

УДК 595.384.2

## ОЦЕНКА ПРОМЫСЛОВОГО ЗАПАСА И ВОЗМОЖНОГО ВЫЛОВА СИНЕГО КРАБА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ МЕТОДОМ ВИРТУАЛЬНО-ПОПУЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА

В. П. Максименко, В. Н. Лысенко



Важнейшая проблема оценки численности, промыслового запаса и прогнозирования общего и возможного допустимых уловов (ОДУ и ВДУ) беспозвоночных заключается в отсутствии данных об их возрастной структуре. В 2001 г. в КамчатНИРО была создана компьютерная программа в операционной среде Windows 98 для выделения возрастных групп беспозвоночных по их размерной структуре методом Шеперда. С использованием этого метода было рассчитано количество особей промысловых размеров разных возрастных групп западнокамчатской популяции синего краба в разные годы. После решения главной задачи — определения возрастного состава уловов — были определены коэффициенты мгновенной естественной смертности. Затем средние значения коэффициентов естественной смертности были применены в виртуально-популяционном анализе (ВПА). Было выяснено, что при расчете методом ВПА отсутствие учета вероятности линьки синего краба в различном возрасте приводит к занижению как биомассы промысловых самцов, так и их возможного вылова. Полученные результаты свидетельствуют о том, что прогноз величин возможного вылова синего краба изучаемой популяции колеблется в пределах 27–40% рассчитанной биомассы промысловых самцов (средняя величина 31%), что намного больше используемой в настоящее время величины ОДУ, принимаемой 10% наличной биомассы.

Важнейшая проблема оценки численности, промыслового запаса и прогнозирования общего и возможного допустимых уловов (ОДУ и ВДУ) беспозвоночных заключается в отсутствии данных об их возрастной структуре. В связи с этим невозможно применение таких эффективных методов оценки запаса по возрастным группам и годам, как виртуально-популяционный анализ. Методы оценок, базирующиеся на данных о размерном составе (когортный анализ Джоунса), также требуют наличия оценок параметров зависимости размера от возраста. Поскольку при оценке промыслового запаса беспозвоночных мы располагаем только размерной структурой, задача состоит в том, чтобы выделить из этой структуры составляющие, связанные с возрастом отдельных поколений. После решения данной проблемы дальнейшие расчеты можно осуществлять с помощью методов, разработанных в рамках теории рыболовства, включая виртуально-популяционный анализ (Засосов, 1976; Методические рекомендации ..., 1984; Ricker, 1975; Pope, Shepherd, 1983 и др.). Выделение из размерной структуры составляющих ее однородных возрастных групп успешно осуществляется методами математической статистики. Из доступных нам литературных источников отметим работы, посвященные беспозвоночным (Schnute and Fournier, 1980; Shepherd, 1987; Basson et al., 1988; Zheng et al., 1998), а также работу Броневского с соавторами (Броневский и др., 1975). При определении возрастной структуры уловов крабов необходимо также учитывать, что их размерная структура дает искаженную картину распределения по возрастам, так как не у всех особей каждой возрастной генерации в определенном воз-

расте обязательно происходит линька. Вследствие этого при определении возраста необходимо также учитывать вероятность линьки и ее зависимость от возраста особи.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В данной работе рассматривается методический подход к решению упомянутой проблемы на примере оценки промыслового запаса синего краба *Paralithodes platypus* северо-восточной части Охотского моря по данным о его размерной структуре и объемах промыслового изъятия. Данные о размерном составе самцов синего краба в популяции северо-восточной части Охотского моря получены в процессе ловушечных и траловых съемок, выполненных КамчатНИРО в этом районе в 1995–2000 г. В качестве параметра размера крабов использовалась наибольшая ширина их карапакса, которую измеряли без учета боковых шипов с точностью до 1 мм. Количество измеренных самцов синего краба в 1995–2000 гг. равно соответственно 1579, 19507, 3229, 5245, 15825 и 7029 экз. В процессе проведения исследований ежегодно в период, когда линька в популяции завершалась, для всех размерных классов с интервалом 10 мм по ширине карапакса определяли количество особей, не линявших в данном году. На основании этих исследований для каждого размерного класса определяли вероятность линьки — долю особей, которые линяли в текущем году. Полученные результаты были обобщены в таблице 2 и использовались для расчетов. Данные об ежегодных объемах промыслового изъятия предоставлены отделом регулирования рыболовства Камчатрыбвода.

Осуществлялись оценки параметров линейного роста, естественной и промысловой смертности синего краба северо-восточной части Охотского моря. Связь размера и возраста вынужденно выяснялась путем выявления возрастной структуры популяции по ее размерной структуре.

В 2001 г. в КамчатНИРО была создана компьютерная программа в операционной среде Windows 98 для выделения возрастных групп беспозвоночных по их размерной структуре методом Шеперда, который описан в работе Бэссона (Basson et al., 1988) и обозначается аббревиатурой SLCA (Shepherd's Length Composition Analysis; Shepherd, 1987). Он предполагает, что данные о размерном составе содержат в себе информацию о средней длине по возрастным группам, т.е. можно реконструировать зависимость размера от возраста. В качестве такой зависимости использовалось уравнение роста, предложенное Берталанффи (Bertalanffy, 1957). SLCA сравнивает наблюдаемое размерное распределение с тестовой функцией, конструируемой по заданному набору параметров уравнения линейного роста. Эта тестовая функция принимает положительные значения при модальных значениях размеров и отрицательные—при интермодальных. Вид этой функции следующий:

$$T(i) = \frac{\sin(t_{\max} - t_{\min})}{(t_{\max} - t_{\min})} \cos 2\pi(t_{\text{bar}} - t_s), \quad (1)$$

где  $t_{\max}$  и  $t_{\min}$  — возрасты, рассчитываемые по уравнению Берталанффи и соответствующие нижней и верхней границам разбиения размерного состава. В этой работе мы рассматривали размерный состав синего краба с дискретностью по ширине карапакса 4 мм. Индекс  $i$  обозначает номер размерного интервала,  $t_{\text{bar}}$  — среднее значение между  $t_{\max}$  и  $t_{\min}$ . Параметр  $t_s$  отражает долю годового цикла, в течение которого собирались пробы по размеру краба. В нашем случае, с учетом того, что пробы собирались с мая по декабрь, приняли  $t_s = 0,75$ .

Тестовая функция (1) носит периодический характер, причем ее период уменьшается по мере увеличения размера краба. Максимумы этой функции соответствуют средним размерам возрастных категорий. По мере увеличения размера различия в максимумах исчезают, что проверяется соответствующими критериями различия (подсчитываются коэффициенты корреляции между исходными данными и тестовой функцией).

В процессе расчетов задается набор значений параметров роста уравнения Берталанффи, для которого вычисляется тестовая функция (1). По виду этой функции определяется количество выделяемых возрастных групп. Поскольку истинные значения параметров уравнения роста неизвестны, применяется метод Монте-Карло

для их генерации в пределах определенных, заранее заданных, диапазонов. Пределы этих диапазонов могут выбираться произвольно, при условии, что истинные значения параметров уравнения роста находятся внутри задаваемых диапазонов. Опытные специалисты знают примерные границы изменения искомым параметров и задают более узкие границы их измерения, что влияет на количество затрачиваемого времени для осуществления расчетов. В случае, если конечный результат оценок параметров будет равным значению какой-либо из границ диапазона, необходимо повторить расчет, расширив эту границу. Мы использовали следующие диапазоны:  $L_{\infty} = 200 \div 350$  мм;  $t_0 = -7 \div 4$  лет;  $k = 0,01 \div 0,50$  год<sup>-1</sup>. Количество реализаций расчетов в программе может быть задано произвольно большим, но в данном случае оказалось достаточным 100 000. Для каждой реализации вычислялся критерий согласия вида:  $S = \sum T(i)N(i)^{1/2}$ ,

где  $i$  обозначает номер размерного класса,  $N(i)$  — количество особей в пробе данного размерного класса,  $T(i)$  — значение тестовой функции на интервале  $i$ . Квадратный корень от  $N(i)$  используется для стабилизации дисперсии  $S$ . Затем выбираются те значения параметров уравнения роста, при которых значение критерия  $S$  максимально. Эти значения соответствуют наилучшему выделению возрастных групп по тестовой функции (1). Средние оценки параметров уравнения Берталанффи за период 1995–2000 гг. равнялись:  $L_{\infty} = 254,3$  мм;  $K = 0,12$  год<sup>-1</sup>;  $t_0 = -4,21$  лет. Эти параметры рассчитывались по пробам размерного состава отдельно для каждого года. Для получения истинного возраста осуществлялся сдвиг нумерации возрастных групп в зависимости от значений возраста  $t_0$  таким образом, чтобы окончательно этот возраст находился в диапазоне от  $-1$  до  $0$ . После определения численности особей по годам и возрастным группам в пробах ее пересчитывали на численность особей в уловах. Поскольку в уловах учитываются только особи промысловых размеров ( $\geq 130$  мм), при определении численности особей в уловах делали поправку на наличие в фактических уловах крабов меньших размеров.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

С использованием приведенных методов и поправок было рассчитано количество особей промысловых размеров разных возрастных групп синего краба в различные годы (табл. 1).

Далее была внесена поправка на то, что особи разного размера в различные годы имеют характерную для них вероятность линьки. Значения вероятностей линьки по возрастным группам в конкретные годы, полученные ранее, приведены в таблице 2.

Поскольку для 1995 и 1996 гг. данные о вероятности линьки отсутствовали, были использованы их средние значения из табл. 2. Процедура внесения поправки на вероятность линьки выглядит следующим образом. Например, в 1995 г. в уловах количество особей с размерами, соответствующими возрасту 8 лет, равнялось 795,5 тыс. экз. (табл. 2). Из этого количества вычитаем 254,6 тыс. экз. не линявших в прошедшем году 9-годовиков и добавляем не линявших в прошедшем году 8-годовиков, которые в настоящее время находятся в размерной группе 7-годовиков, в количестве 125,1 тыс. экз. Итоговая численность особей в возрасте 8 лет равняется 660,0 тыс. экз. Окончательный итог расчета численности крабов разных возрастных групп приведен в таблице 3.

После решения главной задачи — определения возрастного состава уловов — были определены коэффициенты мгновенной естественной смертности. Коэффициенты были рассчитаны тремя методами: Тюрина (Тюрин, 1962, 1972), Зыкова-Слепокурова (Зыков, Слепокуров, 1982;

Таблица 1. Количество особей синего краба разных возрастных групп в уловах (тыс. экз.) в разные годы без учета вероятности линьки

Год	Возраст, лет							
	6	7	8	9	10	11	12	13
1995	104,0	500,4	795,5	660,6	649,4	500,4	351,4	163,0
1996	37,9	364,7	842,0	843,0	634,6	715,1	255,7	61,6
1997	66,1	358,9	1275,1	1139,1	486,4	80,3	53,0	26,0
1998	375,3	783,1	721	848,1	401,9	41,4	8,9	4,5
1999	49,7	180,4	556,8	611,7	481,0	303,2	183,0	94,1
2000	275,8	593,1	524,9	444,8	720,6	516,0	210,6	59,3

Таблица 2. Вероятность линьки самцов разного размера у синего краба северо-восточной части Охотского моря

Возраст (лет)	Ширина карапакса (мм)	Годы				Средняя
		1997	1998	1999	2000	
6	130–140	0,81	0,77	0,81	0,86	0,81
7	140–150	0,77	0,69	0,69	0,84	0,75
8	150–160	0,73	0,61	0,58	0,78	0,68
9	160–170	0,75	0,51	0,57	0,79	0,66
10	170–180	0,71	0,53	0,65	–	0,63
>10	>180	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Таблица 3. Количество особей синего краба разных возрастных групп в уловах (тыс. экз.) в различные годы с учетом вероятности линьки

Год	Возраст, лет							
	6	7	8	9	10	11	12	13
1995	84,2	395,1	666,0	690,6	633,7	540,5	411,0	238,4
1996	30,7	280,7	663,8	825,8	686,4	663,9	439,4	139,3
1997	53,5	289,0	1013,3	1389,1	693,6	189,3	63,9	36,8
1998	289,0	626,6	682,6	713,7	628,6	213,7	21,9	6,3
1999	40,3	133,9	378,8	582,6	575,6	350,3	231,1	129,7
2000	237,2	536,8	504,3	466,9	525,8	597,8	332,8	119,8

Зыкова, Зыков, 1989) и Третьяка (Третьяк, 1984), а затем была рассчитана средняя по трем методам по возрастным группам. Далее средние значения коэффициентов естественной смертности были применены в виртуально-популяционном анализе (ВПА). Полученные результаты коэффициентов естественной смертности и результаты оценок массы крабов разного возраста, определенные по зависимости массы тела от ширины карапакса  $W = 0,0017L^{2,7766}$  (Лысенко, 2001), приведены в таблице 4.

Расчет с использованием ВПА осуществлялся на основе настроечной процедуры Сэвилла (Pope and Shepherd, 1983). Обобщенные результаты величин биомасс промысловых самцов и объемов вылова приведены в таблицах 5 и 6.

Таким образом, при расчете методом ВПА отсутствие учета вероятности линьки синего краба в различном возрасте приводит к заниже-

Таблица 4. Коэффициенты мгновенной естественной смертности (КЕС) и массы особей (W) синего краба разного возраста

Возраст, лет	КЕС по Тюрину	КЕС по Зыкову	КЕС по Третьяку	Средние КЕС	W (г)
3	0,38	0,46	0,25	0,36	342
4	0,27	0,36	0,22	0,28	623
5	0,20	0,31	0,21	0,24	966
6	0,18	0,29	0,20	0,22	1210
7	0,19	0,27	0,21	0,22	1596
8	0,23	0,27	0,23	0,24	2005
9	0,29	0,28	0,28	0,28	2427
10	0,38	0,31	0,35	0,35	2852
11	0,50	0,36	0,45	0,44	3275
12	0,64	0,42	0,61	0,56	3689
13	0,81	0,51	0,83	0,72	4089

Таблица 5. Биомасса промысловых самцов синего краба по ВПА (тыс. т)

Показатель	Годы					
	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Без учета вероятности линьки	19,3	15,7	16,6	17,3	19,6	15,2
С учетом вероятности линьки	23,3	21,4	22,2	22,8	21,8	17,5

Таблица 6. Прогноз биомассы и возможного вылова промысловых самцов синего краба по ВПА (тыс. т)

Показатель	Годы		
	2001	2002	2003
Биомасса без учета вероятности линьки	11,7	12,8	16,7
Биомасса с учетом вероятности линьки	14,5	17,3	23,7
Возможный вылов без учета вероятности линьки	4,4	4,4	5,4
Возможный вылов с учетом вероятности линьки	5,8	5,0	6,5

нию как биомассы промысловых самцов, так и их возможного вылова. Результаты свидетельствуют о том, что прогноз величин возможного вылова синего краба изучаемой популяции колеблется в пределах 27–40% рассчитанной биомассы промысловых самцов (средняя величина 31%), что намного больше используемой в настоящее время величины ОДУ, принимаемой 10% наличной биомассы.

По-видимому, наши оценки носят предварительный характер и подлежат дальнейшему уточнению. Такая осторожность авторов обусловлена тем, что используемый в работе подход применяется в отечественной практике впервые, поэтому необходима тщательная проверка и алгоритмов оценок и качества использованных исходных данных. Следует особенно подчеркнуть, что цифры из таблиц 4 и 5 не следует воспринимать как конкретные рекомендации по ОДУ синего краба, а лишь как методическую иллюстрацию предложенного авторами решения актуальной задачи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Броневский А.М., Долгова А.В., Иванков В.Н., Шапиро А.П. 1974. О сезонных группах кунджи *Salvelinus leucomeni* (Pallas) // Математические методы в биологии. Управление и информация. Вып. 10. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. С. 243.
- Засосов А.В. 1976. Динамика численности промысловых рыб // М.: Пищ. пром-сть. 312 с.
- Зыков Л.А., Слепокуров В.А. 1982. Уравнение для оценки естественной смертности рыб (на примере пеляди оз. Ендырь) // Рыб. хоз-во. № 3. С. 36–37.
- Зыкова Г.Ф., Зыков Л.А. 1989. Оценка коэффициента естественной смертности рыб в разных возрастах // Тез. докл. IV Всесоюз. науч. конф. по проблемам промысл. прогнозирования (долгосрочные аспекты). Мурманск: ПИНРО. С. 83–85.
- Лысенко В.Н. 2001. Особенности биологии самцов синего краба *Paralithodes platypus* в северо-восточной части Охотского моря // Биология моря. Т. 27. № 3. С. 173–178.
- Методические рекомендации по принципам регулирования промысла и методам оценки параметров рыбных популяций. 1984. М.: ВНИРО. 50 с.
- Третьяк В.Л. 1984. Метод оценки коэффициентов естественной смертности рыб в разном возрасте (на примере аркто-норвежской трески) // Экология биологических ресурсов Северного бассейна и их промысловое использование. Мурманск: ПИНРО. С. 85–102.
- Тюрин П.В. 1962. Фактор естественной смертности и его значение при регулировании рыболовства // Вопр. ихтиологии. Т. 2. Вып. 3. С. 403–427.
- Тюрин П.В. 1972. «Нормальные» кривые переживания и темпов естественной смертности рыб как основа регулирования рыболовства // Изв. Гос. НИИ озерн. и речн. рыбн. хоз-ва. Т. 71. С. 71–127.
- Basson, M., A.A. Rosenberg, and J.R. Beddington. 1988. The accuracy and reliability of two new methods for estimating growth parameters from length-frequency data // J. Cons. Int. Explor. Mer. 44: 277–285.
- Bertalanffy, L. 1957. von. Quantitative laws in metabolism and growth // Q. Rev. Biol. 32: 217–231.
- Pope, J.G., and J.G. Shepherd. 1983. A comparison of the performance of various methods for tuning VPA's using effort data // ICES CM, G9. 33pp.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations // Bull. Fish. Res. Board Can. 191: 1–382.
- Schnute, J., and D. Formier. 1980. A new approach to length frequency analysis: growth structure // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 1337–1351.
- Shepherd, J.G. 1987. A weakly parametric method for the analysis of length composition data // In: Length-based methods in fisheries research. Ed. by Pauly and G. P. Morgan. ICLARM Conf. Proc. No. 13. Manila.
- Zheng, J., J. H. Kruse and M.C. Murphy. 1998. A length-based approach to estimate population abundance of Tanner crab, *Chionoecetes bairdi*, in Bristol Bay, Alaska // In: Proceeding of the North Pacific Symposium on Invertebrate Stock Assessment and Management. Edited by G. S. Jamieson and A. Campbell. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 125. pp. 97–105.