемым во внимание при оценке оптимальных параметров лова, является коэффициент уловистости орудия лова. Однако ввиду того, что уловистость пассивных орудий лова оценить в принципе достаточно сложно, а для вычисления коэффициента уловистости разноглубинного трала требуется проведение дополнительных исследований, в расчетах параметров

сетного лова использовался общепринятый для ставных сетей коэффициент уловистости 0.1, а в расчетах параметров тралового лова – 0.27, определенный по результатам экспериментальных тралово-акустических съемок [100].

Результаты расчета параметров сетного лова ряпушки озера Виштынецкого, позволяющие получить оптимальную величину улова в соответствии с результатами модели Рикера и критерия $F_{0.1}$, представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты расчета параметров сетного лова для ряпушки озера Виштынецкого

Параметр		Значение	
		шаг ячеи 12 мм	шаг ячеи 14, 16, 18 мм
Длина сети, м	L_n	25	
Площадь единичного облова, га	S_{f0}	1,125	
Период промысла, сут.	t	143	
Количество сетей длиной 25м в сутки, шт	n	19.7	23.6
Количество метров сетей в сутки, м	l	492.5	590
Промысловое усилие, сетей	$f=n*t$	2817	3375
Площадь облова, га	$S_f=S_{f0}*f$	3169.2	3796.7
Площадь акватории водоема с глубинами более 20м, га	S	633.7	
Геометрическая интенсивность лова, f_g	$f_g=S_f/S$	5.00	5.99
Коэффициент уловистости	q	0.1	
Промысловая смертность, год ⁻¹	$F=q*f_g$	0.5	0.6

Полученные результаты свидетельствуют о том, что для получения экономически (и биологически) оптимального улова при использовании сетей с шагом ячеи 12 мм необходимо выставлять ежедневно 493 м сетей (порядка 20 сетей длиной 25 м каждая). При использовании сетей с шагом ячеи 14, 16 и 18 мм для получения экономически оптимального улова необходимо выставлять 590 м сетей ежедневно (порядка 24 сетей длиной 25 м каждая). В последнем случае, как показано в главе, посвященной биологическим ориентирам управления промысловым использованием популяции ряпушки, биологически оптимальный улов наступает в этом случае при гораздо большей интенсивности промысла, т.е. даже при увеличении интенсивности промысла допустимая степень изъятия не будет превышать установленный порог в 50%.

В целом, следует отметить, что в отсутствии изменений в сроках промысла и

количестве бригад/пользователей, ведущих специализированный промысел ряпушки, указанные оптимальные параметры трудно достижимы на практике. Это связано, прежде всего, с временными затратами как на постановку орудий лова, где требуется обеспечить нахождение сети в толще воды, подвязывая, например, верхнюю подбору к плавучим буйам, так и со сложностью выпутывания данного вида рыбы из сетей с малым шагом ячеи (12–14 мм), где, по опыту работы в рамках ихтиологических работ, проводимых кафедрой ихтиологии и экологии ФГБОУ ВО «КГТУ» и автором на озере Виштынецком, на обработку одной сети стандартной длины (при наличии в ней достаточного улова) приходится порядка 20–30 минут времени. Соответственно, при постановке 20 сетей в сутки на обработку будет уходить 6.7-10 часов времени, при постановке 24 сетей в сутки – 8–12 часов. Постановка 500–600 м сетей также потребует не менее двух часов времени, включая время в пути к местам основных скоплений ряпушки и обратно, и время, затрачиваемое на постановку орудий лова.

Следует отметить, что увеличение периода промысла также позволит уменьшить количество одновременно выставляемых сетей для достижения оптимального улова. Так, например, если вести промысел ряпушки в течение 243 дней, начиная с марта месяца по декабрь (исключая 2 запретных периода), то количество сетей, выставляемых в сутки, может быть уменьшено до 12 шт. (232 м) и 14 шт. (280 м) при использовании шага ячеи в сетях 12 и 14, 16 и 18 мм соответственно.

Принимая во внимание тот факт, что коэффициент уловистости ставных сетей неизвестен, но встречаются работы, в которых предпринимаются попытки и описываются некоторые подходы к определению его величины [57, 58], а в соответствии с результатами модели Рикера оптимальное значение промысловой смертности может быть разным для различных значений возраста вступления в эксплуатацию, для поиска оптимального вылова для соотношения между периодом промысла (t), промысловой смертностью (F_{opt}), количеством выставляемых в сутки сетей (n) и коэффициентом их уловистости (q) была определена соответствующая зависимость (формула (37)).

$$t = 633.7 \cdot F_{opt} \cdot (1.125 \cdot q \cdot n)^{-1}, \quad (37)$$

Таким образом, для заданных значений промысловой смертности, коэффициента уловистости сети и предполагаемой продолжительности промысла находится оптимальное с точки зрения модели Рикера и критерия $F_{0.1}$ количество сетей, выставляемых в течение суток, или для заданных значений промысловой смертности, коэффициента уловистости и предполагаемого количества выставляемых в течение суток сетей определяется оптимальная продолжительность промысла.

Тем не менее, анализ данных размерной структуры и динамики уловов на усилии ряпушки в ставных сетях показывает, что наибольшие по величине уловы в весовом выражении приходятся на сети с шагом ячеи 14 мм, а наибольшая доля по численности в уловах ставными сетями приходится на размерную группу 12 см (Рисунок 67). Принимая во внимание зависимость длины ряпушки от ее возраста (Рисунок 71), в соответствии с которой ряпушка длиной 12 см имеет возраст три года, для которого наибольший коэффициент селективности приходится на сети с шагом ячеи 14 мм, что, наряду с уловами на усилии, свидетельствует о более высоком коэффициенте уловистости сетей с данным шагом ячеи по сравнению с сетями с другим шагом ячеи.

Говоря о перспективах использования траловых орудий лова для специализированного промысла ряпушки на озере Виштынецком следует учитывать ряд следующих особенностей:

- как было отмечено ранее в работе, скопления ряпушки в пелагиали озера образуются в основном в вечернее и ночное время суток, соответственно проводить траления для целевого лова данного вида целесообразно в указанный период времени;
- так как озеро Виштынецкое является трансграничным водоемом [86], то пребывание судов в темное время суток на водоеме в соответствии с Правилами пограничного режима разрешается только по согласованию с пограничным органом или его подразделением [73], что может накладывать определенные сложности в организации тралового лова в темное время суток;

- ведение тралового лова в темное время суток требует со стороны пользователей, осуществляющих промысел, дополнительных технических средств контроля за местоположением судна, световых устройств и приборов, обеспечивающих как достаточную видимость при работе с тралом, так и обозначение местоположения судна в этот период времени в соответствии с правилами плавания судов по внутренним водным путям [71];

- учитывая, что промысел осуществляется в отношении разных видов рыб и работа по постановке и обработке орудий лова ведется в дневные часы, совмещение дневной и ночной работы одной бригадой выглядит достаточно затруднительным, соответственно, требуется перераспределение рабочей силы;

- отсутствие специализированного флота (траулеры) и слабое техническое оснащение пользователей (используемые типы судов и моторов), ведущих промысел на озере Виштынецком, фактически позволяют говорить о возможности использования близнецового варианта буксировки трала лодками с маломощными подвесными моторами (15 л/с); возможность подобного лова ряпушки с помощью разноглубинного трала показана в работе [100];

- принимая во внимание слабую маневренность лодок при близнецовом варианте буксировки трала наиболее оптимальным курсом траления, обладающим достаточными глубинами и наибольшей протяженностью в прямолинейном направлении, может являться курс от центральной глубоководной впадины к северной части береговой линии озера (Рисунок 92).

Принимая во внимание указанные обстоятельства, расчет параметров тралового лова ряпушки озера Виштынецкого осуществлялся на основании результатов экспериментальных тралово-акустических съемок [100], выполненных автором и сотрудниками кафедры ихтиологии и экологии ФГБОУ ВО «КГТУ» в рамках проведения рыбохозяйственных исследований на водоеме в период с 2012 по 2013 годы. В качестве сроков промысла был выбран летний период, когда на водоеме, как правило, уже сформирован слой температурного скачка на глубине более 10 м и ряпушка придерживается глубоководных частей акватории озера, что поз-

воляет вести более прицельный ее лов. Также этот период характеризуется наличием скоплений ряпушки в пелагиали озера в дневное время суток (Таблица 6), однако наблюдается это не во все годы.

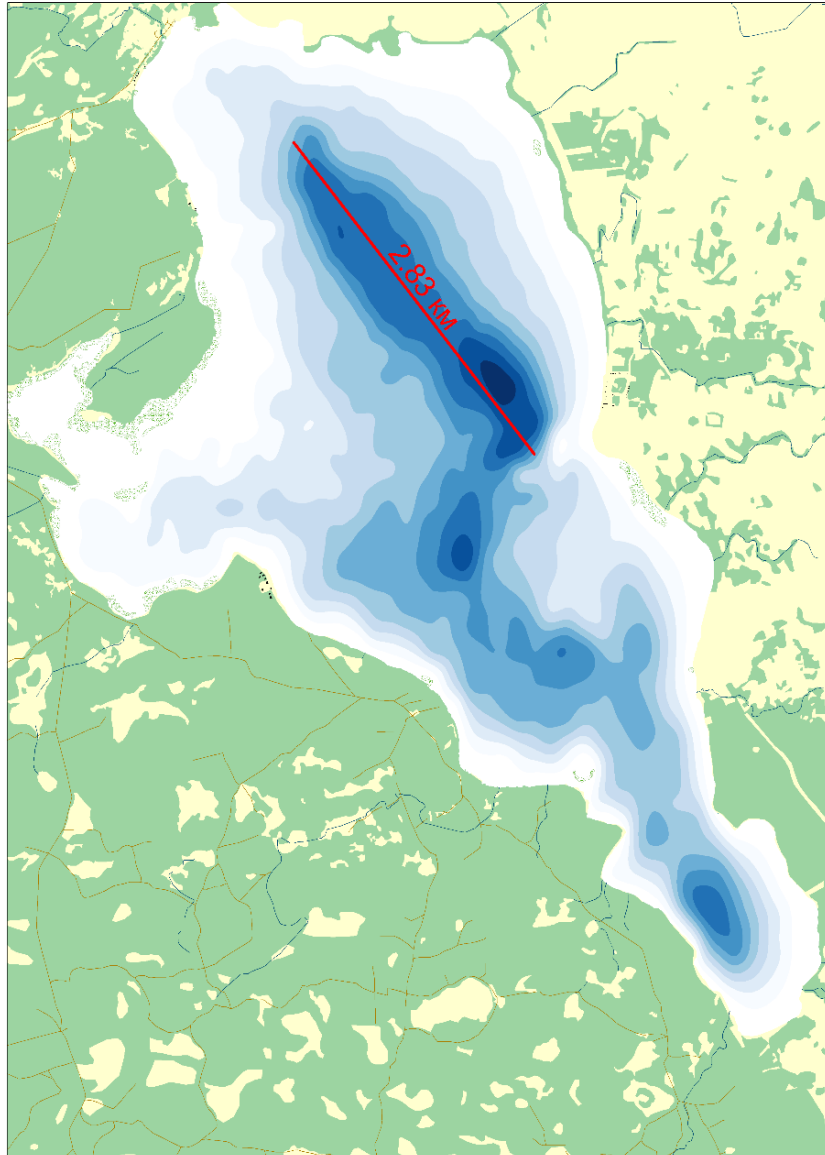


Рисунок 92 – Оптимальный курс траления и его протяженность

При этом следует отметить, что по результатам экспериментального тралового лова наибольшие уловы на усилие приходятся на август месяц, когда дневные и ночные уловы дают достаточно высокую величину данного показателя (27.5 и 60.3 кг на единицу промыслового усилия соответственно) по сравнению с двумя предыдущими месяцами (менее 5 кг на единицу промыслового усилия). Однако, учитывая малое количество проведенных тралений, полученные результаты тре-

буют их дальнейшей верификации. В любом случае, особенно в дневные часы, проведение тралового лова должно сопровождаться предварительной визуальной оценкой по эхолоту основных параметров скоплений ряпушки (качественная оценка их численности (единичные или многочисленные скопления), высота слоя скоплений, диапазон занимаемых глубин).

Результаты расчета параметров тралового лова ряпушки озера Виштынецкого, позволяющие получить оптимальную величину улова в соответствии с результатами модели Рикера и критерия $F_{0.1}$, представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Результаты расчета параметров тралового лова для ряпушки озера Виштынецкого

Параметр	Обозначение	Значение
Ширина зоны облова, м	B	7
Скорость траления, км/ч	V	4
Площадь единичного облова, га	$S_{f0}=B*V$	2.8
Период промысла, сут.	t	90
Часов тралений в сутки, час	n	4.7
Промысловое усилие, час	$f=n*t$	419.1
Площадь облова, га	$S_f=S_{f0}*f$	1173.6
Площадь акватории водоема с глубинами более 20м, га	S	633.7
Геометрическая интенсивность лова, f_g	$f_g=S_f/S$	1.852
Коэффициент уловистости	q	0.27
Промысловая смертность, год ⁻¹	$F=q*f_g$	0.5

Полученные результаты свидетельствуют о том, что для получения оптимального улова при ведении тралового промысла ряпушки на озере Виштынецком необходимо осуществлять траление в течение почти 5 часов в сутки при продолжительности промысла 90 дней (Таблица 14).

Следует отметить, что оценка минимального шага ячеи в кутке трала для целевого его использования при промышленном лове ряпушки требует дополнительной проверки на практике, но, учитывая имеющиеся кривые селективности ставных сетей (Рисунок 71), можно сделать вывод о том, что в конечной сетной части трала должен использоваться шаг ячеи 9.5–10 мм.

Также как и в случае сетного лова, можно отметить, что в отсутствии изменений в сроках промысла и количестве бригад/пользователей, ведущих специализированный промысел ряпушки, указанные оптимальные параметры тралового лова

трудно достижимы на практике. Учитывая, что протяженность одного траления не превышает трех километров (Рисунок 92), даже при скорости судна в 3 км/ч (которая достигалась при ведении экспериментального тралового лова [100]) одно траление будет занимать почти час времени собственно на траление, плюс время, затрачиваемое на выметывание и выборку трала, доставку его на берег, обработку улова, и подготовку трала к работе, которое составит не менее полутора часов, дает общее время работы для достижения оптимального улова порядка 12 часов рабочего времени. Учитывая, что необходимое для более эффективного улавливания крупных особей увеличение скорости траления до 5–6 км/ч приведет к уменьшению времени одного траления (время траления составит порядка 30 минут), и, как следствие, увеличит необходимое количество тралений в сутки (с 5 до 10 раз) для достижения оптимальных показателей улова, это приведет к еще большему увеличению требуемого времени на весь комплекс работ по ведению тралового лова.

Принимая во внимание тот факт, что при поиске оптимальных характеристик трала (с целью повышения скорости траления, удобства работы с тралом и т.п.) последние могут меняться, и то, что оценка коэффициента уловистости пелагического трала даже для текущих его характеристик требует дальнейшей верификации, для поиска оптимального улова для соотношения между шириной зоны облова трала (B), периодом промысла (t), промысловой смертностью (F_{opt}), количеством тралений в сутки (n) и коэффициентом уловистости трала (q) была определена соответствующая зависимость (формула (38)):

$$t = 633,7 \cdot F_{opt} \cdot (B \cdot V \cdot q \cdot n)^{-1}, \quad (38)$$

Таким образом, для заданных значений коэффициента уловистости трала, ширины зоны облова, промысловой смертности и предполагаемой продолжительности промысла находится оптимальное с точки зрения модели Рикера и критерия $F_{0.1}$ количество часов тралений в сутки, или для заданных значений коэффициента уловистости, ширины зоны облова, промысловой смертности и предполагаемого количества часов тралений в течение суток определяется оптимальная продолжительность промысла.

В целом следует отметить, что с точки зрения получения рыбы товарного качества траловый промысел видится более эффективным, т.к. сам процесс объеживания рыбы и выпутывания ее из сетей снижает данную характеристику, особенно данная проблема актуальна при использовании сетей с мелким шагом ячеи (12, 14 мм). Однако отсутствие специализированного флота и необходимых мощностей у рыбодобывающих организаций не позволяет на данный момент говорить о возможности внедрения тралового лова ряпушки на водоеме и требует дальнейшей проработки данного вопроса. Тем не менее перспективы его применения и оптимальные параметры тралового лова ряпушки, наряду с таковыми для сетного лова данного вида рыбы показаны в настоящей работе.

5.5.2 Оценка возможного вылова ряпушки озера Виштынецкого

Регулирование промысла ряпушки на российской части акватории оз. Виштынецкого осуществляется на основе правил рыболовства для Западного рыбохозяйственного бассейна [72], которые включают в себя следующий комплекс мероприятий:

- лимитирование уловов в виде установления величины возможного вылова;
- ограничение промыслового усилия, выраженное в лимитировании суммарной длины порядка сетей (не более 500 м) и минимального расстояния между ними (не менее 200 м в любую сторону);
- запрет на использование некоторых орудий лова, включая тралы, близнецовые невода и другие тралящие орудия добычи;
- установление промысловой меры на рыбу в виде минимальной длины (9 см), допустимой к изъятию;
- установление минимального размера (шага) ячеи – 14 мм;
- установление нормы прилова маломерной рыбы – не более 10% от улова;
- установление нормы прилова сопутствующих видов – не более 49% по весу от общего улова водных биоресурсов разрешенных видов за одну операцию по добыче (вылову);
- регламентирование сроков лова – 2 запретных периода: с 10 апреля по 10

июня – общий запрет (кроме специализированного промысла сига), с 1 ноября по 15 декабря – запрет на лов сига и ряпушки;

- регламентирование мест лова – на всей акватории озера в период весеннего запрета и в бухте Тихой – круглогодично;

Недоиспользование запасов ряпушки (предполагаемая интенсивность лова F составляет менее 0.1 год^{-1} (более подробно оценка данного параметра приведена далее в работе)) позволяет говорить об отсутствии необходимости в корректировке имеющихся мер регулирования в сторону их ужесточения. Учитывая низкую интенсивность лова данного вида, с целью увеличения суммарного промыслового усилия может быть рекомендовано разрешение специализированного промысла ряпушки в период весеннего запрета по примеру разрешения в указанный период специализированного промысла сига, особенно принимая во внимание то обстоятельство, что при специализированном промысле ряпушки в толще воды прилов других видов практически отсутствует. При необходимости в указанный период дополнительно могут быть введены ограничения на районы промысла (например, запрет лова на определенных участках акватории водоема, либо, наоборот, разрешение лова только в определенных ее местах (например, в границах конкретных промысловых квадратов)).

Одной из базовых мер при регулировании рыболовства является ограничение объемов вылова рыбы, разрешенного к добыче, что по сути косвенно обеспечивает регламентирование интенсивности промысла [92]. Лимитирование уловов ряпушки озера Виштынецкого осуществляется с использованием показателя возможного вылова (РВ), величина которого тождественна по величине общему допустимому улову (ОДУ), но освоение идет по так называемой «олимпийской системе»: т.е. промысел ведется до тех пор, пока не будет достигнут установленный лимит вылова. После его достижения промысел прекращается.

Оценка ОДУ, который с биологической точки зрения тождественен РВ, может базироваться на разных подходах. Один из них заключается в установлении величины прогноза ОДУ на уровне среднегодовалого улова, как это рекомендовано ФАО [113]. В соответствии с данным подходом величина среднегодовалого

улова по результатам анализа динамики вылова ряпушки озера Виштынецкого составляет 8.4 т (Рисунок 60).

Еще одним возможным подходом к прогнозу ОДУ является биостатистический метод, основу которого составляют сведения о биологических показателях исследуемой популяции и статистике промысла [92]. С использованием данного метода были произведены расчеты прогноза вылова при стабильной и изменяющейся добывающей базе. В качестве исходной для проведения расчета информации использовались следующие данные:

- численность N_t всех возрастных групп, определенная по результатам гидроакустической съемки, проведенной в 2020 году;
- масса W_t ряпушки по возрастным группам, определенная по данным массовых промеров уловов ставных сетей;
- мгновенные коэффициенты естественной M (Таблица 10) и промысловой F (оценка данного параметра будет приведена ниже) смертностей;
- коэффициент селективности qL_t для каждой возрастной группы (рисунок 71);
- улов Y_w в базовом (2020) году (Рисунок 70);

Применяемый для оценки ОДУ метод требует расчета следующих показателей в базовом году (x) [92]:

- биомасса возрастных групп (формула (39)):

$$B_{w_{x,t}} = N_{x,t} \cdot W_{x,t}, \quad (39)$$

- теоретическая (расчетная) суммарная биомасса промыслового запаса (формула (40)):

$$B_{w_x} = \sum_{t=tr}^{t=t\lambda} B_{w_{x,t}}, \quad (40)$$

- мгновенный коэффициент скорости весового роста (формула (41)):

$$G_{x,t} = \ln \frac{W_{x,t+1}}{W_{x,t}}, \quad (41)$$

- мгновенный коэффициент общей смертности в базовом году (формула (42)):

$$Z_{x,t} = M_{x,t} + (F \cdot qL_{x,t}), \quad (42)$$

- теоретический улов каждой возрастной группы с использованием модели Рикера (формула (43)):

$$Y_{w_{x,t}} = B_{w_{x,t}} \cdot F \cdot qL_{x,t} \cdot \frac{e^{(G_t - Z_{x,t})} - 1}{G_t - Z_{x,t}}, \quad (43)$$

- коэффициент пересчета, учитывающий отклонение фактического улова $Y_{w_{x,факт}}$ от теоретического $Y_{w_{x,теор}}$ (формула (44)):

$$\alpha = \frac{Y_{w_{x,факт}}}{Y_{w_{x,теор}}}, \quad (44)$$

На основании данных по численности запаса в базовом году по уравнению Ф.И. Баранова проводится оценка численности возрастных групп в расчетном году (формула (45)):

$$N_{x+1,t+1} = N_{x,t} \cdot e^{-Z_{x,t}}, \quad (45)$$

Для оценки численности первой возрастной группы в прогнозном году использовалось уравнение, описывающее связь численностей двух смежных групп (формула (46)):

$$N_{t+1} = N_t \cdot e^{-Z_t}, \quad (46)$$

откуда

$$N_t = N_{t+1} \cdot e^{Z_t}, \quad (47)$$

Далее рассчитывается прогнозируемая биомасса популяции, предполагая, что средняя масса особей по возрастам останется неизменной (формула (48)):

$$B_{w_{x+1,t}} = N_{x+1,t} \cdot W_{x,t}, \quad (48)$$

На основании модели Рикера по формуле (44) рассчитываются прогнозируемые уловы всех возрастных групп и теоретический улов, получаемый от вей популяции. На основании того, что теоретический и фактический уловы отличаются на величину коэффициента α , общий допустимый улов рассчитывается исходя из данного показателя:

$$\text{ОДУ} = Y_{w_{\text{теор}}} \cdot \alpha, \quad (49)$$

Ввиду того, что мгновенный коэффициент промысловой смертности для базового года неизвестен, его оценка производилась на основании сопоставления фактической биомассы популяции ряпушки, определенной по теоретическому значению биомассы с учетом коэффициента пересчета, со значением, полученным на основании данных о размерной структуре данного вида рыбы по результатам гидроакустической съемки, проведенной в 2020 году, и восстановлению весовой структуры на основании описанной ранее в работе зависимости (Рисунок 63). Учитывая, что биомасса популяции ряпушки в 2020 году в возрасте от 1 до 6 лет по данным гидроакустики составила 41.5 т, то мгновенный коэффициент промысловой смертности будет равен величине порядка $F=0.09 \text{ год}^{-1}$, что, в целом, отражает реальную картину промысла данного вида на озере, характеризуя его низкую интенсивность. Результаты расчета прогноза вылова ряпушки озера Виштынецкого ставными сетями с шагом ячеи 14 мм при сохранении имеющейся интенсивности промысла и при его увеличении до оптимальных в соответствии с моделью Рикера и критерием $F_{0.1}$ значений приведены в таблицах 15 и 16 соответственно.

Таблица 15 – Результаты расчета прогноза вылова ряпушки ставными сетями с шагом ячеи 14 мм на 2021 год при сохранении имеющейся интенсивности промысла

2020 год										2021 год					
t	N	W	Bw	M	F	qL	Z	G	Yw	F	qL	Z	N	Bw	Yw
1	5.2	1.7	9.1	0.758	0.09	0.0	0.761	1.466	0.03	0.09	0.0	0.761	5.2	9.1	0.03
2	1.4	7.5	10.9	0.758	0.09	0.3	0.788	0.975	0.36	0.09	0.3	0.788	2.4	18.4	0.61
3	0.3	20.0	5.0	0.758	0.09	1.0	0.848	0.278	0.34	0.09	1.0	0.848	0.7	13.1	0.90
4	0.2	26.4	4.2	0.758	0.09	0.3	0.789	0.140	0.10	0.09	0.3	0.789	0.1	2.8	0.06
5	0.1	30.4	3.0	0.758	0.09	0.1	0.765	0.294	0.02	0.09	0.1	0.765	0.1	2.2	0.01
6	0.1	40.8	2.0	0.758	0.09	0.0	0.760	0.294	0.00	0.09	0.0	0.76	0.0	1.9	0.00
Теор	7.2		34.2						0.85				8.5	47.4	1.62
Факт			41.5						1.04					57.5	1.97
a									1.21	изм. улова=					90%

Таблица 16 – Результаты расчета возможного вылова (РВ) ряпушки ставными сетями с шагом ячеи 14 мм на 2021 год при достижении оптимальной интенсивности промысла

2020 год										2021 год					
t	N	W	Bw	M	F	qL	Z	G	Yw	F	qL	Z	N	Bw	Yw
1	5.2	1.7	9.1	0.758	0.09	0.0	0.761	1.466	0.03	0.60	0.0	0.775	5.2	9.1	0.22
2	1.4	7.5	10.9	0.758	0.09	0.3	0.788	0.975	0.36	0.60	0.3	0.959	2.4	18.4	3.72
3	0.3	20.0	5.0	0.758	0.09	1.0	0.848	0.278	0.34	0.60	1.0	1.358	0.7	13.1	4.80
4	0.2	26.4	4.2	0.758	0.09	0.3	0.789	0.140	0.10	0.60	0.3	0.963	0.1	2.8	0.39
5	0.1	30.4	3.0	0.758	0.09	0.1	0.765	0.294	0.02	0.60	0.1	0.806	0.1	2.2	0.08
6	0.1	40.8	2.0	0.758	0.09	0.0	0.760	0.294	0.00	0.60	0.0	0.771	0.0	1.9	0.02
Теор	7.2		34.2						0.85				8.5	47.4	9.24
Факт			41.5						1.04					57.5	11.21
a									1.21	изм. улова=					982%

Таким образом, согласно биостатистическому методу, при сохранении той же интенсивности промысла, которая наблюдалась в 2020 году, и использовании ставных сетей с шагом ячеи 14 мм прогнозируемый вылов ряпушки в 2021 году составит чуть менее 2 т (Таблица 15), а при увеличении интенсивности промысла до оптимальной величина возможного вылова данного вида составит порядка 11.2 т.

Если за численность пополнения R в 2020 году принять численность ряпушки в возрасте 1 года, рассчитанной по данным гидроакустической съемки, то величина общего допустимого улова может быть рассчитана по формуле (50) [92]:

$$ОДУ = R \cdot Y_{w_{opt}}, \quad (50)$$

где $Y_{w_{opt}}$ – оптимальный улов;

Принимая во внимание тот факт, что величина оптимального улова в соответствии с моделью Рикера и критерием $F_{0.1}$ для сетей с шагом ячеи 14 мм составляет $Y_{w_{opt}}=2.3$ г/Р, а численность первой возрастной группы ряпушки озера Виштынецкого в 2020 году составила 5.2 млн. экз., величина возможного вылова в 2021 году в соответствии с формулой (50) составляет 12 т, что, в целом сопоставимо с полученной биостатистическим методом величиной.

Еще одним подходом является установление величины общего допустимого улова, равного «произведению среднегодовой биомассы эксплуатируемого запаса на рекомендуемый мгновенный коэффициент промысловой смертности» [92, с. 506] (формула (51)) [92]:

$$ОДУ = F_{rec} \cdot ESB, \quad (51)$$

Под эксплуатируемым запасом при этом понимается часть промыслового запаса, который сформирован особями в возрасте от t_c до t_λ . Биомасса эксплуатируемого запаса (t_c по данным массовых промеров и биологического анализа составляет порядка 2.5 лет) в 2020 году по данным гидроакустики составила $ESB=20.3$ т ($ESB=19.7$ т по данным модельной популяции), $F_{rec}=0.6$, соответственно $ОДУ=12.2$ т (11.8 т). Как видно, результаты приведенных подходов имеют достаточно близкие по величине значения (разница в полученных значениях не превышает 8%), что может свидетельствовать о достоверности полученных результатов.

Применив схожий алгоритм расчета прогноза вылова ряпушки озера Виштынецкого для трала при достижении оптимальной интенсивности промысла в соответствии с моделью Рикера и критерием $F_{0.1}$, а также принимая во внимание результаты расчета коэффициента a , приведенные выше, получаем следующие результаты (Таблица 17).

Таблица 17 – Результаты расчета возможного вылова (РВ) ряпушки пелагическим тралом при достижении оптимальной интенсивности промысла

2020 год										2021 год					
t	N	W	Bw	M	F	qL	Z	G	Yw	F	qL	Z	N	Bw	Yw
1	5.2	1.7	9.1	0.758	0.00	0.0	0.758	1.466	0.00	0.50	0.0	0.772	5.2	9.1	0.19
2	1.4	7.5	10.9	0.758	0.00	1.0	0.758	0.975	0.00	0.50	1.0	1.258	2.4	18.4	8.02
3	0.3	20.0	5.0	0.758	0.00	1.0	0.758	0.278	0.00	0.50	1.0	1.258	0.7	13.5	4.30
4	0.2	26.4	4.2	0.758	0.00	1.0	0.758	0.140	0.00	0.50	1.0	1.258	0.1	3.1	0.93
5	0.1	30.4	3.0	0.758	0.00	1.0	0.758	0.294	0.00	0.50	1.0	1.258	0.1	2.3	0.73
6	0.1	40.8	2.0	0.758	0.00	1.0	0.758	0.294	0.00	0.50	1.0	1.258	0.0	1.9	0.61
Теор	7.2		34.2						0.00				8.6	48.2	14.78
Факт			41.5						0.00					58.3	17.92
a									1.21	изм. улова=					-

Применение формул (50)–(51) для расчета возможного вылова тралом ряпушки, учитывая, что $Y_{w_{opt}}=2.8$ г/Р, а $ESB=26.9$ т ($ESB=25.2$ т по данным модельной популяции), получаем величину возможного вылова 14.6 т и 13.5 т (12.6 т – для модельной популяции) соответственно. Принимая во внимание расчеты коэффициента выживания ряпушки, определенные по численности возрастных групп в два смежных года (2019–2020 гг.) по данным гидроакустики, при сохранении той же численности пополнения первой возрастной группы (5.2 млн. особей) величина ESB составляет 29.5 т. На основании вышеизложенного, максимально возможная величина вылова ряпушки на озере Виштынецком на следующий год при введении тралового лова может составлять 14.7 т.

Принимая во внимание тот факт, что траловый лов на озере запрещен согласно действующим Правилам рыболовства [72], величина РВ для ряпушки на следующий год может быть установлена в объеме 11.2 т, в соответствии с результатами расчета данного показателя биостатистическим методом для ставных сетей с шагом ячеи 14 мм, что сопоставимо с официально установленной на 2021 год величиной возможного вылова ряпушки озера Виштынецкого, равной 11.4 т и свидетельствует о достоверности полученных результатов.

При сохранении в ближайшие годы размерно-возрастной структуры ряпушки и ее численности на уровне 10 млн. особей, что соответствует средней ее числен-

ности за последние четыре года по данным гидроакустических исследований, максимальный объем вылова составит 22.3 т, который может быть достигнут при разной интенсивности промысла в зависимости от используемых орудий лова (Таблица 18).

Таблица 18 – Промысловое усилие, которое требуется развить на озере Виштынецком для достижения максимального вылова ряпушки

Используемое орудие лова	Кол-во сетей/число тралений в сутки
ставные сети стандартной длины, период промысла – 143 дня	
ячей 14 мм	75 сетей
ячей 16 мм	98 сетей
ячей 18 мм	264 сети
разноглубинный трал, период промысла – 90 суток	
разноглубинный трал (с шагом ячей в кутке, обеспечивающим возраст первой поимки тс, равный 2 года)	5 часовых тралений (с учетом граничных ориентиров промысла максимально возможный вылов составит 18.9 т)
разноглубинный трал (с шагом ячей в кутке, обеспечивающим возраст первой поимки тс, равный 3 года)	18 часовых тралений

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые на озере Виштынецком проведены комплексные исследования пелагического ихтиоценоза с использованием набора пелагических ставных сетей, разноглубинного трала и гидроакустических средств, а также отработана методика его изучения. Проведенные работы позволили актуализировать данные по морфометрической структуре озера Виштынецкого, построить трехмерную модель рельефа его дна, оценить видовую структуру пелагического ихтиоценоза водоема и его пространственно-временную динамику, провести количественную оценку численности ряпушки, разработать промысловую модель и оценить оптимальные параметры промысла данного вида на озере.

По работе можно сделать следующие выводы:

1) Морфометрические характеристики озера Виштынецкого, сезонная стратификация вод оказывают влияние на пространственное и временное распределение его пелагического ихтиоценоза.

2) Методика комплексного изучения пелагического ихтиоценоза включает в себя проведение обловов ставными пелагическими сетями на всех горизонтах глубин и параллельное проведение трех основных видов гидроакустических съемок.

3) В пелагиали озера Виштынецкого отмечено 8 видов, из которых доминирующим является ряпушка, которая по численности и биомассе в уловах составляет 97% и 95% соответственно (в диапазоне глубин от 10 м до придонного слоя).

4) Для ряпушки озера Виштынецкого характерны суточные вертикальные миграции: в дневное время количество обнаруживаемых скоплений невелико, и они приурочены в основном к придонной части водоема (слой глубин 25–35 м). Ночные скопления имеют разреженную структуру, многочисленны, средняя плотность скоплений превосходит дневные показатели более чем в 10 раз.

5) В ночное время суток в верхних горизонтах (глубины 10–20 м) преобладают мелкоразмерные особи ряпушки (до 10 см). С увеличением глубины размерная структура меняется в сторону увеличения ее длины, и на глубинах более 30 м преобладают особи длиной более 10 см. В центральной части водоема в местах,

приуроченных к глубоководным впадинам, а также в глубоководной впадине южной части озера преобладают особи длиной более 6 см, в то время как на склонах на относительно мелких участках водоема (с глубинами менее 30 м) отмечается преобладание особей с длиной менее 6 см.

6) Вертикальные миграции ряпушки имеют выраженный сезонный характер. В период весенней и осенней гомотермии ряпушка в ночное время суток распределена во всей толще воды в слое глубин 10–35 м, высота слоя скоплений может достигать 25 м, максимальные концентрации формируются в слое глубин 15–25 м. Летом, в период установления слоя температурного скачка, ряпушка ночью концентрируется под термоклином в глубоководной зоне и не поднимается выше 12–15 м. Выделяются два основных слоя скоплений – 15–20 и 25–35 м – основные концентрации при этом формируются в слое глубин 25–35 м.

7) Распределение ряпушки по акватории водоема определяется его температурными и морфологическими условиями. В период весенней гомотермии карта плотностей ее скоплений имеет рассредоточенный характер распределения по акватории, начиная с глубин 12–15 м. По мере образования слоя температурного скачка (летний период) площадь акватории, приемлемая для ее обитания, сокращается более чем в 1.5 раза, ряпушка мигрирует в сторону больших глубин (15 м и ниже), а ее скопления приурочены к глубоководным впадинам.

8) В период с 2016 по 2020 годы среднегодовая численность ряпушки составила 9.95 ± 1.35 млн. особей, средняя биомасса – 51.5 ± 7.0 т.

9) Достижение максимальных объемов вылова ряпушки при введении тралового лова возможно при выполнении 18 часовых тралений в сутки в течение 90 дней и использовании шага ячеи в кутке, обеспечивающем возраст первой поимки, равный трем годам. Сетной промысел ряпушки наиболее эффективен ставными сетями с шагом ячеи 14 мм, достижение максимального объема вылова которыми потребует постановки 75 сетей в сутки в течение 143 дней.

По результатам проделанной работы могут быть даны следующие практические рекомендации, касающиеся проведения учетных съемок по количественной оценке запасов ряпушки и ведения и организации промысла данного вида:

1) Выполнение учетных съемок по количественной оценке численности ряпушки озера Виштынецкого в ночное время суток в период нахождения рыбы в толще воды. Предпочтительное время проведения – август месяц, в период установления слоя температурного скачка и формирования придонной гипоксии, которые лимитируют верхнюю и нижнюю границы вертикального ее распределения.

2) Оптимальное время работы сетей и проведения тралений – ночное время суток; оптимальные горизонты лова – 25–35 м в период установления слоя температурного скачка (август – сентябрь месяцы); 15–25 м в период гомотермии и формирования слоя температурного скачка. При этом должно обеспечиваться наличие 3-5-метровой буферной зоны между нижней подборой сети/трала и дном.

3) Целесообразно развитие тралового лова, т.к. это позволит сократить период промысла ряпушки до 90 суток и проводить траления в период с июля по сентябрь месяцы в период формирования наибольших концентраций в толще воды, а также повысить товарное качество рыбы за счет отсутствия этапа обработки сетей, при котором рыба травмируется при выборе ее из сетеполотна. Оптимальный набор ячеей в ставных сетях – 14–18 мм. Большой размер шага ячей не улавливает ряпушку, применение более мелкого шага ячей (14 мм и ниже) увеличивает время обработки улова.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Адаптация, изготовление и внедрение гидроакустического двухчастотного программно-технического комплекса по количественной оценке рыб AsCor: отчет НИР / Дегтев А.И. – Петрозаводск, 2007. – 37 с.

2 Алдушин, А.В. Гидроакустические исследования пелагического ихтиоценоза озера Виштынецкого Калининградской области / А.В. Алдушин, С.В. Шибаев // Биология внутренних вод. - 2016. – № 4. – С. 54–63.

3 Алекин, О.А. К вопросу о химической классификации природных вод / О.А. Алекин // Вопросы гидрохимии: тр. / НИУ ГУГМС. – Л.: Гидрометеиздат, 1948. – Сер. 4. – Вып. 32. – С. 25–39.

4 Алексеев, Н.К. Озеро Виштынецкое / Алексеев Н.К., Демидова А.Г., Берникова Т.А. и др. – Калининград: кн. из-во, 1976. – 47 с.

5 Атлас пресноводных рыб России: В 2 т. / под. ред. Ю.С. Решетникова. – М.: Наука, 1998. – 218 с.

6 Базаров, М.И. Возможности использования рыбопоисковых эхолотов для определения численности рыб / М. И. Базаров, М. И. Малин // Рыбное хозяйство. – 2007. – №6. – С. 99–101.

7 Базаров, М.И. Распределение и вертикальные суточные миграции рыб озера Таймыр / М.И. Базаров // Биология внутренних вод. – 2007. – №4. – С. 62–69.

8 Базаров, М.И. Суточные вертикальные миграции рыб пресноводных водоемов в нагульный период: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16, 03.00.10 / Базаров Михаил Иванович; ИБВВ РАН. – Борок, 2007. – 141 с.

9 Базаров, М.И. Суточные вертикальные миграции рыб пресноводных водоемов в нагульный период: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16, 03.00.10 / Базаров Михаил Иванович; ИБВВ РАН. – Борок, 2007. – 22 с.

10 Баканов, А.И. Количественная оценка доминирования в экологических сообществах / А.И. Баканов. – ИБВВ АН СССР, 1987. – 63 с. – Деп. в ВИНТИ 08.12.1987, № 8593–В87.

11 Баранов, Ф.И. К вопросу о биологических основаниях рыбного хозяйства / Ф.И. Баранов // Изв. Отдела рыбоводства и научно-промысл. исслед. – 1918. – Т.1.

– Вып.2. – С. 84–128.

12 Барсова, А.В. Промысловые уловы и биологические показатели корюшки (*Osmerus eperlanus* (L.)) Онежского озера в современных условиях / А.В. Барсова, Т.И. Сергеева // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2017. – №8 (169). – С. 95–97.

13 Берникова, Т.А. Исследование гидрометеорологического режима Виштынецкой группы озер (Калининградская область) с целью их рыбохозяйственного использования / Т.А. Берникова, А.Г. Демидова, В.Ф. Дубравин и др. // XI республ. гидрометеорол. конф.: сб. тез. докл. – Вильнюс, 1979. – С. 100.

14 Берникова, Т.А. Озеро Виштынецкое. Гидрохимические условия / Т.А. Берникова // Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы. – Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. – С. 97–98.

15 Берникова, Т.А. Озеро Виштынецкое. Физико-географическая и гидрологическая характеристика / Т.А. Берникова // Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы. – Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. – С. 94–97.

16 Берникова, Т.А. Температурные условия озера Виштынецкого в теплое время года / Т.А. Берникова, А.Г. Демидова // Изученность природных ресурсов Калининградской области. – Л.: 1972. – Вып. 1. – С. 73–78.

17 Берникова, Т.А. Физико-географическая и гидрологическая характеристика / Т.А. Берникова // Озеро Виштынецкое. – Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. – С. 20–43.

18 Бизиков, В.А. Географическая информационная система «Картмастер» / В.А. Бизиков, С.М. Гончаров, А.В. Поляков // Рыбное хозяйство. – 2007. – № 1. – С. 96–99.

19 Биологические основы рационального рыбохозяйственного использования малых озер: отчет о НИР / Скорняков В.И.; № ГР 76029502; инв. № 5736811. – Калининград: Калининградский техн. ин-т рыбной пром-ти и хоз-ва, 1978. – 140 с.

20 Биологические основы рационального рыбохозяйственного использования малых озер: Отчет о НИР / Скорняков В.И.; № ГР 76029754; инв. № 5736941. – Калининград: Калининградский техн. ин-т рыбной пром-ти и хоз-ва, 1980. – 140 с.

21 Биологические основы рационального рыбохозяйственного использования малых озер в климатических условиях Калининградской области / Калининг. техн. ин-т рыб. пром-ти и хоз-ва; Руководитель В.И. Скорняков. Деп. в ВНТИ-Центр, Инв. № Б 657213, № ГР 760029502. – Калининград, 1977 – 229 с.

22 Борисенко, Э.С. Гидроакустические исследования распределения рыб в пойменно-русловой системе Нижнего Иртыша: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.06 / Борисенко Эдуард Степанович; ИПЭЭ РАН. – Москва, 2013. – 158 с.

23 Борисенко, Э.С. Исследования потерь акустической энергии в водно-рыбной среде / Э.С. Борисенко // Вопросы промысловой гидроакустики: сборник научных трудов. – М.: ВНИРО. – 1989. – С. 32–39.

24 Боровикова, Е.А. Морфо-экологические особенности популяции Переславской ряпушки (*Coregonus albula*) в начале XXI века / Е.А. Боровикова, М.И. Малин // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. – 2020. – Вып. 90 (93). – С. 66–90.

25 Введение в ArcGIS Geostatistical Analyst. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/help/analysis/geostatistical-analyst/what-is-geostatistics-.htm>.

26 Введение в ArcGIS Geostatistical Analyst. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/deterministic-methods-for-spatial-interpolation.htm>.

27 Географический атлас Калининградской области / гл. ред. Орленок В. В. - Калининград: Изд-во КГУ, 2002. – 276 с.

28 Герасимов, Ю.В. Условия нагула бентосоядных рыб в зоне зарослей / Ю.В. Герасимов. – ИБВВ АН СССР, 1982. – 25 с. Деп. в ВИНТИ 24.08.1982. № 4661–В82.

29 Герасимов, Ю.В. Условия нагула бентосоядных рыб в зоне зарослей макрофитов: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.10 / Герасимов Юрий Викторович;

ИЭМЭЖ им. А.Н. Северцова РАН. – Москва, 1983. – 200 с.

30 Голованов, В.К. Эколого-физиологические закономерности распределения и поведения пресноводных рыб в термоградиентных условиях: автореф. ... д-ра биол. наук: 03.02.06 / Голованов Владимир Константинович; ИПЭЭ РАН. – Москва, 2012. – 46 с.

31 Гончаров, С. М. Гидроакустические съёмки как средство мониторинга состояния запасов пелагических рыб на акваториях Черноморского бассейна / С.М. Гончаров // Техника для рыбохозяйственных исследований: сборник научных трудов. – М.: ВНИРО. – 2013. – Т. 150. С. 128–133.

32 Гончаров, С.М. Совершенствование гидроакустического метода для количественной оценки личинок и молоди рыб: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.17 / Гончаров Сергей Михайлович; ВНИРО. – Москва, 2007. – 24 с.

33 Дегтев, А.И. Автоматизированная система количественной оценки рыбных запасов гидроакустическим методом АСКОР-2 / А.И. Дегтев, Д.Э. Ивантер // Рыбное хозяйство. – 2002. – № 4. – С. 32–40.

34 Дегтев, А.И. Количественная оценка рыбных ресурсов с использованием гидроакустического комплекса «АСКОР-2» / А.И. Дегтев, А.Н. Сычев // Рыбное хозяйство. – 2002. – № 5. – С. 29–31.

35 Дегтев, А.И. Программно-техническая реализация гидроакустического метода количественной оценки плотности водных биомасс: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Дегтев Андрей Игоревич; ПетрГУ. – Петрозаводск, 2004. – 168 с.

36 Домрачев, П.Ф. К вопросу о классификации озер Северо-Западного края / П.Ф. Домрачев // Известия Российского гидрологического института. – 1922. – Вып №4. – №53. – С. 1–43.

37 Евдокимова, Е.Б. О возможном влиянии некоторых паразитов ряпушки (*Coregonus albula* L.) на численность ее популяции в озере Виштынецком Калининградской области / Е.Б. Евдокимова, С.К. Заостровцева, С.В. Шибяев // Известия КГТУ. – 2010. – №19. – С. 180–188.

38 Евдокимова, Е.Б. Паразитофауна ряпушки (*Coregonus Albula Linnaeus*,

1759) озера Виштынецкого в 2016 и 2018 годах / Е.Б. Евдокимова, С.Н. Архиповский, С.К. Заостровцева, Е.В. Авдеева // VII Балтийский морской форум (07–12 октября 2019 г., Калининград): материалы. – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2019. – С. 254–259.

39 Евдокимова, Е.Б. Паразитоценоз ряпушки (*Coregonus Albula L.*) озера Виштынецкого / Е.Б. Евдокимова, С.К. Заостровцева, Е.В. Авдеева, С.В. Шибяев, Е.А. Григоренко // Известия КГТУ. – 2018. – №50. – С. 48–56.

40 Зуссер, С.Г. Суточные вертикальные миграции морских планктоноядных рыб / С.Г. Зуссер. – М.: Пищевая пром-ть, 1971. – 224 с.

41 Ивантер, Э.В. Элементарная биометрия: учеб. пособие / Э.В. Ивантер, А.В. Коросов. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2005. – 104 с.

42 Ивлев, В.С. Эколого-физиологический анализ распределения рыб в градиентных условиях среды / В.С. Ивлев // Тр. совещ. Ихтиол. АН СССР / М., 1958. – Вып. 8. – С. 288–296.

43 Изучение экологических условий обитания, динамики численности ряпушки, сига и массовых промысловых рыб озера Виштынецкого: отчет о НИР / Калинингр. техн. ин-т рыб. пром-ти и хоз-ва; Руководитель В.И. Шкицкий; Деп. в ВНИЦентр, № 02870075305. – Калининград, 1987. – 46 с.

44 Информация об освоении выделенных квот [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://zbtu39.ru/informacziya-ob-osvoenii-vydelennyh-kvot/>.

45 Карлик, Я.С. Рыбопромысловая гидроакустика: учебно-методическое пособие / Я.С. Карлик, Ю.В. Марапулец. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2004. – 260 с.

46 Кауфман, Б.З. Преферентное поведение эктотермных позвоночных / Б.З. Кауфман. – Петрозаводск: Изд-во УОП Карельского филиала АН СССР, 1989. – 149 с.

47 Китаев, С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов / С.П. Китаев. – Петрозаводск: Изд-во Карельский науч. центр РАН, 2007. – 394 с.

48 Козлова, Н.И. Пелагические ихтиоценозы озера Байкал / Н.И. Козлова // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. – 2015. –

№ 17. – С. 31–34.

49 Кривопускова, Е.В. Влияние сезонных температурных изменений в озере Виштынецком (Калининградская область) на вертикальное распределение уловов Европейской ряпушки / Кривопускова Е.В., Соколов А.В. // Вестник молодежной науки. – 2018. – №1 (13). – С. 21–28.

50 Криксунов, Е.А. Пространственно-временная динамика рыб Псковского озера // Е.А. Криксунов, С. В. Чистов, П. В. Васильев, В.А. Бурменский, А.Е. Бобырев, М.М. Мельник // Журнал общей биологии. – 2020. – Т. 81. – № 1. – С. 1–18.

51 Кудрявцев, В.И. Гидроакустика рыбохозяйственная / В.И. Кудрявцев. – М.: Изд-во ВНИРО, 2018. – 460 с.

52 Кудрявцев, В.И. Промысловая гидроакустика и рыболокация / В.И. Кудрявцев. – М.: Изд-во «Пищевая промышленность», 1978. – 309 с.

53 Кузнецов, М. Ю. Гидроакустические методы и средства оценки запасов рыб и их промысла / М.Ю. Кузнецов // Известия ТИНРО: Часть 1. Гидроакустические средства и технологии их использования при проведении биоресурсных исследований ТИНРО-центра. – 2013. – № 172. – С. 20–51.

54 Кузнецов, М.Ю. Гидроакустические шумы промысловых и научно-исследовательских судов и их влияние на поведение и оценки запасов рыб (обзор и перспективы исследований) / М.Ю. Кузнецов, В.Н. Вологдин // Известия ТИНРО. – 2009. – Т. 157. С. 334–355.

55 Кузнецов, М.Ю. Дистанции реагирования различных видов рыб на гидроакустические шумы промысловых и научно-исследовательских судов и допустимые уровни шума / М.Ю. Кузнецов // Известия ТИНРО. – 2011. – Т. 164. – С. 157–176.

56 Лакин, Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.

57 Лапшин, О.М. Теория, методология и практика учетных рыболовных систем: дис. ...д-ра техн. наук: 05.18.17 / Лапшин Олег Михайлович; ВНИРО. – Москва, 2009. – 463 с.

58 Лобырев, Ф.С. Оценивание численности рыб на основе моделирования ра-

боты жаберных сетей: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.10 / Лобырев Федор Сергеевич; МГУ им. М.В. Ломоносова. – Москва, 2008. – 136 с.

59 Луц, Г.И. Некоторые закономерности колебаний численности пелагических рыб Азовского моря – тюльки, сельди и хамсы / Г.И. Луц, С.Ф. Рогов, Ю.В. Пряхин // Вопросы ихтиологии. – 1984. – Т. 24. - Вып. 1. – С. 3–10.

60 Малин, М.И. Проблема придонной гипоксии озера Плещеево и вертикальное распределение ряпушки в этот период / М.И. Малин, Э.С. Борисенко, Ю.В. Герасимов, А.И. Цветков // Особо охраняемые природные территории: состояние, проблемы и перспективы развития: материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Ярославль: Филигрань, 2018. – С. 124–128.

61 Малинин, Л.К. Суточные вертикальные и горизонтальные миграции рыб пресных водоемов / Л.К. Малинин, М.И. Базаров. 1987. – 89 с. – Деп. в ВИНТИ, 19.01.1987, № 372-В87.

62 Малинин, Л.К. Влияние температуры воды на диапазон суточных вертикальных миграций рыб / Малинин Л.К., Базаров М.И., Голованов В.К., Линник В.Д. // 2-ое Всероссийское совещание «Поведение рыб»: доклады. – Борок, 1996. – С. 103–118.

63 Мантейфель, Б.П. Вертикальные миграции морских организмов / Б.П. Мантейфель // Тр. Института морфологии животных. – 1961. – Вып. 39. – С. 5–46.

64 Мочек, А.Д. Дневное распределение рыб в реке, по данным подводных наблюдений / А.Д. Мочек, Д.С. Павлов, С.Н. Капустин // Вопросы ихтиологии. – 1981. – Т. 38. – № 1. – С. 177–178.

65 Мочек, А.Д. Этологическая организация прибрежных сообществ морских рыб / А.Д. Мочек. - М.: Изд-во «Наука», 1987. – 270 с.

66 Мухордова, Л.Л. Современное состояние и перспективы развития рыбного хозяйства на озере Виштынецком Калининградской области / Л.Л. Мухордова // Биология промысловых рыб внутренних водоемов Калининградской области: Труды КТИРПХ. – Калининград. – 1972. – Вып. 40. – С. 83–89.

67 Орленок, В.В. Виштынецкое озеро: природа, история, экология / В.В. Орленок, Г.М. Барина, П.П. Кучерявый, Г.Л. Ульяшев. – Калининград: Изд-во КГУ, 2001. – 212 с.

68 Павлов, Д.С. Особенности оптомоторных реакций рыб / Д.С. Павлов // Питание хищных рыб и их взаимодействие с кормовыми организмами. - М.: Наука, 1965. – С. 179–195.

69 Поддубный, А.Г. Связь между распределением рыб в пелагиали и рельефом дна открытых плесов Рыбинского водохранилища / А.Г. Поддубный, Л.К. Малинин, В.Г. Терещенко // Вопросы ихтиологии. – 1985. – Т. 25. – Вып. 6. – С. 933–941.

70 Правдин, И.Ф. Руководство по изучению рыб / И.Ф. Правдин. – М., 1966. – 375 с.

71 Приказ Министерства транспорта Российской Федерации №19 от 19 января 2018 года (ред. от 11.02.2019 г.) «Об утверждении правил плавания судов по внутренним водным путям» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 10.02.2020 г.).

72 Приказ Минсельхоза России от 06.11.2014 N 427 (ред. от 03.04.2019) "Об утверждении правил рыболовства для Западного рыбохозяйственного бассейна" [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 10.02.2020 г.).

73 Приказ ФСБ России от 07.08.2017 №454 (ред. от 19.06.2018) "Об утверждении Правил пограничного режима" [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 01.02.2020 г.).

74 Риккер, У.Е. Методы оценки и интерпретации биологических показателей популяций рыб / У.Е. Риккер. – М.: Пищевая пром-сть, 1979. – 408 с.

75 Руйгите, Ю.К. Морфо-экологическая характеристика и возможности промыслового использования густера (*Blicca Bjoerkna L.*) Вислинского залива Балтийского моря: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.10 / Руйгите Юлия Казимировна; ФГБОУ ВПО «КГТУ». – Калининград, 2009. – 231 с.

76 Семенченко, В.П. Факторы, определяющие суточное распределение и перемещения зоопланктона в литоральной зоне пресноводных озер (обзор) / В.П. Семенченко, В.И. Разлуцкий // Журнал Сиб. федерального ун-та. Биология. – 2009. – № 2 (2). – С. 191–225.

77 Структура ихтиоценоза и биологическое обоснование схемы рационального рыбного хозяйства озера Виштынецкого: отчет о НИР (заключительный) / рук. Работы В.И. Скорняков. – Калининград: [б. и.], 1990. – 60 с.

78 Тылик, К.В. Общая ихтиология: Учебник / К.В. Тылик. – Калининград: Изд-во ООО «Аксиос», 2015. – 394 с.

79 Тылик, К.В. Озеро Виштынецкое. Ихтиофауна / К.В. Тылик, С.В. Шibaев, А.В. Соколов, Э. Букельскис // Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы. Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. – С. 101–106.

80 Тылик, К.В. Рыбы озера Виштынецкого / К.В. Тылик, А.В. Соколов // Озеро Виштынецкое. – Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. – С. 72–85.

81 Тылик, К.В. Рыбы трансграничных водоемов России и Литвы / К.В. Тылик. – Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет», 2007. – 128 с.

82 Тылик, К.В. Ряпушка озера Виштынецкого / К.В. Тылик // Экологические и рыбохозяйственные аспекты изучения прибрежных зон морей и внутренних водоемов: сб. науч. тр. – Калининград: КГТУ, 2002. – С. 125–136.

83 Указание Росрыболовства от 23 августа 2013 г. № 4282-ВС/У02 «О выдаче заключений о возможности присвоения кодов ОСМ орудиям добычи водных биоресурсов» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fish.gov.ru/territorialnye-upravleniya/severomorskoe/19070-o-vydache-zaklyuchenij-o-vozmozhnosti-prisvoeniya-kodov-osm-orudiyam-dobychi-vodnykh-bioresursov> (дата обращения: 10.01.2020 г.).

84 Урик, Р. Дж. Основы гидроакустики / Р. Дж. Урик: пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1978. – 448 с.

85 Федеральный закон №166-ФЗ от 20 декабря 2004 года «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» [Электронный ресурс]. URL:

<http://www.consultant.ru> (дата обращения: 01.03.2020 г.).

86 Федеральный закон №72-ФЗ от 09.06.2003 года «О ратификации договора между Российской Федерацией и Литовской Республикой о российско-литовской государственной границе» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 01.02.2020 г.).

87 Чемагин, А.А. Особенности летнего распределения рыб в акватории Горнослинкинской зимовальной русловой ямы р. Иртыш / А.А. Чемагин // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2017. – № 40. С. 224–243.

88 Чемагин, А.А. Распределение рыб в системе хищник-жертва в акватории русловой ямы нижнего Иртыша / А.А. Чемагин // Вестник АГТУ: Серия: Рыбное хозяйство. – 2017. – №4. – С. 76–84.

89 Шестакова, Т.В. Исследование батиметрии и донных осадков озера Виштынецкого / Т.В. Шестакова // Вопросы географии. – Калининград, – 1970.

90 Шибаев, С.В. Метод анализа ихтиоценозов малых водоемов Калининградской области на основе контрольных обловов сетных орудий лова / С.В. Шибаев, А.В. Соколов // Труды ВНИРО. – 2014. – Т. 151. – С. 158 – 164.

91 Шибаев, С.В. Первые результаты оценки численности рыб методом гидроакустики в оз. Виштынецком Калининградской области / С.В. Шибаев, А.И. Дегтев, А.В. Алдушин, А.В. Соколов // Инновации в науке и образовании – 2007: V международная научная конференция (23–25 октября 2007 г.): труды. – Калининград: ФГОУ ВПО «КГТУ», 2007. – С. 97–98.

92 Шибаев, С.В. Промысловая ихтиология / С.В. Шибаев. – Калининград: ООО «Аксиос», 2014. – 535 с.

93 Шибаев, С.В. Пространственно-временная динамика ихтиоценоза пелагиали оз. Виштынецкого Калининградской области / С.В. Шибаев, А.В. Алдушин // Современное состояние биоресурсов внутренних водоемов: I Всероссийская конференция с международным участием (12–16 сентября 2011 г., Борок): материалы докладов. – М.: Акварос, 2011. – Т.2. – С. 852–859.

94 Шибаев, С.В. Рыболовство / С.В. Шибаев, А.В. Соколов // Озеро Виштынецкое. - Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. – С. 90–99.

95 Шибаев, С.В. Современное состояние популяции ряпушки (*Coregonus albula* L.) в озере Виштынецком Калининградской области / С.В. Шибаев, А.В. Соколов, А.В. Алдушин // Биология, биотехника разведения и состояние запасов сиговых рыб: Седьмое всероссийское научно-производственное совещание (15–19 февраля 2010 г.): материалы. – Тюмень, 2010. – С. 64–68.

96 Шибаев, С.В. Структура донного ихтиоценоза озера Виштынецкого Калининградской области / С.В. Шибаев, А.В. Соколов // Известия КГТУ. – 2014. – № 32. – С. 11–20.

97 Шибаев, С.В. Гидроакустические исследования популяции ряпушки озера Виштынецкого Калининградской области / С.В. Шибаев, А.В. Соколов, А.В. Алдушин, В.А. Шкицкий, М.Н. Шибаева // Рыбное хозяйство. – 2012. – №2. – С. 73–75.

98 Шибаев, С.В. К оптимизации промысла ряпушки (*Coregonus albula* L.) в озере Виштынецком Калининградской области в современных условиях / С.В. Шибаев, А.В. Соколов, А.В. Алдушин // Инновации в науке и образовании – 2009: VII международная научная конференция (20–22 октября 2009 г.): труды: в 2 ч. – Калининград: КГТУ, 2009. – Ч.1. – С. 49–50.

99 Шибаев, С.В. Озеро Виштынецкое. Промысловое использование запасов рыб / С.В. Шибаев, А.В. Соколов // Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы. - Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. – С.108 – 114.

100 Шибаев, С.В. Первые результаты экспериментального тралового лова в оз. Виштынецком Калининградской области / С.В. Шибаев, С.В. Левченко, А.В. Алдушин, О.А. Новожилов, А.В. Белых // Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2012: IX Международная научная конференция: материалы. – Калининград, ФГБОУ ВПО «КГТУ». – 2012. – С. 71–73.

101 Шибаев, С.В. Системный анализ в рыбохозяйственных исследованиях / С.В. Шибаев. – Калининград: КГТУ, 2004. – 315 с.

102 Шибаев, С.В. Современное состояние исследований морфологических особенностей озера Виштынецкого / С.В. Шибаев, Т.А. Берникова, А.В. Алдушин,

Д.М. Лях // Инновации в науке и образовании – 2008: VI юбилейная международная научная конференция, посвященная 50-летию пребывания КГТУ на Калининградской земле (21–23 октября 2008 года): труды. Калининград: ФГОУ ВПО «КГТУ», 2008. – Ч.1. – С. 156–158.

103 Шибаев, С.В. Структура и функции интегрированной региональной информационной системы контроля и управления водными биоресурсами / С.В.Шибаев, К.В. Тылик, В.М. Осадчий, Л.С. Федоров // VIII съезд ГБО РАН: тезисы докладов. - Калининград, 2001. – Т. 2. – С. 211.

104 Шибаев, С.В. Теоретические основы применения системного подхода в рыбохозяйственных исследованиях и информационном обеспечении управления водными биоресурсами внутренних водоемов: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.10 / Шибаев Сергей Вадимович; КГТУ. - Калининград, 2002. – 42 с.

105 Шибаева, М.Н. Зообентос / М.Н. Шибаева // Озеро Виштынецкое. - Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. – С. 50–54.

106 Шибаева, М.Н. Зоопланктон / М.Н. Шибаева // Озеро Виштынецкое. - Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. – С. 44–49.

107 Шибаева, М.Н. Озеро Виштынецкое. Зоопланктон и зообентос / М.Н. Шибаева // Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы. - Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. – С. 98–101.

108 Шитиков, В.К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.

109 Юданов, К.И. Руководство по проведению гидроакустических съемок / К.И. Юданов, И.Л. Калихман, В.Д. Теслер. – М.: Всесоюз. НИИ рыб. хоз-ва и океаногр., 1984. – 124 с.

110 Clark, C.W. Diel vertical migration by juvenile sockeye salmon and the anti-predation window / C.W. Clark, D.A. Diel // American Naturalist. – 1988. – Vol. 131. – P. 271–290.

111 Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers. User's

Guide [Электронный ресурс]. URL: <http://downloads.goldensoftware.com/-guides/Surfer15UsersGuidePreview.pdf> (дата обращения: 18.03.2019).

112 Foote, K.G. Energy in acoustic echoes from fish aggregations / K.G. Foote // Fish. Res. – 1. – 1981. – P. 129-140.

113 Indicators for sustainable development of marine capture fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. – No. 8. – Rome, FAO. – 1999. – 68 p.

114 Jacobsen, L. Predation risk from piscivorous fish influencing the diel use of macrophytes by planktivorous fish in experimental ponds / L. Jacobsen, M.R. Perrow // Ecology of Freshwater Fish. – 1998. – Vol. 7. – P. 78–86.

115 Love, R.H., Dorsal aspect of an individual fish / R.H. Love // The Journal of the Acoustical Society of America. – 1971. – Vol. 49. – P. 816–823.

116 Mehner, T. Prediction of hydroacoustic target strength of vendace (*Coregonus albula*) from concurrent trawl catches / T. Mehner // Fisheries Research. – 2006. – Vol. 79. – P. 162–169.

117 Midttun, L. Some results of abundance estimation studies with echo integrators / L. Midttun, O. Nakken // Rapp. P.-v. Reun. Cons. Perm. Int. Explor. Mer. – 1977. – Vol. 170. – P. 253-258.

118 Pauly, D. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks / D. Pauly // L. Cons. Int. Explor. Mer. – 1980. – Vol. 39. – P. 175-192.

119 Pettersson, L.B. Predator recognition and defence strategies in crucian carp, *Carassius carassius* / L.B. Pettersson, P.A. Nilsson, C. Brönmark // Oikos. – 2000. – Vol. 88. – P. 200–212.

120 Rivoirard, J. Geostatistics for estimating fish abundance / J. Rivoirard, J. Simmonds, K. Foote, P. Fernandes, N. Bez. – Great Britain: Blackwell Scientific Publications, 2000. – 216 p.

121 Shibaev, S.V. Current status of the lake Vistytis in Kaliningrad region / A.V. Sokolov, K.V. Tylik, T.A. Bernikova, M.N. Shibaeva, E.A. Masyutkina, N.N. Nagornova, A.V. Aldushin, S.K. Zaoostrovseva // Terrestrial and Inland Water Environment of the Kaliningrad Region / Environmental Studies in the Kaliningrad Region. – 2017. –

Part. 4. – Springer. – P. 441-480.

122 Simmonds, J. Fisheries Acoustics. Theory and Practice. Second Edition / J. Simmonds, D. MacLennan. – Oxford: Blackwell, 2005. – 437 p.

123 Thiem, J.D. Seasonal differences in the diel movements of Macquarie perch (*Macquaria australasica*) in an upland reservoir / J.D. Thiem, B.T. Broadhurst, M. Lintermans, B.C. Ebner, R.C. Clear, D. Wright // *Ecol Freshw Fish.* – 2013. – Vol. 22. – PP. 145–156.

124 Thorne, R.E. Investigations into the relation between integrated echo voltage and fish density / R.E. Thorne // *J. Fish. Res. Bd Can.* – 1971. – Vol. 28. – P. 1269-1273.