

УДК 639.2.053.7(26)

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ПОЛИГОНОВ

А. А. Михеев (alex_mikheyev@sakhniro.ru),
А. А. Крутченко

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

Михеев, А. А. Оценка запасов беспозвоночных в прибрежной зоне с применением метода полигонов [Текст] / **А. А. Михеев, А. А. Крутченко** // 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, 2013. – Т. 14. – С. 301–312.

Данная статья посвящена вопросам приложения метода полигонов к оценке запасов и управления промыслом беспозвоночных в прибрежной зоне. Использованы материалы о производительности промысла за ряд лет на 24 полигонах восточного и западного Сахалина, а также Южных Курил. Были проанализированы данные по крабам (синий, равношипый, стригуны, четырехугольный волосатый, колючий), гребенчатой креветке и трубачам. Оценка локальных запасов выполнили с помощью обобщенной модели Лесли с фильтром Калмана (ОМЛ ФК). Продемонстрировано, что использование полигонов как структурных элементов системы управления локальными запасами прибрежных беспозвоночных делает целесообразным применение метода полигонов для оценки этих запасов.

По результатам исследования сделан вывод о том, что для регулирования прибрежного промысла представляется наиболее приемлемой стратегией режим возможного вылова с заданным предельным ориентиром для изъятия. При наличии системы локальных запасов одного вида в одном районе целесообразно использовать ротационный промысел, когда одни элементы данной системы эксплуатируются, а другие восстанавливаются. При этом важным условием эффективности указанной стратегии управления является закрепление квот за одним пользователем.

В заключении указано, что при планировании работ на полигонах следует учитывать, что для большинства крабов-литодид оптимальный застой ограничен длительностью в 2–3 суток. При этом следует охватывать облавливаемые скопления порядками как можно равномернее по полигону и по периоду лова.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прибрежная зона, промысловые беспозвоночные, оценка запасов, метод полигонов, моделирование, регулирование промысла.

Табл. – 2, ил. – 7, библиогр. – 6.

Mikheyev, A. A. Assessment of invertebrates stock abundance in the coastal zone using the polygon's method [Text] / **A. A. Mikheyev, A. A. Krutchenko** // 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, 2013. – Vol. 14. – P. 301–312.

This paper deals with the problems of applying the polygons' method to the stock abundance assessment and fishery management for invertebrates in the coastal zone. The materials on the

fishery output for the years of time on 24 polygons of eastern and western Sakhalin and also southern Kuril Islands were used. The data on crabs (blue king, golden king, snow, horsehair, spiny), humpback shrimp, and whelks have been analyzed. The local stocks were assessed using the Leslie's Generalized Model with Kalman filter (LGM KF). There was demonstrated that using the polygons as structural elements of the system for managing the coastal invertebrate local stocks makes it expedient to apply the polygons' method for assessing these stocks.

Based on the results of study, it was concluded that a regime of possible catch with the specified maximum for a capture is the most reasonable strategy for managing the coastal fishery. If a system of the local stocks of one species occurs in an individual area, a rotational fishery is mostly acceptable, i.e. some elements of this system are being exploited, and others are being recovered. An important condition for efficiency of this management strategy is quotas fixing for one and the same user.

In conclusion it is indicated that when planning the works on polygons one should keep in mind that the optimal trap setting for the majority of crabs-lithodids is limited by 2-3 days, and the assemblages to be fished should be covered with the trap-net arrays as even over a polygon and catch period as possible.

KEYWORDS: coastal zone, commercial invertebrates, stock assessment, polygons' method, modeling, fishery management.

Tabl. – 2, fig. – 7, ref. – 6.

ВВЕДЕНИЕ

Прибрежным зонам водоемов свойственны мелко- и мезомасштабные неоднородности окружающей среды и высокие градиенты абиотических характеристик. Обитая в подобных условиях, гидробионты верхних этажей шельфа, включая сублитораль, сформировали пятнистую пространственную структуру (Петров, 1999). Способствовало агрегации скоплений в прибрежье и наличие заливов, бухт и прочих особенностей береговой линии и рельефа дна. Как следствие, прибрежье отличается высоким биоразнообразием и населено относительно малочисленными популяциями, образующими в случае промысловых видов локальные запасы. Применение траловых учетных съемок для оценки такого рода запасов сопряжено с трудностями, связанными с недостаточным разрешением сеток станций, малыми глубинами и сложным рельефом дна (Михеев и др., 2007).

В связи с вышеизложенным для оценки запасов в прибрежной зоне уместен метод полигонов. Названный метод использует данные, собранные в промысловом режиме на локальных участках (полигонах). Изначально в основу метода полигонов была положена модель истощения запаса Лесли (Leslie, Davis, 1939). Однако ограничения указанной модели, требующей изолированности эксплуатируемой популяции, не позволили найти для нее широкого применения. Разрешить эту проблему и обобщить модель Лесли на случай, допускающий миграции и наличие неучтенного вылова, удалось с помощью фильтра Калмана (ФК) – метода анализа и прогнозирования многомерных временных рядов (Михеев и др., 2012). Для реализации обобщенной модели Лесли с фильтром Калмана (ОМЛ ФК) разработана одноименная компьютерная программа (Михеев, Михеев, 2007).

Данная статья посвящена вопросам приложения метода полигонов к оценке запасов и управления промыслом беспозвоночных Сахалино-Курильского региона. Основной задачей, решаемой в контексте поставленной цели, было проведение расчетов на основе информации о производительности промысла с использованием ОМЛ ФК.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Использованы материалы по облавливаемым промысловым объектам на 24 полигонах. Из них данные по синему крабу собраны у восточного Сахалина в 1998 г. (109 станций); по равношипому крабу – у северных и южных Курильских островов в 2004–2006 гг. (946 станций); по крабам-стригунам – у западного Сахалина в 2002 и 2004 гг. (439 станций), а также у восточного Сахалина в 2003 и 2005 гг. (1 109 станций); по четырехугольному волосатому крабу – у восточного и западного Сахалина, а также у южных Курильских островов в 2002–2004 гг. (525 станций); по гребенчатой креветке – у западного Сахалина в 1994 и 2005 гг. (525 станций); по трубачу – у восточного Сахалина в 2003 г. (24 станции).

Кроме того, в качестве материала для исследования были использованы все имеющиеся данные об уловах колючего краба, полученные на восточном шельфе о. Сахалин за последнее десятилетие. В указанные данные вошла стандартная статистика, собранная наблюдателями при проведении в 2001, 2005 и 2006 гг. научного и в 2010–2011 гг. промышленного лова. На основе точек постановок порядков (1 068 станций) выделено шесть полигонов.

В качестве орудий лова при промысле синего, четырехугольного волосатого крабов и стригунов использовали стандартные конические ловушки японского образца. Промысел равношипного краба осуществляли американскими прямоугольными и трапециевидными ловушками. При промысле креветок использовали конические ловушки для креветок японского образца.

Методика исследования построена на применении ОМЛ ФК к оценке локальных запасов. Как известно, классическая модель Лесли описывает истощение изолированной популяции в результате промысла (Leslie, Davis, 1939). В названной модели запас предполагается прямо пропорциональным улову на усилие. Последний, таким образом, рассматривается как индекс запаса с коэффициентом улавливаемости в качестве коэффициента пропорциональности.

Основная проблема классической модели истощения, обусловленная требованием изолированности популяции, состоит в оценке коэффициента улавливаемости, задающего наклон линии регрессии (**рис. 1**). Как можно видеть из приведенных на рисунке 1 формул, наличие неучтенных факторов, влияющих на запас, таких, как миграции или браконьерство, ведет к смещению оценки коэффициента улавливаемости и, как следствие, к смещению оценки запаса. При наличии сравнимых по силе разнонаправленных факторов, таких, как иммиграция, с одной стороны, и эмиграция и вылов, с другой стороны, динамика локального запаса может приобрести «пилообразный» вид, что в случае применения классической модели истощения также ведет к смещению оценок запаса. В ряде случаев, когда линейный тренд в уловах возрастает или имеет наклон, близкий к нулю, оценки запаса в такой модели становятся либо бессмысленными, либо недостоверными.

$$y_t = y_1 - qK_t + \varepsilon_t \quad N_1 = y_1/q$$

- y_t - суточный улов на лов. в сутки t
- K_t - накопленный к суткам t улов
- q - коэффициент улавливаемости
- N_1 - запас в первые сутки
- ε_t - белый шум

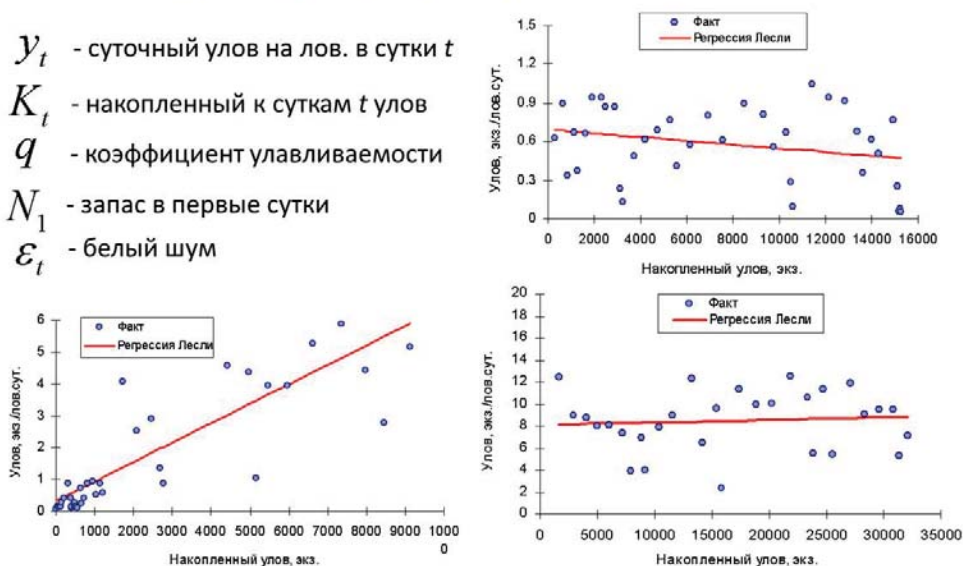


Рис. 1. Основные уравнения для оценивания запаса на начало лова в классической модели истощения Лесли

Fig. 1. The basic equations for stock assessments at fishing start in the Leslie's classic depletion model

В отличие от классической модели в обобщенной версии коэффициент улавливаемости определяется не по наклону регрессии, а оптимизируется наряду с прочими параметрами модели, что позволяет избежать смещения оценок.

Чтобы понять принцип работы фильтра Калмана, стоит рассмотреть структуру оценки индекса запаса. Скорректированная оценка в ФК представляет собой взвешенную сумму прогноза и факта. Веса в этой сумме определены из условий статистической несмещенности и состоятельности оценки (**рис. 2**). Такая структура оценки позволяет сравнивать степень влияния на нее со стороны модели и фактических данных. Например, если вес близок к нулю, то влияние данных наблюдений практически исключается из оценки. Это, в свою очередь, делает интерпретацию результатов метода полигонов более содержательной. Таким образом, скорректированная оценка всегда располагается между прогнозом и фактом, а положение этой оценки определено условием статистической эффективности.

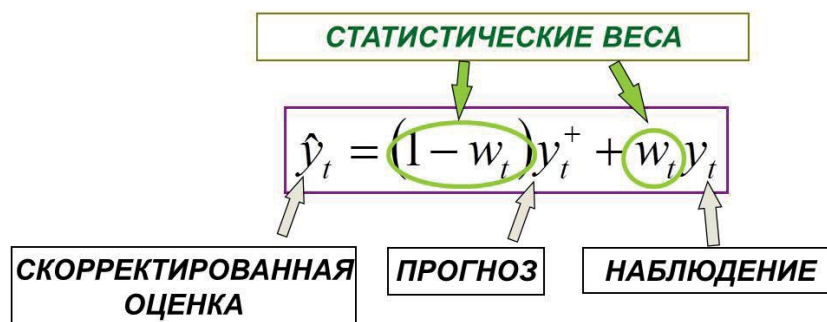


Рис. 2. Структура оценки в фильтре Калмана
 Fig. 2. The Kalman filter estimation structure

Методика расчетов по методу полигонов с применением ОМЛ ФК подробно описана авторами в ряде публикаций (Михеев и др., 2007, 2010, 2012).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценки запасов, полученные по сетке тралений и с помощью метода полигонов с применением ловушек в промысловом режиме приведены в **таблице 1**. Отметим, что верхние три полигона, расположенные выше красной черты, относятся к трем основным районам промысла стригунов опилю. Эти полигоны характеризуются относительно однородным пространственным распределением и довольно высокой численностью краба. Полигоны ниже красной черты характеризуются малочисленными запасами и выраженным пятнистым распределением гидробионтов. Эти полигоны соответствуют районам промысла четырехугольного волосатого краба (три полигона), гребенчатой креветки Татарского пролива (два полигона) и трубачей восточного шельфа Сахалина.

Таблица 1
Оценки запасов, полученные по сетке тралений и с помощью метода полигонов по ловушкам в промысловом режиме ($\alpha=0,001$)
Table 1
Stock assessment obtained by grid trawling and using the method of polygons for the traps in the fishing mode ($\alpha=0.001$)

Полигон №	Количество станций		Запас, тыс. экз. (т)				t Стьюдента
	ловушки	трал	Контрольный лов		Съемка		
			среднее	ошибка	среднее	ошибка	
8	301	42	258,6	1,82	256,4	53,24	0,735
9	74	11	294,4	5,83	315,6	12,90	-9,284
11	121	12	156,3	2,73	167,3	72,43	-1,723
16	232	16	72,9	1,00	7,4	5,12	159,030
18	93	26	24,1	1,19	13,2	2,33	32,577
21	200	22	20,5	1,47	11,2	3,82	22,736
22*	308	6	487,4	3,65	134,5	71,70	87,620
23*	217	26	405,9	25,58	191,9	49,68	35,523
24*	47	7	28,3	0,68	7,3	3,27	40,420

* Обилие показано в единицах биомассы.

* Stock is given in biomass units.

Было выполнено сравнение оценок запасов, полученных с помощью траловых съемок и ловушками на полигонах, по критерию Стьюдента при уровне значимости 0,001. При увеличении уровня значимости до 0,05 различия в оценках были достоверны только для полигонов ниже красной черты. Отметим многократное занижение оценок запаса в случае применения траловых съемок.

Наряду с разделением процессов в динамике запаса, непосредственно не наблюдаемого, и в индексах запаса, измеряемых с помощью уловов на ловушку, фильтр Калмана оценивает погрешность указанных измерений. Это позволяет многократно снизить неопределенность оценок запаса по сравнению с классической моделью истощения (рис. 3). Отсутствующие столбики на диаграммах соответствуют тем случаям, когда классическая модель истощения оказалась неспособной оценить коэффициент улавливаемости и, как следствие, не смогла оценить запас. Можно заметить, что доля таких случаев довольно высока.

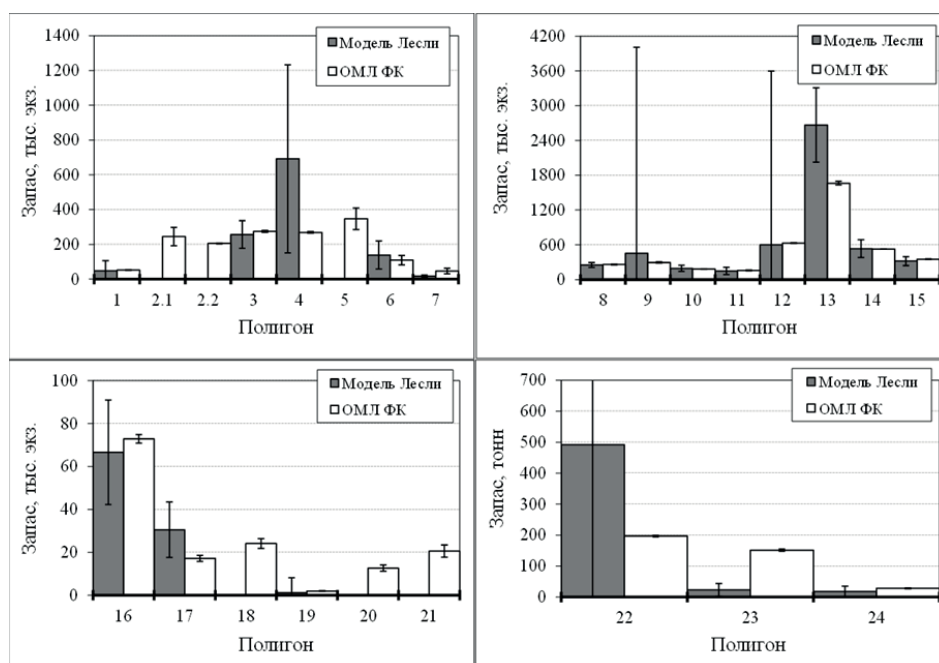


Рис. 3. Оценки запасов по классической модели Лесли и ОМЛ ФК для полигонов № 1–24

Fig. 3. Stock estimations from the Leslie's classic depletion model and LGM KF for polygons No. 1–24

Известно, что пространственное перераспределение гидробионтов в процессе проведения учетной съемки оказывает заметное влияние на оценку запасов. Приведенная схема станций и изолинии распределения уловов на ловушку, полученных при проведении мониторинга синего краба, наглядно демонстрируют миграционный поток в направлении от полигона № 1 к полигону № 2, то есть с севера на юг к границе шельфа, сформировавшийся к ноябрю (рис. 4). Динамика индекса запаса показывает взрывной рост обилия синего краба у кромки шельфа в течение октября, вызванный притоком животных с прибрежных участков. С наступлением ноября начинается интенсивный выход краба за пределы шельфа на зимовку, что приводит к равновесию между притоком и оттоком животных на исследуемом участке (рис. 5).

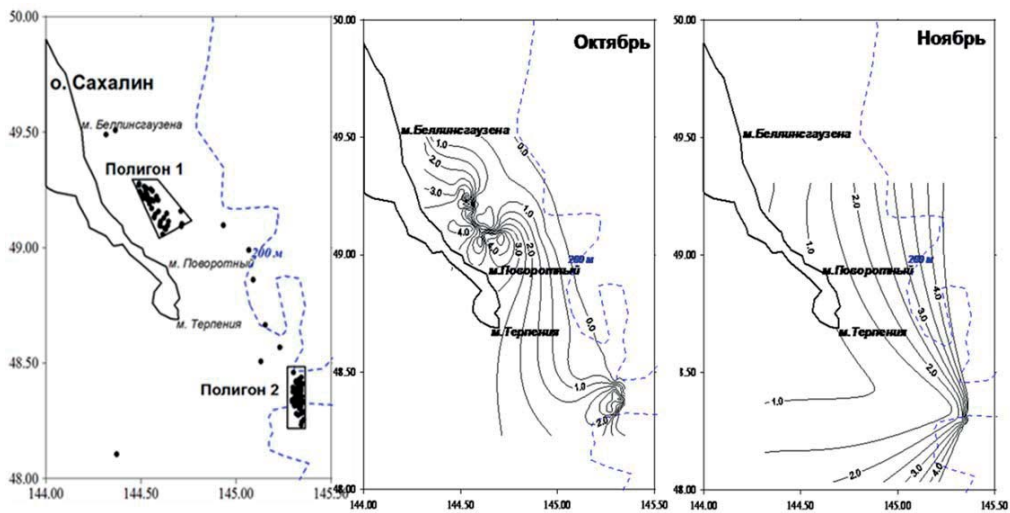


Рис. 4. Распределение индексов запаса (экз./ловушку) синего краба (*Paralithodes platypus*), а также схемы полигонов № 1, 2.1 (№ 2, октябрь) и 2.2 (№ 2, ноябрь) по данным мониторинга в 1998 г.

Fig. 4. Distribution of the blue king crabs (*Paralithodes platypus*) stock indices (ind./trap) and a scheme of polygons No. 1, 2.1 (No. 2, October) and 2.2 (No. 2, November) from the monitoring data in 1998

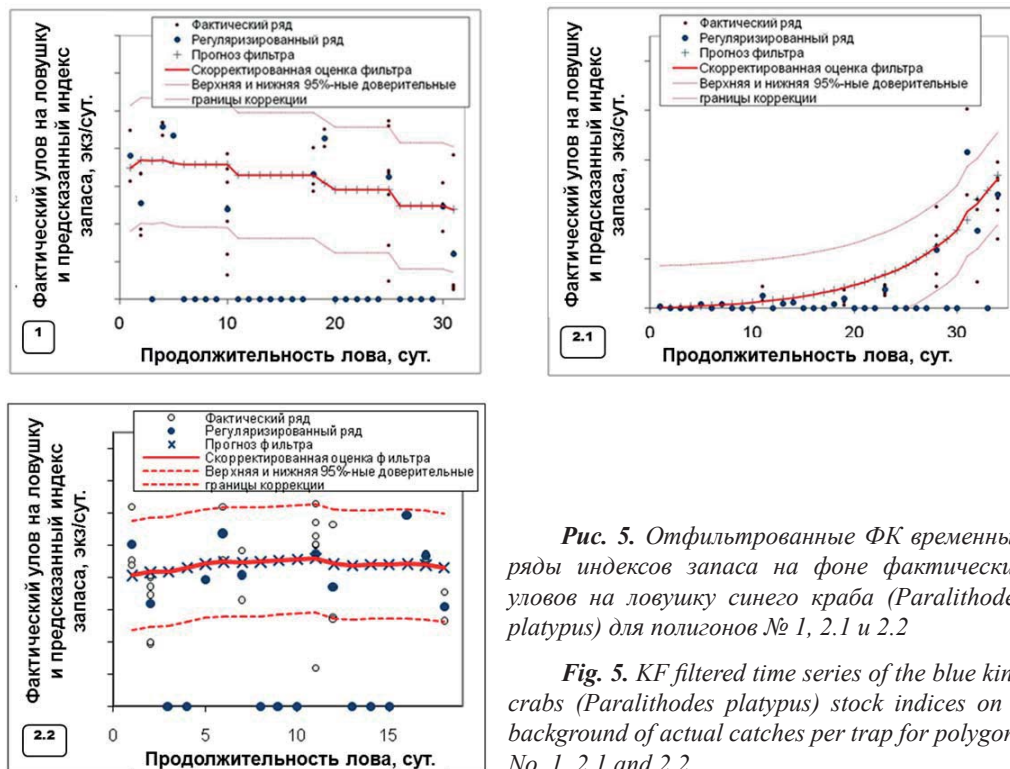


Рис. 5. Отфильтрованные ФК временные ряды индексов запаса на фоне фактических уловов на ловушку синего краба (*Paralithodes platypus*) для полигонов № 1, 2.1 и 2.2

Fig. 5. KF filtered time series of the blue king crabs (*Paralithodes platypus*) stock indices on a background of actual catches per trap for polygons No. 1, 2.1 and 2.2

Таким образом, при правильной организации системы полигонов можно выявить сроки и направление миграционных потоков на основе динамики уловов на усилии. Со своей стороны, обобщенная модель Лесли с фильтром Калмана способна корректно обработать эту информацию и дать оценки запаса, учитывающие пространственное перераспределение гидробионтов в процессе лова. В отдельных случаях применение ОМЛ ФК позволяет с приемлемой точностью установить объемы нелегального вылова в районе полигона.

В последние годы сахалинские рыбопромышленники проявляют интерес к промыслу колючего краба, образующего в прибрежной зоне юго-восточного шельфа о. Сахалин ряд локальных запасов. Они готовы поделиться с наукой самыми свежими данными о производительности своего промысла, чтобы оценить текущее состояние и перспективы эксплуатации этих ресурсов. Используя такую информацию, на юго-восточном шельфе о. Сахалин было выделено шесть стандартных полигонов, приуроченных к традиционным местам научного и промышленного лова колючего краба в последнее десятилетие.

Отметим, что ненулевые уловы наблюдались и далеко за пределами полигонов, хотя и единично (**рис. 6**). Начиная с 2006 г. промысел колючего краба переместился с южных участков на полигон № 5. При этом облавливаемая площадь заметно сократилась. Произошедшие изменения обусловлены, по всей видимости, закреплением квот, приведшим к тому, что нескольким легальным пользователям на рассматриваемом ресурсе стало тесно. В этой ситуации единственный пользователь стремится сконцентрировать промысел на участке, приносящем максимальный вылов за минимальное время.

В этой связи проиллюстрируем приложение метода полигонов на основе ОМЛ ФК к оценке локального запаса колючего краба на полигоне № 5 (**рис. 7**). Динамика индекса запаса демонстрирует отсутствие истощения в процессе лова по крайней мере для трех последних рассматриваемых лет. Это говорит о потенциале данного локального ресурса. В случае полигона № 5.1 модель выявила наличие заметной иммиграции как в 2010, так и в 2011 г. Это вполне увязывается с тем, что данный полигон является частью полигона № 5 с площадью примерно в четверть последнего и содержит в своей окрестности значительное количество колючего краба.

В **таблице 2** приведены оценки запаса колючего краба на отдельных полигонах за ряд лет, полученные с помощью ОМЛ ФК. По результатам моделирования, запас на полигоне № 5 составил: в 2005 г. – 340 т; в 2006 г. – 960 т; в 2010 г. – около 800 т; в 2011 г. – 1 700 т. Оценки за два последних года получены пересчетом пропорционально отношению площадей полигонов № 5 и 5.1 (см. **рис. 6** и **табл. 2**). Приведенные выше оценки демонстрируют явную тенденцию к росту запаса колючего краба на рассматриваемом полигоне в указанные годы.

В прогнозе на 2011 г. рассматриваемый ресурс для всего юго-восточного шельфа о. Сахалин был оценен по результатам водолазных учетов на уровне 1 500 т (по устн. сообщ. Д. А. Галанина), что заметно меньше нашей оценки в 2 000–2 500 т. Подчеркнем, что этот запас относится непосредственно к участкам, занимаемым полигонами. Наличие ненулевых уловов за пределами выделенных полигонов позволяет полагать полученный нами общий запас минимальным.

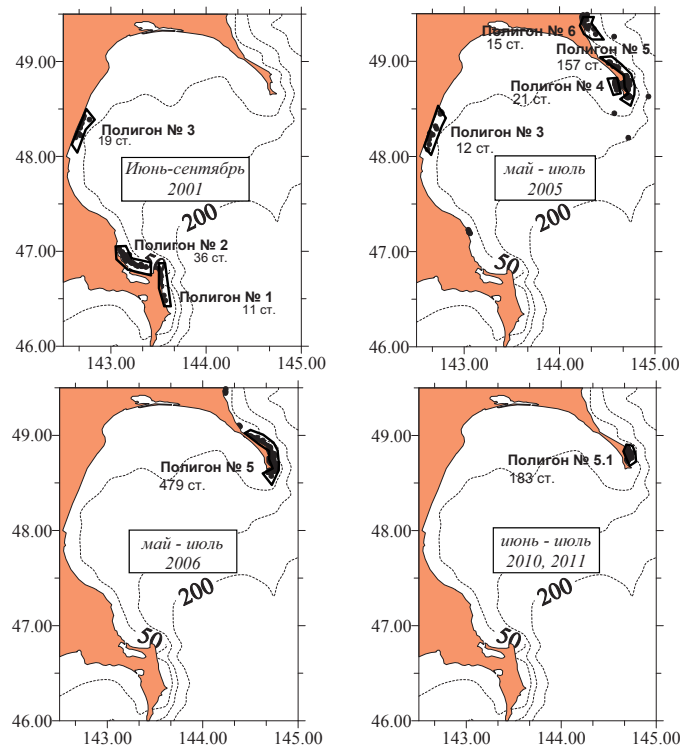


Рис. 6. Схема расположения ловушечных порядков при проведении научного и промышленного лова колючего краба (*Paralithodes brevipes*) на восточном шельфе о. Сахалин за ряд лет в период 2001–2011 гг. и выделенные полигоны

Fig. 6. Location of trap arrays for scientific and commercial catches of spiny crab (*Paralithodes brevipes*) on the eastern shelf of Sakhalin Island for the period of 2001–2011, and chosen polygons

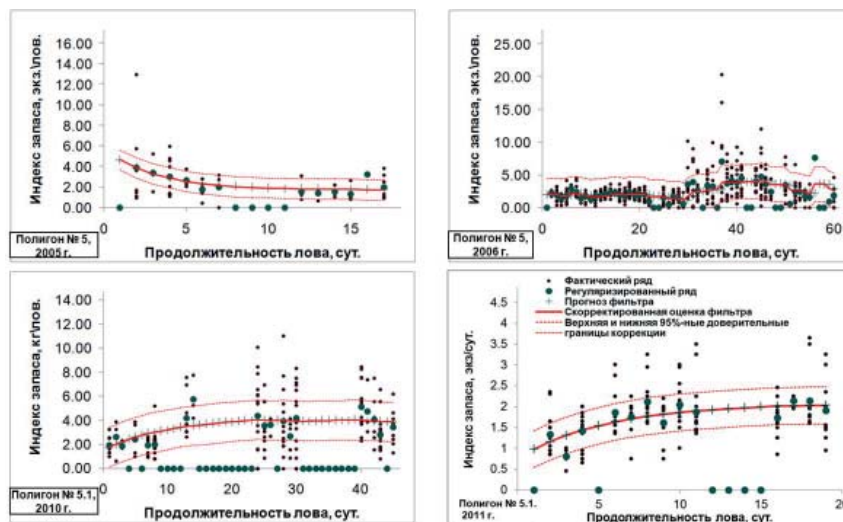


Рис. 7. Результаты ОМЛ ФК при моделировании динамики индексов запаса колючего краба (*Paralithodes brevipes*) на восточном шельфе о. Сахалин (полигоны № 5 и 5.1) за ряд лет в течение 2005–2011 гг.

Fig. 7. Results of LGMKF modeling of spiny crab (*Paralithodes brevipes*) stock indices dynamics on the eastern shelf of Sakhalin Island (polygons No. 5 and 5.1) for some years during 2005–2011

Оценки характеристик локальных запасов колючего краба (*Paralithodes brevipes*)
согласно выделенным полигонам по результатам моделирования

Assessment of characteristics of the spiny crab (*Paralithodes brevipes*) local stocks
for chosen polygons by the modeling results

Полигон №	Год	Характеристика запаса, тыс. экз./т						Динамические факторы, тыс. экз./т				Общий запас	
		N_t	N_{t+1}^+	$N_{мин.}$	$N_{макс.}$	$N_{ср.}$	ошибка среднего	вылов, U	неучтенные факторы, M	поправка модели, L	тыс. экз.	т	
1		6,0	0,2	0,2	6,0	1,1	0,72	0,049	-5,8	0	6,0	10,2	
2	2001	21,2	154,4	21,2	154,0	112,9	4,46	1,443	134,7	0	154,4	262,5	
3		346,8	-82,8	19,7	346,8	218,0	40,47	0,706	-428,9	0	346,8	589,6	
3		3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	0,003	0,023	0	0	3,0	5,1	
4		24,0	19,9	19,9	24,0	20,4	0,40	0,096	-4,0	0	24,0	40,8	
5	2005	201,6	74,7	75,3	201,6	102,5	8,96	7,146	-119,7	0	201,6	342,7	
6		11,0	233,7	11,0	73,5	46,6	24,5	0,422	223,1	0	233,7	397,3	
5	2006	264,4	350,5	159,8	564,5	341,3	15,49	85,546	0,3	171,4	564,5	959,8	
5.1*	2010	87,0	190,1	87,0	199,8	177,3	4,48	35,663	138,7	0	117,5	199,8	
5.1	2011	94,7	244,6	94,7	247,4	213,7	10 202,77	17,8	167 783	0,275015	262,4	418,0	

* Величины в данной строке, если не оговорено обратное, приведены в единицах биомассы.

* In this line the values are given in biomass units.

По нашему мнению, запас колючего краба на восточном шельфе о. Сахалин допускает изъятие не менее 20% от суммы локальных запасов, при условии, что полигоны будут эксплуатироваться группами и поочередно. Это даст около 350 т ежегодного вылова без видимого ущерба для популяции. Конечно, указанные цифры еще нуждаются во всесторонней проверке, прежде чем могут быть рекомендованы промышленности к использованию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резюмируя, стоит отметить ряд общих моментов, касающихся специфики управления прибрежными запасами и роли метода полигонов в этом контексте. Сказанное далее в полной мере относится ко всем ресурсам прибрежных беспозвоночных, и в частности к запасам колючего краба восточного шельфа о. Сахалин.

Следует сказать, что при существующем законодательстве в сфере регулирования промысла водных биоресурсов в прибрежье возникает коллизия между такими видами рыболовства, как промышленное и любительское. Если увеличивать ОДУ до предельной отметки, какой она видится в свете имеющихся данных, то неквотируемое любительское рыболовство, достигающее в последние годы в ряде случаев промышленных масштабов, окажет на популяцию критическое истощающее воздействие.

В этой связи для регулирования прибрежного промысла представляется наиболее приемлемой стратегией его переход в режим так называемого возможного вылова с заданным предельным ориентиром для изъятия. И любительский, и промышленный лов будут конкурентно осваивать указанную величину на равных основаниях. При этом, с одной стороны, не будет нарушен принцип свободного доступа к ресурсу, свойственный любительскому рыболовству, а с другой стороны – по достижении предельного вылова промысел будет закрыт для всех, что даст гарантию предохранения от перелова.

Локальные слабо мигрирующие запасы в большей степени подвержены истощению. Подобным запасам часто необходимо время для восстановления. При наличии системы локальных запасов одного вида в одном районе целесообразно использовать ротационный промысел, когда одни элементы данной системы эксплуатируются, а другие восстанавливаются. Такой подход к управлению позволит распределить промысловую нагрузку равномерно вдоль всего побережья и вести экономически эффективный лов. Закрепление квот за одним пользователем устранил вынужденные простои в производственном процессе, связанные с истощением ресурса на отдельных полигонах. Вместе с тем использование полигонов как структурных элементов системы управления локальными запасами прибрежных беспозвоночных делает целесообразным применение метода полигонов для оценки этих запасов.

Важный практический вывод относительно планирования работ на полигонах в прибрежье состоит в том, чтобы охватывать скопления как можно полнее и выставлять порядки по времени более равномерно, не группировать их десятками в пределах 1–2 суток, оставляя при этом застой не более чем на неделю. Например, для большинства крабов-литодид оптимальный застой ограничен длительностью в 2–3 суток.

В завершение следует отметить, что при оценивании запаса по методу полигонов все затраты на выполнение работ переносятся на рыбопромышленников, входят в состав обычных промысловых издержек и могут быть компенсированы за счет улова. Использование с аналогичной целью учетной съемки, в том числе с помощью водолазов, возлагает все затраты на соответствующую научную организацию.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают признательность рыбодобывающей компании ООО «Союзозеан» и ее генеральному директору Александру Ивановичу Пьянову за оказанное техническое содействие в сборе данных по колючему крабу в 2010 и 2011 гг.

ЛИТЕРАТУРА

К проблеме учета промысловых беспозвоночных в популяциях с низким уровнем численности [Текст] / **А. А. Михеев, С. Д. Букин, Е. Р. Первеева и др.** // Мор. промысловые беспозвоноч. и водоросли: биология и промысел. К 70-летию со дня рождения Б. Г. Иванова : Тр. ВНИРО. – М. : Изд-во ВНИРО, **2007**. – Т. 147. – С. 27–38.

Михеев, А. А. Новая версия компьютерной программы для обобщенной модели Лесли с фильтром Калмана [Текст] / **А. А. Михеев, Ф. А. Михеев** // Отраслевой семинар «Мат. моделирование и информ. технологии в исслед. биоресурсов Мирового океана» : Тез. докл. [Электрон. ресурс]. – Владивосток : ОИТ ТИНРО-Центра, **2007**. – С. 17–18. – Режим доступа: <http://www.tinro.ru/vs2007/proceedings/>

Михеев, А. А. Запасы колючего краба (*Paralithodes brevipes*) на восточном шельфе о. Сахалин: оценка с применением метода полигонов [Текст] / **А. А. Михеев, А. А. Крутченко, А. И. Пьянов** // Тр. СахНИРО. – **2010**. – Т. 11. – С. 49–61.

Оценка запасов беспозвоночных в Сахалино-Курильском районе на основе анализа временных рядов уловов с применением фильтра Калмана [Текст] / **А. А. Михеев, С. Д. Букин, Е. Р. Первеева и др.** // Изв. ТИНРО. – **2012**. – Т. 168. – С. 93–114.

Петров, К. М. Биogeография океана: Биogeографическая структура океана глазами географа [Текст] : Учеб. пособие / Под ред. проф. Я. И. Скоробогатова. – СПб. : Изд-во СПбГУ, **1999**. – 232 с.

Leslie, P. H. An attempt to determine the absolute number of rats on a given area [Text] / **P. H. Leslie, D. H. S. Davis** // J. Anim. Ecol. – **1939**. – Vol. 8. – P. 94–113.