

УДК 573.22.087.1.001.57

ВЛИЯНИЕ ТЕЧЕНИЙ НА ПРОМЫСЛОВУЮ АКТИВНОСТЬ ЛОВУШЕК: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

А. А. Михеев¹ (alex_mikheyev@sakhniro.ru), Ф. А. Михеев²

¹Сахалинский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (Южно-Сахалинск); ²Государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» (Санкт-Петербург)

Михеев, А. А. Влияние течений на промысловую активность ловушек: предварительные результаты вычислительного эксперимента / А. А. Михеев, Ф. А. Михеев // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Труды Сахалинского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. – Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2008. – Т. 10. – С. 35–56.

Табл. – 2, ил. – 10, библиогр. – 25.

На основе математической модели проведен вычислительный эксперимент по изучению облавливающей способности ловушек в отношении донных беспозвоночных. В ходе эксперимента варьировались модельные параметры, задающие условия среды, пространственное распределение и поведение животных, действие приманок, а также количество и расположение ловушек. Установлено, что в случае ловушечного порядка характеристики промыслового действия ловушек положительно зависят от скорости течения, а указанные зависимости, в свою очередь, подвержены влиянию пространственной агрегированности животных. В наименьшей степени влияние агрегированности касается площади эффективного облова – характеристики, определяемой по уловам на ловушку калибровочным методом. В этой связи сделан вывод о том, что названная величина дает преимущество при расчете запаса с неизвестной пространственной организацией на основе ловушечных индексов. Показано, что для одиночной ловушки площадь зоны облова имеет выраженный максимум в узком диапазоне скоростей течения (2–6 см/с), отсутствующий в случае порядка с большим числом ловушек. Резюмировано, что промысел ловушками, и вообще приманивающими орудиями, в целом результативнее при наличии течений, чем в застойных водах.

Mikheyev, A. A. Influence of currents on trapping activity: preliminary results of computation simulations / A. A. Mikheyev, F. A. Mikheyev // Water life biology, resources status and condition of inhabitation in Sakhalin-Kuril region and adjoining water areas : Transactions of the Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography. – Yuzhno-Sakhalinsk : SakhNIRO, 2008. – Vol. 10. – P. 35–56.

Tabl. – 2, fig. – 10, ref. – 25.

A mathematical model was used for computational experiment to study a trap fishing capability for bottom invertebrates. Model parameters that specify environmental conditions, spatial distribution and behaviour of animals, and bait effect as well as the number and location of traps have been varied during the experiment. In the case of trap array, characteristics of trapping activity were ascertained to be positively depended on the current velocity. For their part, these dependences are affected by the spatial aggregation of animals. The aggregation impact is minimal regarding to the area of effective sampling (catch per trap using a calibration method). Thereupon it was concluded that this characteristic advantages when calculating a stock size with unknown spatial organization based on trap indices. The fishing area for a single trap was shown to have a distinct maximum within the narrow range of current velocities (2–6 cm/sec) that is absent in the case of several traps in a trap array. The trap fishing and baiting gears in general are estimated to be more effective in waters with currents than in stagnant ones.

ВВЕДЕНИЕ

Первая известная авторам научная теория, касающаяся работы пассивных приманивающих орудий лова, датируется серединой прошлого века (Moran, 1951). Несмотря на достаточно продолжительную и плодотворную историю исследований, работы по названной теме продолжают публиковаться (Анисимова и др., 2006; Сеславинский, 2007; Winger, Walsh, 2007). Как представляется, устойчивый интерес исследователей к указанной проблематике подогревается, с одной стороны, желанием понять сложный механизм взаимодействия животных с приманками, а с другой – ценностью ресурсов, изымаемых в промышленном масштабе приманивающими орудиями. Вместе с тем использование основного добывающего орудия в качестве инструмента для оценки запасов применительно к любому промысловому объекту имеет целый ряд преимуществ (Иванов, 1994). В данной связи одной из актуальных задач является определение характеристик промыслового действия ловушек в отношении донных беспозвоночных (Михеев, 2002). Однако это чрезвычайно сложная задача, поскольку промысловая активность ловушки, то есть ее способность привлекать и улавливать гидробионтов, зависит от большого числа факторов: конструкции, свойств приманок, состояния животных и условий окружающей среды (Miller, 1990).

Многие детали механизма попадания беспозвоночных в ловушки изучены достаточно хорошо (Sainte-Marie, Hargrave, 1987; Sainte-Marie, 1991; Xu, Millar, 1993; Moore et al., 2000; Nishiuchi, 2003; Winger, Walsh, 2007). Известно, что большое влияние на процессы приманивания и поимки животных пассивными орудиями лова оказывают придонные течения (Himmelman, 1988; McQuinn et al., 1988; Lapointe, Sainte-Marie, 1992; Diaz et al., 2003; Forward et al., 2003). Однако в данном вопросе остается еще много неясного. Следует не упускать из виду, что определить вклад любых абиотических факторов в изменчивость промысловых характеристик ловушек в условиях *in situ* весьма непросто. В подобных ситуациях альтернативой или дополнением к натурным исследованиям может стать вычислительный эксперимент (Курдюмов, Малинецкий, 1988). Этот подход подразумевает выполнение серии имитаций изучаемого процесса на компьютере на основе математической модели. Такая модель была разработана нами для изучения промыслового действия ловушек (МПДЛ) в отношении донных животных и затем реализована в виде одноименной компьютерной программы. С помощью последней был проведен вычислительный эксперимент, цель которого состояла в анализе влияния течений на промысловые характеристики ловушек.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В качестве материала для исследований была использована модельная популяция из одной тысячи наделенных метками донных животных. Популяцию сгенерировали на компьютере с помощью программы МПДЛ, разместив особей в координатах с равномерно-случайным распределением и агрегированным со случайным выбором расположения центров пятен и их размеров (рис. 1). Внутри пятен плотность особей убывала от центра к периферии по нормальному закону. Указанная популяция была помещена в квадратную область площадью 1 кв. км. Ловушки в порядке размещали через расстояние, не превышающее 15 м. Координаты ловушек в порядке задавали формулами:

$$x_i = x_1 + \frac{L(i-1)}{(M-1)\sqrt{1+tg^2\alpha}} + \varepsilon_{x(i)},$$

$$y_i = y_1 + \frac{L(i-1)tg\alpha}{(M-1)\sqrt{1+tg^2\alpha}} + \varepsilon_{y(i)},$$

где L – длина порядка; α – угол между линией порядка и осью x ; $i = 1, 2, \dots, M$ – номера ловушек; M – число ловушек; $\varepsilon_{x(i)}$, $\varepsilon_{y(i)}$ – случайные величины, распределенные по усеченному нормальному закону с нулевым средним в диапазоне от $\pm s/\sqrt{2}$; s – максимальное расстояние между ловушками в порядке: $s = L/(M-1)$.

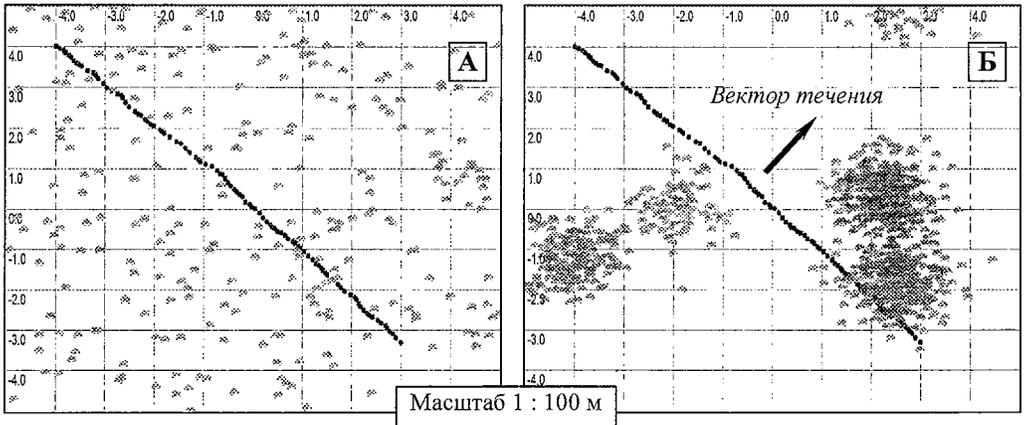


Рис. 1. Типы пространственного распределения донных животных в окрестности порядка из 100 ловушек при проведении вычислительного эксперимента: А – равномерное; Б – агрегированное

Примечание: ловушки пронумерованы сверху вниз.

Таким образом, в МПДЛ допускались случайные смещения позиций ловушек относительно линии порядка, неизбежные при реальной постановке, с естественным ограничением на максимальное расстояние между ловушками. В ряде случаев для сравнения использовали одиночную ловушку. Согласно модели в центрах ловушек были помещены приманки в виде точечных источников массой 100 г каждая, выделяющие аттрактант с ограниченным сроком действия и прямо пропорциональным времени затуханием.

Модель промыслового действия ловушек является развитием модели «хищник–приманка» для донных беспозвоночных (Михеев, 2001). В МПДЛ для описания процесса поиска приманок наряду с хемотаксисом на источник запаха использован и реотаксис животных относительно встречных потоков воды. Кроме того, в этой модели модифицирован ряд механизмов поведения животных. Вероятность визуального обнаружения и попадания особей в ловушку в зависимости от расстояния и наполнения определена на основе правил «нечеткой логики» (Рутковская и др., 2004). Вероятность обнаружить запах при пороговой концентрации аттрактанта смоделирована на основе метода Монте-Карло. Поиск максимума концентрации в поле аттрактанта осуществлен с помощью простого эвристического правила: находили геометрический центр треугольника, вершинами которого являлись три последовательные позиции особи, перемещающейся по градиенту аттрактанта в непосредственной близости от искомой точки.

Методика исследования заключалась в проведении многократных имитаций процесса лова на основе МПДЛ, в результате которых при различных скоростях течения определяли характеристики промыслового действия ловушек: площадь зоны

облова (ЗО), коэффициент уловистости (КУ) и скорость наполнения. Значения для параметров модели при выполнении запланированного вычислительного эксперимента приведены в **таблице 1**. Линию ловушечного порядка располагали приблизительно перпендикулярно вектору течения. Во всей исследуемой области задавали однородное стационарное поле течений.

Таблица 1

Параметры МПДЛ при проведении вычислительного эксперимента

Параметр	Значение
Коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии (κ), кв. см/с	100
Коэффициент поглощения аттрактанта в морской воде (γ), г/(куб. м × сут.)	0
Скорость течения (v), см/с	0–20
Угол между вектором течения и осью x (α), град.	45
Количество аттрактанта в приманке (Q), г	100
Высота слоя осреднения (H), м	1
Максимальная скорость движения особи (u), миль/сут.	0,6
Суточный радиус индивидуальной активности (σ_m), миль	0,2
Пороговая концентрация запаха, воспринимаемая животным (a_c), мг/куб. м	0,001
Стандартное отклонение для средней чувствительности к запаху (σ_a), мг/куб. м	0,01
Временной шаг дискретизации процесса поиска (Δt), мин.	10
Продолжительность действия приманки (T_b), сут.	1
Продолжительность застоя ловушек (T_{soak}), сут.	2
Минимальное время запоминания градиента запаха (τ_{min}), ч	3
Максимальное время запоминания градиента запаха (τ_{max}), сут.	3
Временной шаг расчета шлейфа ($\Delta t'$), мин.	1–5
Вероятность поворота особи при блуждании (p)	0,5

Примечание: относительно обозначений и значений параметров см. (Михеев, 2001).

Характерные размеры ЗО ловушки рассчитывали как выборочное среднее по всем дистанциям, пройденным животными до ловушек с момента их постановки:

$$R_i = \frac{\sum_{k \in K_i} [(x_{1,k} - x_i)^2 + (y_{1,k} - y_i)^2]^{1/2}}{C_{f(i)}}$$

где $x_{1,k}, y_{1,k}$ – координаты особей на момент времени $t=1$; $k=1, 2, \dots, N$ – номера меток; N – численность популяции; $C_{f(i)}$ – количество особей, или попавших, или обнаруживших i -тую ловушку; K_i – множество меток тех особей, которые, соответственно, или подошли к i -той ловушке, или попали в нее.

Таким образом, размеры ЗО были вычислены в двух вариантах: для особей, прибывших к ловушке, и для особей, попавших в нее. Необходимость такого подхода к определению ЗО будет обсуждаться в данной статье.

Для оценки радиуса ЗО рассчитывали стандартную ошибку m_R :

$$m_R = \frac{1}{M} \sqrt{\sum_{i=1}^M (R_i - R)^2}, \quad R = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M R_i.$$

Площадь ЗО каждой ловушки находили как площадь круга: $S_i = \pi R_i^2$, $i = 1, 2, \dots, M$.

Ошибку средней площади ЗО $S = \pi R^2$ получали в линейном приближении: $m_S = 2\pi R m_R$.

Коэффициент уловистости для i -той ловушки рассчитывали, согласно принятому определению, через отношение улова к численности животных в зоне облова i -той ловушки на начало лова N_i : $q_i = C_{fi}/N_i$.

Стандартную ошибку для КУ находили по всем ловушкам в порядке:

$$m_q = \frac{1}{M} \sqrt{\sum_{i=1}^M (q_i - q)^2}; \quad q = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M q_i.$$

Кроме того, вычисляли площадь эффективного облова (Miller, 1975), для которой использовали следующую формулу (Михеев, 2001): $S_e = qS$.

Ошибку этой величины рассчитывали в линейном приближении:

$$m_e = \sqrt{(qm_S)^2 + (Sm_q)^2}.$$

Динамику накопленного улова, представляющую несомненный интерес с точки зрения характеристики промысловой активности ловушки, аппроксимировали следующей теоретической зависимостью:

$$C_f(t) = a(1 - e^{-bt}). \quad (1.1).$$

Параметр a задает горизонтальную асимптоту функции $C_f(t)$, то есть характеризует уровень насыщения ловушки. Параметр b определяет кривизну указанной функции, и поэтому рассматривался нами как удельная скорость наполнения ловушки. Далее будем ссылаться на график функции (1.1) как на кривую наполнения ловушки.

Для порядка из 100 ловушек провели четыре серии имитаций. Каждая серия соответствовала комбинации одного из двух типов пространственного распределения (равномерное или агрегированное) и одного из двух способов расчета (по пойманым или прибывшим к ловушке животным). Такой план эксперимента был выбран для того, чтобы учесть влияние названных факторов на полученные результаты. В каждой серии скорость течений варьировалась в диапазоне 0–20 см/с с шагом в 2,5 см/с (девять градаций) по пять имитаций каждая: итого – 45 имитаций в серии. Кроме того, дополнительно было произведено по одной имитации при значениях скорости течения 5, 10 и 20 см/с с целью более детально определить для них характеристики промыслового действия ловушек в порядке из 100 ловушек в случае агрегированного распределения животных. Наконец, для сравнения провели серию из 10 имитаций обловов одиночной ловушкой равномерно распределенных животных в диапазоне скоростей течения от 0 до 100 см/с с шагом 1 см/с. Радиус ЗО на основе результатов дополнительных имитаций рассчитывали одним способом, а именно – по пойманым особям.

Использованная нами численная аппроксимация уравнения шлейфа (Михеев, 2001) обуславливала сильную зависимость результатов от временного шага расчета. При высоких значениях скорости течения в моделируемом поле аттрактанта возникали артефакты в виде локальных сгустков вдоль оси потока и происходил отрыв шлейфа от приманки – тем дальше, чем выше была скорость. С другой стороны, уменьшение временного интервала итерации влекло за собой значительный рост общего времени расчета. Например, при шаге в 1 минуту одна имитация

для 100 ловушек и агрегированного распределения животных занимала от 6 до 7 часов, а при шаге в 5 минут – от 40 минут до 1,5 часов расчетного времени. При проведении серии из запланированных 45 имитаций при шаге в 5 минут потребовалось от 2,5 (агрегированное распределение) до 4 суток (равномерное распределение) расчетного времени. Чтобы не повторять те же имитации с шагом в 1 минуту, необходимо было предварительно убедиться в сходстве результатов, получаемых при расчетах с шагом в 1 и 5 минут соответственно, что и было сделано. Для этого выбрали из рассматриваемого диапазона максимальную скорость течения в 20 см/с и провели от одной до пяти контрольных имитаций для двух различных пространственных распределений, двух способов расчета радиуса ЗО и двух величин временного шага при расчетах шлейфа.

Оценки параметров промыслового действия ловушек усредняли по сериям имитаций для фиксированных исходных данных (параметров модели, пространственного распределения особей и позиций ловушек). При этом стандартные ошибки для оценок по серии вычисляли как среднеквадратические от соответствующих ошибок по имитациям.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе контрольных имитаций было установлено, что значения радиуса ЗО ловушек в порядке, полученные для скорости течения 20 см/с, при увеличении шага расчета шлейфа с 1 до 5 минут изменялись очень слабо. Рассматриваемые значения заметно различались только между типами пространственной организации животных (**рис. 2**). Легко видеть, что в случае агрегированной популяции радиусы ЗО ловушек образуют три выраженные ступеньки, которые довольно точно согласуются с положениями скоплений животных вдоль линии порядка (см. **рис. 1Б**). При этом высоты ступенек близки по величине расстояниям между порядком и соответствующими пятнами численности. Причина указанной близости в том, что при заданной скорости течения запах достигал границы исследуемой области уже через час. Для преодоления максимальной в пределах заселенного участка дистанции в 700 м по прямой животным требовалось чуть более 15 часов при заданной скорости движения 0,6 миль/сут. В итоге все почуявшие запах особи были способны успеть к приманке за время застоя. Следуя данной логике, можно предполагать, что при однородном начальном размещении животных радиусы ЗО ловушек должны были бы равномерно случайно варьироваться относительно среднего радиуса по выборке, то есть подчиняться распределению белого шума. Однако показанное на правой нижней панели рисунка 2 распределение радиусов имеет иной вид. Можно заметить, что радиусы, изображенные на рисунке, примерно равны расстояниям от соответствующих ловушек до границы исследуемой области, расположенной ниже по течению (**рис. 3**). Если бы заселенная область была неограниченной, то распределение радиусов вдоль ловушечного порядка представляло бы собой белый шум, как и предполагалось выше. В данной связи можно выдвинуть тезис: агрегированность популяции как фактор для формирования зон облова ловушек важна в не меньшей степени, чем приманка или течения.

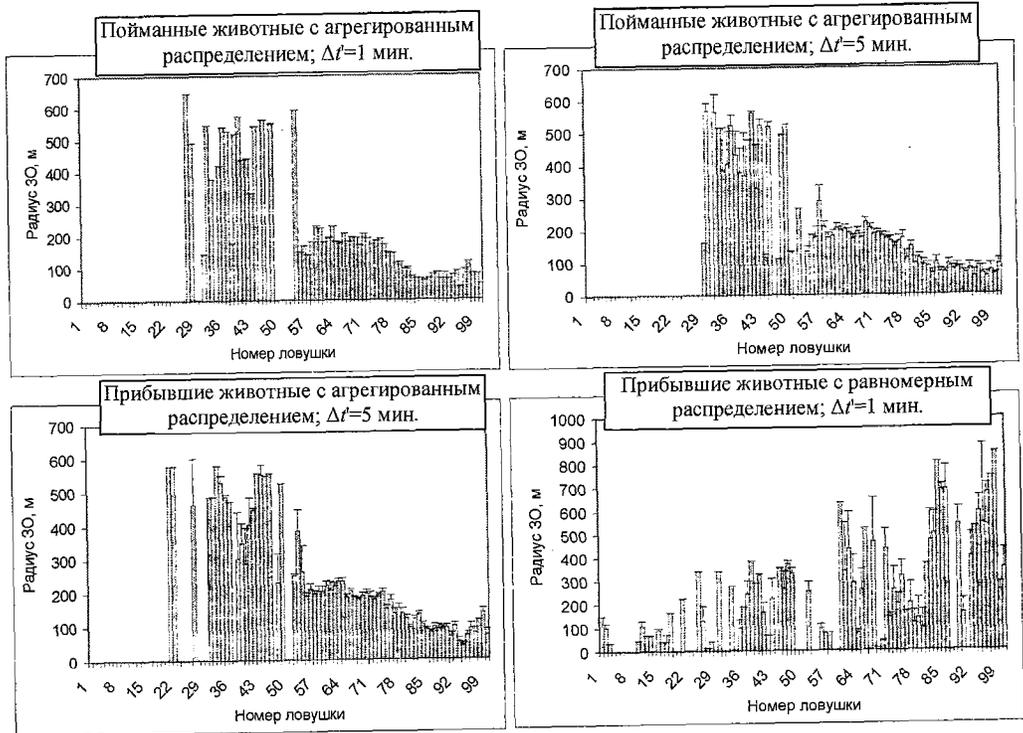


Рис. 2. Зависимость радиуса зоны облова ловушки в порядке из 100 ловушек от типа распределения и способа расчета при скорости течения 20 см/с; по результатам вычислительного эксперимента

Примечание: Δt – временной шаг расчета шлейфа (см. табл. 1); показаны 95%-ные доверительные интервалы оценок.

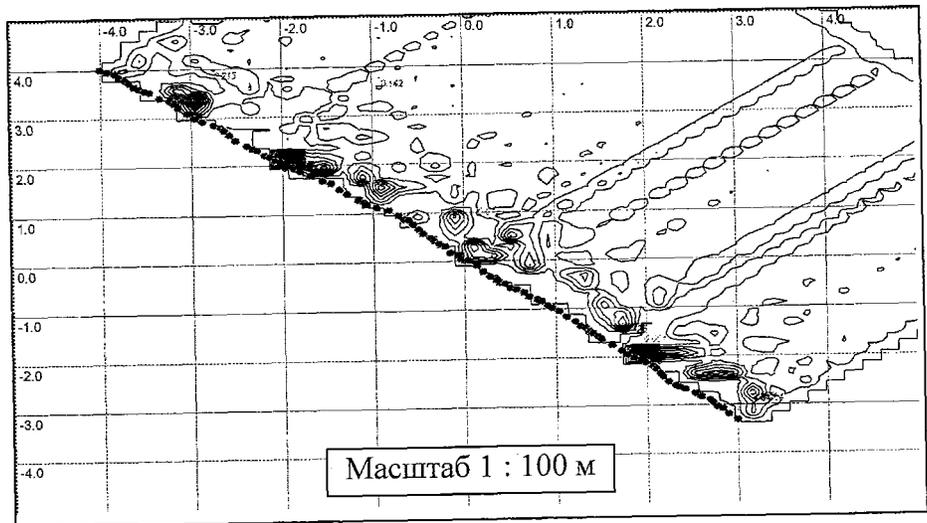


Рис. 3. Шлейф запаха от 100 ловушек при скорости течения 20 см/с на момент времени 50 мин.; по результатам вычислительного эксперимента

В **таблице 2** приведены усредненные количественные характеристики промыслового действия ловушек для выполненных тестовых и дополнительных имитаций. Еще раз отметим, что существенных различий в результатах, полученных при расчете шлейфа с шагом в 1 и 5 минут, не наблюдали. Не оказал существенного влияния на результаты и способ расчета радиуса ЗО. Вместе с тем различие между характеристиками промысловой активности ловушек для разных типов агрегированности животных бросается в глаза. Например, значения КУ почти в 4 раза ниже для равномерного распределения. То же самое можно сказать и об уровне насыщения ловушек. Кстати, отметим прямую пропорцию между значениями величин a и q (см. табл. 2). Лишь для удельной скорости наполнения ловушек, приведенной в таблице, отсутствуют явные различия, обусловленные типом агрегированности.

Очевидно, что предположение, касающееся связи промысловой активности ловушек с агрегированностью животных, укрепляется в свете приведенных выше результатов. С данной позиции представляет интерес сравнение и других, помимо радиуса ЗО, исследуемых характеристик. На **рисунках 4–6** показаны распределения КУ по ловушкам вдоль порядка, гистограммы уловов и кривые наполнения при скорости течения 20 см/с – максимальной из выбранного диапазона. При такой скорости легче выявить искомое различие, при условии его существования. Перечисленные выше рисунки демонстрируют, что декларируемый нами тезис о доминирующем влиянии агрегированности животных на результаты расчетов промысловых характеристик подтверждается при фиксированной скорости течения. В частности, если сравнить рисунки 4 и 2, то можно видеть, что коэффициент уловистости для агрегированной популяции имеет распределение, почти зеркально-обратное к распределению радиуса ЗО. Само по себе такое сравнение в достаточной степени тривиально, если принять во внимание способ определения КУ. Однако для равномерно плотной популяции большие значения уловистости встречаются на том же участке ловушечного порядка, где расположены и большие зоны облова. Тем не менее, различие между распределениями уловистости для разных пространственных агрегаций налицо, и оно свидетельствует в пользу выдвинутого выше тезиса. Столь же явное различие демонстрируют и частотные гистограммы уловов. Здесь также стоит особо отметить отсутствие больших уловов и наличие значительного числа очень малых (около 40%) в случае равномерного распределения животных. Можно допустить, что характер гистограммы встречающихся в ловушечном порядке уловов реально отражает тип пространственного распределения облавливаемой популяции ниже порядка по течению, особенно при больших скоростях. Проверка данной гипотезы – задача, требующая дальнейшего изучения и имеющая практическое и научное значение. Агрегированность животных во многом детерминирует как скорость наполнения, так и уровень насыщения ловушки, о чем свидетельствует рисунок 6. Таким образом, зависимость всех исследуемых характеристик от пространственного распределения особой налицо. Попутно отметим, что уровень насыщения ловушек не только пропорционален коэффициенту уловистости, но и весьма близок к средним уловам, показанным на предыдущем рисунке. Если эта связь устойчива, то средний улов в порядке позволяет устанавливать реальный уровень насыщения ловушек, и, наоборот, по данному уровню можно прогнозировать средний улов.

Таблица 2

Характеристики промыслового действия ловушки в порядке из 100 ловушек для различных скоростей течения, способов расчета и типов пространственного распределения животных; по результатам вычислительного эксперимента

Способ расчета	Тип пространственного распределения особей	Временной шаг расчета шлейфа ($\Delta t'$), мин.	Скорость течения (v), см/с	Коэффициент уловистости (q), 10^{-3}		Площадь зоны облова (S), тыс. кв. м		Площадь эффективного облова (S_e), кв. м		Уровень насыщения (a), экз./лов.		Удельная скорость наполнения (b), 1/сут.	
				<i>среднее</i>	<i>ошибка</i>	<i>среднее</i>	<i>ошибка</i>	<i>среднее</i>	<i>ошибка</i>	<i>среднее</i>	<i>ошибка</i>	<i>среднее</i>	<i>ошибка</i>
По пойманым	Агрегированное	5	5	5,6	0,62	75,2	16,14	421,3	125,97	5,3	0,03	0,13	0,012
		1	10	5,5	0,67	66,2	15,44	366,1	124,20	5,1	0,02	0,17	0,004
		1	20	6,3	0,74	67,2	16,30	426,2	149,03	6,2	0,02	0,17	0,003
		5	20	6,5	0,72	68,6	15,17	445,0	138,21	6,9	0,03	0,06	0,003
По прибывшим	Агрегированное	5	20	6,3	0,71	90,4	18,86	565,9	168,05	6,9	0,03	0,06	0,003
	Равномерное	1	20	1,6	0,17	131,4	28,11	211,3	54,54	1,9	0,005	0,07	0,002

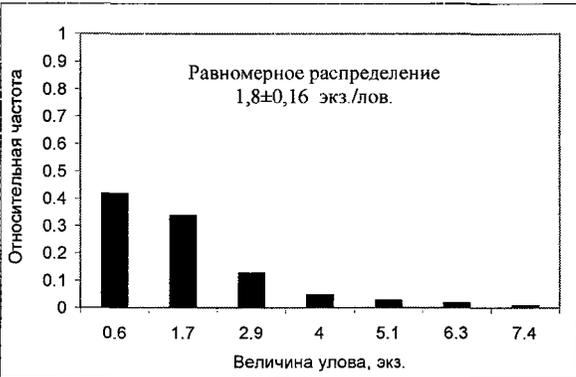
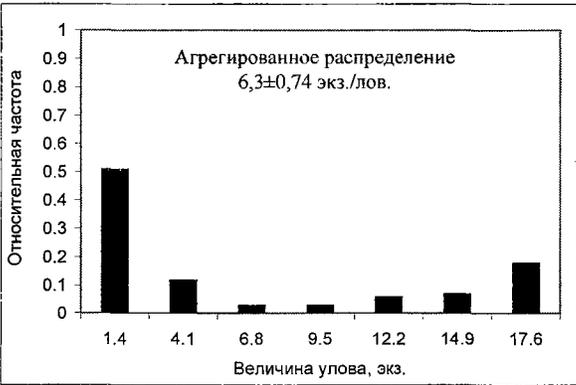
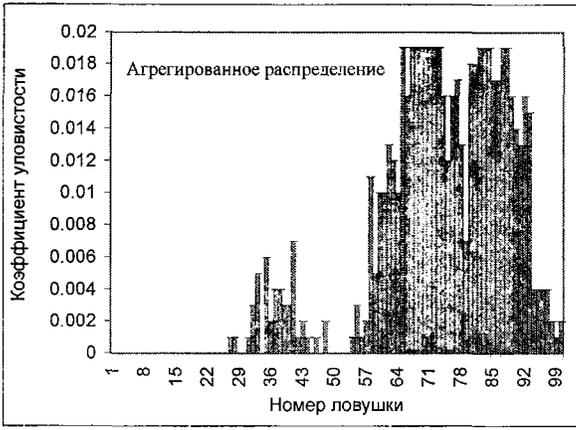


Рис. 4. Распределение коэффициента уловистости по ловушкам в порядке из 100 ловушек для двух различных типов пространственного распределения животных при скорости течения 20 см/с; по результатам вычислительного эксперимента

Рис. 5. Гистограмма уловов на ловушку в порядке из 100 ловушек для двух различных типов пространственного распределения животных при скорости течения 20 см/с; по результатам вычислительного эксперимента

Примечание: показаны средние значения и стандартные ошибки уловов.

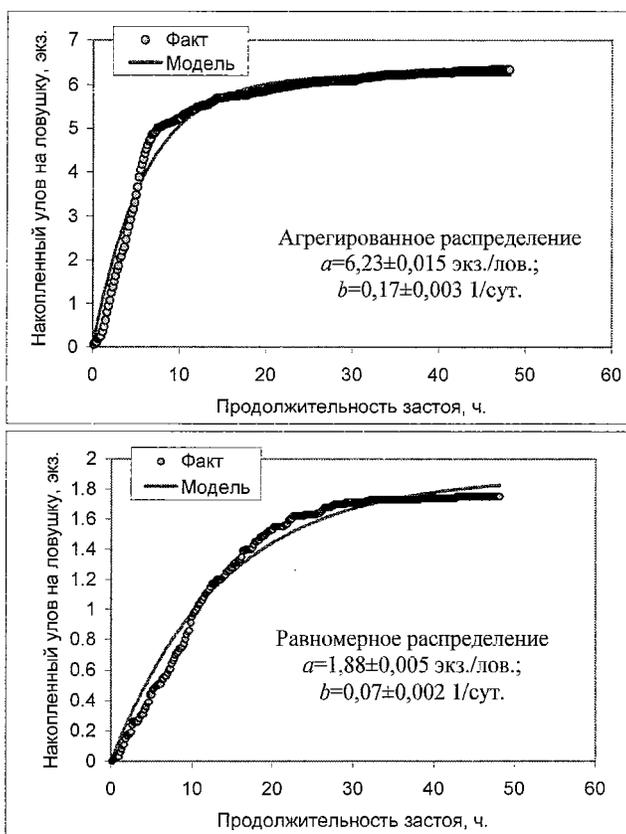


Рис. 6. Кривые наполнения ловушки в порядке из 100 ловушек для двух различных типов пространственного распределения животных при скорости течения 20 см/с; по результатам вычислительного эксперимента

Примечание: факт – результат вычислительного эксперимента; модель – результат подгонки кривой наполнения ловушки; показаны средние и стандартные ошибки параметров кривой наполнения; временной шаг расчета шлейфа равен 1 мин.

Убедившись в том, что результаты, получаемые при моделировании шлейфа с расчетным шагом в 5 минут, приемлемы, провели вычислительный эксперимент по запланированной схеме с указанной дискретизацией по времени. Итоги данного эксперимента представлены на **рисунках 7 и 8**. Можно увидеть, что зависимости всех промысловых характеристик от скорости течения явно распадаются на две ветви, обусловленные агрегированностью животных в окрестности ловушек. Однако в указанных зависимостях имеются нюансы, которые следует отметить. Площадь зоны облова при скоростях течения менее 5 см/с от агрегированности зависела не столь сильно, как при скоростях, превышающих указанную отметку. В диапазоне скоростей 5–12,5 см/с наблюдали более низкие значения площадей ЗО в случае расчета дистанции по животным, прибывшим к ловушке. При этом соответствующие кривые демонстрируют некоторую синхронность в падении при отметке скорости в 12,5 см/с. Сходное поведение кривых присутствует в зависимости площади эффективного облова от скорости течения. Для остальных промысловых характеристик никакой связи со способом расчета не отметили. Если значения площади ЗО в целом заметно выше для равномерного распределения животных, то для прочих характеристик ситуация противоположная: все значения для указанного типа агрегированности существенно ниже. Как и следовало ожидать, площадь эффективного облова показала себя более консервативной по отношению к агрегированности характеристикой в сравнении с площадью всего облова. Причина состоит в том, что производящие площадь эффективного облова величины – коэффициент уловистости и площадь ЗО, – со сменой агрегированности ведут себя разнонаправленно (см. рис. 7), но все же полностью друг друга не компенсируют.

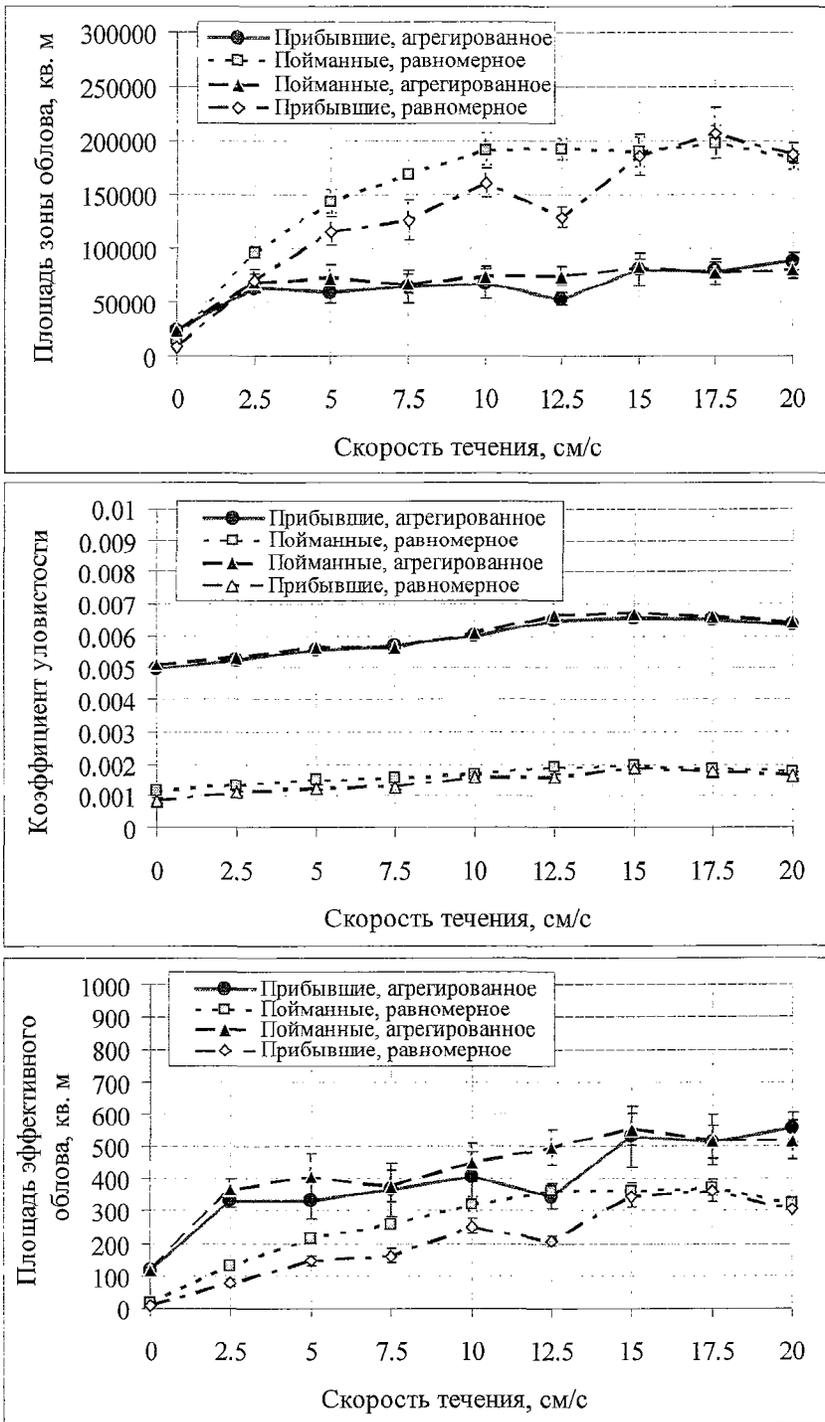


Рис. 7. Зависимость исследуемых характеристик промыслового действия ловушки в порядке из 100 ловушек от скорости течения в диапазоне 0–20 см/с; по результатам вычислительного эксперимента

Примечание: перекрытия зон облова не учтены; по поводу типов пространственного распределения животных и способов расчета см. пояснения в тексте; показаны 95%-ные доверительные интервалы оценок.

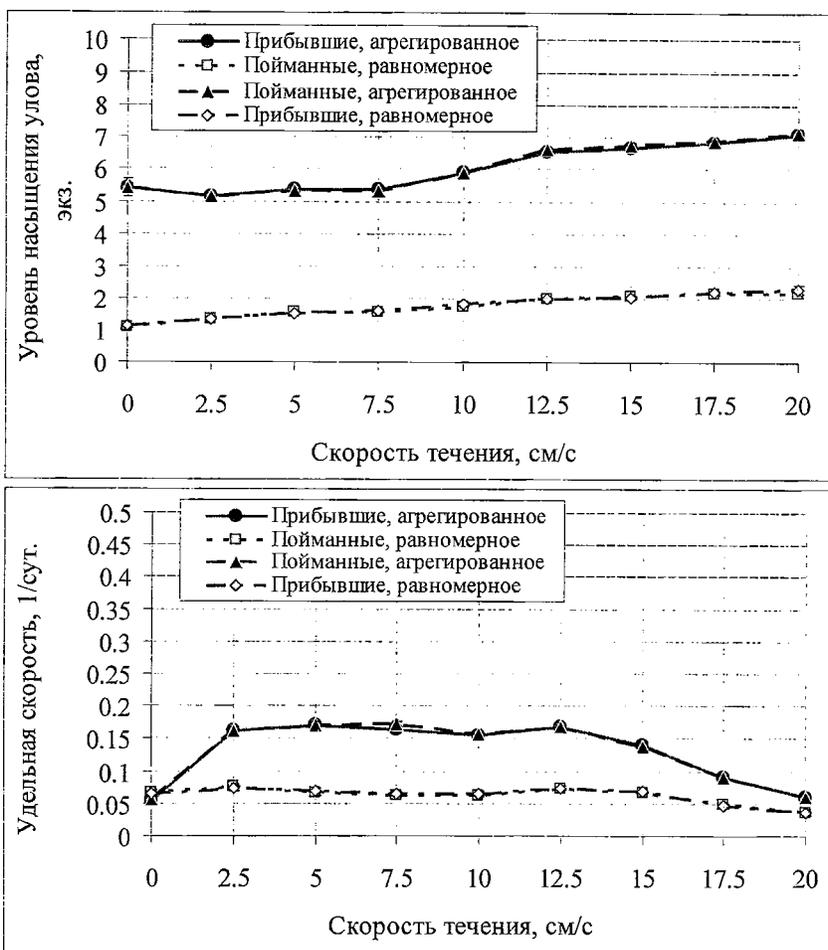


Рис. 8. Зависимость параметров кривой заполнения ловушки в порядке из 100 ловушек от скорости течения в диапазоне 0–20 см/с; по результатам вычислительного эксперимента

Примечание: перекрытия зон облова не учтены; по поводу типов пространственного распределения животных и способов расчета см. пояснения в тексте; показаны 95%-ные доверительные интервалы оценок.

Возвращаясь к нашей первоочередной цели, рассмотрим связь усредненных по ловушкам и имитациям характеристик промыслового действия ловушек со скоростью течения. Следует отметить, что тенденция роста всех исследованных характеристик с увеличением скорости течения прослеживается четко. Некоторое исключение составляла, быть может, зависимость для удельной скорости наполнения ловушек, которая при течении 20 см/с упала, особенно заметно в случае агрегированного распределения животных. При равномерном же распределении особей величина скорости наполнения от течения вообще зависела слабо. Площадь ЗО резко возрастала в диапазоне 0–2,5 см/с для агрегированной популяции и в диапазоне 0–10 см/с для равномерно плотной популяции. С последующим увеличением скорости течения наблюдали некоторое насыщение роста для указанной промысловой характеристики (см. рис. 7). Коэффициент уловистости, площадь эффективного облова и уровень насыщения ловушки показали выраженную положительную прямую связь со скоростью течения. Также укажем на достаточно, а в

ряде случаев очень, узкие доверительные интервалы для оценок средних по указанным выше выборкам. Таким образом, все исследуемые характеристики обладали тесной положительной связью со скоростью течений.

Количественные оценки, полученные для промысловых характеристик в вычислительном эксперименте, имеют значение, да и то, скорее, теоретическое, только для равномерного распределения, которое может рассматриваться как в определенной степени универсальное. В данной связи последовательно изложим наши результаты только для указанного типа распределения животных. При увеличении скорости течения от 0 до 7,5 см/с площадь ЗО росла с 20 до 170 тыс. кв. м, достигая отметки 200 тыс. кв. м в диапазоне скоростей 10–20 см/с. Это весьма внушительное увеличение, требующее объяснений. Очевидно, что верхняя отметка для площади ЗО обусловлена размерами заселенной области: среднее расстояние от ловушек до границы области, лежащей ниже по течению, при равномерном распределении животных и есть радиус ЗО (см. рис. 2 для равномерного распределения и рис. 3). С другой стороны, при отсутствии течения запах распространяется только за счет турбулентной диффузии, симметрично относительно приманки. Если поглощением и химической трансформацией пренебречь, то в рассматриваемом случае площадь ЗО будет ограничиваться размерами области диффузии. Действительно, радиус поля аттрактанта при нулевой скорости течения был близок к отметке 190 м (рис. 9), а радиус зоны облова равен примерно 80 м.

Уловистость ловушек в эксперименте росла от 0,001 до 0,002, достигнув верхней отметки при скорости в 12,5 см/с, и далее почти не менялась. Указанное значение скорости является для исследуемой ситуации пороговым в том смысле, что уже при нем времени для достижения ловушек после обнаружения запаха достаточно у всех особей в области ниже порядка по течению. Как следствие, отношение улова к начальной численности в зоне облова оставалось неизменным для скоростей от 12,5 см/с и выше. Площадь эффективного облова при увеличении скорости течения вела себя аналогично площади всего облова, варьируясь в диапазоне 20–400 кв. м. Уровень насыщения ловушки как функция скорости течения повторял поведение коэффициента уловистости, что было вполне ожидаемо в связи с их прямой пропорциональностью, о чем упоминалось выше. Удельная скорость наполнения ловушки демонстрировала стабильность, варьируясь в узком интервале от 0,075 до 0,04 сут.⁻¹ и упав ниже отметки 0,05 сут.⁻¹ только при скорости 20 см/с.

При имитациях лова одиночной ловушкой в очень широком диапазоне скоростей течения 0–100 см/с для средней по имитациям площади ЗО было установлено следующее (рис. 10). Указанная величина возрастала от 60 тыс. кв. м при нулевой скорости и достигала пика в более чем 400 тыс. кв. м при скорости 3 см/с. При дальнейшем увеличении скорости до значений 9–11 см/с площадь ЗО сокращалась примерно до 25–40 тыс. кв. м. В отмеченном диапазоне скоростей изменение площади ЗО происходило в широком доверительном интервале. Последующий рост скорости практически не оказывал влияния на рассматриваемую величину: ее значения варьировались около достигнутого уровня в более узком интервале.

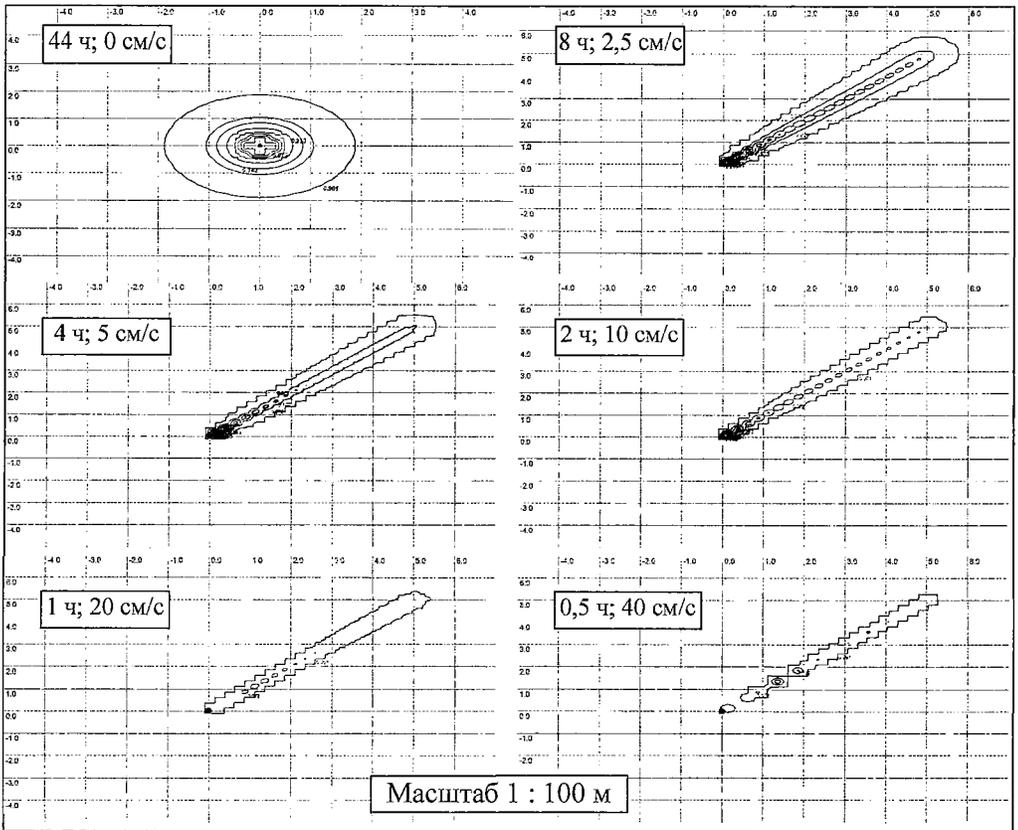


Рис. 9. Размеры и форма шлейфа запаха от одиночной ловушки при различных скоростях течения в диапазоне 0–40 см/с; по результатам вычислительного эксперимента

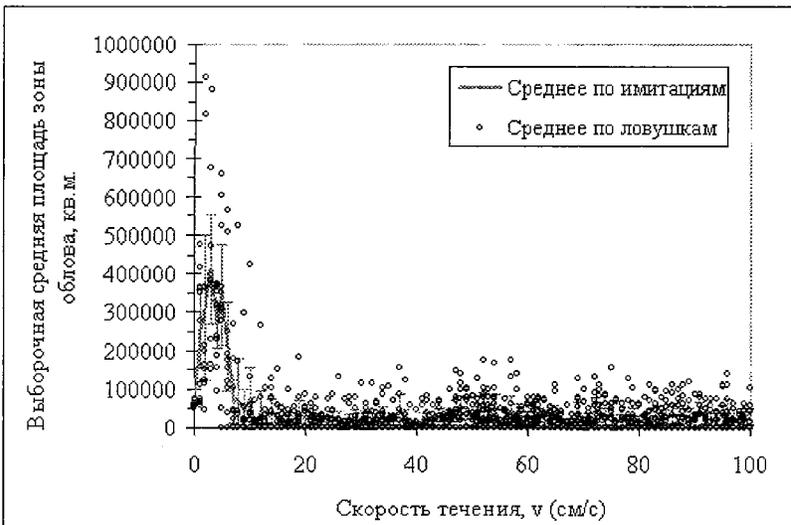


Рис. 10. Зависимость площади зоны облова одиночной ловушки от скорости течения в диапазоне 0–100 см/с; по результатам вычислительного эксперимента

Примечание: ловушка расположена в точке с координатами (0; 0); пространственное распределение животных — равномерное; временной шаг расчета шлейфа равен 1 мин.; показаны 95%-ные доверительные интервалы оценок.

Объяснение столь резких изменений площади облова одиночной ловушки для сравнительно малых скоростей, на наш взгляд, лежит в поведении шлейфа запаха (см. рис. 9). При распространении аттрактанта под влиянием только диффузии максимальный радиус поля запаха, как было указано ранее, составил 190 м, а соответствующий радиус ЗО был близок к отметке 140 м. Это почти вдвое больше аналогичного радиуса, полученного для порядка из 100 ловушек. Как можно видеть из рисунка, с ростом скорости течения шлейф запаха вытягивается вдоль потока и достигает при этом границы исследуемой области все быстрее и быстрее. В итоге зона приманивания сужается, и шансы животных контактировать с запахом извне на флангах шлейфа резко падают. Начиная с некоторого значения скорости, в данном случае – это примерно 10 см/с, радиус ЗО определяют только те особи, которые находятся близко к створу, задаваемому вектором течения, проходящим через ловушку. Этим и объясняется некоторая стабилизация размеров обловленной зоны для больших скоростей течений. С ростом скорости от 0 до 2–3 см/с шлейф вытягивался до границы исследуемой области с одновременным расширением, и соответственно рос радиус ЗО, приближаясь к максимальным значениям в 300–400 м. После достижения шлейфом границы заселенной области его фронт начинал сокращаться тем быстрее, чем выше была скорость течения, вплоть до пороговой величины 10 см/с. Из результатов последней из рассмотренных имитаций следует, что промысловые характеристики, оцененные для одиночных ловушек, нельзя без корректировки использовать для ловушек, действующих в порядке.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Первоначально хотелось бы поделиться соображением, которым мы руководствовались при выборе пространственного распределения облавливаемой популяции для проведения вычислительного эксперимента: равномерно-случайного и агрегированного со случайным выбором расположения центров пятен и их размеров. Перед нами стояла задача выявить влияние агрегированности животных на промысловую активность ловушек. Равномерное распределение в этом случае может рассматриваться как эталонное, в том смысле, что при нем эффект агрегированности исключается априори. Именно в сравнении результатов для произвольного пятнистого распределения и однородной популяции можно было, на наш взгляд, решить указанную задачу.

Существенным пробелом в нашей работе явилось отсутствие анализа промысловых характеристик ловушек в условиях приливных течений. Главная особенность указанного типа течений, представляющая интерес в контексте проводимого исследования, состояла в гармоническом изменении вектора скорости в суточном цикле. В масштабах времени, сравнимых с продолжительностью застоя ловушек, приливные течения по праву считаются одним из важнейших факторов, определяющих поведение шлейфа запаха от приманки в придонных шельфовых водах (Himmelman, 1988; McQuinn et al., 1988; Lapointe, Sainte-Marie, 1992). Однако программа МПДЛ в нынешней версии предназначена для работы с однородным и стационарным полем течений. Кстати говоря, поскольку полученные результаты могут относиться к влиянию только непериодических течений, мы позиционируем их как предварительные.

Исследование промысловой активности ловушек в ограниченном диапазоне скоростей требует некоторого обоснования вводимых пределов. Непериодические течения у дна обусловлены разными факторами, проявляющимися в зависимости

от сезона. На малых глубинах одной из главных движущих сил является ветровой дрейф, на больших – плотностная структура вод. На северо-восточном шельфе о. Сахалин летом ветер южных румбов генерирует устойчивый экмановский дрейф. Скорость течения у дна на мелководье (менее 27 м глубины) в июле в среднем может составлять около 15 см/с, редко превышая величину 20 см/с. С наступлением осени наблюдается интенсификация Восточно-Сахалинского течения, происходящая при перестройке термохалинного поля и размывании гидрологического фронта. В осенний период придонные воды движутся в направлении южных румбов со скоростью, редко превосходящей 20 см/с (Красавцев и др., 2001). По наблюдениям названных авторов, наиболее частая смена направлений у непериодических течений происходила через 3,6 и 25–26 суток. Этого достаточно, чтобы полагать, что в течение застоя ловушечного порядка направление течения остается неизменным. На северо-западном шельфе Охотского моря, по данным 16-суточной станции, непериодические течения в июне на горизонте 137 м хотя и меняли направление чаще всего ежедневно, скорости потоков при этом крайне редко превышали отметку 10 см/с (Путов, Шевченко, 2001). Типичные скорости приливных течений, рассматриваемые в работах зарубежных авторов по оценке промысловых характеристик ловушек, лежат примерно в том же диапазоне, что и указанные выше скорости непериодических течений: от 1 до 7 см/с (Sainte-Marie, Hargrave, 1987); 0–26 см/с (Himmelman, 1988; McQuinn et al., 1988); менее 27 см/с (Miller, 1990); 0–40 со средним значением 22 см/с (Lapointe, Sainte-Marie, 1992). Приведенные здесь величины дали нам основание использовать в вычислительном эксперименте диапазон скоростей 0–20 см/с и дополнительно исследовать промысловую активность одиночной ловушки при скоростях от 0 до 100 см/с.

Довольно серьезной проблемой при построении модели МПДЛ стал выбор способа измерения и расчета характеристик промыслового действия ловушек, который можно рассматривать как их конструктивную дефиницию. Если с коэффициентом уловистости и параметрами наполнения ловушки все более или менее ясно, то с определением зоны облова возникают трудности (Михеев, 2002а). Достаточно представить, что при использовании меченых животных для оценки размеров и формы ЗО мы будем сталкиваться с тем, что эти размеры и форма обусловлены не только свойствами орудия лова и шлейфом запаха, но, в не меньшей степени, и агрегированностью облавливаемой популяции. Стоит добавить, что и биологическое состояние животных будет оказывать влияние на формирование ЗО. Иначе говоря, для произвольной пространственной организации животных определение зоны облова на основе измеренных дистанций будет давать всякий раз иной результат при прочих равных условиях. Какие еще способы найти истинные размеры зоны облова имеются в нашем распоряжении?

В литературе на сегодняшний день сложилось два устойчивых определения, или, как их еще называют, концепции (McQuinn et al., 1988), связанных с зоной облова. Одна базируется на размерах и форме шлейфа запаха, называемого в этих случаях зоной приманивания (area of attraction, baited field, odour plume). Вторая, как известно, была введена Р. Миллером и основана на понятии эффективного или стопроцентного облова (Miller, 1975). Зону приманивания и уловистость определяют, как правило, экспериментально *in situ* с помощью выпуска и последующей поимки меченых животных сериями с различных дистанций вдоль заранее выбранных направлений (Himmelman, 1988; McQuinn et al., 1988). Зону эффективного облова измеряют на основе калибровки по эталонному орудию лова, обычно активно облавливающему, как трал, например (Miller, 1975).

По нашему мнению, зона эффективного облова как операциональная величина, в принципе, ничуть не хуже коэффициента уловистости. Главное требование для получения приемлемых оценок запаса на основе известной площади эффективного облова состоит в том, чтобы указанная характеристика либо была известна для каждого места постановки ловушек, либо не должна сильно варьироваться от точки к точке. Как известно, выполнение данного условия для каждого конкретного случая проверить невозможно. Вместе с тем к коэффициенту уловистости тралов применимо аналогичное требование, но оно также в действительности не проверяется. Как показал наш вычислительный эксперимент, зона эффективного облова менее зависит от агрегированности животных, чем уловистость и ЗО. О причине этого было сказано выше. Существенное достоинство площади эффективного облова как операциональной величины состоит в том, что она не отражает никакой реальной формы. На самом деле это всего лишь коэффициент пропорциональности, но не между численностью и уловом, как в случае коэффициента уловистости, а между уловом и плотностью запаса.

Что касается зоны приманивания, то, как было замечено Р. Миллером (Miller, 1985, цит. по: Sainte-Marie, 1991), важное условие для установления размеров и формы этой зоны с помощью методов мечения состоит в следующем: меченые животные не должны двигаться до контакта с запахом от приманки. Если считать, что данное условие соблюдается и попадание животных в ловушку стимулировано запахом от приманки (Sainte-Marie, Hargrave, 1987), то следует признать, что зона приманивания должна покрывать собой зону облова. Однако можно вообразить иной сценарий. Например, при сильных течениях, когда особи, быстрее приходящие по узкому шлейфу запаха с дальних дистанций, заполняют ловушку, а припоздавшие особи, прибывшие с более коротких расстояний других направлений, уже не имеют шансов быть пойманными. В этом случае измерение пройденных дистанций с применением меченых животных даст размеры зоны облова больше, чем у зоны приманивания (см. табл. 2, рис. 7). Но описанная ситуация касается одновременного старта всех животных в процессе поиска приманки, как, например, в проведенном вычислительном эксперименте. Данной ситуации пытаются избежать, организуя выпуск особей сериями с разных направлений и дистанций и последовательно измеряя долю пойманных. Такой подход остается на сегодняшний день единственно приемлемым для экспериментального измерения зоны приманивания и уловистости ловушки на разных дистанциях от нее в условиях *in situ*. Кстати говоря, метод оценки полной уловистости ловушки на основе указанного подхода был предложен и проверен нами на данных Дж. Химмелмана (Himmelman, 1988) ранее (Михеев, 2002а). Однако этот подход рождает собственную проблему: условия среды могут существенно меняться от выпуска к выпуску. Именно неоднозначность в соотношении двух зон – приманивания и облова – и побудила нас использовать два способа расчета радиуса ЗО: по прибывшим к ловушке особям и поавшим в нее.

Отметим, что в случае тотальной поимки всех животных, прибывших к ловушке, кривая наполнения ловушек совпадает с так называемой кривой подходов или прибытий (*arrival curve*, Sainte-Marie, Hargrave, 1987). Кривую подходов можно рассматривать как одну из концепций для оценки зоны приманивания и запаса, основанную не только на экспериментах с мечением, но еще и на элегантно, по словам Р. Миллера (1990), математической модели шлейфа. При применении названной концепции следует учитывать, что, как было показано в данной работе, насыщение ловушки связано не только с ее вместимостью, но и с плотностью

животных в зоне облова. Иначе говоря, указанный параметр наполнения является не только конструктивной характеристикой ловушки, но и биологически обусловленным показателем.

Поскольку при проведении вычислительного эксперимента использовали один и тот же ловушечный порядок либо одиночную ловушку, то возможные интерференционные эффекты в их промысловой активности или носили характер систематический, или вообще отсутствовали. Поэтому при изучении влияния течений ими можно было пренебречь. В данной связи областей перекрытия между зонами облова ловушек в порядке не учитывали, хотя программа МПДЛ позволяет это сделать и выводит результат согласно формуле (Arena et al., 1994), которая в наших обозначениях, приведенных выше, и с небольшими преобразованиями выглядит следующим образом:

$$S_{nep.} = \begin{cases} S, s > 2R \\ S - \frac{(M-1)}{M} \left[S \frac{\arccos(s/2R)}{90} - \frac{s\sqrt{4R^2 - s^2}}{2} \right], s \leq 2R \end{cases}.$$

В линейном приближении ошибку для средней площади ЗО с учетом областей перекрытия можно вычислить по следующей формуле:

$$m_{Sme.} = m_s \left\{ 1 - \frac{(M-1)}{M} \left[\frac{\arccos(s/2R)}{90} - \frac{s}{\sqrt{4R^2 - s^2}} \left(\frac{1}{180} + \frac{1}{\pi} \right) \right] \right\}.$$

Приведенные выше формулы могут быть полезны тем, кто пожелает исследовать данный аспект проблемы.

В литературе упоминается о сокращении площади зоны облова при сильных течениях (Sainte-Marie, Hargrave, 1987; Himmelman, 1988; McQuinn et al., 1988). В названных работах отмеченный эффект был выявлен на основе выпусков меченых особей сериями из фиксированных точек по определенным направлениям, о чем уже упоминалось выше. При работе одиночной ловушки в диапазоне скоростей течения 2–10 см/с в нашем вычислительном эксперименте также наблюдали обратную зависимость площади ЗО от скорости течения. За верхним пределом указанного диапазона никакой связи между рассматриваемыми переменными отмечено не было. Напомним, что в этом случае распределение животных было однородным и случайным. По причине различий в агрегированности сравнение наших данных с данными Дж. Химмелмана (Himmelman, 1988) не вполне корректно. С другой стороны, наши результаты для ловушечного порядка свидетельствуют о росте характеристик промыслового действия ловушек с увеличением скорости течения, как при однородном, так и при пятнистом распределении.

Завершая обсуждение, хотелось бы отметить следующее. Рост характеристик промыслового действия ловушек с увеличением скорости течения позволяет рассматривать данный фактор как позитивно влияющий на уловы. Однако в реальных условиях быстрые потоки у дна могут сказываться и отрицательно, закручивая порядки и переворачивая ловушки при постановке. Как следствие, встает вопрос, требующий ответа: как скученность ловушек сказывается на уловах? Эта нерешенная проблема, наряду с некоторыми другими, упомянутыми выше, заставляет нас рассматривать полученные результаты лишь как предварительные.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Посвящая свое исследование влиянию течений на промысловую активность ловушек, большое внимание в данном вопросе мы уделили обоснованию тезиса о важной роли агрегированности животных. Понимание необходимости ее учета при определении промысловых характеристик возникло в ходе анализа первых полученных результатов. По этой причине вычислительный эксперимент был перепланирован соответствующим образом: для сравнения его выполняли при двух фиксированных типах пространственной организации животных – агрегированной и однородной. Очевидно, что подобную задачу невозможно было бы решить с помощью одних только натурных экспериментов.

Проведенный анализ позволил выявить ряд эффектов в промысловой активности ловушек, возникающих под влиянием течений и обусловленных агрегированностью облавливаемой популяции. Все рассматриваемые характеристики в случае работы порядка из сотни ловушек продемонстрировали заметную положительную связь со скоростью течений. Однако в зависимости от агрегированности животных эта связь отличалась по своим параметрам. Для одиночной ловушки указанная связь имела более сложный нелинейный характер: она проявилась в резком увеличении площади зоны облова для малоподвижных вод, быстром ее падении для умеренных течений и стабилизации со случайными отклонениями на низком уровне для высоких значений скорости потока. Как было показано, площадь эффективного облова менее других промысловых характеристик зависит от пространственной организации животных. Следовательно, как переходный коэффициент от индекса запаса к его абсолютной плотности данная величина более предпочтительна. Тем более что ее можно оценить по прямым измерениям с использованием калибровочных орудий или каких-либо способов оценки плотности популяции в районе лова (Miller, 1975). Однако при использовании площади эффективного облова, как, впрочем, и других родственных характеристик, поправка на скорость течения необходима. Положительный характер рассматриваемой связи позволяет сформулировать следующий практический вывод: промысел ловушками и прочими приманивающими орудиями при правильном расположении порядка относительно скоплений животных и оси течения в активных потоках более эффективен, чем в зонах застойных вод.

В завершение повторим, что установленные в проведенном вычислительном эксперименте зависимости не решают всех проблем, касающихся определения зоны облова, уловистости и наполняемости ловушек да и для любых пассивных приманивающих орудий в целом.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Термин «промысловое действие ловушек» как альтернатива термину «промысловые параметры ловушки» (в смысле ее конструктивных особенностей) был предложен Б. Г. Ивановым в его критических замечаниях к одному из авторов при подготовке серии статей (Михеев, 2001, 2002, 2002а), за что последний ему искренне благодарен и чтит его память.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимова, Н. А. К вопросу об эффективной площади облова камчатского краба американской прямоугольной ловушкой в Баренцевом море / **Н. А. Анисимова, Б. И. Беренбойм, Ю. Е. Жак** // Тез. докл. VII Всерос. конф. по промысловым беспозвоночным (памяти Б. Г. Иванова). – М. : Изд-во ВНИРО, 2006. – С. 46–49.
2. **Иванов, Б. Г.** Промысловая гидробиология России: наследие, проблемы, перспективы / Б. Г. Иванов // Рыб. хоз-во. – 1994. – № 5. – С. 43–47; № 6. – С. 30–34.
3. Красавцев, В. Б. Пространственная структура неперидических течений на северо-восточном шельфе острова Сахалин по измерениям 1990 года / **В. Б. Красавцев, К. К. Попудричко, Г. В. Шевченко** // Динамические процессы на шельфе Сах. и Курил. о-вов. – Ю-Сах. : ИМГиГ, Сах. науч. центр ДВО РАН, 2001. – С. 48–61.
4. Курдюмов, С. П. Вычислительный эксперимент / **С. П. Курдюмов, Г. Г. Малинецкий** // Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент. – М. : Наука, 1988. – С. 16–78.
5. **Михеев, А. А.** Определение промысловых параметров крабовых ловушек с помощью математической модели «хищник–приманка» / А. А. Михеев // Вопр. рыболовства. – 2001. – Т. 2, № 3. – С. 518–541.
6. **Михеев, А. А.** Проблемы прямого учета промысловых донных беспозвоночных / А. А. Михеев // Вопр. рыболовства. – 2002. – Т. 3, № 1. – С. 137–148.
7. **Михеев, А. А.** Уловистость и зона облова ловушки: теория и эксперимент / А. А. Михеев // Вопр. рыболовства. – 2002а. – Т. 3, № 3. – С. 486–501.
8. Путов, В. Ф. Анализ инструментальных измерений течений на шельфе северо-западной части Охотского моря / **В. Ф. Путов, Г. В. Шевченко** // Динамические процессы на шельфе Сах. и Курил. о-вов. – Ю-Сах. : ИМГиГ, Сах. науч. центр ДВО РАН, 2001. – С. 36–47.
9. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / **Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский**. – М. : Горячая линия, Телеком, 2004. – 452 с.
10. **Сеславинский, В. И.** Исследование влияния параметров ловушек и тактики лова на эффективность промысла гребенчатой креветки / В. И. Сеславинский // Изв. ТИНРО. – 2007. – Т. 150. – С. 352–364.
11. Arena, G. Theoretical evaluation of trap capture for stock assessment / **G. Arena, L. Barea, O. Defeo** // Fish. Res. – 1994. – Vol. 19. – P. 349–362.
12. Orientation of juvenile blue crabs, *Callinectes sapidus* Rathbun, to currents, chemicals, and visual cues / **H. Diaz, B. Orihuela, R. B. Forward, Jr., D. Ritschof** // J. Crust. Biol. – 2003. – Vol. 23. – P. 15–22.
13. Effects of chemical cues on orientation of blue crab, *Callinectes sapidus*, megalopae in flow: implications for location of nursery areas / **R. B. Forward, Jr., R. A. Tankersley, K. A. Smith, J. M. Welch** // Mar. Biol. – 2003. – Vol. 142. – P. 141–1756.
14. **Himmelman, J. H.** Movement of whelks (*Buccinum undatum*) towards a baited trap / J. H. Himmelman // Mar. Biol. – 1988. – Vol. 97. – P. 521–531.
15. Lapointe, V. Currents, predators, and the aggregation of the gastropod *Buccinum undatum* around bait / **V. Lapointe, B. Sainte-Marie** // Mar. Ecol. Progr. Ser. – 1992. – Vol. 85. – P. 245–257.
16. **Miller, R. G.** Density of the commercial spider crab, *Chionoecetes opilio*, and calibration of effective area per trap using bottom photography / R. G. Miller // J. Fish. Res. Board Can. – 1975. – Vol. 32. – P. 761–768.
17. **Miller, R. G.** Effectiveness of crab and lobster traps / R. G. Miller // Can. J. Fish. Aquat. Sci. – 1990. – Vol. 47. – P. 1228–1251.
18. McQuinn, I. H. Area of attraction and effective area fished by a whelk (*Buccinum undatum*) trap under variable conditions / **I. H. McQuinn, L. Gendron, J. H. Himmelman** // Can. J. Fish. Aquat. Sci. – 1988. – Vol. 45. – P. 2054–2060.
19. Moore, P. A. Habitat-specific signal structure for olfaction: an example from artificial streams / **P. A. Moore, J. L. Grills, R. W. S. Schneider** // J. Chem. Ecol. – 2000. – Vol. 26, No. 2. – P. 565–584.

20. **Moran, P. A. P.** A mathematical theory of animal trapping / P. A. P. Moran // *Biometrics*. – 1951. – Vol. 38. – P. 307–311.
21. **Nishiuchi, S.** A study on size-selectivity of hair crab pots / S. Nishiuchi // *Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn.* – 2003. – Vol. 64. – P. 1–103
22. Sainte-Marie, B. Estimation of scavenger abundance and distance of attraction to bait / **B. Sainte-Marie, B. T. Hargrave** // *Mar. Biol.* – 1987. – Vol. 94, No. 3. – P. 431–443.
23. **Sainte-Marie, B.** Whelk (*Buccinum undatum*) movement and its implications for the use of tag-recapture methods for the determination of baited trap fishing parameters / B. Sainte-Marie // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 1991. – Vol. 48. – P. 751–756.
24. Winger, P. D. The feasibility of escape mechanisms in conical snow crab traps / **P. D. Winger, P. J. Walsh** // *ICES J. Mar. Sci.* – 2007. – Vol. 64. – P. 1587–1591.
25. Xu, X. Estimation of trap selectivity for male snow crab (*Chionoecetes opilio*) using the SELECT modeling approach with unequal sampling effort / **X. Xu, R. B. Millar** // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 1993. – Vol. 50. – P. 2485–2490.