

УДК 639.21.053.7

ЗАВИСИМОСТЬ ИХТИОМАССЫ ОЗЕР БЕЛАРУСИ ОТ НЕКОТОРЫХ БИОЛИМНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

*Костоусов В.Г. – кандидат биологических наук, доцент
РУП «Институт рыбного хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь,
belniirh@tut.by*

На примере озер Беларуси проанализирована зависимость ихтиомассы от ряда биолимнологических факторов. Наибольшие коэффициенты аппроксимации установлены для пар со средней глубиной и прозрачностью воды, а также с биомассой фито- и зоопланктона. Предложена регрессионная линейная многофакторная модель зависимости.

Ключевые слова: озеро, рыбопродуктивность, ихтиомасса, биолимнологические факторы, зависимость, модель.

Постановка проблемы. Рыбопродуктивность, как свойство водных экосистем продуцировать ихтиомассу, является важнейшим показателем их рыбохозяйственной значимости. Под естественной рыбопродуктивностью принято подразумевать прирост ихтиомассы всех рыб с единицы площади водоема, получаемый за счет естественной кормовой базы за один вегетационный сезон. Промысловой рыбопродуктивностью, в этом случае, будет являться фрагмент естественной рыбопродуктивности, формируемой половозрелой частью популяций рыб и участвующей в промысле. Естественная рыбопродуктивность водоема зависит от его физико-химических особенностей, наличия кормовых ресурсов, условий роста, развития и размножения рыб, состава и структуры ихтиоценозов. Исходя из совокупности этих факторов, естественные водоемы могут иметь разные уровни естественной рыбопродуктивности, которую принято выражать в единицах ихтиомассы на единицу площади (кг/га или ц/га). Для рыб под биологической продукцией обычно понимают прирост ихтиомассы, тогда как под продуктивностью – прирост за единицу времени (г/экз. в сутки, кг/экз. в год). Таким образом, ихтиомасса служит важнейшим фактором, определяющим рыбопродуктивность.

Проблемы формирования ихтиомассы и рыбопродуктивности остаются одними из наиболее актуальных при определении рыбохозяйственного использования естественных водных объектов. Применительно территории Беларуси определенные попытки обоснования механизмов формирования рыбопродуктивности озер предпринимались в рамках разработки планов рыбохозяйственной

эксплуатации отдельных озер, озерных групп и территорий [29], проведения рыбохозяйственной классификации [16-19], изучения встречаемости рыб [16, 17], разработки режимов рыболовства [20, 34]. При этом следует отметить, что цельного взгляда с анализом факторов не было выработано. Разработаны модели формирования рыбопродуктивности рыбоводных прудов [30], но для условий естественного водоема с множеством побочных факторов они не работают.

В этой связи, определение закономерностей и механизмов формирования ихтиомассы в зависимости от ряда абиотических и биотических факторов имеет как теоретическое, так и практическое значение. Конечной целью гидроэкологических, в том числе и ихтиологических работ на внутренних водоемах является обеспечение возможности оптимального управления природными ресурсами этих водных объектов, под которым понимается активное вмешательство человека в сложившийся режим водоема как целостной системы (например, рыболовство или рыборазведение). В такой интерпретации рассматриваемая проблема сводится к задаче оптимального управления сложной системой [5-6]. Таким образом, управление запасами рыб, в конечном счете, сводится к управлению их продуктивностью [3].

Эффективное решение этой задачи возможно через построение модели объекта регулирования, достаточно точно отражающей функционирование экологической системы водоема [7-9]. В связи с этим, разработка математических моделей является одним из путей, позволяющих на основании собранных лимнологических и биоэкологических данных, выявить определяющее влияние тех или иных факторов на рыбопродуктивность водоемов.

Целью настоящих исследований служила оценка закономерностей и механизмов формирования ихтиомассы озер Беларуси в зависимости от ряда абиотических и биотических факторов, как эколого-морфологических, так и биолого-продукционных, разработка математической модели взаимосвязи параметров среды и биопродукционных показателей водоемов в целях оптимизации их рыбохозяйственного использования.

Анализ последних исследований и публикаций. Как известно, любая модель – это абстрактное представление реальных процессов, приближение ее к реальности, но не точная копия. Изучая процессы формирования рыбопродуктивности путем многомерного моделирования, можно исключить побочные и второстепенные факторы, влияющие на конечный результат.

К настоящему времени в Беларуси предпринимались определенные попытки по созданию моделей биологического продуцирования применительно к водным экосистемам [7, 9, 31-33]. На

основе аналогового моделирования и статистических зависимостей продуцирования были предложены модели биотического баланса некоторых озер Нарочанской группы [7, 33], позволяющие произвести расчеты биомассы и продукции различных трофических уровней экосистем озер, включая рыб.

В большей степени продвинулись подобные работы применительно к рыбоводным прудам, если рассматривать пруд как упрощенную озерную систему с общей направленностью продукционных процессов [13-15]. Опыт моделирования рыбопродуктивности прудов представляет определенный интерес, однако, применение готовых моделей «прудовой» направленности для условий естественного водоема с множеством дополнительных факторов не дает необходимого результата и требует определенной корректировки.

Принято считать, что основным фактором, определяющим получение конечной продукции рыб в водных экосистемах (ихтиомассы), является биомасса создаваемой продуцентами первичной продукции (фитопланктон, частично бактериопланктон и макрофиты) и консументов – промежуточных звеньев (зоопланктон, зообентос) [4-6]. С другой стороны установлена связь ихтиомассы и заполненности экологических ниш (объема ихтиоценоза) [11, 16, 18]. Оба фактора, в свою очередь, в значительной степени определяют трофический статус водоема и выступают факторами, определяющими биотический фон формирования рыбопродуктивности.

Влияние биотических параметров на ихтиомассу неоднозначно и зависит как от самого водоема, так и от природно-климатической зоны его расположения. Обычно число видов зоопланктона, зообентоса и рыб с увеличением площади увеличивается [2, 10, 11, 16, 25, 26, 39, 45]. В тоже время, по результатам ведения рыболовства на озерах Карелии и Беларуси установлено, что с уменьшением площади в среднем увеличивается улов рыбы на единицу площади [21, 36, 45]. Сходные результаты получены по озерам Прибалтики и Северной Америки [11, 27, 35, 38, 40, 46].

Поскольку наличие связи «корм – рыба» не вызывает сомнения, поиск взаимозависимостей отдельных и суммарных компонентов кормовой базы и рыбопродуктивности проводили неоднократно. Достаточно хорошо изучены взаимосвязи первичной продукции и рыбопродуктивности [4-6]. Вместе с тем, не установлено достоверной связи ихтиомассы от биомассы бентоса, наблюдается только общая тенденция увеличения средней ихтиомассы с увеличением этих показателей [41]. Так, А.Ф. Алимов [1] установил, что биомасса бентоса находится в обратной зависимости от ихтиомассы и приводит уравнение связи между этими показателями.

Сопоставление ихтиомассы 8 озер с биомассой зоопланктона показывает, что также имеется лишь общая тенденция роста ихтиомассы с увеличением летней биомассы планктона, при этом средние показатели ихтиомассы иногда увеличиваются, а иногда уменьшаются [41].

Сопоставление средней биомассы фитопланктона с ихтиомассой разных природных зон показывает, что наибольшие относительные величины свойственны водоемам севера, наименьшие – зоне смешанных лесов. Ихтиомасса под 1 м² составляет от 22 до 76% биомассы фитопланктона, при этом наименьшие значения отмечены для озер зоны смешанных лесов. В среднем годовая продукция рыб в озерах разных природных зон составляет от 8,7 до 20,3 % средней биомассы фитопланктона [4-6, 11].

Фитопланктон является первым звеном (первичным продуцентом), определяющим величины биологической продуктивности водоемов и биомассы развития последующих звеньев (консументов первого порядка) – зоопланктона и зообентоса. Потреблением фитопланктона аборигенными рыбами можно пренебречь, поскольку в аборигенной ихтиофауне озер Беларуси отсутствуют специализированные фитопланктофаги. Основу ихтиомассы сообществ рыб составляют бентофаги, численность специализированных зоопланктофагов и хищников на порядок ниже. Но поскольку зоопланктон служит основой питания преобладающей части молоди туводных рыб (до перехода на пищевую специализацию), можно сказать, что продукция зоопланктона достаточно полно задействована в формировании общей рыбопродуктивности. Соответственно между количественным развитием сообществ беспозвоночных и ихтиопродукцией вполне реально может существовать определенная зависимость. Шведский исследователь G.Alm [цит. по 12] предложил F/B -коэффициент как отношение вылова рыбы (F) в озере к биомассе бентоса (B). Это отношение для шведских озер изменялось в пределах 1:0,8–1:32. Если величина F/B -коэффициента близка к единице или меньше единицы, то можно судить о высокой интенсивности промысла, а часть рыбной продукции создается за счет планктона. Когда величина F/B -коэффициента 1:1–1:3, то можно судить о высокой интенсивности, значение F/B -коэффициента в диапазоне 1:20–1:30 свидетельствует о низкой интенсивности вылова рыбы.

По имеющимся литературным источникам С.П. Китаевым [12] рассмотрены уравнения парной и множественной регрессии ихтиомассы с лимнологическими (абиотическим и биотическими) показателями, полученные для различных водных объектов, которые могут служить основой для моделирования процессов формирования рыбопродуктивности в рамках выполняемого задания. Парные

зависимости ихтиомассы и некоторых лимнологических признаков установлены для пар: ихтиомасса – площадь озера [41, 42]; ихтиомасса – средняя глубина [41, 42]; ихтиомасса – содержание фосфора в воде [41]; ихтиомасса – величина pH [11]; ихтиомасса – общая минерализация [42]; ихтиомасса – морфоэдафический коэффициент [43, 44]; ихтиомасса – первичная продукция [28]; ихтиомасса – биомасса бентоса [41]. Множественные для пар: ихтиомасса – площадь и другие показатели [42]; ихтиомасса – средняя глубина и другие показатели [41]; ихтиомасса – минерализация и другие показатели [42]. Автор приходит к выводу о необходимости зонального подхода к определению ихтиомассы и возможной рыбопродукции [12].

Постановка задания и методика исследований. Для установления закономерностей и механизмов формирования ихтиомассы озер Беларуси, разработки математической модели формирования биопродукционного потенциала озерных гидроэкосистем, были использованы многолетние материалы по морфометрическим характеристикам, гидрохимическим и гидробиологическим показателям, по составу ихтиофауны и величине среднегодовых уловов. Так, проанализированы собранные за последний период данные по 276 озерам, территориально относимым к зонам Белорусского Поозерья (252 озера), центральной части (10 озер) и Белорусского Полесья (14 озер), по которым были установлены состав наличной ихтиофауны и величины ихтиомассы.

Площадь анализируемых водоемов колеблется от 1 до 7962 га, максимальная глубина варьирует от 1,0 м до 43,3 м, состав ихтиофауны насчитывает от 2 до 25 видов, ихтиомасса – от 2,6 до 211,9 кг/га. Озера были разделены по площади на 4 категории – малые (до 50 га), небольшие (от 51 до 100 га), средние (от 101 до 500 га) и относительно большие (более 500 га); по глубине – на мелководные (до 5 м), неглубокие (5-15 м), среднеглубокие (15-25 м) и глубоководные (более 25 м). По генетическому типу озера разделены на четыре группы, с тремя подгруппами для эвтрофных разной площади и глубины и двумя подгруппами дистрофных водоемов [37].

Выделение озер по отношению к рыбохозяйственной классификации было проведено в соответствии с системой, принятой в Беларуси [19, 20]. Рассматриваемые признаки и величины ихтиомассы были сформированы в блоки данных, где в качестве критериев взаимосвязей с ихтиомассой выбраны следующие показатели:

- морфометрические (площадь, максимальная и средняя глубина, генетический тип);
- биопродукционные (биомасса фитопланктона, зоопланктона и зообентоса, комплексный показатель кормности);

- гидрохимические (общая минерализация воды, прозрачность, pH , содержание отдельных биогенных веществ);
- промыслово-ихтиологические (объем ихтиоценоза, отношение по рыбохозяйственной классификации).

Собранные материалы были систематизированы в виде табличных баз данных и подвергнуты корреляционному, дисперсионному и регрессионному анализам [24].

Результаты исследований. Исходные фактические данные по ихтиомассе изучаемой группы озер для проведения математического анализа отражены в таблице.

При проведении предварительного анализа были выявлены пары признаков, проявляющих достоверную корреляционную зависимость с показателями ихтиомассы. Корреляционный анализ существенно большего блока данных по анализируемым водоемам показал наличие разностепенных зависимостей по отдельным парам признаков:

- достаточно высоких для объема ихтиоценоза и площади, генетического типа и группы по рыбохозяйственной классификации ($r = 0,6 - 0,7$), ихтиомассы и прозрачности воды, средней глубины, биомассы планктонных сообществ ($r = 0,6 - 0,84$);
- меньше значение для зависимости ихтиомассы от объема ихтиоценоза, показателя кормности (зоопланктон + зообентос), площади ($r = 0,44 - 0,54$);
- незначительную зависимость ихтиомассы от максимальной глубины, биомассы бентоса, гидрохимических показателей ($r = 0,13 - 0,23$).

Все значения были приведены к уровню значимости $p < 0,05$.

Проведенный дисперсионный анализ баз данных позволил установить корреляционные, регрессионные парные и множественные зависимости, на их основе определить пары признаков с максимальными коэффициентами корреляции и аппроксимации (рис. 1–13).

Первоначальный парный регрессионный анализ, проведенный по скомпонованным базам не преобразованных данных, показал наличие зависимостей трех типов: степенной $y = a x^b$, логарифмической $y = a \lg x + b$ и сложной квадратической $y = (-a) x^2 + bx + c$.

Зависимость ихтиомассы от комплекса абиотических и биотических факторов имела положительную корреляцию с разной степенью напряженности. Поскольку степень взаимосвязи между прямыми значениями ихтиомассы и анализируемыми показателями не носит четкого характера, для дальнейшего построения регрессионных зависимостей по отобранным парам, данные были приведены к единым объемным показателям, а в целях снижения дисперсии и приведения к линейному виду, прологарифмированы. В качестве переменных

использованы показатели, имеющие статистически значимую корреляцию с общим или промысловым запасом ихтиоценоза.

Таблица. Показатели ихтиомассы озер по группам рассматриваемых факторов

Фактор, величины градации	Объем выборки, озер	Ихтиомасса, кг/га			
		Среднее	Минимум	Максимум	Статистическая ошибка средней
1	2	3	4	5	6
Площадь зеркала, га					
менее 50	119	75,7	2,6	154,0	+/-2,83
50-100	50	92,7	43,6	164,0	+/-3,90
100-500	67	103,6	40,7	211,9	+/-3,44
более 500	34	104,3	57,2	163,0	+/-4,17
Максимальная глубина, м					
менее 5	106	81,1	2,6	152,8	+/-3,07
5-15	108	98,6	23,4	211,9	+/-2,85
15-25	35	92,2	28,5	154,0	+/-4,54
более 25	21	78,8	32,4	163,0	+/-7,41
Средняя глубина, м					
менее 3	110	88,2	2,6	154,0	+/-2,79
3-5	112	99,0	23,4	211,9	+/-2,77
5-10	35	91,2	28,5	154,0	+/-4,51
более 10	10	71,8	43,0	120,0	+/-8,84
Величина pH, ед.					
менее 7	12	73,9	21,4	121,0	+/-9,82
7-7,5	32	94,7	47,1	145,5	+/-4,28
7,5-8	71	94,1	40,7	160,7	+/-2,89
8-8,5	92	88,2	0,0	164,0	+/-4,12
более 8,5	24	89,5	2,6	211,9	+/-8,41
Прозрачность воды, м					
менее 0,5	17	97,6	50,7	135,7	+/-5,2
0,5-1,0	46	96,0	2,6	154,0	+/-4,4
1,0-2,0	94	90,9	6,2	211,9	+/-3,7
2,0-4,0	63	90,6	32,4	160,7	+/-3,4
4,0-6,0	10	72,5	28,5	113,7	+/-8,3
более 6,0	4	79,7	43,0	110,0	+/-14,0
Минеральный фосфор, мг/л					
менее 0,01	70	94,3	32,6	164,0	+/-3,3
0,01-0,05	138	87,7	6,2	211,9	+/-2,9
0,05-0,1	24	95,4	28,6	145,5	+/-6,6
более 0,1	13	90,1	50,7	128,5	+/-6,5
Объем ихтиоценоза, число видов					
менее 5	12	39,3	2,6	50,6	+/-8,76

Водні біоресурси та аквакультура

Фактор, величины градации	Объем выборки, озер	Ихтиомасса, кг/га			
		Среднее	Минимум	Максимум	Статистическая ошибка средней
5-9	92	77,3	6,2	43,0	+/-3,02
10-14	91	99,1	43,6	114,0	+/-2,94
15-19	43	99,5	50,6	145,5	+/-3,51
20-24	16	104,5	43,0	160,7	+/-6,20
1	2	3	4	5	6
25 и более	1	114,0	114,0	114,0	–
Биомасса фитопланктона, мг/л					
менее 10	128	92,5	21,4	164,0	2,64
10-20	18	106,6	77,0	154,0	4,70
20-40	17	104,4	62,7	128,8	4,64
более 40	8	89,1	46,8	135,0	9,34
Биомасса зоопланктона, г/м ³					
менее 1	41	70,9	2,6	154,0	+/-5,1
1,0 – 2,0	75	89,0	17,4	163,0	+/-3,29
2,1 – 5,0	113	95,1	23,4	164,0	+/-2,76
5,1 – 10,0	31	90,1	16,4	152,8	+/-5,72
более 10	15	101,1	57,3	211,9	+/-9,21
Биомасса зообентоса, г/м ²					
менее 3	76	82,1	2,6	164,0	+/-3,59
3-5	55	93,9	26,8	211,9	+/-4,24
5-8	65	89,3	6,2	163,0	+/-4,45
8-15	40	91,6	28,6	141,1	+/-4,01
более 15	34	95,7	43,4	160,7	+/-4,64
Генетический тип					
I	13	62,3	28,5	111,9	+/-6,85
II	11	89,9	56,2	123,9	+/-7,34
III-1	35	103,9	40,7	163,0	+/-4,18
III-2	81	91,8	23,4	164,0	+/-3,17
III-3	107	95,0	39,3	211,9	+/-2,72
IV-1	11	60,3	2,6	109,4	+/-11,65
IV-2	12	36,9	16,4	76,7	+/-5,62
Группа по рыбохозяйственной классификации водоемов					
Сигово-сетковые	8	90,7	43,0	114,0	+/-9,30
Лещево-судаачьи	26	110,0	76,7	163,0	+/-4,20
Лещево-щучье-плотвичные	81	104,7	40,7	211,9	+/-3,25
Окунево-плотвичные	109	81,5	16,4	154,0	+/-2,66
Карасево-линевые	46	69,4	2,6	128,6	+/-4,51
Сигово-сетковые	8	90,7	43,0	114,0	+/-9,30

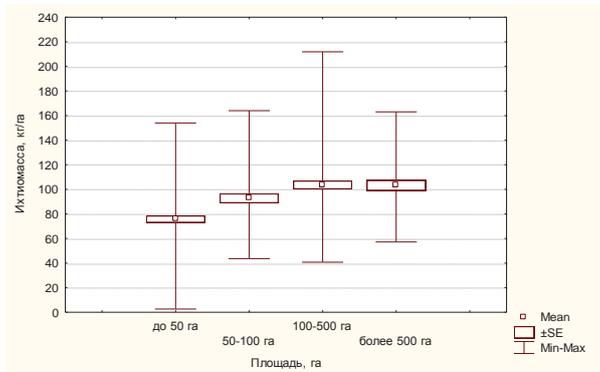


Рис. 1. Распределение ихтиомасса – площадь водоема

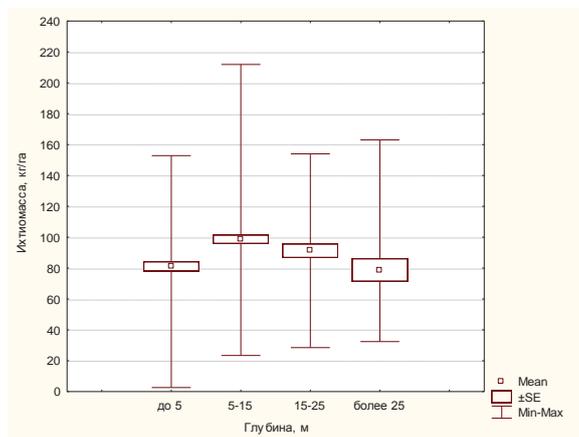


Рис. 2. Распределение ихтиомасса – максимальная глубина

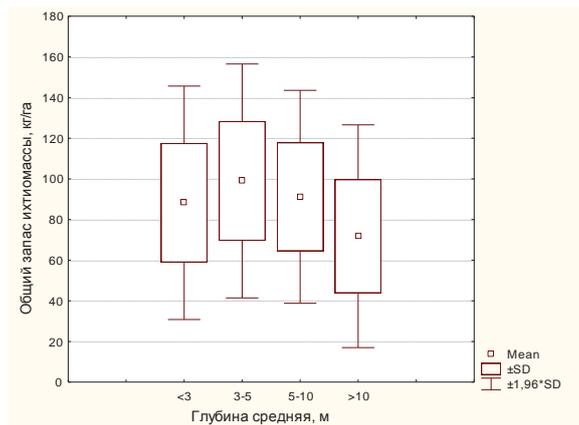


Рис. 3. Распределение ихтиомасса – средняя глубина водоема

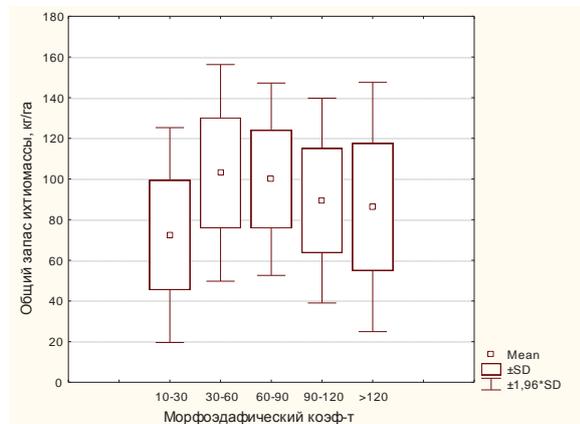


Рис. 4. Распределение икhtiомасса – морфоэдафический индекс

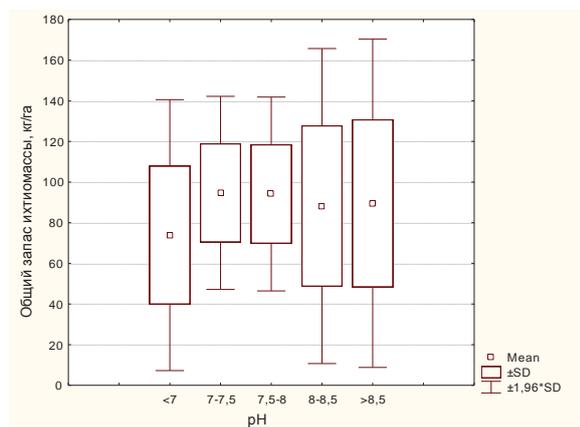


Рис. 5. Распределение икhtiомасса – величина рН

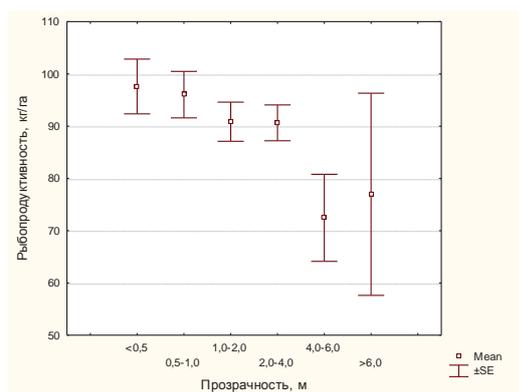


Рис. 6. Распределение икhtiомасса – пpозpачнoсть воды

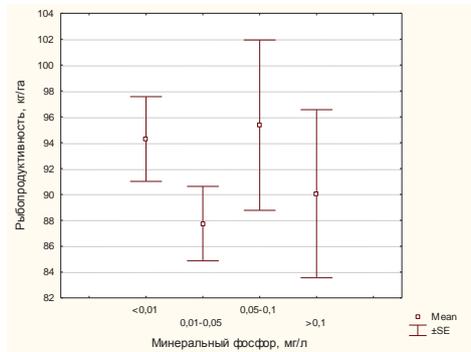


Рис. 7. Распределение ихтиомасса – содержание минерального фосфора

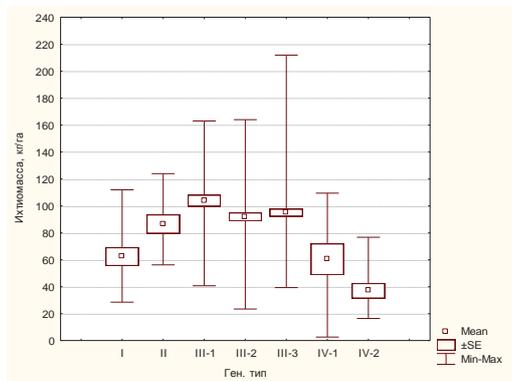


Рис. 8. Распределение ихтиомасса – генетический тип

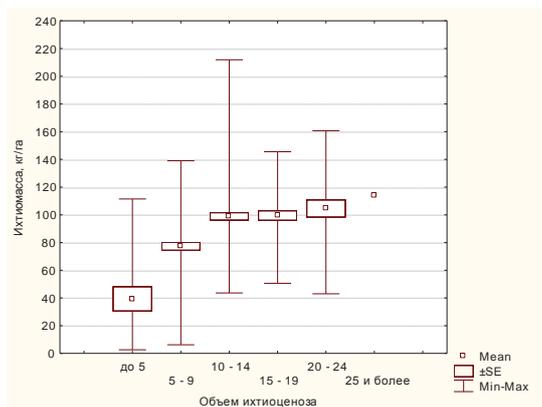


Рис. 9. Распределение ихтиомасса – объем ихтиоценоза

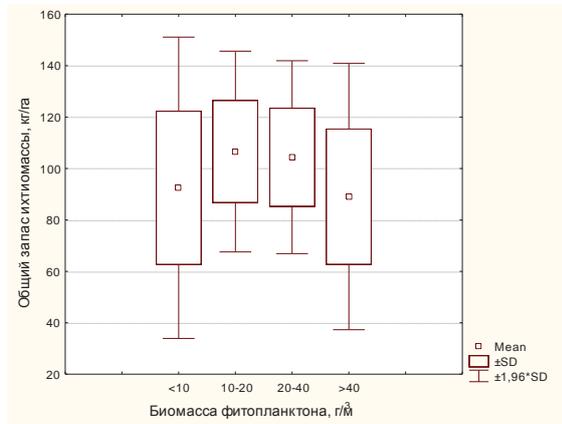


Рис. 10.
Распределение
ихтиомасса –
биомасса
фитопланктона

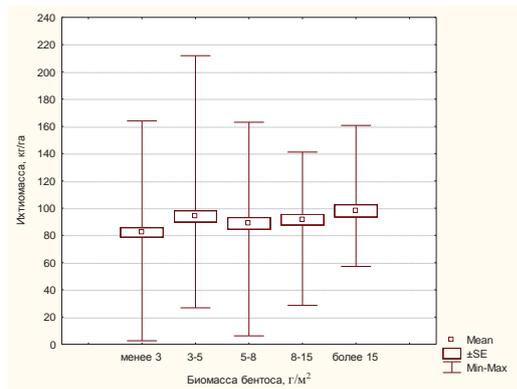


Рис. 11.
Распределение
ихтиомасса –
биомасса бентоса

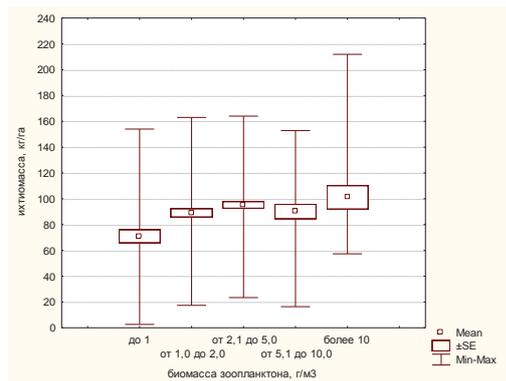


Рис. 12.
Распределение
ихтиомасса –
биомасса
зоопланктона

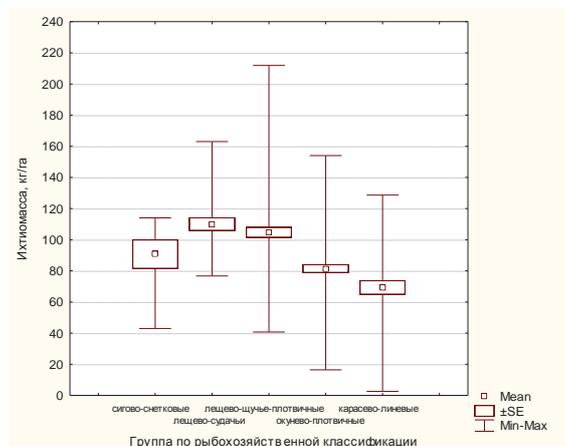


Рис. 13.
Распределение
ихтиомасса –
рыбохозяйственный
класс озера

Из абиотических факторов наибольший уровень аппроксимации выявлен для показателей прозрачности воды и средней глубины (рис. 14, 15). Из пар с участием факторов биотической природы максимальные уровни аппроксимации выявлены для пар «ихтиомасса – биомасса фитопланктона», «ихтиомасса – биомасса зоопланктона» (рис. 16, 17). Обращает на себя внимание, что биомасса зообентоса не продемонстрировала существенной корреляционной зависимости с ихтиомассой.

Зависимости ихтиомассы от комплексных показателей (генетический тип и группа по рыбохозяйственной классификации) не в должной мере отвечали требованиям построения регрессионной модели. Зависимость рыбопродуктивности от категории рыбохозяйственного класса водоема имела положительную корреляцию со средней степенью напряженности, но не описывалась регрессионными решениями ввиду многофакторности рассматриваемого признака.

Отмеченные зависимости описывались следующими уравнениями:

- для средней глубины – $y = 0,88 - 0,89x$;
- для прозрачности воды – $y = 0,54 - 0,66x$;
- для биомассы фитопланктона – $y = 0,29 + 0,07x$;
- для биомассы зоопланктона – $y = 0,35 + 0,23x$,

где y – lg ихтиомассы; x – lg соответствующего значения показателя.

В соответствии с выбранным направлением построения линейной многофакторной модели полученные данные были вновь сформированы в пары по значениям лимнологических и биопродукционных показателей анализируемых озер, по которым отмечена наибольшая степень корреляции с рыбопродуктивностью.

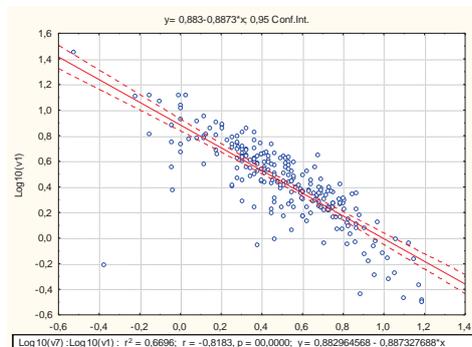


Рис. 14. Зависимость lg ихтиомасса – средняя глубина

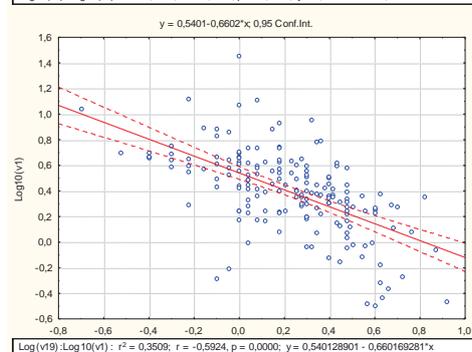


Рис. 15. Зависимость lg ихтиомасса – прозрачность

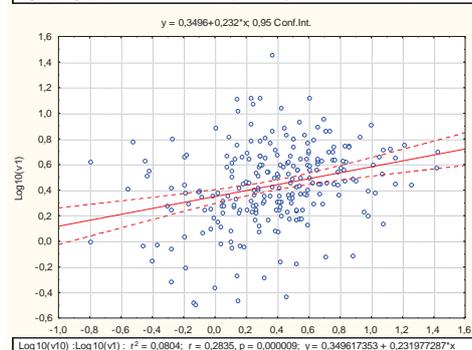


Рис. 16. Зависимость lg ихтиомасса – биомасса зоопланктона

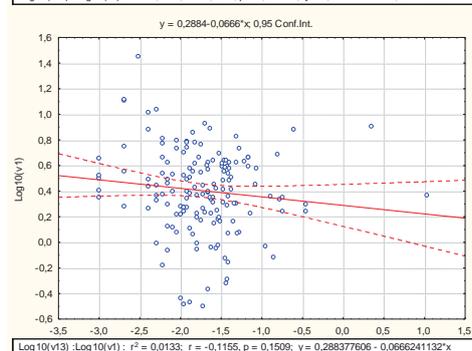


Рис. 17. Зависимость lg ихтиомасса – биомасса фитопланктона

Регрессионный анализ проведен со статистически значимыми переменными: lg глубина средняя, lg прозрачность, lg биомасса зоопланктона, lg биомасса фитопланктона. По парам с максимальными значениями коэффициентов корреляции и аппроксимации представлена линейная регрессионная многофакторная модель, общий вид которой имеет следующее отображение:

$$Y = \sum_{i=1}^n a_i x_i + b_0 + e$$

После проставления соответствующих числовых значений уравнения многофакторной регрессии приняли следующий вид:

$$lgOZI = -0,82 lgГ_{лср} - 0,10 lgPr + 0,056 lgB_3 + 0,103 lgB_\phi + 1,88;$$

$$lgПЗИ = -0,81 lgГ_{лср} - 0,11 lgPr + 0,048 lgB_3 + 0,117 lgB_\phi + 1,72,$$

где: OZI – общий запас ихтиомассы, $г/м^3$; $ПЗИ$ – промысловый запас ихтиомассы, $г/м^3$; $Г_{лср}$ – глубина средняя, м; Pr – прозрачность, м; B_3 – биомасса зоопланктона, $г/м^3$; B_ϕ – биомасса фитопланктона, $г/м^3$.

Выводы. Проведенные исследования и выполненная математическая обработка полученных данных позволяют сформулировать следующие выводы.

1. Зависимость ихтиомассы от комплекса абиотических факторов имеет положительную корреляцию со средней или низкой степенью напряженности. Наибольший уровень аппроксимации выявлен для показателей прозрачности воды и средней глубины.
2. Зависимость ихтиомассы от комплекса биотических факторов имеет положительную корреляцию с высокой, средней или низкой степенью напряженности. Максимальные уровни аппроксимации выявлены для пар «ихтиомасса – биомасса фитопланктона», «ихтиомасса – биомасса зоопланктона». Биомасса зообентоса не дает существенной корреляционной зависимости.
3. Установлена определенная зависимость ихтиомассы от объема ихтиоценоза. Отмечена тенденция нарастания ихтиомассы от минимальных до средних значений объема ихтиоценоза, после чего темпы прироста существенно снижаются.
4. Зависимость ихтиомассы от комплексных показателей (генетический тип, группа по рыбохозяйственной классификации) не в должной мере отвечают требованиям построения регрессионной модели. Зависимость ихтиомассы от категории рыбохозяйственного класса водоема имеет положительную корреляцию со средней степенью напряженности, но не

описывается регрессионными решениями ввиду многофакторности рассматриваемого признака.

Таким образом, разработаны линейные многофакторные регрессионные модели для промысловой и общей рыбопродуктивности, где в качестве переменных использованы показатели, имеющие статистически значимую корреляцию с общим и промысловым запасом стада рыб. Использование выявленных зависимостей в рыбохозяйственных исследованиях позволяет установить естественный и промысловый запас рыбного стада в отсутствие промысловых-ихтиологических показателей.

ЗАЛЕЖНІСТЬ ІХТІОМАСИ ОЗЕР БІЛОРУСІЇ ВІД ДЕЯКИХ БІОЛІМНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ

Костюсов В.Г.

*Інститут рибного господарства, м. Мінськ, Республіка Білорусь,
belniirh@tut.by*

На прикладі озер Білорусії проаналізовані залежності іхтіомаси від низки біолімнологічних факторів. Найбільші коефіцієнти апроксимації визначені для пар із середньою глибиною та прозорістю води, а також з біомасами фіто- і зоопланктону. Запропонована регресійна лінійна багатфакторна модель залежності.

Ключеві слова: озеро, рыбопродуктивність, іхтіомаса, біолімнологічні фактори, залежність, модель.

DEPENDENCE OF ICHTHYOMASSES OF BELARUS LAKES FROM SOME BIOLIMNOLOGICAL FACTORS

Kostousov V.G.

*Інститут рибного господарства, м. Мінськ, Республіка Білорусь,
belniirh@tut.by*

On the example of Belarus lakes attempt to establish a list depending ichthyomasses away biolimnological factors. The greatest approximation coefficients installed in pairs with an average depth of water of lakes and transparency as well as with the biomass phyto- and zooplankton. The equation of linear regression that describes this relationship.

Key words: lake, fish productivity, ichthyomass, biolimnological factors, dependence, model.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем /А.Ф.Алимов. – СПб: Наука, 2000. – 147 с.
2. Алимов А.Ф. Морфометрия озер, количество видов и биомасса гидробионтов/ А.Ф.Алимов //Биология внутр. Вод. – 2006. – №1. – С. 3-7.
3. Бабаян В.К. Концептуальные основы рационального рыболовства /В.К.Бабаян //Актуальные вопросы рационального использования

- водных биологических ресурсов, Звенигород, 15-19 апреля 2013г. [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: <http://www.vniro.ru/files/meroprijatia/2013/2pdf>.
4. Бульон В.В. Соотношение между первичной продукцией и рыбопродуктивностью водоемов. / В.В. Бульон, Г.Г. Винберг // Основы изучения пресноводных экосистем. – Л. – 1981. – С. 5-9.
 5. Бульон В.В. Зависимость рыбопродуктивности водоемов от первичной продукции / В.В. Бульон // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. – 1983. – Вып. 197. – С. 3-11.
 6. Бульон В.В. Первичная продукция и рыбопродуктивность водоемов: моделирование и прогноз / В.В. Бульон // Биол. внутр. вод. – 2006. – №1. – С. 48-56.
 7. Винберг Г.Г. Математическая модель водной экосистемы / Г.Г. Винберг, С.И. Анисимов // Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. – М. – 1966. – С. 213-223.
 8. Винберг Г.Г. Методы определения продукции водных животных / Г.Г. Винберг [и др.]: под общ. ред. Г.Г. Винберга. – Минск, Высшая школа, 1968. – 246 с.
 9. Винберг Г.Г. Экологическая система Нарочанских озер / Г.Г. Винберг [и др.]: под общ. ред. Г.Г. Винберга. – Минск: Университетское, 1985. – 303 с.
 10. Жаков Л.А. Формирование и структура рыбного населения озер Северо-запада СССР / Л.А. Жаков. – М.: Наука, 1984. – 144 с.
 11. Китаев С.П. Определение ихтиомассы и возможной рыбопродукции по лимнологическим показателям / С.П. Китаев // Биологические ресурсы водоемов бассейна Балтийского моря. – Вильнюс. – 1987. – 78 с.
 12. Китаев С.И. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов / С.П. Китаев. – Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2007. – 395 с.
 13. Козлов А.И. Моделирование параметров абиотических и биотических факторов формирования продуктивности выростных прудов / А.И. Козлов, И.И. Ленков // Европейская аквакультура и кадровое обеспечение отрасли: Материалы Международного симпозиума, Горки, 29-30 марта 2001 г. – Горки. – 2001. – С. 9-12.
 14. Козлов А.И. Многомерно-многофакторные модели выживаемости сеголетков и формирования рыбопродуктивности выростных прудов / А.И. Козлов, Т.В. Козлова // Вестник Полесского гос. универ., сер. природовед. наук: научно-практич. подразд. – 2008. – № 2. – С. 59-62.
 15. Конончук В. Эконометрическое моделирование рыбопродуктивности водоемов Республики Беларусь / В. Конончук, Т. Козлова // Аграрная экономика. – 2008. – № 2. – С. 32-36.

16. Костоусов В.Г. Видовое разнообразие и продуктивность ихтиоценозов малых озер и причины, их определяющие /В.Г.Костоусов // Разнообразие животного мира Беларуси: итоги изучения и перспективы сохранения. – Минск: БГУ, 2001. – С.217-219.
17. Костоусов В.Г. Оценка величины запасов рыбных ресурсов в разнотипных озерах национальных парков Беларуси /В.Г.Костоусов // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды. – Минск: БГУ, 2003. – С.591-593.
18. Костоусов В.Г. Рыбопродуктивность озер Беларуси и факторы, ее определяющие /В.Г.Костоусов //Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – 2010. – Вып. 26. – С.158-172.
19. Костоусов В.Г. Система рыбохозяйственной классификации озер Беларуси / В.Г.Костоусов [и др.] // Материалы I конгресса ихтиологов России. – Астрахань. – 1997. – С.116.
20. Костоусов В.Г. Система рационального рыбохозяйственного использования водоемов Беларуси, предусматривающая оптимальное промышленное и любительское рыболовство: Справочное пособие / В.Г.Костоусов [и др.]. – Минск: Георгс, 1997. – 122 с.
21. Кудерский Л.А. Перспективы рыбохозяйственного освоения малых озер Карелии /Л.А.Кудерский //Проблемы использования промысловых ресурсов Белого моря и внутренних водоемов Карелии. – М. - Л. – 1963. – Вып. 1. – С. 175-180.
22. Кучер А.И. Математическое моделирование рыбопродуктивности экосистем озера Ханка /А.И.Кучер // Математ. физика и математ. моделирование в экологии. – Владивосток: ДВО СССР, 1990. – Т.2. – С.23-42.
23. Кучер А.И. Рыбопродуктивность и биомасса ихтиоценоза озера Ханка / А.И.Кучер, А.И.Абакумов // Вопр. ихтиологии. – 1997. – Т. 37. – № 5. – С.619-624.
24. Лакин Г.Ф. Биометрия /Г.Ф.Лакин. – М.: Высшая школа, 1990. – 350 с.
25. Минкявичюс К.Й. Два аспекта связи «площадь – число видов» на примере аборигенных рыб озер Литвы, Эстонии и Карелии / К.Й. Минкявичюс // Биол. ресурсы водоемов бассейна Балтийского моря. – Вильнюс. – 1987. – С.125-126.
26. Минкявичюс К.Й. Связь «температура – число видов» на примере аборигенных рыб озер Литвы, Эстонии и Карелии / К.Й. Минкявичюс // Биол. ресурсы водоемов бассейна Балтийского моря. – Вильнюс. – 1987. – С. 126-127.

27. Мязметс А. Классификация озер при помощи многомерного анализа /А. Мязметс, А. Райтвийр //Основы биопродуктивности внутренних водоемов Прибалтики. – Вильнюс. – 1975. – С. 159-162.
28. Рассашко И.Ф. Первичная продукция некоторых водоемов Белоруссии и Карелии в связи с повышением их биопродуктивности: Автореф. дис.... канд. биол. наук: И.Ф. Рассашко. – Новосибирск. – 1970. – 20 с.
29. Савина Н.О. Рыбные ресурсы озер Белорусской ССР и перспективы их изучения /Н.О.Савина // Труды Белорусского отд. ВНИОРХ. – 1957. – Т.1. – С.71-103.
30. Столович Н.Н. Многофакторные регрессионные модели рыбопродуктивности поликультур сеголеток и двухлеток карповых рыб при их выращивании в рыбоводных прудах Беларуси / Н.Н. Столович, В.Н. Столович // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – 2004. – Вып. 20. – С.75-89.
31. Умнов А.А. Математическая модель биотического круговорота вещества и энергии, происходящего в загрязненной реке / А.А. Умнов //Биологические процессы и самоочищение на загрязненном участке реки. – Минск. – 1973. – С. 157-190.
32. Умнов А.А.Результаты предварительного изучения модели экосистем Нарочанских озер /А.А. Умнов, В.Ф. Иконников // Вести АН БССР: сер. биол. наук. – 1982. – №5. – С. 95-97.
33. Умнов А.А. Математическое моделирование процесса осадконакопления в условиях антропогенного эвтрофирования водоемов / А.А. Умнов, В.Ф. Иконников //Матер. VIII Всесоюз.совещ. «История озер СССР». – Таллин. – 1983. – С. 186-187.
34. Шевцова Т.М. Рекомендации по рациональному использованию рыбных ресурсов водоемов Беларуси / Т.М.Шевцова, В.Б.Петухов // Сб. статей по РНТП 75.02 р. «Охрана природы». – Минск. – 1995. – С.50-52.
35. Широков Л.В. Оценка вероятного уровня промысловой продукции видов рыб по основным экологическим характеристикам водоемов в пределах ареала /Л.В.Широков //Матер. 29 засед. Междунар. рабочей группы проекта «Вид и его продуктивность в ареале» по программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера». – Вильнюс. – 1991. – С. 34-39.
36. Штейнфельд А.Л. Состояние рыболовства в водоемах Беларуси /А.Л.Штейнфельд // Вопросы рыбного хозяйства Белоруссии. – 1973. – Т. IX. – С. 135-156.
37. Якушко О.Ф. Озера Белоруссии / О.Ф.Якушко [и др.]. – Минск. – 1988. – С. 128-135.

38. Bachman R.W. Relation between trophic state indicators and fish in Florida (USA) lakes / R.W. Bachman [et al.] // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 1996. – V. 53. – P. 842-855.
39. Dodson S. Prediction of Crustacean zooplankton species richness / S. Dodson // *Limnol. And Oceanogr.* – 1992. – V. 37 (4). – P. 848-856.
40. Downing J.A. Fish production correlated with primary productivity, not the morphoedaphic index / J.A. Downing, C. Plante, S. Lalonde // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 1990. – V. 47, № 10. – P. 1929-1936.
41. Hanson J.M. Empirical prediction of fish biomass and yield / J.M. Hanson, W.C. Leggett // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 1982. – V. 39, № 2. – P. 257-263.
42. Jenkins R. M. The influence of some environmental factors on standing crop and harvest of fishes in US reservoirs / R.M. Jenkins // *Proc. Reserv. Fish. Symp., Southern Div. Amer. Fish. Soc.* – Washington. – 1967. – P. 298-321.
43. Jenkins R. M. The influence of engineering design and operation and other environmental factors on reservoir fishery resources / R.M. Jenkins // *J. Amer. Water Works Assoc.* – 1970. – Vol. 16. – P. 110-119.
44. Jenkins R. M. The morphoedaphic index and reservoir fish production / R.M. Jenkins // *Trans. Amer. Fisheries Soc.* – 1982. – Vol. 2. – P. 133-140.
45. Rasmussen J.B. Littoral fish communities in southern Quebec lakes: relationships with limnological and prey resource variables / J.B. Rasmussen, W.C. Leggett // *Can. J. fish. aquat. Sci.* – 1994. – V. 51. – P. 1128-1138.
46. Svardson G. Interspecific population dominance in fish communities of Scandinavian lakes / G.Svardson // *Inst. Freshwater Res. Drottningholm Rep.* – 1976. – №55. – P. 144-171.