**Материал и методы исследования**

В методической части кратко изложен подход к оценке плотности по уловам жаберных сетей. Пусть рыба некоторой длины касается сети данного размера ячеи. Взаимодействие рыбы с сетью, приводящее к ее удержанию, является многоступенчатым процессом, где каждый этап характеризуется своей вероятностью (рис. 1).

|  |
| --- |
|  |
| **Рис. 1**. Вероятности различных этапов взаимодействия рыбы с жаберной сетью: — общее количество рыбы, прикоснувшееся к сети, — вероятность попадания рыбы в ячею при касании, *P* — вероятность попадания ртом на нить при касании, — вероятность захода в ячею, — вероятность удержания в сети через объячеивание, — вероятность удержания в сети через запутывание, — количество объячеявшейся рыбы, — количество запутавшейся рыбы (вертикальная черта обозначает условную вероятность). |

Для анализа необходимо разделить всю пойманную рыбу на объячеявшуюся и запутавшуюся , не смешивая уловы сетей разной ячеи. Количество всех подошедших к сети за время лова рыб складывается из числа уловленных сетью рыб, прошедших сквозь ячею и отошедших от сети вследствие ее насыщаемости. Тогда, формула для оценки количества рыб размерной группы *l*, подошедших к сети ячеи за время *t*, имеет следующий вид:

, (1)

где индексы и *l* указывают на то, что для каждой размерной группы *l* и для каждого размера ячеи параметры уравнения (1) уникальны; в дальнейшем для краткости индексы будут опущены. Вероятность рыбы зайти в ячею при касании сети задана следующей функцией:

, (2)

где — расстояние между узлами ячеи, — меньший угол ромба ячеи и *h* — средняя ширина рта рыбы при движении; параметр *h* оценивается по следующей формуле:

, (3)

где *j* — средняя длина челюсти рыбы данной размерной группы, а — угол между верхней и нижней челюстью рыбы при движении; угол находится минимизацией следующей функции:

, (4)

где — дисперсия средних длин одних и тех же размерных групп в сетях разного размера ячеи, а оценивается по формуле (13); суммирования проходит по всем размерным группам, имеющимся одновременно в сетях разной ячеи. Вероятность рыбы зайти в ячею описывается как:

, (5)

где *d* — половина толщины тела рыбы в области касания ячеи жаберной крышкой, а — меньшая диагональ ромба ячеи. Распределение вероятностей с хорошей точностью находится аппроксимацией опытных значений линейной функцией вида , где *а* и *b* — опытным путем полученные коэффициенты, а *l* — длина рыбы. Наконец, функция для вероятности рыбы войди в улов при объячеивании имеет следующий вид:

, (6)

где и — количества рыбы данной размерной группы с максимальным охватом тела , большим и меньшим периметра ячеи соответственно.

Параметр функции (1) определяет максимальное количество рыбы данного вида, которая данная сеть может уловить; он находится индивидуально путем выставления сети на время, пока она полностью не заполнится рыбой. Параметр есть время, за которое не занятая рыбой площадь сети уменьшается в *e* ≈ 2.72 раз при условии, что за каждый отрезок времени к сети в среднем подходит одно и то же количество рыбы. Параметр выражается из следующей функции:

, (7)

где — улов сети данной длины и размера ячеи, полученный за время t. Наконец, 0.63 = . Завершающим этапом является оценка плотности размерной группы в зоне облова:

, (8)

где — усредненная по всей зоне облова вероятность подхода к сети рыбы длины :

, (9)

где — длина сети в метрах, а — максимальное расстояние (в метрах), на которое сместится рыба длины за время застоя сети при условии ненаправленного перемещения, оцениваемое как:

, (10)

где — скорость движения рыбы, — время лова и — период изменения направления прямолинейного движения. Параметр функции (8) есть объем зоны облова:

(11)

где *H* — высота сети, а — длина сети. Наконец, в формуле (9) вероятность для рыбы подойти к сети, находясь в любой точке зоны облова, равна:

(12)

где — угол, под которым рыба «видит» сеть [13], — кратчайшее расстояние от точки начального положения рыбы в зоне облова до сети, — время облова, а *n* — количества точек разбиения зоны облова (рис. 2).

|  |
| --- |
|  |
| **Рис. 2**. Схема зоны облова жаберной сети; каждая точка в верхней четверти зоны является узлом, для которого рассчитывается вероятность по формуле (13), — длина сети. |

В связи с тем, что расчеты вероятности весьма трудоемкие, построена номограмма для ее оценки при различных значениях и длины сети (рис. 3). Распределение хорошо описывается экспоненциальной функцией вида (*R* = 0.99), где *А* и *В* опытно оцененные параметры; можно также вычислить, подставляя в эту функцию величину и величины *А* и *В* для нужной длины сети.

После расчета значения необходимо найти среднее количество рыбы размера , подошедшей к любой из используемых сетей:

; (13)

где — количество сетей разной ячеи; если все сети одного размера и высоты, для номограммы берется длина одной сети, в противном случае уловы нормализуются на единую площадь сети. Наконец, биомасса размерной группы рассчитывается по следующей формуле

, (14)

где — плотность размерного класса и — средняя масса размерного класса .

|  |
| --- |
|  |
| **Рис. 3**. Номограмма для оценки вероятности подхода рыбы к сети при различных значениях и . |

Для оценки по функции (1) были рассчитаны соответствующие вероятности. Так, для каждого размера ячеи оценена вероятность при длине челюсти гольца, заданной линейной функцией вида , где (здесь и далее) — длина рыбы. Тогда, распределение вероятностей для диапазона размерных групп из улова для сетей ячеи 20, 30 и 40 мм формально аппроксимировались функциями , и соответственно. Формальная аппроксимация (здесь и далее) *реальных* значений вероятностей наиболее подходящей для этого функцией делается для удобства работы со всем массивом данных. Распределение вероятностей описывается линейными функциями , и для сетей ячеи 20, 30 и 40 мм соответственно. Для сетей 20, 30 и 40 мм распределение вероятностей аппроксимируется возрастающими линейными функциями вида , и соответственно. Предельные количества гольца для сетей 20, 30 и 40 мм (в составе других видов) — 28, 24 и 21 экз. соответственно. Параметр , выраженный из функции (7), для сетей ячеи 20, 30 и 40 мм составляет 52, 74 и 70 часов соответственно; угол равен 5 градусов. Для оценки смещения используется средняя скорость движения 0.9 длины тела в секунду [37–40], и параметр , равный 1 секунде, откуда значение для наблюденных в улове размерных групп составляет в среднем 54 метра (*SD* = 14 метров). Отсюда, объем облова, рассчитанный по формуле (11), для равен в среднем 19600 м3 (*SD* = 9311 м3).

В результате оценки плотности для четырех точек для объема облова 54832 м3 составляют: точка 1 — 0.014 экз./м3, точка 2 — 0.024 экз./м3, точка 3 — 0.011 экз./м3 и точка 4 — 0.027 экз./м3; биомасса гольца в диапазоне размерных групп 17–39 см составляет: точка 1 — 1.69 г/м3, точка 2 — 4.72 г/м3, точка 3 — 3.55 г/м3 и точка 4 — 5.04 экз./м3. Плотность и биомасса всех форм гольцов по всем точкам пропорциональна доле каждой формы в улове (см. табл. 2).