

УДК 574.51

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ВСТРЕЧАЕМОСТИ ДЛЯ АНАЛИЗА ИХТИОЦЕНОЗОВ НА ПРИМЕРЕ ИХТИОФАУНЫ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

© 2023 г. С. В. Шибает

Калининградский государственный технический университет, Советский просп., 1, Калининград, 236022 Россия

e-mail: shibaev@klgtu.ru

Поступила в редакцию 05.07.2023 г.

После доработки 01.08.2023 г.

Принята к публикации 06.08.2023 г.

Рассмотрена специфика использования показателя частоты встречаемости применительно к изучению видовой структуры рыбного сообщества. В отличие от гидробиологических исследований, лов рыбы производится различными по селективности орудиями (разноячейными сетями, мальковой волокушей с ячейей в мотне 5 мм, неводом закидным с ячейей в мотне 12 мм), что дает набор значений коэффициента встречаемости вида и обуславливает применение специального подхода к интерпретации результатов. В качестве объекта исследования использован прибрежный ихтиоценоз Балтийского моря в пределах Калининградской области. Отлов рыбы проводился в период 1990–2022 гг. на глубинах до 20 м с использованием набора ставных жаберных сетей с шагом ячейки от 12 до 80 мм. Всего обобщены данные по 894 обловам, в которых поймано 11.8 тыс. рыб. Показано, что частота встречаемости вида может быть представлена несколькими способами: 1) как средняя по уловам орудиями с разным набором ячеек, 2) как максимальная по уловам орудиями с “оптимальным” шагом ячейки, 3) как структурная характеристика, определяющая видовую организацию ихтиоценоза. В целом установлено, что в уловах, полученных при использовании набора ставных сетей, прибрежный ихтиоценоз представлен 29 видами рыб, среди которых по встречаемости доминируют камбала речная, салака, бычок-кругляк и корюшка. При этом в межгодовом аспекте показатель встречаемости имеет определенную устойчивость и характеризуется доверительным интервалом $\pm 10\text{--}20\%$. Учитывая, что показатель встречаемости достаточно просто определяется на основе только регистрации факта поимки вида, рекомендуется его использование в дополнение к традиционным показателям относительной численности и биомассы вида. Обязательное условие — использование для оценки комплекса разноячейных орудий лова.

Ключевые слова: рыбное сообщество, видовая структура, статистика, разноячейные жаберные сети

DOI: 10.31857/S0044513424010054, **EDN:** JJUBNO

Показатель частоты встречаемости (f_q), рассчитываемый как отношение количества наблюдений, в которых обнаружен тот или иной вид организма (N_{sp}), к общему количеству наблюдений (N), широко используется в гидробиологических исследованиях:

$$f_q = \frac{N_{sp}}{N},$$

В случае изучения зоопланктона или зообентоса под количеством наблюдений понимается число проб, взятых, например, с помощью сети Джили или дночерпателя Петерсена. Данные орудия лова дают тотальную пробу, в которой теоретически присутствуют все виды организмов. Вместе с тем показатель частоты встречаемости имеет универсальный

характер и может применяться в том числе и для анализа видовой структуры рыбного населения. Но здесь, в отличие от гидробиологических исследований, возникает методологическая проблема следующего характера. Лов рыбы производится с помощью сетных орудий лова, которые обладают высокой размерной и видовой селективностью. В том случае, когда используется отсеживающее орудие лова типа трала или невода, в улове будут представлены все виды, размеры которых больше некоторой величины и которые не могут пройти через ячейку. Эта минимальная длина обычно обозначается термином длина или возраст первой поимки (Бивертон, Холт, 1959; Шибает, 2014). Мелкие виды просто не будут присутствовать в улове, и их

встречаемость будет равна нулю. Таким образом, видовой состав населения, оцененный по частоте встречаемости видов в уловах отцеживающего орудия лова, будет неполным.

Еще более сложная картина складывается при использовании в исследованиях объячеивающих орудий типа ставных сетей. В сеть с определенным шагом ячеи улавливаются только рыбы нескольких размерных групп, которые могут объячеиваться, т.е. проходить в ячею дальше жаберных крышек, но не проходить в районе максимального обхвата тела перед первым спинным плавником. В результате оказывается, что исследователь получает для каждого вида целый массив значений частоты встречаемости в сетях с разным шагом ячеи. Встречаемость определяется как видом рыбы, так и ее размерами. Имея эти данные, исследователь задается вопросом — каким же образом можно характеризовать роль вида в ихтиоценозе.

Цель настоящей работы — анализ возможности применения показателя частоты встречаемости для характеристики структуры ихтиоценоза при использовании для отлова комплекса специальных разноячеиных орудий.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для настоящей работы послужили комплексные рыбохозяйственные исследования, проведенные Калининградским государственным техническим университетом в период 1990–2022 гг. в прибрежной части Балтийского моря. Контрольные обловы проводились в пределах Калининградской обл. на глубинах до 20 м, где не ведется промысловый и научный траловый лов и поэтому структура ихтиоценоза неизвестна. Использовались ставные жаберные сети с шагом ячеи от 12 до 80 мм. Уловы подвергались стандартной обработке с проведением массовых промеров и биологического анализа стратифицированной выборки. Оригинальная методика исследования ихтиоценозов с использованием комплекса разноячеиных сетей первоначально была разработана применительно к малым водоемам (Шибает, Соколов, 2014, 2014а; Shibaev et al., 2022), а затем адаптирована для морских исследований в прибрежной зоне. Использование пассивных орудий лова типа ставных сетей имеет определенные преимущества при изучении прибрежных ихтиоценозов. Это связано с тем, что в связи с высокой прозрачностью воды рыба, в особенности крупная, хорошо видит активные орудия лова и может их избегать. В результате неводы в прибрежной зоне могут рассматриваться лишь как вспомогательные орудия лова, которые дают характеристику относительно мелких рыб.

Всего было проведено 894 облова, в которых поймано 11,8 тыс. рыб. Математическая обработка большого объема первичного материала велась

с использованием авторской информационно-аналитической системы “Рыбвод” (Шибает, 2004; Шибает и др., 2009).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований, проведенных за более чем двадцатилетний период с использованием большого количества обловов, позволяют с достаточной степенью надежности характеризовать прибрежное рыбное сообщество на основании анализа частоты встречаемости. В целом в составе прибрежного ихтиоценоза Балтийского моря по данным уловов набора ставных разноячеиных сетей обнаружено 29 видов рыб, частота встречаемости которых колебалась в очень широких пределах — от десятых долей до 81% (табл. 1). Вероятность обнаружения в уловах тех или иных видов зависела как от их биологических особенностей, так и от индивидуальных размеров и морфометрических характеристик. В этой связи различные виды могли попадаться в сети с определенным шагом ячеи с большей или меньшей вероятностью. Так, мелкие виды — корюшка, бычки, песчанка, шпрот — улавливались сетями с ячеей 12–16, и здесь их частота встречаемости существенно выше; крупные виды — треска, кумжа, судак — встречаются преимущественно в крупноячеиных сетях с шагом ячеи более 50 мм и не улавливаются в орудия лова с мелкой ячеей. Таким образом, прибрежный ихтиоценоз характеризуется большим массивом первичных данных по частоте встречаемости разных видов (табл. 1), которые достаточно сложно анализировать. Возникает необходимость выделить некоторые критерии, которые бы однозначно характеризовали роль каждого вида в формировании рыбного сообщества.

Для этого могут быть использованы два показателя:

$f_{q_{avg}}$ — средняя частота встречаемости данного вида, рассчитанная с учетом встречаемости при применении всего набора сетей (с разным размером ячеи);

$f_{q_{max}}$ — максимальная частота встречаемости данного вида в сети с шагом ячеи, наиболее соответствующим размерной структуре группировки, приуроченной к прибрежной зоне. Этот шаг ячеи можно назвать “оптимальным”, т.к. он в наибольшей степени обеспечивает попадание данного вида в улов.

Предложенные частоты встречаемости (табл. 2) позволяют сделать выводы о роли отдельных видов в формировании ихтиоценоза. Наиболее важным, постоянно присутствующим элементом сообщества является речная камбала, средняя встречаемость которой составляет 48,69%, а максимальная, характерная для шага ячеи, равного 35 мм, равна 81,6%. Салака и бычок-кругляк занимают второе и третье места в формировании сообщества — средняя их встречаемость 20–30%,

Таблица 1. Частота встречаемости (%) различных видов рыб в прибрежной зоне Балтийского моря в ставных жаберных сетях

№	Вид	Шаг ячей, мм															
		12	14	16	18	20	22	24	26	30	35	40	45	50	60	70	80
1	Камбала речная (<i>Platichthys flesus trachurus</i> (Duncker))	27.9	23.4	41.2	36.7	39.6	44.7	42.9	22.0	48.3	81.4	43.2	59.7	62.7	70.8	67.9	72.7
2	Сельдь балтийская (салака) (<i>Clupea harengus membras</i> (L.))	25.6	36.2	52.9	65.3	45.8	38.3	39.3	29.3	24.1	32.2	13.6	17.7	8.4	12.5	14.3	9.1
3	Бычок-кругляк (<i>Neogobius melanostomus</i> (Pallas))	25.6	36.2	29.4	34.7	52.1	42.6	32.1	22.0	22.4	13.6	4.5	1.6	1.2			
4	Корюшка европейская (<i>Osmerus eperlanus eperlanus</i> (L.))	32.6	25.5	23.5	16.3	25.0	8.5	14.3	17.1	15.5	16.9	11.4	6.5	3.6			
5	Окунь пресноводный (<i>Perca fluviatilis</i> (L.))			3.9	8.2	14.6	27.7	19.6	17.1	15.5	18.6	9.1	11.3	7.2	8.3		
6	Треска (<i>Gadus morhua calarias</i> (L.))			3.9		4.2	4.3	7.1	2.4	13.8	13.6	15.9	12.9	20.5	37.5	17.9	4.5
7	Камбала-тюрьба (<i>Scophthalmus maximus</i> (L.))		2.1			2.1	4.3	1.8	9.8	8.6	13.6	4.5	6.5	18.1	45.8	17.9	13.6
8	Судак (<i>Stizostedion lucioperca</i> (L.))	4.7		3.9	6.1	2.1	10.6	16.1	2.4	1.7	11.9		8.1	7.2	16.7	3.6	
9	Рыбец (<i>Vimba vimba vimba</i> (L.))				2.0	2.1	2.1	3.6	2.4	10.3	16.9	4.5	11.3	4.8	4.2		4.5
10	Финта атлантическая (<i>Alosa fallax fallax</i> (Lacépède))	2.3			2.0		6.4	12.5	7.3	6.9	3.4		4.8			3.6	
11	Шпрот (<i>Sprattus sprattus balticus</i> (Schneider))	20.9	4.3	2.0	8.2	4.2		1.8			1.7						
12	Кумжа (<i>Salmo trutta trutta</i> (L.))				6.1		6.4	1.8		1.7	3.4			4.8	16.7	21.4	
13	Скумбрия атлантическая (<i>Scomber scombrus</i> (L.))													1.2		3.6	9.1
14	Песчанка балтийская (<i>Ammodytes tobianus</i> (L.))	7.0	2.1	3.9		2.1	2.1	5.4	2.4								
15	Плотва (<i>Rutilus rutilus</i> (L.))					2.1	4.3		2.4		1.7		1.6	2.4	4.2	3.6	
16	Лещ (<i>Abramis brama</i> (L.))											2.3	1.6	1.2	8.3	10.7	
17	Бельдюга (<i>Zoarces viviparus</i> (L.))			3.9							1.7						
18	Керчак (<i>Triglopsis scorpius</i> (L.))						3.6				1.7				4.2		
19	Сиг (<i>Coregonus lavaretus lavaretus</i> (L.))	4.7	2.1												12.5		
20	Лосось атлантический (семга) (<i>Salmo salar</i> (L.))												1.6		4.2	3.6	
21	Карась серебряный (<i>Carassius auratus gibelio</i> (Bloch.))										1.7			1.2			
22	Угорь речной европейский (<i>Anguilla anguilla</i> (L.))				2.0					1.7							
23	Густера (<i>Blicca bjoerkna</i> (L.))														8.3		
24	Пинагор (<i>Cyclopterus lumpus</i> (L.))										1.7						
25	Елец (<i>Leuciscus leuciscus</i> (L.))										1.7						
26	Осетр остроносый (<i>Acipenser oxyrinchus</i>)																
27	Язь (<i>Leuciscus idus</i> (L.))											2.3				3.6	
28	Щука (<i>Esox lucius</i> (L.))														4.2		
29	Сарган европейский (<i>Belone belone</i> (L.))		2.1														

Таблица 2. Средние и максимальные значения частоты встречаемости видов рыб, интегрированные по всем сетям с шагом ячеей 12–80 мм

№	Вид	Встречаемость, %		Оптимальный шаг ячеей, мм
		средняя $f q_{\text{avg}}$	максимальная $f q_{\text{max}}$	
1	Камбала речная	48.69	81.36	35
2	Сельдь балтийская (салака)	29.79	65.31	18
3	Бычок-кругляк	20.60	52.08	20
4	Корюшка европейская	14.17	32.56	12
5	Окунь пресноводный	10.89	27.66	22
6	Треска	9.71	37.50	60
7	Камбала-тюрьбо	8.14	45.83	60
8	Судак	6.17	16.67	60
9	Рыбец	4.86	16.95	35
10	Финта атлантическая	3.28	12.50	24
11	Шпрот	2.62	20.93	12
12	Кумжа	2.23	21.43	70
13	Скумбрия атлантическая	1.57	9.09	80
14	Песчанка балтийская	1.57	6.98	12
15	Плотва	1.31	4.26	22
16	Лещ	1.05	10.71	70
17	Бельдюга	0.79	4.65	12
18	Керчак	0.52	4.17	60
19	Сиг	0.39	12.50	60
20	Лосось атлантический (семга)	0.39	4.17	60
21	Карась серебряный	0.26	1.69	35
22	Угорь речной европейский	0.26	2.04	18
23	Густера	0.26	8.33	60
24	Пинагор	0.13	1.69	35
25	Елец	0.13	1.69	35
26	Осетр остроносый	0.13	2.27	40
27	Язь	0.13	3.57	70
28	Щука	0.13	4.17	60
29	Сарган европейский	0.13	2.13	14

а максимальная — 50–65%, причем для этих видов оптимальный размер ячеей 18–20 мм.

При этом большое количество видов (14) имеют частоту встречаемости менее 1%. Вероятно, это связано либо с мозаичностью прибрежных биотопов, либо с временной динамикой структуры ихтиоценоза, т.к. в расчетах использованы данные по уловам, проведенным в течение всего года.

Согласно результатам регрессионного анализа, между показателями средней и максимальной встречаемости существует достаточно тесная связь с высоким коэффициентом линейной корреляции $R = 0.935$, что позволяет использовать как первый, так и второй показатели (рис. 1).

Для определения устойчивости показателей встречаемости можно оценить статистические характеристики средней встречаемости в межгодовом аспекте, например рассчитать доверительный интервал. Как оказалось (рис. 2), за достаточно большой период наблюдения для большинства видов рыб доверительный интервал частоты встречаемости составлял $\pm 10\text{--}20\%$. Лишь для редких видов он был существенно выше. Например, для кумжи межгодовые колебания встречаемости в уловах в прибрежной зоне достигали $\pm 30\%$. Очевидно, что это связано с характером миграций данного вида. Кумжа совершает определенные перемещения в открытом море в течение года и лишь в нерестовый период подходит к устьям рек. В результате

встречаемость вида кратковременно повышается в уловах в прибрежной зоне.

Показатель частоты встречаемости позволяет получить характеристику присутствия в ихтиоценозе не только какого-либо вида, но и проанализировать структуру рыбного сообщества с точки зрения роли отдельных видов в его формировании. С этой целью введем показатель “относительная встречаемость”.

Под относительной частотой встречаемости будем понимать долю (или процент) встречаемости какого-либо вида от суммарной встречаемости всех видов:

$$pfq_i = \frac{fq_i}{\sum_{i=1}^n fq_i}, \quad (2)$$

где i — номер вида, n — количество видов.

По определению, частота встречаемости вида может изменяться в пределах от нуля до 100%. Поэтому расчет по уравнению (2) позволяет нормализовать значение таким образом, что сумма встречаемости всех видов будет равна 100%.

Возможны два варианта анализа относительной встречаемости.

1. С целью характеристики ихтиоценоза в целом можно представить его структуру графически в виде круговой диаграммы (рис. 3). Такой подход позволяет констатировать, что основу прибрежного ихтиоценоза по встречаемости составляют камбала речная, салака и бычок-кругляк. Менее часто в уловах регистрируются окунь, треска, камбала-тюрьбо, судак, финта, частота встречаемости которых составляет 1–10%.

2. Использование показателя частоты встречаемости видов для каждого шага ячеи позволяет

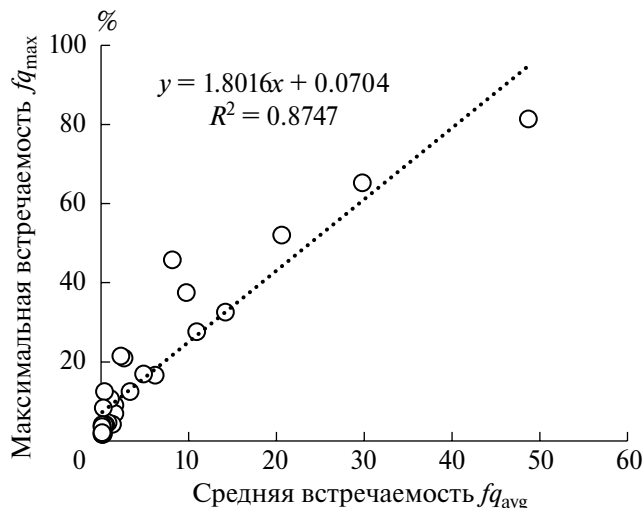


Рис. 1. Максимальная (по вертикальной оси) и средняя частота (по горизонтальной оси) встречаемости, %.

получить размерно-видовую характеристику ихтиоценоза (рис. 4), которая еще в большей степени может характеризовать ее организацию. Как видно из рис. 4, камбала по встречаемости формирует около 20–30% сообщества, причем в зоне выборки особей больших размеров значение этого вида возрастает. И наоборот, салака, бычок-кругляк и корюшка формируют мелкоразмерную часть ихтиоценоза, обеспечивая до 60% встречаемости. Прочие виды составляют оставшиеся 20%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показатель частоты встречаемости является достаточно простым, т.к. оценивается только по факту

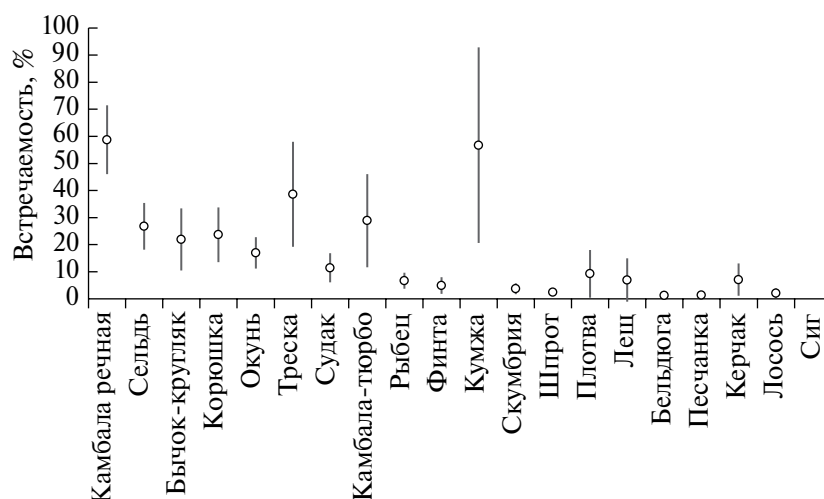


Рис. 2. Межгодовая вариабельность средней частоты встречаемости.

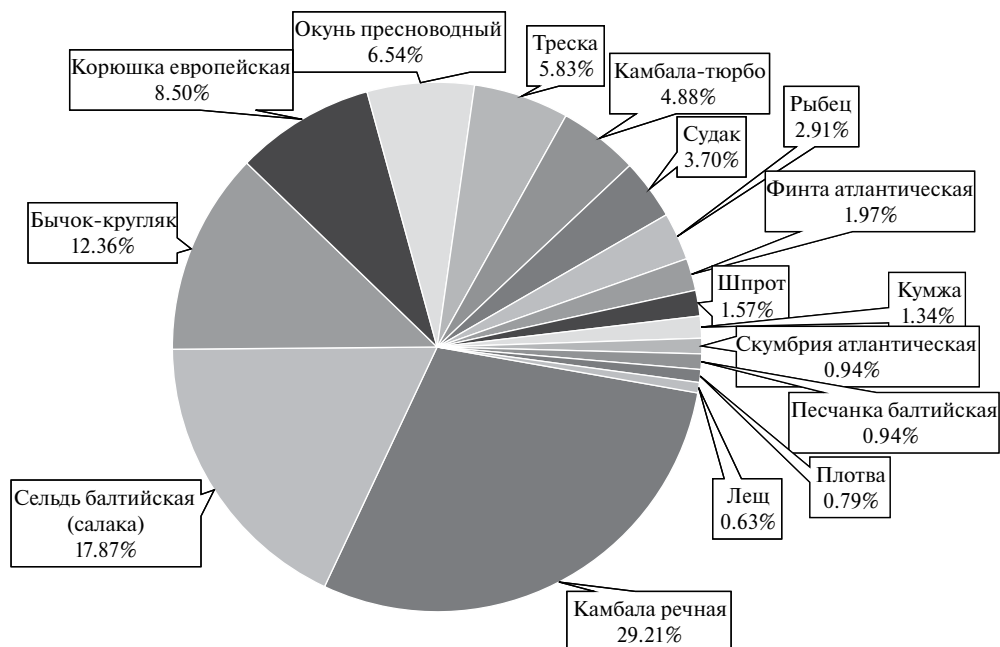


Рис. 3. Структура ихтиоценоза прибрежной зоны Балтийского моря по средней частоте встречаемости.

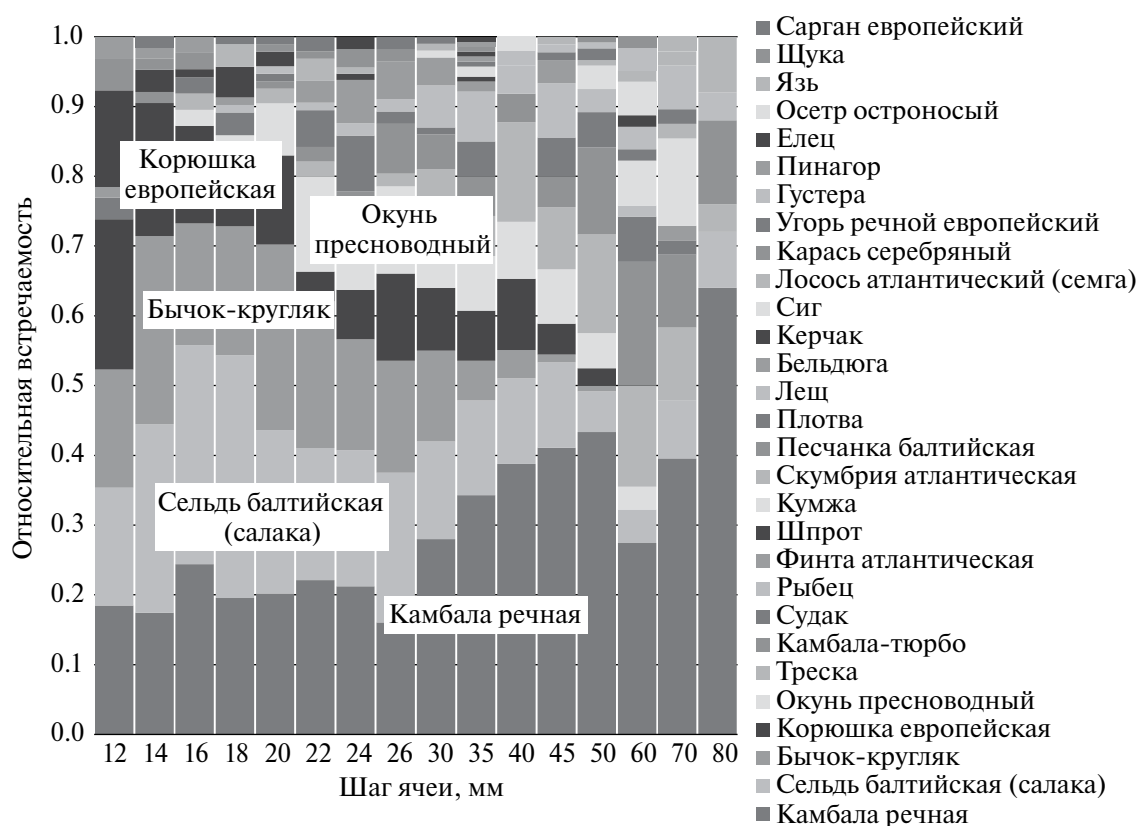


Рис. 4. Размерно-видовая структура прибрежного ихтиоценоза Балтийского моря, рассчитанная по частоте встречаемости видов в уловах сетей с различным шагом ячеи.

регистрации вида в улове. В случае исследования ихтиоценозов роль того или иного вида рыб может быть оценена по частоте его встречаемости: как средней величиной этого показателя при лове комплексом орудий с разным размером ячей, так и его максимальной величиной при лове орудиями с оптимальным шагом ячеи. При этом использование ограниченного набора ячей не является приемлемым, т.к. сетные орудия лова обладают высокой видовой и размерной селективностью и определенные виды или размерные группы не будут представлены.

Интеграция показателя встречаемости видов позволяет получить некоторую характеристику видовой структуры рыбного населения, а с учетом селективных свойств орудий – размерно-видовую структуру.

Таким образом, частота встречаемости может рассматриваться как самостоятельная характеристика ихтиофауны вместе с традиционным описанием структуры рыбного населения (соотношение показателей численности или ихтиомассы различных видов). Обязательное условие – использование для оценки комплекса разноячейных орудий лова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бивертон Р., Холт С., 1959. Динамика численности промысловых рыб. М.: Пищевая промышленность. 248 с.
- Шибает С.В., 2004. Системный анализ в рыбохозяйственных исследованиях. Калининград: Изд-во КГТУ. 311 с.
- Шибает С.В., 2014. Промысловая ихтиология. Издание второе. Калининград: ООО “Аксиос”. 535 с.
- Шибает С.В., Алдушин А.В., Чиклиненков В.С., Осадчий В.М., 2009. Концепция информационного обеспечения управления водными биоресурсами внутренних водоемов и прибрежных морей и ее реализация на примере Калининградской области // Рыбное хозяйство. № 3. С. 42–45.
- Шибает С.В., Соколов А.В., 2014. Метод анализа ихтиоценозов малых озер Калининградской области на основе контрольных обловов сетных орудий лова // Труды ВНИРО. Т. 151. С. 158–164.
- Шибает С.В., Соколов А.В., 2014а. Структура донного ихтиоценоза озера Виштынецкого Калининградской области // Известия КГТУ. Вып. 32. С. 11–20.
- Shibaev S., Novozhilov O., Baranovsky P., 2022. Using the Gill Nets Survey for Assessment of Fish Stock and Allowable Catch in the Vistytis Lake, Kaliningrad Oblast, Russia // In: Arkhipov A.G. (eds). Sustainable Fisheries and Aquaculture: Challenges and Prospects for the Blue Bioeconomy. Environmental Science and Engineering. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-08284-9_20

METHODOLOGICAL ASPECTS OF USING THE FREQUENCY OF OCCURRENCE INDICATOR FOR AN ANALYSIS OF ICHTHYOCENOSES, THE ICHTHYOFAUNA OF THE BALTIC SEA COASTAL ZONE TAKEN AS AN EXAMPLE

S. V. Shibaev

*Kaliningrad State Technical University, Sovietsky ave., 1, Kaliningrad, 236022 Russia
e-mail: shibaev@klgtu.ru*

The specificity of utilizing the frequency of occurrence indicator in relation to the study of the species structure of a fish community is considered. The coastal ichthyocenosis of the Baltic Sea within the Kaliningrad Region was used as a study object. Fishing was carried out at up to 20 m depths using a set of collection of gillnets with a mesh size of 12 to 80 mm in the period 2006–2022. In total, data on 894 catches were summarized, in which 11.8 thousand fish were caught. It is shown that the frequency of occurrence of a species can be presented in several ways: (1) as the average for the catches of the entire set of mesh, (2) as the maximum for the mesh size optimal for a given species, (3) as a structural characteristic that determines the nature of an ichthyocenosis' species organization. In general, in the catches of a collection of gill nets the coastal ichthyocenosis was found to be represented by 29 species of fish, among which the river flounder, Baltic herring, round goby and smelt dominate in terms of occurrence. In the interannual aspect, the occurrence rate is demonstrated to show certain stability and is characterized by a confidence interval ranging within ± 10 –20%. Taking into account that the indicator of occurrence is quite simply determined just through the capture record of a species, it is recommended to use it in addition to the traditional indicators of the relative abundance and biomass of the species. Using multi-cell fishing gear for the assessment of the structure of a fish community is prerequisite.

Keywords: fish community, species structure, statistics, gillnets