

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ УЛОВОВ НА ЛОВУШКУ ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЗАСТОЯ ДЛЯ РЯДА ПРОМЫСЛОВЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ САХАЛИНО-КУРИЛЬСКОГО РАЙОНА

**А. А. Михеев, С. Д. Букин, Е. Р. Первеева,
Л. А. Живоглядова, А. А. Крутченко, И. П. Смирнов**

**Сахалинский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии (Южно-Сахалинск)**

ВВЕДЕНИЕ

Продолжительность застоя как показатель производительности промысловой операции имеет большое значение при облове донных и придонных беспозвоночных ловушками (Sloan, Robinson, 1985; Miller, 1990; Михеев, Клитин, 2000, 2002). Зависимость уловов на ловушку от продолжительности застоя обусловлена вероятностью обнаружения приманки, которая изменяется со временем и характеризуется наличием фаз быстрого роста и насыщения. Проявление названных фаз связано в первую очередь с режимом действия приманки (Sainte-Marie, Hargrave, 1987; Михеев, 2001). Анализ указанной зависимости позволяет установить оптимальную продолжительность застоя для конкретного промыслового вида, района, сезона и типа приманки. Кроме того, учет этой зависимости необходим для стандартизации временных рядов уловов при оценке обилия запасов и коэффициентов улавливаемости методом полигонов. В этой связи целью исследований было проанализировать изменение величины улова на ловушку с течением времени для ряда наиболее важных единиц запаса донных беспозвоночных и креветок сахалино-курильского района. Поставленная цель подразумевает определение количественных характеристик (параметризацию) зависимости уловов на ловушку от продолжительности застоя. Эта задача и стала основной при проведении работ. Для краткости будем ссылаться на анализируемую зависимость как на зависимость «улов–застой».

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

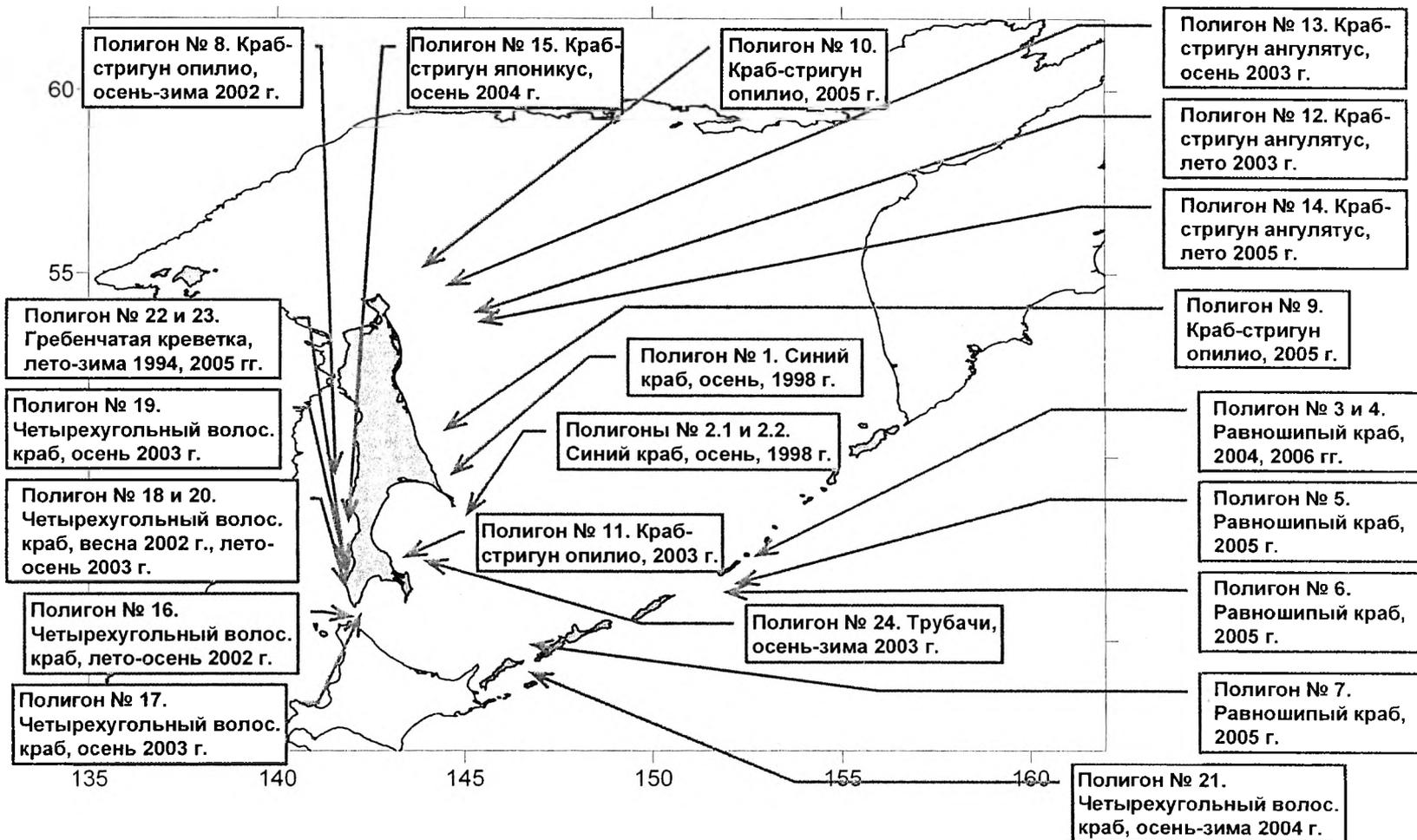
В качестве материала для исследований были использованы данные по уловам на ловушку и продолжительности застоя на станциях (порядках). За продолжительность застоя был принят отрезок времени между моментами завершения постановки и начала выборки порядка. Перечисленные данные были собраны при проведении мониторинга в период 1994–2006 гг. в сахалино-курильском районе. Список и положение полигонов, на которых производился сбор данных, приведены в таблице 1 и на рисунке 1. Для удобства полигоны пронумерованы.

Таблица 1

**Основные характеристики полигонов с указанием облавливаемого
промыслового объекта**

Полигон №	Район	Вид	Координаты	Диапазон глубин, м	Период наблюдений	Орудия лова	Число станций
1	ВС	Синий краб	49.07–49.27° с. ш. 144.48–144.71° в. д.	70–100	27.09–30.10.98	Японские конические ловушки	38
2.1	ВС	Синий краб	48.23–48.46° с. ш. 145.28–145.34° в. д.	150–300	28.09–31.10.98	Японские конические ловушки	42
2.2	ВС	Синий краб	48.32–48.43° с. ш. 145.28–145.32° в. д.	150–300	06.11–23.11.98	Японские конические ловушки	29
3	Остров Шиашкотан	Равношипый краб	48°19'–48°35' с. ш. 153°39'–153°59' в. д.	89–500	27.09–08.12.04	Американские прямоугольные и трапециевидные ловушки	278
4	Остров Шиашкотан	Равношипый краб	48°21'–48°39' с. ш. 153°30'–153°59' в. д.	112–512	15.02–22.05.06	Американские прямоугольные и трапециевидные ловушки	366
5	Остров Ушишир	Равношипый краб	47°27'–47°31' с. ш. 152°44'–152°55' в. д.	130–480	07.10–09.12.05	Американские прямоугольные и трапециевидные ловушки	74
6	Остров Симушир	Равношипый краб	47°04'–47°25' с. ш. 152°04'–152°39' в. д.	128–420	06.10–10.12.05	Американские прямоугольные и трапециевидные ловушки	165
7	Остров Итуруп	Равношипый краб	44°30'–44°50' с. ш. 146°43'–147°10' в. д.	275–796	28.04–14.05.04	Американские прямоугольные и трапециевидные ловушки	63
8	ЗС	Стригун опилио	49°00'–58°08' с. ш. 141°14'–141°47' в. д.	132–310	11.11–20.12.02	Японские конические ловушки	301
9	СВС	Стригун опилио	50°02'–50°41' с. ш. 144°23'–144°41' в. д.	178–218	14.06–30.07.05	Японские конические ловушки	74
10	СВС	Стригун опилио	54°43'–54°58' с. ш. 143°43'–143°57' в. д.	135–488	24.10–11.12.05	Японские конические ловушки	142
11	ЮВС	Стригун опилио	47°18'–48°17' с. ш. 143°41'–145°19' в. д.	130–368	25.09–26.12.03	Японские конические ловушки	118
12	ВС	Стригун ангулятус	51°53'–53°00' с. ш. 144°50'–145°21' в. д.	730–1340	17.08–02.10.03	Японские конические ловушки	121
13	ВС	Стригун ангулятус	53°36'–54°58' с. ш. 144°08'–144°38' в. д.	560–1245	8.09–25.11.03	Японские конические ловушки	415
14	ВС	Стригун ангулятус	52°01'–52°36' с. ш. 144°12'–146°09' в. д.	614–1170	5.07–31.08.05	Японские конические ловушки	239
15	ЗС	Стригун японикус	47°05'–47°28' с. ш. 141°14'–141°40' в. д.	470–1178	9.11–26.12.04	Японские конические ловушки	138
16	Зал. Анива	Волосатый краб	45°30'–45°50' с. ш. 142°25'–142°39' в. д.	65–101	17.07–16.09.02	Японские конические ловушки	232
17	Зал. Анива	Волосатый краб	45°47'–46°03' с. ш. 142°27'–142°38' в. д.	65–100	15.09–16.11.03	Японские конические ловушки	123
18	ЗС	Волосатый краб	46°24'–46°33' с. ш. 141°46'–141°50' в. д.	21–47	05.04–05.05.02	Японские конические ловушки	93
19	ЗС	Волосатый краб	46°40'–46°42' с. ш. 141°48'–141°50' в. д.	29–58	03.11–30.11.03	Японские конические ловушки	12
20	ЗС	Волосатый краб	46°24'–46°35' с. ш. 141°45'–141°50' в. д.	23–57	13.08–03.11.03	Японские конические ловушки	89
21	ЮК	Волосатый краб	43°59'–44°56' с. ш. 146°34'–146°49' в. д.	60–90	02.10–23.12.04	Японские конические ловушки	200
22	ЗС	Гребенчатая креветка	49.16–50.15° с. ш. 141.14–141.59° в. д.	110–250	10.07–20.12.94	Японские конические ловушки	308
23	ЗС	Гребенчатая креветка	49.44–50.25° с. ш. 141.08–141.59° в. д.	91–185	15.09–9.12.05	Японские конические ловушки	217
24	ЮВС	Трубач	47°10'–47°23' с. ш. 143°40'–143°44' в. д.	219–540	12.11–11.12.03	Ловушки для трубача	47

Примечание: ВС – восточный Сахалин; СВС – северо-восточный Сахалин; ЮВС – юго-восточный Сахалин; ЗС – западный Сахалин; ЮК – южные Курилы.



Методика исследования была построена на подгонке к данным нелинейной функции, которая, предположительно, описывает зависимость уловов на ловушку от продолжительности застоя (Sloan, Robinson, 1985; Miller, 1990):

$$Y(t) = a(1 - e^{-bt}), \quad (1)$$

где: $Y(t)$ – величина улова на ловушку на момент времени t с начала застоя; a и b – положительные константы, характеризующие предельный уровень насыщения уловов на ловушку и скорость достижения этого уровня соответственно. С геометрической точки зрения параметр a определяет положение горизонтальной асимптоты на оси ординат зависимости $Y(t)$, а параметр b задает степень выпуклости кривой, представляющей эту зависимость. Графики функции $Y(t)$ при различных значениях параметров a и b показаны на рисунке 2.

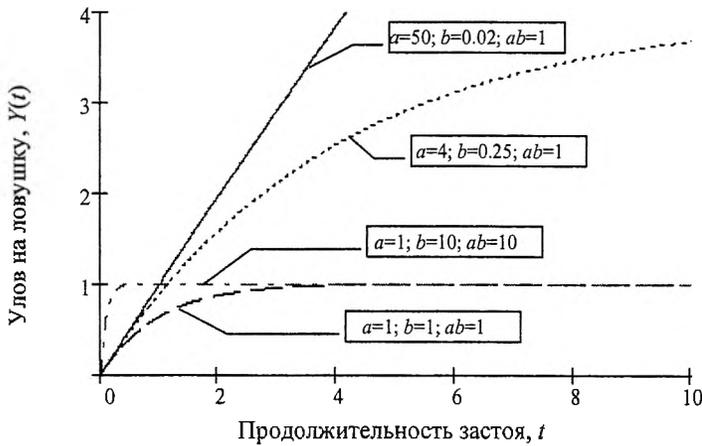


Рис. 2. Поведение функции $Y(t)$ в зависимости от параметров a и b

Оценки параметров a и b , при которых функция $Y(t)$ наилучшим образом будет описывать фактические данные по уловам на ловушку $y_* = \{y_{*t}, t=0, 1, \dots, T_n\}$, искали с помощью регрессионного анализа, основанного на нелинейном методе наименьших квадратов (МНК) (Демиденко, 1981). В этом случае целевая функция (фитнес), служащая для подгонки кривой, задаваемой уравнением (1), представляет собой сумму квадратов отклонений фактических уловов на ловушку от расчетных значений:

$$Q(a, b | y_*) = \sum_{t=0}^{T_n} [y_{*t} - a(1 - e^{-bt})]^2. \quad (2)$$

Поиск оптимальных значений a^* и b^* для искомых параметров сводится к задаче минимизации целевой функции:

$$Q(a^*, b^* | y_*) = \min_{a, b} Q(a, b | y_*). \quad (3)$$

Решение оптимизационной задачи (3) производили с помощью оригинальной компьютерной программы «Catch-Soak Estimator» пакета Depletion Model Pack (DMP). Перед использованием программы пакет DMP инсталлировали на компьютеры исполнителей, что предусмотрено средствами самого пакета. Исходные данные были представлены в формате Excel в стандартном виде, принятом в лаборатории про-

мысловых беспозвоночных СахНИРО. Особенностью программ пакета DMP является применение комплекса нелинейной оптимизации многопараметрических функций, сочетающего 14 известных градиентных методов (ГМ) и генетический алгоритм (ГА) с различными настройками (Марков, Михеев, 2006; Михеев и др., 2006; Павлушин и др., 2006). Работая с программой, использовали комбинацию ГА, который быстро приводил решение в окрестность точки минимума, и один из ГМ для уточнения этого решения. При этом в основном применяли методы Гаусса–Зейделя, Левенберга–Марквардта, Хука–Дживса, Пауэлла, простые Ньютоновские. В рамках данного исследования были изучены некоторые аналитические свойства целевой функции (2), позволяющие локализовать область поиска и, тем самым, сократить время на решение оптимизационной задачи.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ зависимости «улов–застой» и выбор стартовых значений параметров

Одна из основных проблем, с которыми приходилось сталкиваться исполнителям при работе с программой «Catch-Soak Estimator», состояла в определении подходящих стартовых значений для параметров a и b . Удачный выбор обеспечивал быстрый поиск решения и гарантировал, что данное решение с достаточной точностью соответствует минимуму целевой функции. В данной связи было целесообразно установить границы области для начала расчетов.

Учитывая, что $\lim_{b \rightarrow 0} e^{-bx} = 1 - bx$, нашли, что предел функции $Y(t)$ при стремлении величины b к нулю равен:

$$\lim_{b \rightarrow 0} Y(t) = \lim_{b \rightarrow 0} a(1 - e^{-bt}) = abt.$$

Поскольку производная $Y'(0) = ab$ характеризует наклон касательной к кривой в начале координат, то из полученного выше результата видно, что при малых значениях b график функции $Y(t)$ ведет себя как прямая линия, проходящая через начало координат с наклоном ab (см. рис. 2). Ясно, что если линия регрессии $Y(t)$ прямая, то минимум целевой функции будет достигаться при некотором единственном ее наклоне. Пусть b_{\min} обозначает верхнюю границу множества малых значений параметра b , при которых линия регрессии $Y(t)$ практически не отличается от прямой на отрезке оси t от нуля и до максимума фактического времени застоя. Вместе с тем очевидно, что комбинаций a и b , дающих одинаковый наклон ab даже при условии $b \leq b_{\min}$, бесконечно много. Следовательно, нет смысла искать решение оптимизационной задачи (3) в области значений $b < b_{\min}$.

С другой стороны, предел функции $Y(t)$ при достаточно больших значениях параметра b равен:

$$\lim_{b \rightarrow +\infty} Y(t) = \lim_{b \rightarrow +\infty} a(1 - e^{-bt}) = a.$$

Полученный результат говорит о том, что при стремлении величины b к бесконечности график функции $Y(t)$ сольется со своей горизонтальной асимптотой, проходящей через отметку a на оси ординат (см. рис. 2). В данном случае можно определить нижнюю границу b_{\max} для множества больших значений данного параметра, при которых зависимость улова на ловушку от продолжительности застоя практически отсутствует, а параметр a равен среднему улову на ловушку за период наблюдений.

На выбор удачных стартовых значений параметров влияет вид целевой функции $Q(a, b|y_*)$. В пространстве параметров a и b названная функция представляет собой поверхность, показанную на рисунке 3.

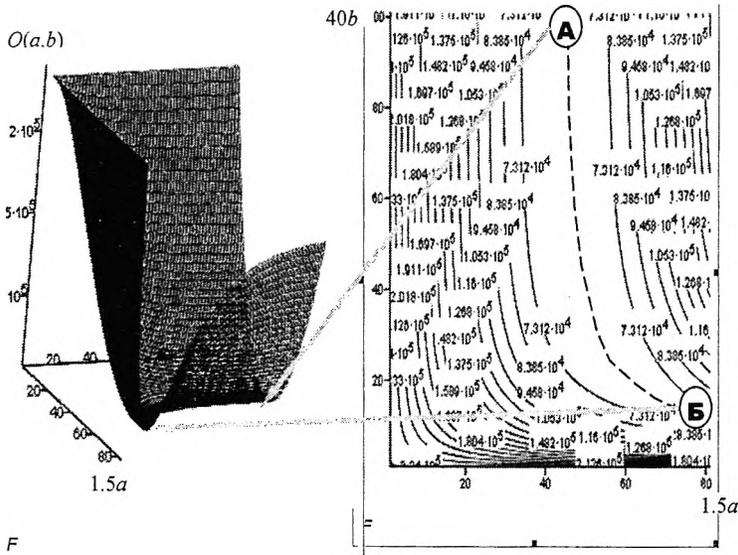


Рис. 3. Представление целевой функции $Q(a, b|y_*)$ при фиксированном векторе данных y_* : слева в виде поверхности; справа в виде изолиний уровня. Стрелками показано приблизительное положение кружков А и Б на поверхности целевой функции

Анализ показал, что вектор данных y_* не влияет на общую форму указанной поверхности. В частности, минимум у рассматриваемой поверхности всегда единственный и, следовательно, глобальный и расположен всегда на оси впадины, показанной штриховой линией на рисунке 3 справа. При этом значение целевой функции почти неизменно при перемещении вдоль оси ординат за отметкой 1, т. е. практически не зависит от параметра b . Следовательно, если минимум лежит в области, помеченной кружком А, то зависимость «улов–застой» отсутствует. Если же минимум лежит в области, помеченной кружком Б, т. е. соответствует малым значениям параметра b , то, как мы уже показали ранее, зависимость «улов–застой» будет линейной. Промежуточное положение минимума на оси между кружками А и Б будет соответствовать нелинейной функции с насыщением (см. рис. 2).

Полученные результаты имеют следующее значение при проведении стандартизации уловов на ловушку по продолжительности застоя. Если использовать простую пропорцию:

$$\frac{y_t}{y_{*t}} = \frac{Y(1)}{Y(t)},$$

то формула для вычисления стандартизованного улова y_t примет вид:

$$y_t = y_{*t} \left(\frac{1 - e^{-b}}{1 - e^{-bt}} \right). \quad (4)$$

Как видно из приведенной формулы, нормирующий коэффициент, связывающий стандартизованные и исходные значения, является функцией параметра b и продолжительности застоя t :

$$k(b, t) = \frac{(1 - e^{-b})}{(1 - e^{-bt})} \quad (5)$$

На рисунке 4 показано, как ведет себя функция $k(b, t)$ при малых и больших значениях параметра b . Из рисунка видно, что при значениях этого параметра, близких к нулю, функция $k(b, t)$ практически равна величине $1/t$, и за верхнюю границу малых значений вполне можно взять величину $b_{\min} = 0,02$ (см. рис. 4Б). С другой стороны, при значениях $b > 4$ функция $k(b, t)$ отличается от единицы менее чем на $0,01$ (см. рис. 4А, В). Следовательно, за нижнюю границу больших значений можно принять величину $b_{\max} = 4$.

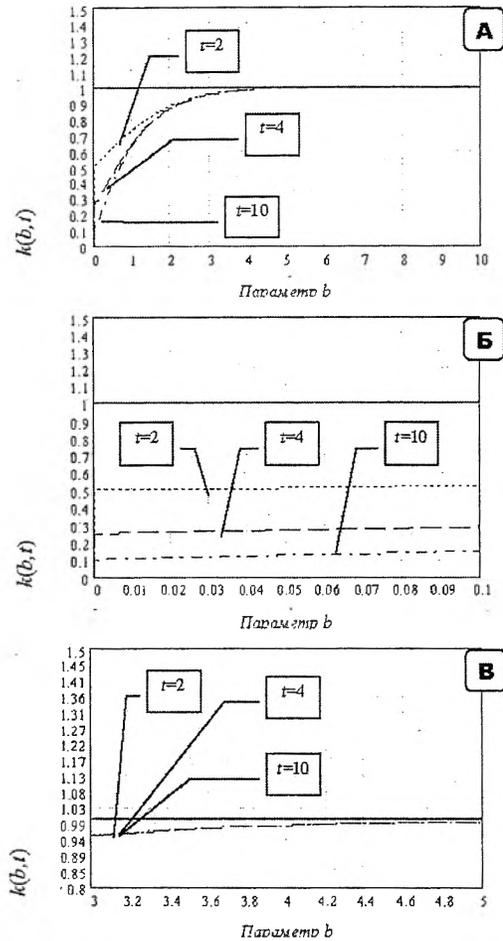


Рис. 4. Поведение функции $k(b, t)$ при трех фиксированных значениях t в зависимости от изменения параметра b : А) от 0 до 10 с шагом 1; Б) от 0 до 0,1 с шагом 0,01; В) от 3 до 5 с шагом 0,2

множество комбинаций значений параметров a и b , которые дают одинаковое произведение ab , определяющее оптимальный наклон линии регрессии $Y(t)$. Во втором случае зависимость «улов–застой» отсутствует, и оптимальное значение параметра a совпадает с уловом на ловушку, осредненным по всем станциям.

При малых значениях b формула (4), служащая для расчета стандартизованного улова на ловушку y_t на момент времени t с начала застоя, примет следующий вид:

$$y_t = \frac{1}{t} y_{*t}$$

Из полученной формулы вытекает, что при малых значениях b стандартизованный улов обратно пропорционален продолжительности застоя. При достаточно больших значениях b формула (4) преобразуется к виду, говорящему о том, что в данном случае стандартизация не нужна:

$$y_t = y_{*t}$$

Из полученных результатов вытекает несколько практических рекомендаций по заданию стартовых значений параметра b в программе «Catch-Soak Estimator». Основное правило состоит в том, что диапазон этих значений целесообразно устанавливать в пределах от 0,02 до 4. Кроме того, не имеет смысла добиваться улучшения полученного решения за счет изменения стартовых значений параметров в двух случаях: если было получено оптимальное значение параметра b , не превышающее отметку 0,02 и лежащее не ниже отметки 4. В первом случае, как было показано выше, минимум целевой функции будет достигаться при бесконечном

Результаты параметризации теоретической зависимости «улов–застой» по фактическим данным

В данном разделе представлены результаты подгонки теоретической зависимости «улов–застой», описанной формулой (1), к фактическим данным по уловам на ловушку и продолжительности застоя с помощью программы «Catch-Soak Estimator». В сводной таблице 2 содержится информация об оптимальных значениях параметров, приведены соответствующие значения целевой функции в точке минимума. Подогнанные кривые на фоне поля фактических точек показаны по некоторым полигонам в виде графиков.

Таблица 2

Сводные результаты параметризации зависимости «улов–застой» по полигонам

Полигон №	Промысловый объект	Район	Параметры зависимости «улов–застой»		Значение целевой функции
			<i>a</i>	<i>b</i>	
1	Синий краб	ВС	94,32	0,01	110,362
2.1			1,68	15,00	174,862
2.2			9,04	2,68	230,311
3	Равношипый краб	о. Шиашкотан	19,84	15,00	45000,840
4			22,22	1,72	62389,110
5		о. Ушишир	29,88	1,18	28079,210
6		о. Симушир	18,23	2,45	25601,050
7		о. Итуруп	7,37	1,59	1700,747
8	Краб-стригун	ЗС	6,85	0,67	5113,254
9		СВС	24,76	0,22	3142,138
10			8,80	30,65	3906,027
11		ЮВС	10,46	0,50	3182,215
12		ВС	24,81	1,06	19372,196
13			16,06	16,29	16220,902
14			5,61	19,30	1956,883
15		ЗС	9,35	3,34	3941,080
16	Четырехугольный волосатый краб	Зал. Анива	1,57	13,61	241,681
17			1,26	1,65	38,580
18		ЗС	1,19	6,26	38,900
19			0,66	7,06	2,400
20			1,23	7,16	33,700
21	ЮК	0,42	12,96	31,450	
22	Гребенчатая креветка	ЗС	0,16	1,67	1,370
23			0,04	31,52	0,088
24	Трубачи	ЮВС	1,16	0,81	16,753

Из таблицы можно видеть, что значения параметра *b* варьируются в весьма широком диапазоне: от 0,01 на полигоне 1 до 31,52 на полигоне 23. По этим значениям можно судить о наличии наклона (суть тенденции) и степени линейности кривой, представляющей зависимость «улов–застой». Как упоминалось, малые значения рассматриваемого параметра соответствуют прямо пропорциональной зависимости (черная заливка, полигон № 1), тогда как большие говорят об отсутствии связи (нет заливки, полигоны № 2.1, 3, 10, 13–16, 18–21, 23).

Условия на **полигоне № 1** на восточном шельфе Сахалина в октябре 1998 г. характеризовались наличием плотных устойчивых скоплений промысловых особей синего краба. Уловы изменялись от 0,30 до 7,46 экз./лов. при среднем значении $3,23 \pm 0,312$ экз./лов. В течение первой половины октября соотношение крабов синего и стригуна опилию в уловах изменялось в пользу первого, а затем доля синего стала снижаться. К концу октября уловы на рассматриваемом полигоне заметно снизились, и промысел полностью переместился на южный участок (полигоны № 2.1 и 2.2).

Подстановка полученного оптимального значения 0,01 параметра b (см. табл. 2) в формулу (5) дает нормирующий множитель, обратно пропорциональный времени застоя. В этом случае деление уловов на соответствующее время застоя даст тот же самый результат, что и стандартизация по формуле, а процесс лова характеризуется линейной зависимостью между уловом на ловушку и продолжительностью застоя (рис. 5).

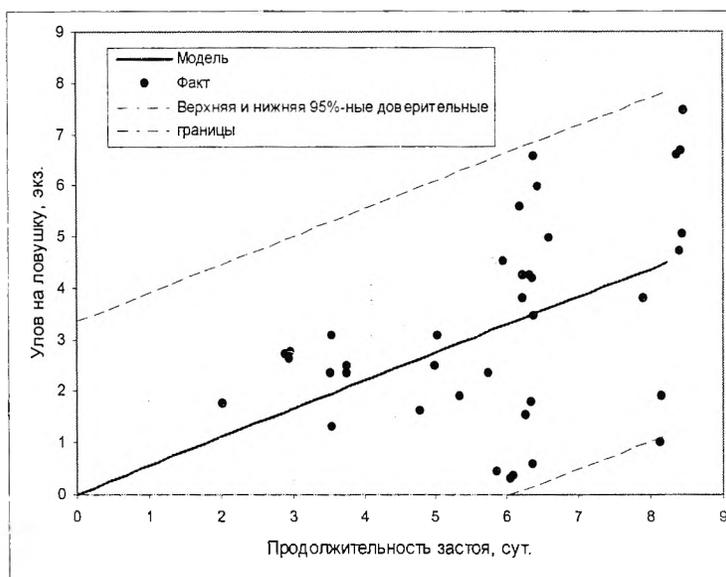


Рис. 5. Зависимость «улов–застой» для данных, собранных на полигоне № 1

Отметим, что при застое менее шести суток вариабельность значений улова была в несколько раз меньше, чем при более длительном застое (см. рис. 5). Иначе говоря, в течение первых пяти–шести суток застоя уловы в ловушках нарастали примерно в одном темпе, тогда как при дальнейшем увеличении времени экспозиции скорость наполнения ловушек изменялась неоднозначно. Это обусловило широкий доверительный интервал для регрессии в целом.

Условия на **полигоне № 2.1** на восточном шельфе Сахалина в октябре 1998 г. характеризовались наличием различающихся по плотности неустойчивых скоплений синего краба, что могло быть связано с нарастающим поступлением промысловых особей извне при почти полном их отсутствии в начале лова. В среднем величина уловов была невысокой, на уровне $1,68 \pm 0,319$ экз./лов., при разбросе от 0,07 до 8,04 экз./лов.

Полученное оптимальное значение 15,0 параметра b (см. табл. 2) заметно выше пороговой величины $b_{\text{max}} = 4$. Как было показано, при таких значениях параметра b зависимость «улов–застой» отсутствует, о чем также свидетельствуют и график регрессии (рис. 6).

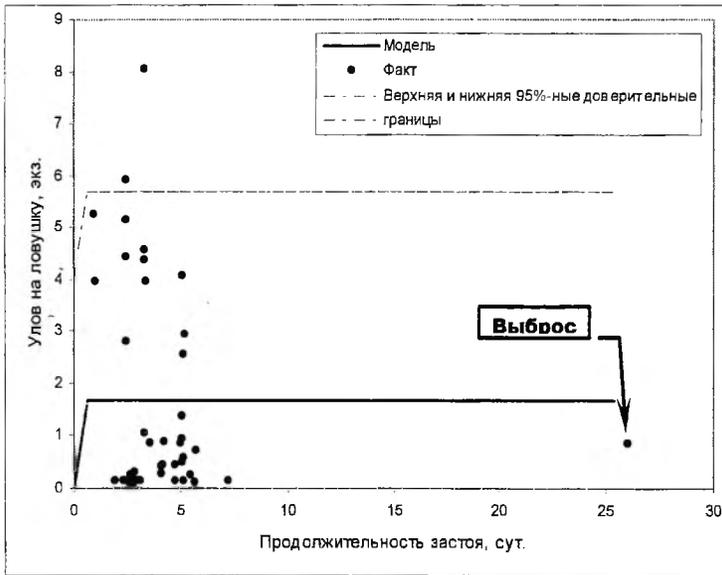


Рис. 6. Зависимость «улов–застой» для данных, собранных на полигоне № 2.1

Подстановка полученного значения b в формулу (5) дает нормирующий множитель, равный единице. В этом случае стандартизация уловов по продолжительности застоя не обязательна. Результаты подгонки показывают, что при застое менее четырех суток уловы в среднем находились на более высоком уровне: примерно половина их была не менее 4 экз./лов. При более длительном застое их величина не превышала указанной отметки (см. рис. 6). Существенный разброс точек обусловил для регрессии широкий доверительный интервал.

Как показал расчет, даже удаление из исходных данных точки выброса, соответствующей улову примерно в 1 экз./лов. при застое 27 суток (см. рис. 6), не оказывает заметного влияния на результат подгонки.

Промысловая обстановка на **полигоне № 2.2** на восточном шельфе Сахалина в ноябре 1998 г. характеризовалась наличием очень плотных стабильных скоплений синего краба. Уловы изменялись от 2,58 до 13,52 экз./лов. при среднем значении $8,86 \pm 0,534$ экз./лов.

Оптимальное значение параметра b равно 2,68 и лежит внутри области поиска, которая была установлена в предыдущем разделе. Как было показано, в этом случае кривая зависимости «улов–застой» демонстрирует рост с насыщением (рис. 7), и применение формулы (4) необходимо.

Согласно результатам подгонки на рассматриваемом полигоне уловы в процессе лова в среднем нарастали при длительности застоя до двух суток. При большей продолжительности застоя улов на ловушку переставал увеличиваться. Существенный разброс точек в правой части графика обусловил довольно широкий доверительный интервал регрессии.

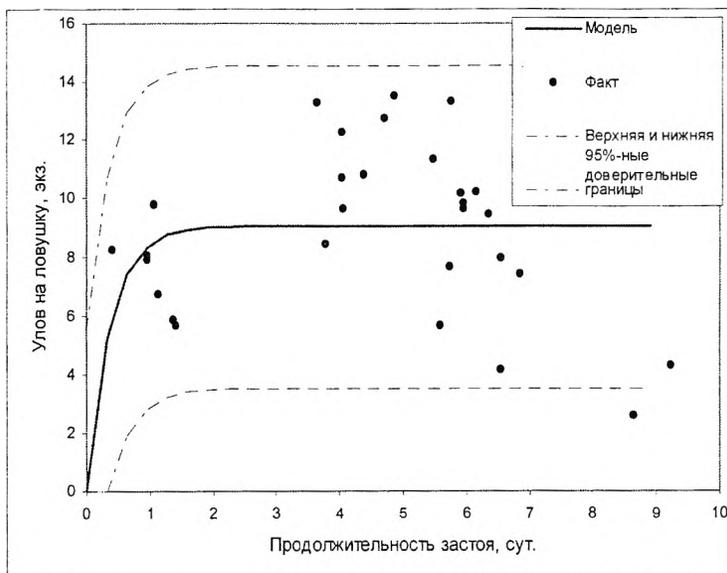


Рис. 7. Зависимость «улов-застой» для данных, собранных на полигоне № 2.2

Полигон № 3 у о. Шиашкотан в 2004 г. характеризовался наличием плотных скоплений промысловых самцов равношипого краба, которые облавливаются ежегодно. Уловы изменялись от 2,16 до 84,53 экз./лов., средний улов на ловушку составил $19,76 \pm 0,76$ экз. Наиболее высокие промысловые показатели были отмечены на группировке в октябре, к третьей декаде ноября уловы заметно снизились. Застой порядков варьировался от 1 до 16 суток. Застой в 2–3 суток имели 68% от всех станций. Количество станций с продолжительным застоем возросло в ноябре и декабре в связи с увеличением числа штормовых дней.

В процессе расчетов оценки параметра b изменялись от 3,75 до 87,5, тогда как оценки параметра a оставались относительно стабильными ($19,84-20,0$). При полученном значении $b=15,0$ (см. табл. 2), как было установлено выше, зависимость «улов-застой» отсутствует, и стандартизацию уловов в этом случае можно не проводить.

На **полигоне № 4** у о. Шиашкотан весной 2006 г. промысловая обстановка была несколько лучше по сравнению с осенним периодом 2004 г. Улов на ловушку варьировался от 1,05 до 74,50 экз. равношипого краба при среднем значении $21,67 \pm 0,68$ экз./лов. Застой порядков достигал 15 суток. Средняя продолжительность застоя с учетом штормовых в феврале–марте составила около 4 суток, к апрелю–маю, с улучшением погодных условий, снизилась до 2–3 суток. Застой в 2–3 суток имели 64% постановок порядков.

Оптимальные значения a и b равны 22,22 и 1,72 соответственно (см. табл. 2).

Для рассматриваемых данных был замечен рост уловов в течение первых двух суток застоя. В этом случае при проведении анализа рядов уловов последние необходимо стандартизировать по формуле (4). На кривой уловов выделен максимум при застое в 2–3 суток с последующим понижающим трендом. Вариабельность уловов уменьшалась примерно вдвое при длительном застое по сравнению с оптимумом. Тем не менее, был получен достаточно широкий доверительный интервал.

На протяжении всего периода лова на полигоне № 5 у о. Ушишир в 2005 г. отмечалась стабильная промысловая обстановка, которая характеризовалась высокими промысловыми показателями. Уловы варьировались от 4,20 до 116,55 экз./лов. при среднем значении $28,67 \pm 2,31$ экз./лов. равношипого краба. Застой порядков не превышал семи суток. Застой в двое–трое суток отмечен для 68% постановок.

Оптимальные значения коэффициентов a и b составили 29,88 и 1,18 соответственно (см. табл. 2). Как и для предыдущего полигона, для рассматриваемых данных был заметен рост уловов в течение первых двух суток застоя при широком доверительном интервале.

На полигоне № 6 у островов Симушир и Кетой в 2005 г. работы проводили в сложный по погодным условиям осенний период. Хотя 67% станций имели застой порядков 2–3 суток, порой его продолжительность достигала 26 суток. Уловы варьировались от 1,05 до 82,95 экз./лов. при среднем значении $17,87 \pm 0,94$ экз./лов. равношипого краба.

Оптимальные значения a и b составили 18,22 и 2,45 соответственно (см. табл. 2). Как и для двух предыдущих полигонов, был заметен рост уловов в течение первых двух суток застоя при широком доверительном интервале. Как следствие, стандартизация уловов на данном полигоне необходима.

На полигоне № 7 у о. Итуруп в последние годы отмечается неблагоприятная промысловая обстановка. Средний улов в 2004 г. составил $7,04 \pm 0,68$ экз./лов. при минимальном значении 0,79 экз./лов., максимальном – 21,27 экз./лов. равношипого краба. Работы на полигоне проводили непродолжительное время (15 суток), при этом, как и на предыдущих полигонах, наблюдался значительный разброс длительности застоя порядков. Из 62 выполненных станций число станций с застоем в 2–3 суток составило 77%.

Оптимальные значения параметров a и b составили 7,37 и 1,59 соответственно (см. табл. 2). Рост уловов имел место в течение первых двух суток при широком разбросе значений.

Биологические условия на полигоне № 8 у западного побережья Сахалина в 2002 г. характеризовались наличием устойчивых скоплений краба-стригуна опилио, на которых в течение многих лет базировался промысел. В среднем величина уловов составляла $5,63 \pm 0,24$ экз./лов. при разбросе от 0,40 до 27,60 экз./лов.

Найдено оптимальное значение b , равное 0,67. Это гораздо ниже пороговой величины. В этом случае кривая зависимости «улов–застой» демонстрирует рост с насыщением. Следовательно, для данных по уловам на исследуемом полигоне необходима стандартизация с применением формулы (4). Отметим, что для рассматриваемых данных при продолжительности застоя свыше 4 суток увеличение уловов в ловушках в среднем прекращается.

На полигоне № 9 на северо-восточном шельфе Сахалина в летний период 2005 г. отмечено наличие довольно плотных устойчивых скоплений краба-стригуна опилио. В среднем величина уловов была довольно высокой – на уровне $13,99 \pm 0,85$ экз./лов., и не выходила за пределы диапазона от 2,90 до 34,10 экз./лов.

Было получено оптимальное значение b , равное 0,22 (см. табл. 2). Так как оно находится в пределах области поиска, то для стандартизации уловов необходимо применить формулу (4). Как видно из графика, при продолжительности застоя до 7 суток зависимость «улов–застой» близка к линейному росту (рис. 8).

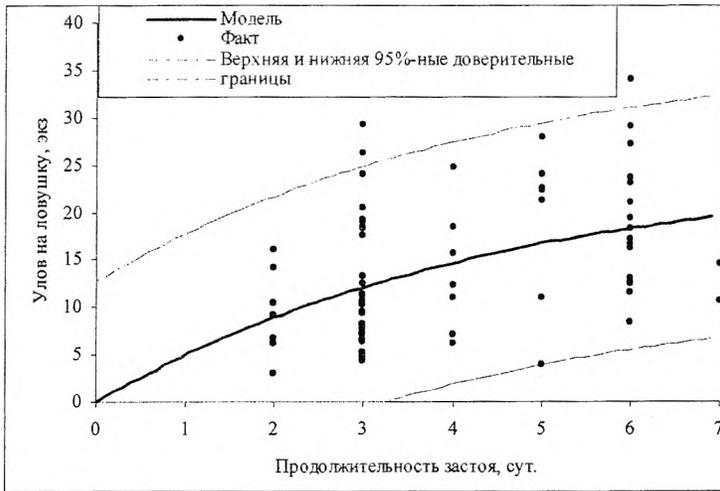


Рис. 8. Зависимость «улов-застой» для данных, собранных на полигоне № 9

На полигоне № 10 на северо-восточном шельфе Сахалина в течение последних лет отмечали довольно плотные и стабильные промысловые скопления краба-стригуна опилию. В 2005 г. уловы изменялись от 1 до 30 экз./лов. при среднем значении $8,80 \pm 0,44$ экз./лов.

Найдено оптимальное значение b , равное 30,65 (см. табл. 2), которое существенно превышает пороговую величину. При подобных значениях b зависимость «улов-застой» отсутствует. Таким образом, стандартизация уловов в данном случае не имеет смысла.

На полигоне № 11 на юго-восточном шельфе Сахалина в 2003 г. отмечены стабильные скопления краба-стригуна опилию, на которых промысел ведется традиционно. Уловы в пределах выбранного полигона изменялись в интервале от 0,41 до 29,9 экз./лов. при среднем значении $8,22 \pm 0,51$ экз./лов.

Найдено оптимальное значение параметра b , равное 0,50 (см. табл. 2). Полученное значение b находится внутри области поиска, определенной выше. Для стандартизации уловов на исследуемом полигоне необходимо применение формулы (4). Зависимость «улов-застой» носила выраженный нелинейный характер. Отметим, что при застое ловушек менее 2–3 суток уловы в среднем почти линейно нарастали с увеличением продолжительности лова. После 4 суток застоя уловы оставались практически на постоянном уровне, при этом их вариабельность незначительно снижалась.

Условия в границах полигона № 12 на северо-восточном шельфе Сахалина в 2003 г. можно кратко охарактеризовать наличием весьма плотных и устойчивых скоплений краба-стригуна ангулятуса, сохраняющих свое пространственное положение с 2000 г. В среднем величина промысловых уловов была довольно высокой и составляла $23,23 \pm 1,17$, варьируясь от 3,13 до 80,00 экз./лов.

Получили минимум целевой функции при $b=1,06$ (см. табл. 2). Найденное значение b лежит внутри области поиска, что говорит о необходимости стандартизации данных. Зависимость «улов-застой» в этом случае демонстрирует рост с насыщением. При продолжительности застоя более 3–4 суток рост уловов практически прекращается.

Биологические условия на **полигоне № 13** на северо-восточном шельфе Сахалина осенью 2003 г. характеризовались наличием устойчивых скоплений краба-стригуна ангулятуса. В среднем величина уловов составляла $16,06 \pm 0,31$ экз./лов., варьируясь от 2,90 до 42,00 экз./лов. Был установлен минимум целевой функции для $b=16,29$ (см. табл. 2). Оптимальная величина b существенно превышает границу больших значений области поиска, определенную выше. Нормирующий множитель при подстановке полученного значения b в формулу (5) будет близок к единице. Таким образом, стандартизация уловов по продолжительности застоя на данном полигоне не нужна. Действительно, зависимость «улов–застой» на данном полигоне не прослеживается.

Условия на **полигоне № 14** на северо-восточном шельфе Сахалина в 2005 г. характеризовались наличием промысловых скоплений краба-стригуна ангулятуса невысокой плотности, локализованных на небольшой площади. Уловы в среднем были невысокими, сохраняясь на уровне $5,61 \pm 0,19$ экз./лов. при разбросе от 0,90 до 16,30 экз./лов.

Получили оптимальное значение $b=19,30$ (см. табл. 2). В этом случае зависимость «улов–застой» не наблюдается. Действительно, уловы нарастали только в течение первых часов экспозиции ловушек, а при продолжительности застоя более 1 суток в среднем оставались неизменными. При длительном застое вариабельность уловов незначительно снижались.

Биологические условия на **полигоне № 15** у западного побережья Сахалина в 2004 г. характеризовались наличием компактных и устойчивых скоплений японского краба-стригуна, традиционно наблюдаемых в течение последних 10 лет. В среднем величина уловов составляла $9,34 \pm 0,46$ экз./лов., варьируясь от 1,90 до 26,00 экз./лов.

Получили оптимальное значение b , равное 3,34. Величина этого параметра для рассматриваемого полигона близка к пороговой отметке. Уловы нарастали только в первые сутки застоя, затем зависимость не проявлялась, а вариабельность уловов заметно снижалась.

При проведении мониторинга условия на **полигоне № 16** в заливе Анива в 2002 г. характеризовались наличием промысловых скоплений четырехугольного волосатого краба с уловами от 0,03 до 7,67 экз./лов при среднем значении $1,57 \pm 0,07$ экз./лов.

Минимум целевой функции получили при $b=13,61$ (см. табл. 2). При таких значениях b зависимость «улов–застой» отсутствует. Менее чем через сутки застоя улов уже практически не менялся. Кроме того, после суток застоя вариабельность уловов заметно снижалась.

Условия на **полигоне № 17** в заливе Анива в 2003 г. характеризовались наличием промысловых уловов четырехугольного волосатого краба в диапазоне от 0,2 до 2,9 экз./лов. при среднем значении $1,2 \pm 0,05$ экз./лов.

Минимум целевой функции был получен при $b=1,65$ (см. табл. 2). При таких значениях кривая зависимости «улов–застой» имеет характер роста с насыщением. При продолжительности застоя свыше двух суток средний улов на ловушку с течением времени не менялся.

Условия на **полигоне № 18** в Татарском проливе в 2002 г. характеризовались наличием промысловых уловов четырехугольного волосатого краба в диапазоне от 0,27 до 3,88 экз./лов. при среднем значении $1,2 \pm 0,07$ экз./лов.

Минимум целевой функции был получен при $b=6,26$ (см. табл. 2). При таких значениях параметра b зависимость «улов–застой» отсутствует. Почти во всем диапазоне значений продолжительности застоя средний улов на ловушку не менялся.

Обстановка на **полигоне № 19** в Татарском проливе в ноябре 2003 г. характеризовалась наличием разреженных промысловых скоплений четырехугольного волосатого краба. Уловы изменялись в диапазоне от 0,03 до 0,9 экз./лов. при среднем значении $0,66 \pm 0,13$ экз./лов.

Минимум целевой функции был получен при $b=7,06$ (см. табл. 2). Зависимость «улов–застой» в этом случае отсутствует.

Обстановка на **полигоне № 20** в Татарском проливе с августа по ноябрь 2003 г. характеризовалась наличием промысловых уловов четырехугольного волосатого краба в диапазоне от 0,27 до 3,0 экз./лов. при среднем значении $1,23 \pm 0,06$ экз./лов.

Минимум целевой функции был получен при $b=7,16$ (см. табл. 2). Улов от застоя в этом случае практически не зависит.

Обстановка на **полигоне № 21** у южных Курильских островов в 2004 г. характеризовалась наличием разреженных промысловых скоплений четырехугольного волосатого краба. Уловы изменялись в диапазоне от 0,02 до 2,96 экз./лов. при среднем значении $0,42 \pm 0,03$ экз./лов.

Минимум целевой функции был получен при $b=12,96$ (см. табл. 2). При таких значениях параметра b зависимость «улов–застой» отсутствует. С ростом продолжительности застоя вариабельность уловов на ловушку заметно уменьшалась.

Промысловая обстановка на **полигоне № 22** в Татарском проливе в 1994 г. была относительно хорошей. Общий вылов гребенчатой креветки составил 25645 кг. Средний улов на станции был равен $83,3 \pm 0,1495$ кг на одну ловушку.

Минимум целевой функции, равный 1,37, был найден при $b=1,68$ (см. табл. 2). После двух суток застоя средний улов уже почти не менялся.

Промысловая обстановка на **полигоне № 23** в Татарском проливе в 2005 г. была плохой, популяция гребенчатой креветки уже находилась в депрессии. Вылов за весь период работ составил 4665 кг. Средний улов на станции был равен $21,5 \pm 0,04256$ кг на одну ловушку.

Минимум целевой функции, равный 0,088, был найден при $b=31,52$ (см. табл. 2). Величина улова в среднем практически не менялась уже после нескольких часов выдержки. Был отмечен, скорее, небольшой понижающий тренд в рассматриваемой связи. Вариабельность уловов при этом незначительно уменьшалась.

Промысловые условия на **полигоне № 24** на юго-восточном шельфе Сахалина в 2003 г. характеризовались наличием неустойчивых скоплений трубачей малой плотности, что, как мы предполагаем, связано с поздними сроками работ (ноябрь–декабрь), когда интенсивность питания трубачей низкая и они плохо облавливаются ловушками. В среднем величина уловов составила $0,98 \pm 0,091$ кг/лов. при разбросе от 0,09 до 2,67 кг/лов.

Полученное оптимальное значение параметра $b=0,81$ (см. табл. 2) для рассматриваемого полигона лежит внутри области поиска, которая была установлена выше. Как было показано, при таких значениях зависимость «улов–застой» носит выраженный нелинейный характер роста с насыщением. Применение формулы (4) в этом случае необходимо. Результаты подгонки показали, что рост уловов существенно замедлялся после двух суток застоя и после четырех суток практически прекратился.

Резюмируя обзор результатов, полученных по всем полигонам, отметим следующее. Значения минимума целевой функции, полученные при подгонке теоретической зависимости «улов–застой» к фактическим данным, имеют заметную видовую специфику. Легко видеть, что значения указанного минимума

метную видовую специфику. Легко видеть, что значения указанного минимума различаются между видами животных по порядку величины, тогда как для одного вида они практически всегда равны (см. табл. 2). При этом также наблюдается некоторая общность значений параметра a для одного вида гидробионтов. Тем не менее, величина b даже в пределах одного района и одного промыслового объекта изменяется порой многократно, как, например, для синего краба или гребенчатой креветки.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Помимо стандартизации уловов на ловушку по продолжительности застоя, характеристики накопления улова в ловушке со временем представляют самостоятельный интерес с позиций изучения взаимодействия донных беспозвоночных с приманивающими орудиями лова (Михеев, 2001, 2002, 2002а). Наличие зависимости «улов–застой» имеет и немалое прикладное значение для организации и ведения промысла, так как по ней можно определить время, оптимальное для застоя ловушек по отношению к конкретным промысловым объектам, районам и сезонам (Михеев, Клитин, 2000, 2002). Важно более подробно изучить общие и специфические факторы, лежащие в основе зависимости «улов–застой», их проявление. В нашем исследовании эта зависимость вводится в той форме, в которой она предложена в работах ряда известных специалистов по промысловым беспозвоночным (Sloan, Robinson, 1985; Miller, 1990). Отличительной особенностью кривой, описывающей в графической форме процесс накопления особей в ловушке, является уровень насыщения, определяемый параметром a (см. формулу (1)). Указанная кривая всюду вогнутая. При такой форме кривой, как было показано в предыдущем разделе, преимущество регрессии над простым средним невелико. Отсутствие выраженной связи обусловлено сильной зашумленностью данных и, как следствие, значительным разбросом точек. При этом неопределенность в зависимости «улов–застой» растет со временем, так что ее проявление обнаруживается чаще всего в течение первых двух суток.

Однако из экспериментальных наблюдений и моделирования известно, что у рассматриваемой кривой присутствует перегиб в начальной области, определяемый временем действия приманки (Sainte-Marie, Hargrave, 1987; Михеев, 2001, 2002, 2002а). Помимо этого часто можно наблюдать снижение уловов в ловушках, находящихся в застое дольше (Miller, 1990). Наличие ниспадающей ветви рассматриваемой кривой обусловлено, по мнению указанного автора, элиминацией особей в ловушках. В некоторых случаях возможны побеги из ловушек, в других начинают работать факторы, увеличивающие смертность. Может влиять на уменьшение улова в ловушке гибель от хищного планктона. Одним из исполнителей в соавторстве была предпринята попытка обосновать вид такой более сложной формы кривой для зависимости улова на ловушку от продолжительности застоя. На примере синего и камчатского крабов было показано, что кривая с перегибом и ниспадающей правой ветвью заметно лучше описывает фактические данные, чем вогнутая кривая с насыщением. В частности, для средних на заданные сутки застоя уловов коэффициенты детерминации в среднем были выше 0,6 и достигали отметки в 0,98 (Михеев, Клитин, 2000, 2002). Тем не менее, в ряде случаев целесообразно использовать более простую форму зависимости, так как число параметров кривой в данном случае вдвое меньше и задача подгонки этой кривой к точкам фактических наблюдений существенно проще.

Полученные результаты можно условно разделить на три класса, в зависимости от найденного значения параметра b . Они характеризуются наличием прямой зависимости улова на ловушку от продолжительности застоя (см. рис. 5), отсутствием связи указанных величин (см. рис. 7) и промежуточным типом данной зависимости (см. рис. 6).

В таблице 2, обобщающей результаты проведенного анализа, для исследуемых полигонов заливкой выделены оценки параметра b , при которых имелась определенная тенденция роста уловов на ловушку с течением времени, хотя бы на начальном этапе застоя. В самой верхней строке на темном фоне показано минимальное из всех значение $b=0,01$, соответствующее линейной зависимости, когда уловы на ловушку в среднем равномерно нарастали в течение девяти суток (см. рис. 5). На полигонах № 9 и 11 рост уловов на ловушку наблюдался в течение трех и четырех суток при значениях $b=0,22$ и $0,50$ соответственно. На полигонах № 2.2, 4–8, 12, 17, 22, 24 рост уловов на ловушку наблюдался только в течение первых двух суток при значениях b в диапазоне $0,67–2,68$. Для остальных значений b из диапазона $3,34–31,52$ рост уловов в ловушке завершался в течение первых суток. Можно резюмировать, что для 15 полигонов из 25, т. е. более чем для половины случаев, зависимость «улов–застой» присутствовала, по крайней мере, в течение первых двух суток. Иначе говоря, оптимальная продолжительность застоя для промысловых донных беспозвоночных и креветок сахалино-курильского района в среднем составляет двое суток.

Если рассматривать полученные результаты с позиций объектной принадлежности, то можно отметить следующее (см. табл. 2). Для синего краба восточного шельфа о. Сахалин имелась позитивная связь между уловами и застоем в двух случаях из трех. В октябре 1998 г. на северном участке (полигон № 1, см. табл. 1) уловы нарастали пропорционально времени застоя во всем диапазоне изменений (до 9 суток), тогда как на южном участке (полигон № 2.1) рассматриваемой связи не выявлено. В ноябре на том же южном участке (полигон № 2.2) заметный рост уловов происходил при застое до четырех суток. Можно увидеть, что после четырех суток застоя на южном участке в октябре и ноябре имелась тенденция к падению уловов на усилие (см. рис. 6 и 7). В последнем случае можно даже выделить некоторый максимум в кривой уловов, который, на самом деле, часто можно обнаружить при анализе зависимости «улов–застой» (Михеев, Клитин, 2000, 2002). Тем не менее, из результатов анализа следует, что застой в октябре для синего краба восточного шельфа о. Сахалин на северном участке лова может быть практически не ограничен, тогда как в октябре и ноябре на южном участке существует оптимум застоя, составляющий 3–4 суток. Для равношипного краба рост уловов в ловушках по мере застоя был отмечен в четырех случаях из пяти: у о. Шиашкотан в феврале–мае 2006 г., о. Ушишир в октябре–декабре 2005 г., о. Итуруп в апреле–мае 2004 г. и у о. Симушир в октябре–декабре 2005 г. Связи между уловом и длительностью застоя для равношипного краба не было обнаружено только у о. Шиашкотан в сентябре–декабре 2004 г. Для крабов-стригунов положительная связь уловов с застоем выявлена в четырех случаях из восьми. Это полигоны № 8, 9, 11 – опилио, район западного побережья о. Сахалин, ноябрь–декабрь 2002 г., северо-восточный шельф июнь–июль 2005 г., юго-восточный шельф, сентябрь–декабрь 2003 г.; полигон № 12 – ангулятус, восточный шельф, август–октябрь 2003 г. Для опилио северо-восточного шельфа в октябре–декабре 2005 г., ангулятуса восточного шельфа в сентябре–ноябре 2003 г. и июле–августе 2005 г., японикуса западного побережья о. Сахалин в ноябре–декабре 2004 г. зависимость «улов–застой»

отсутствовала. У четырехугольного волосатого краба только в одном случае из шести уловы зависели от времени застоя – на полигоне № 17, зал. Анива, сентябрь–ноябрь 2003 г. В том же районе в июле–сентябре 2002 г., в Татарском проливе в апреле–мае 2002 г., в августе–ноябре 2003 г., на шельфе южных Курильских островов в октябре–декабре 2004 г. связь между уловами и застоем не проявилась. У гребенчатой креветки Татарского пролива (полигоны № 22 и 23) в июле–декабре 1994 г. уловы росли с увеличением застоя, а в сентябре–декабре 2005 г. – нет. Рассматриваемая зависимость была обнаружена на единственном полигоне № 24 для трубачей в ноябре–декабре 2003 г. Таким образом, чаще связь между уловами и застоем проявляется у равношипого краба, и, быть может, у трубачей, синего краба, стригунов и гребенчатой креветки она неоднозначна и почти отсутствует у четырехугольного волосатого краба. Не установлено какой-либо географической или сезонной специфики в величине b .

На наш взгляд, зависимость «улов–застой», в первую очередь, отражает особенности пространственного распределения. В этой связи параметр b характеризует непрерывность распределения: малые значения, соответствующие линейной зависимости, связаны с плотным и равномерным распределением гидробионтов в окрестности ловушки, большие – с выраженной редкой пятнистостью. Между этими крайними значениями находится весь спектр форм пространственного распределения. Накладывает свой отпечаток на динамику наполнения ловушек и трофическая активность облавливаемых животных. Проиллюстрируем этот тезис на примере пространственного распределения синего краба восточного шельфа о. Сахалин, формирующегося в ходе сезонной миграции, направленной в целом с севера на юг в сторону увеличения глубины. Весь рассматриваемый период времени синий краб активно нагуливается, так что влиянием фактора питания на попадание в ловушку в данном случае можно пренебречь. По нашим наблюдениям, выполненным в ходе мониторинга, на северном участке в октябре распределение промысловых особей было достаточно плотным и однородным, так что ловушки могли наполняться непрерывно. Как следствие, уловы росли с течением времени в прямой пропорции, и зависимость «улов–застой» в этом случае была линейной (см. рис. 5). Пространственное распределение на южном участке под влиянием порционного и нарастающего поступления мигрантов с севера сформировалось неравномерным. В результате лов велся преимущественно на отдельных скоплениях ограниченного размера. После истощения каждого такого пятна обилия частота прибытий особей к ловушкам падала. При этом в октябре многие скопления были еще достаточно небольшими, и зависимость «улов–застой» в этом случае отсутствовала (см. рис. 6). В ноябре южный участок заполнился мигрантами с севера, пятна обилия стали больше, и рассматриваемая зависимость приняла промежуточный вид: рост уловов в первые сутки застоя с последующим насыщением (см. рис. 7). Эффект влияния пятнистости в пространственном распределении на динамику прибытий известен из литературы (Sainte-Marie, Hargrave, 1987; Himmelman, 1988), а также выявлен с помощью компьютерных экспериментов на модели «хищник–приманка» (Михеев, 2001). При низкой плотности скоплений ловушки уже через несколько часов застоя собирают всех особей из ближайшей окрестности, а издалека животные в ловушки идут не быстрее, чем элиминируются из ловушек ранее прибывшие. Сопутствующим фактором, определяющим короткое время проявления рассматриваемой зависимости, вероятнее всего, является прекращение действия приманки, которое, в свою очередь, может быть связано с сильным течением (Михеев, 2001, 2002, 2002а) или с плотностью потребителей

аттрактанта в ее окрестности (Miller, 1990). Заметим, что приведенное объяснение основано не на прямых, а лишь на косвенных доказательствах и во многом носит гипотетический характер.

Результаты анализа зависимости «улов–застой» в качестве приложения были использованы для стандартизации уловов на ловушку при оценке обилия запасов с помощью метода полигонов на основе классических моделей Лесли и Де Лури. В данной связи представляло интерес сравнить, как на самом деле влияет учет этой зависимости на полученные оценки обилия. Ниже, в таблицах 3–6 приведены итоги теста по двухстороннему Т-критерию Стьюдента для гипотезы о равенстве оценок обилия, полученных при различных способах подготовки исходных данных: без стандартизации, со стандартизацией простым делением на время застоя или по зависимости «улов–застой».

Таблица 3

Сравнение оценок начального обилия запаса (тыс. экз./т) на основе классической модели Лесли на некоторых полигонах при двух методах стандартизации фактических уловов на ловушку; уровень значимости $\alpha=0,05$

Полигон №	Деление на застой		Зависимость «улов–застой»		b	Число станций, n	Двухсторонний, T ₀	Т-статистика критерия	H ₀
	среднее	± ошибка	среднее	± ошибка					
1	52,2	37,02	47,7	29,84	0,01	38	2,03	0,5834	+
2.1	0,1	0,49	-0,52	0,42	15,00	42	2,04	6,226	-
2.2	-348,4	2891,23	-368,9	920,14	2,68	29	2,05	0,03639	+
8	258,6	26,69	251,3	22,04	0,67	301	1,96	3,659	-
9	382,9	133,77	453,8	1814,15	0,22	74	1,99	0,3353	+
10	161,5	26,96	192,3	27,73	30,65	142	1,96	9,49	-
11	126,0	28,10	148,2	32,69	0,50	118	1,97	5,594	-
12	499,0	1156,05	599,6	1530,26	1,06	121	1,98	0,5771	+
13	1692,8	195,45	2667,1	326,48	16,29	415	1,96	52,15	-
14	479,6	65,73	534,0	78,52	19,30	239	1,96	8,213	-
15	255,6	26,65	318,7	38,60	3,34	138	1,96	15,8	-
*22	82,9	32,27	61,1	9,98	1,67	308	1,96	11,33	-
*23	18,5	10,57	22,6	10,55	31,52	217	1,96	4,044	-

Примечание: * – обилие показано в единицах биомассы; «-» – нулевая гипотеза отвергается; «+» – нулевая гипотеза принимается.

Таблица 4

Сравнение оценок начальной биомассы (т) на основе классической модели Лесли на полигонах № 22 и 23, полученных без стандартизации фактических уловов на ловушку и с ней; уровень значимости $\alpha=0,05$

Полигон №	Без стандартизации		Деление на застой		Зависимость «улов–застой»		Двухсторонний, T ₀	T1-статистика критерия	H ₀	T2-статистика критерия	H ₀
	среднее	± ошибка	среднее	± ошибка	среднее	± ошибка					
22	-592,6	1188,77	82,9	32,27	61,1	9,98	1,96	9,967	-	339,6	-
23	22,6	10,67	18,5	10,57	22,6	10,55	1,96	4,021	-	0	+

Примечание: «-» – нулевая гипотеза отвергается; «+» – нулевая гипотеза принимается; T1 – статистика критерия для сравнения оценок, полученных без стандартизации и делением на продолжительность застоя; T2 – статистика критерия для сравнения оценок, полученных без стандартизации и по зависимости «улов–застой».

Таблица 5

Сравнение оценок начального обилия запаса (тыс. экз./т) на основе классической модели Де Лури на некоторых полигонах при двух методах стандартизации фактических уловов на ловушку; уровень значимости $\alpha=0,05$

Полигон №	Деление на застой		Зависимость «улов-застой»		b	Число станций, n	Двухсторонний, T_0	T-статистика критерия	H_0
	среднее	\pm ошибка	среднее	\pm ошибка					
1	22,4	11,89	20,8	9,49	0,01	38	2,03	0,6483	+
2.1	-0,1	0,04	-0,6	0,11	15,00	42	2,04	27,68	-
2.2	1225,9	23275,06	-2405,2	11818,39	2,68	29	2,05	0,749	+
8	238,8	24,50	390,2	371,80	0,67	301	1,96	7,05	-
9	388,0	145,93	558,4	225,57	0,22	74	1,99	5,456	-
10	162,2	27,91	538,1	96,02	30,65	142	1,96	44,8	-
11	171,4	52,96	395,5	146,92	0,50	118	1,97	15,59	-
12	485,2	956,05	1061,1	2119,42	1,063	121	1,98	2,725	-
13	1597,6	151,69	8178,5	949,13	16,29	415	1,96	139,5	-
14	436,7	65,41	1487,9	219,42	19,30	239	1,96	70,98	-
15	251,9	33,02	1018,4	46,05	3,34	138	1,96	158,8	-
*22	211,9	188,95	191,1	35,97	1,67	308	1,96	1,898	+
*23	10,6	3,77	27,0	9,30	31,52	217	1,96	24,07	-

Примечание: обозначения см. в таблице 3.

Таблица 6

Сравнение оценок начальной биомассы (т) на основе классической модели Де Лури на полигонах № 22 и 23, полученных без стандартизации фактических уловов на ловушку и с ней; уровень значимости $\alpha=0,05$

Полигон №	Без стандартизации		Деление на застой		Зависимость «улов-застой»		Двухсторонний, T_0	T1-статистика критерия	H_0	T2-статистика критерия	H_0
	среднее	\pm ошибка	среднее	\pm ошибка	среднее	\pm ошибка					
22	1566,5	2879,70	211,9	188,95	191,1	35,97	1,96	8,24	-	7,037	-
23	27,0	9,32	10,6	3,77	27,0	9,30	1,96	28,63	-	0	+

Примечание: обозначения см. в таблице 4.

Из таблиц 3 и 5 можно видеть, что единственный случай линейной связи, установленный для полигона № 1, характеризуется статистикой критерия 0,58 для модели Лесли и 0,65 для модели Де Лури, что в обоих случаях существенно ниже порогового значения 2,03. Следовательно, при простом делении на застой и при стандартизации по зависимости «улов-застой» с малым параметром b оценки обилия достоверно не отличаются друг от друга независимо от используемой модели ($52,2 \pm 37,02$ и $47,7 \pm 29,84$ тыс. экз. для Лесли и $22,4 \pm 11,89$ и $20,8 \pm 9,49$ тыс. экз. для Де Лури). Напомним, что при малых величинах b (в пределе не более 0,02) зависимость «улов-застой» становится линейной. В этом случае уловы на ловушку растут прямо пропорционально продолжительности застоя и стандартизацию уместно производить простым делением на время застоя.

Когда параметр b принимает значения, превосходящие отметку 4, то это говорит об отсутствии указанной зависимости, и в таком случае стандартизация вообще становится излишней. Всего случаев отсутствия достоверного различия оценок, полученных при разных способах стандартизации данных, выявлено из 13 полигонов четыре по модели Лесли и три – по модели Де Лури. Все они характеризуются либо достаточно малыми значениями параметра b , либо большими ошибками.

При аналогичном сравнении между нестандартизированными и стандартизированными данными, выполненном для гребенчатой креветки, установлен единственный случай принятия нулевой гипотезы (см. табл. 4 и 6).

Для обеих моделей на полигоне № 23 достоверного различия между оценками биомассы, полученными по данным без преобразования и по данным, стандартизированным с помощью зависимости «улов–застой» при параметре $b=31,52$, не выявлено. Как упоминалось ранее, при таких значениях b указанная зависимость не проявляется и стандартизация не имеет смысла. В оставшихся шести вариантах сравнения – по три на каждую модель – было установлено достоверное различие оценок обилия между нестандартизированными и стандартизированными данными. Таким образом, стандартизация данных значимо влияет на конечный результат и в случае явной связи между уловами на ловушку и продолжительностью застоя должна учитываться.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ зависимости «улов–застой» показал, что она проявляется достаточно часто. В нашем исследовании в 15 случаях из 25 наблюдался рост уловов, по крайней мере, в течение двух суток. Выявлена некоторая видовая специфика в наличии указанной зависимости. В частности, она была обнаружена в четырех из пяти случаев для равношипного краба из разных районов и отсутствовала в пяти случаях из шести для четырехугольного волосатого краба также из разных районов. Для остальных исследованных промысловых объектов эта связь была неоднозначной, в ряде случаев по причине малочисленности данных наблюдений.

В завершение подчеркнем еще раз, что в случае сильной зашумленности связи уловов с продолжительностью экспозиции ловушек или при быстром их насыщении использование формулы (2) позволяет при вычислении коэффициента стандартизации автоматически принимать во внимание указанное обстоятельство. Если зависимость «улов–застой» очень слабая или насыщение ловушек высокое, то указанный коэффициент будет близок к единице и преобразование исходных данных не повлияет на их значения. Если рассматриваемая зависимость линейная, то нормирующий коэффициент будет обратно пропорционален времени застоя, так что при стандартизации будет происходить деление исходных значений уловов на время застоя. Результаты оценивания численности по моделям, в свою очередь, зависят от способа стандартизации при наличии связи уловов с застоем.

Таким образом, анализ зависимости «улов–застой» и сравнение результатов стандартизации показали необходимость учета влияния времени застоя на величину улова при использовании этих данных в традиционных моделях истощения запаса Лесли и Де Лури и их обобщенных версиях. Проведенный анализ показал, что оптимальная продолжительность застоя для промысловых донных беспозвоночных и креветок сахалино-курильского района в среднем составляет двое суток, хотя для некоторых объектов промысла она может быть в несколько раз выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демиденко, Е. З. Линейная и нелинейная регрессии / Е. З. Демиденко. – М. : Финансы и статистика, 1981. – 302 с.
2. Марков, М. В. Генетические алгоритмы в лабораторном практикуме / М. В. Марков, Ф. А. Михеев // Современное образование: содержание, технологии, качество : Материалы XII Междунар. конф. (СПб., 20–21 апр. 2006 г.). – СПб., 2006. – Т. 2. – С. 140–141.

3. **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.
4. **Михеев, А. А.** Проблемы прямого учета промысловых донных беспозвоночных / А. А. Михеев // *Вопр. рыболовства.* – 2002. – Т. 3, № 1. – С. 137–148.
5. **Михеев, А. А.** Уловистость и зона облова ловушки: теория и эксперимент / А. А. Михеев // *Вопр. рыболовства.* – 2002а. – Т. 3, № 3. – С. 486–501.
6. **Михеев, А. А.** Зависимость уловов на ловушку крабов *Paralithodes spp.* от типа ловушки, продолжительности застоя и числа ловушек в порядке / **А. А. Михеев, А. К. Клитин** // *Вопр. рыболовства.* – 2000. – Т. 1, № 2–3, ч. II. – С. 56–59.
7. **Михеев, А. А.** Оптимальные промысловые усилия для камчатского и синего крабов / **А. А. Михеев, А. К. Клитин** // *Рыб. хоз-во.* – 2002. – № 5. – С. 32–36.
8. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2006612785. Реестр программ для ЭВМ / **Ф. А. Михеев, Г. Д. Дмитриевич, В. А. Павлушин, М. В. Марков** // Официальный бюллетень ФС по ИСПТЗ. Сер. Программы для ЭВМ. Базы данных. Топология интегральных микросхем. RU ОБПБТ № 3 (56), ФИПС г. Москва, 04.08.2006 г.
9. **Павлушин, В. А.** Генетические алгоритмы решения задач оптимизации частотных характеристик радиоэлектронных схем / **В. А. Павлушин, Ф. А. Михеев, М. В. Марков** // *Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ»* (Изв. Гос. электротехн. ун-та). Сер. «Информатика, управление и компьютер. технологии». – 2006. – Вып. 1. – С. 33–38.
10. **Himmelman, J. H.** Movement of whelks (*Buccinum undatum*) towards a baited trap / J. H. Himmelman // *Mar. Biol.* – 1988. – Vol. 97. – P. 521–531.
11. **Miller, R. G.** Effectiveness of crab and lobster traps / R. G. Miller // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 1990. – Vol. 47. – P. 1228–1251.
12. **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.
13. **Sloan, N. A.** The effect of trap soak time on yields of the deep-water golden king crab *Lithodes aequispina* Benedict in a northern British Columbia Fjord / **N. A. Sloan, S. M. C. Robinson** // *Journal of Shellfish Research.* – 1985. – Vol. 5, No. 1. – P. 21–23.

Анализ зависимости уловов на ловушку от продолжительности застоя для ряда промысловых беспозвоночных Сахалино-Курильского района / **А. А. Михеев, С. Д. Букин, Е. Р. Первеева и др.** // 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, 2007. – Т. 9. – С. 82–103.

Значение зависимости уловов на ловушку от продолжительности застоя для целей управления промыслом донных беспозвоночных и креветок и необходимость ее учета для стандартизации временных рядов уловов при оценке обилия запасов и коэффициентов улавливаемости методом полигонов очевидны. В этой связи целью исследований было провести анализ указанной зависимости для ряда наиболее важных единиц запаса названных групп животных Сахалино-Курильского района. Поставленная цель подразумевала определение количественных характеристик (параметризацию) зависимости уловов на ловушку от продолжительности застоя. Для выполнения анализа применили компьютерную программу, основанную на гибридном методе нелинейной оптимизации, сочетающем применение генетического алгоритма и 14 традиционных градиентных методов. Проведенный анализ зависимости «улов–застой» и сравнение результатов стандартизации показали необходимость учета влияния времени застоя на величину улова при использовании этих данных в традиционных моделях истощения запаса Лесли и Де Лури и их обобщенных версиях. Проведенный анализ показал, что оптимальная продолжительность застоя для промысловых донных беспозвоночных и креветок Сахалино-Курильского района в среднем составляет 2 суток, хотя для некоторых объектов промысла она может быть в несколько раз выше.

Табл. – 6, ил. – 8, библиогр. – 13.

Analysis of catch-per-pot dependence on duration of pot stay for some invertebrates of the Sakhalin-Kuril region / **A. A. Mikheev, S. D. Bukin, E. R. Perveeva, et al.** // 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, 2007. – Vol. 9. – P. 82–103.

Significance of catch-per-pot dependence on duration of pot stay for fishery management of bottom invertebrates and shrimps is evident as well as the necessity of its consideration for standardizing time series of catches in stock abundance assessment and coefficients of catchability estimation by the polygon method. In this relation, the research objective was to analyze the indicated dependence for a series of the most important stock units of the mentioned animal groups of the Sakhalin-Kuril region. We had to determine quantitative characteristics (parametrization) of catch-per-pot dependence on duration of pot stay. To perform analysis, we used a computer program that was based on the hybrid method of nonlinear optimization, combining the application of genetic algorithm and 14 common gradient methods. The performed analysis of the “catch-stay” dependence and comparison of standardization results showed that the effect of stay duration on catch size needs to be taken into account when using these data in traditional Leslie’s and DeLury’s models of stock depletion and their generalized variants. The analysis showed that the optimal duration of stay for commercial bottom invertebrates and shrimps of the Sakhalin-Kuril Region was 2 days on average, although it could be several times higher for some objects.

Tabl. – 6, fig. – 8, ref. – 13.