

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 595.384.2-11(268.45)

**О ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ НАПОЛНЕНИЯ МЫШЕЧНОЙ
ТКАНЬЮ КОНЕЧНОСТЕЙ САМЦОВ КАМЧАТСКОГО
КРАБА БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

© 2006 г. **С.В. Долгов, В.В. Степаненко, В.В. Борисов**

*Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного
хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича, Мурманск 183038*

Поступила в редакцию 11.04.2006 г.

Окончательный вариант получен 20.09.2006 г.

Проведен статистический анализ результатов измерения наполнения мышечной тканью конечностей 136 самцов камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) Баренцева моря, выполненного программным, инструментальным (метод прямоугольников) и визуальным способами. Выявлено, что инструментальный метод совмещает в себе простоту и скорость выполнения анализа визуальным способом, а также достоверность полученных результатов программным методом. Метод прямоугольников рекомендован для оценки наполнения мышечной тканью конечностей камчатского краба при проведении научно-исследовательских и технологических работ. Показан способ определения необходимого количества измерений, обеспечивающего репрезентативность выборки.

ВВЕДЕНИЕ

Камчатский краб *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) – один из самых крупных и распространенных промысловых беспозвоночных Северной Пацифики (Виноградов, 1941, 1945). В 60-х годах прошлого века по распоряжению Министерства рыбного хозяйства СССР было произведено переселение данного вида с Дальнего востока в Баренцево море (Камчатский краб..., 2001; Беренбойм, 2003). С целью изучения биологии нового вида и возможности его использования, по решению Смешанной Российско-Норвежской Комиссии по рыболовству, с 1994 г. осуществлялся ежегодный научно-экспериментальный промысел. В ходе экспериментального промысла в Баренцевом море было выявлено, что в западных частях ареала камчатского краба, начиная с 1999 г., значительно, на 20-25%, повысилась доля промысловых самцов непригодных для технологической обработки в связи с недостаточным наполнением конечностей мышечной тканью (НКМТ). В предыдущие годы этот показатель не превышал 5-8% (Сенников, 2003). По данным наблюдений авторов при проведении исследований на М-0224 «Меридиан» и БИ-0648 «Калгалакша» в Варангер-фьорде в осенне-зимний период в 2001, 2002 и 2003 гг. доля промысловых крабов, непригодных для технологической обработки из-за низкого НКМТ, составляла 50%, 55% и 70% соответственно. В сентябре 2005 г. на обширных акваториях Восточного Мурмана – в Западном и Восточном Прибрежных районах, а также на Мурманском мелководье, большинство крабов

были непригодны для промышленного использования из-за слабого наполнения конечностей мышечной тканью (по данным с промысловых судов-краболовов). Очевидно, что выявленные физиологические изменения, оказывают существенное влияние на общее состояние популяции и пагубно отражаются на качестве краба-сырца.

С декабря 2004 г. в прибрежье Мурмана специализированными краболовными судами ведется промышленный лов камчатского краба баренцевоморской популяции. Дорогостоящая крабовая продукция в основном импортируется на рынки США и Японии. Один из главных критериев отбора животных для переработки – наполнение конечностей мышечной тканью на 80% и более. В ситуации снижения НКМТ крабов на обширных промысловых участках Баренцева моря, перед учеными и технологами остро встал вопрос о необходимости достоверного определения этого показателя с целью изучения динамики биологических и биопромысловых характеристик популяции, а также для рационального использования имеющихся ресурсов.

В настоящее время определение наполнения производят визуально с использованием так называемых планшет-карт (Борисов, Степаненко, Толкачева, 2003). Способ прост, не требует больших затрат времени, но погрешность в этом случае достаточно велика из-за особенностей зрительного восприятия конкретного человека. При этом при наполнения конечностей ниже 80%, технологи, как правило, занижают оценку. Продукция, полученная из крабов, в этом случае переходит в категорию более низкую по стоимости, а чаще всего такие особи отбраковываются и выпускаются в море. В отдельные периоды по причине занижения оценки НКМТ может производиться довольно длительная приостановка промысла, что влечет за собой значительные убытки.

По нашим наблюдениям, японскими специалистами-технологами при крабовом промысле практикуется способ определения наполнения с помощью измерительных инструментов, как более точный с их точки зрения. К сожалению, в литературе до настоящего времени нет описания инструментальной методики определения НКМТ.

Цель настоящей работы – определить достоверность оценки наполнения конечностей краба мышечной тканью визуальным и инструментальным методами, а также необходимое минимальное количество измерений для получения репрезентативного результата.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В основу работы положены материалы исследований наполнения конечностей мышечной тканью промысловых самцов камчатского краба, собранные авторами в ходе научно-экспериментального и промышленного ловушечного ловов на судах «Калмыково», «Нептун», «Пегас» и «Хейди» в

Западном и Восточном Прибрежных районах, на Мурманском мелководье и в губе Ура Мотовского залива в 2005 г. (рис. 1).



Рис. 1. Места сбора материалов по наполнению мышечной тканью конечностей камчатского краба в 2005 г.

Fig. 1. Locations of material sampling to study the filling of re king crab legs with muscular tissue in 2005.

Облов краба производили в губе Ура учетными конусными ловушками с габаритами D 1,4 x D 0,85 x 0,8 м, в восточных районах побережья Мурмана – трапециевидными ловушками американского образца – 1,9 x 1,5 x 0,7 м.

Анализу подвергали подлежащих технологической обработке (кондиционных) самцов камчатского краба промыслового размера (с шириной карапакса ≥ 150 мм). Отбор кондиционных самцов с достаточным наполнением конечностей проводился судовым специалистом-технологом на палубе. Степень наполнения определялась методом пальпации меруса (большой членик ходильной конечности). НКМТ определяли после технологической обработки визуальным и инструментальным методами. При визуальном определении срез меруса средней ходильной конечности (рис. 2а) специалистами сравнивался с планшет-картами. Инструментально НКМТ рассчитывали «методом прямоугольников» по выведенной нами эмпирической формуле, как отношение произведения длины и ширины поперечного среза мышечной ткани от произведения длины и ширины полости панциря:

$$X = \frac{a1 \times b1}{a2 \times b2} \times 100\%$$

(рис. 2b), при разрезе меруса на равном удалении от его концов.

Измерения длины и ширины поперечных срезов производили штангенциркулем с точностью до 1 мм, избегая сжимания мышечной ткани губками инструмента.

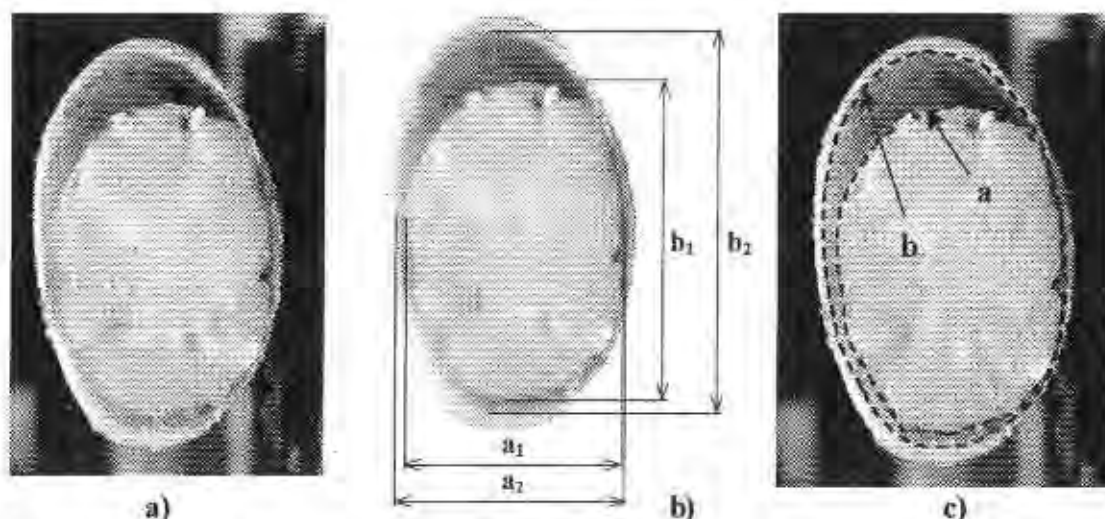


Рис. 2. Срез меруса камчатского краба: а) для визуального определения наполнения; б) измерения среза для расчета НКМТ методом прямоугольников; в) векторизация полигонов при определении НКМТ – программным способом.

Fig. 2. Merus section of red king crab aimed at: а) visual determination of leg fullness; б) section measurements to estimate leg fullness by the method of rectangles; в) vectorization of polygons to estimate leg fullness by the program method.

Для контроля точности определения наполнения визуальным и инструментальным методами проводили измерение наполнения с использованием компьютерной техники. Для этого срез меруса фотографировали цифровой фотокамерой CoolPix Nikon 4500 с активной матрицей 4 MegaPixels в режиме макросъемки. Фотоматериалы среза мышечной ткани и полости панциря каждого краба векторизовали (рис. 2в) в ПП MapViewer4 с увеличением линейных размеров в 5-10 раз. Наполнение рассчитывали по данным площадей полигонов, вычисленных модулем анализа ПП, как долю площади полигона, соответствующего срезу мышечной ткани от площади полигона, соответствующего срезу полости панциря:

$$X = \frac{Sa}{Sb} \times 100\%$$

Определенные этим способом значения НКМТ принимали как соответствующие реальному наполнению, а их ряд – как генеральную совокупность. Для удобства, метод измерения наполнения с использованием компьютерной техники назвали «программным методом».

Для проверки корректности определения НКМТ визуальным методом, проведенное технологом, произведено повторное определение наполнения визуальным методом сотрудником ПИНРО в качестве независимого эксперта. К эксперту предъявлялось два основных требования: во-первых, сотрудник не должен был никогда ранее заниматься определением НКМТ (для исключения систематической ошибки, обусловленной привычкой восприятия изображения); во-вторых не должен был быть ответственным за результаты, полученные при

определения наполнения (во избежание занижения показателей). Определение производилось с использованием планшет-карт по цветным фотоснимкам срезов, выполненных в натуральную величину.

Статистической обработке подвергали эмпирические распределения, полученные при определении наполнения конечностей крабов из готовой продукции программным методом, начиная с 50%.

В период исследований всеми тремя методами НКМТ было определено у 136 промысловых самцов камчатского краба.

Статистическая обработка эмпирических распределений вариантов и их числовых характеристик проводилась средствами ПП Excel 2000 и Statistica 6.0, а также с использованием оригинальных формул и статистико-математических таблиц (Ивантер, Коросов, 2003; Ивантер, 1979; Елисеева, Юзбашев, 2004). Так как наше исследование является предложением нового метода измерения, при проверке статистических гипотез уровень значимости принимался равным 1% ($\alpha=0,01$).

Программный, инструментальный и визуальный методы обозначены в дальнейшем как П-, И- и В-методы, а полученные с их помощью распределения как П-, И- и В-распределения. В-распределения (методы) разделены на V_1 - и V_2 -распределения (методы) – определение технологом и независимым экспертом соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проверка распределений на нормальность проводилась с использованием критериев Колмогорова-Смирнова и Лиллиефорса. Результатом явилось достаточное согласование эмпирических распределений с нормальным, полученные с использованием П- и И-методов (рис. 3а, 3б).

Согласование V_1 - и V_2 -распределений с нормальным распределением оказалось недоказанным (рис. 3с, 3д). В то же время распределения характеризовались статистически незначимой асимметрией $A=0,04$ (табл. 1), что позволяет предположить достаточную близость математического ожидания наполнения со средним арифметическим значением.

Таблица 1. Основные числовые характеристики распределений наполнения конечностей камчатского краба, полученные программным, инструментальным и визуальным методами.
Table 1. Main numerical characteristics of distribution of crab leg fullness obtained by program, tool and visual methods.

Метод	n	$M \pm m$	σ	σ^2	CV	A	E
Программный (П)	136	$76,1 \pm 0,84$	9,8	96,4	12,8	-0,17	-0,54
Инструментальный (И)	136	$76,4 \pm 0,84$	9,8	95,5	12,9	-0,30	-0,13
Визуальный 1 (V_1)	136	$68,0 \pm 0,97$	11,3	127,2	16,6	0,04	-0,56
Визуальный 2 (V_2)	136	$70,3 \pm 1,07$	12,5	155,3	17,7	0,04	-0,74

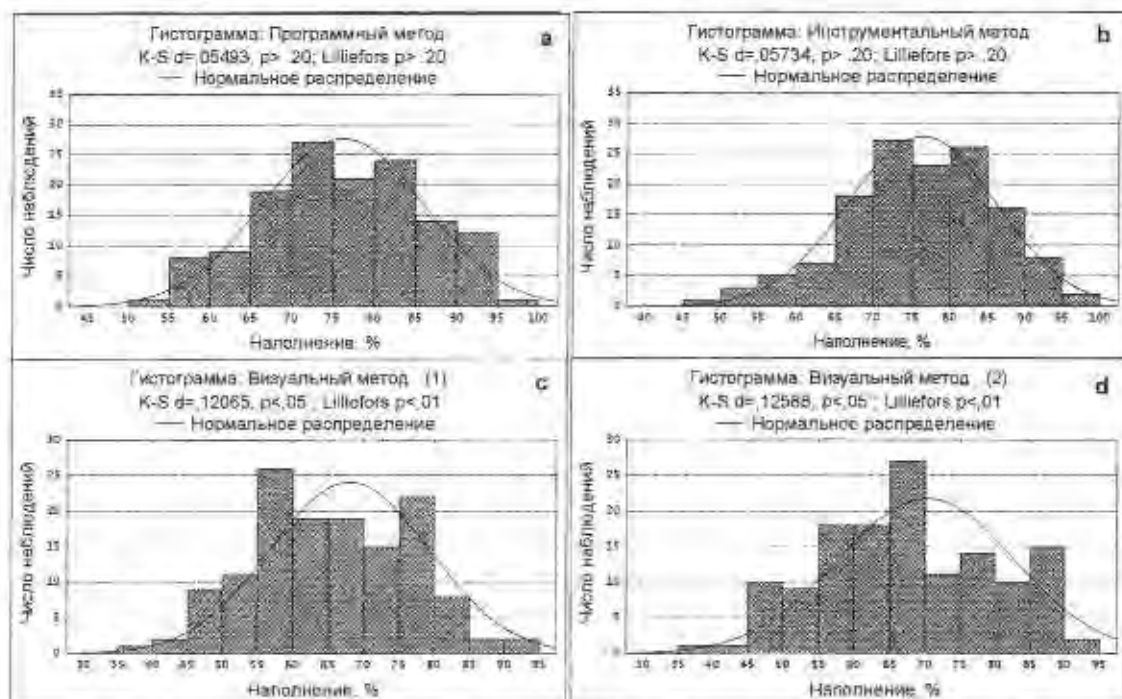


Рис. 3. Гистограммы и функции плотности вероятности нормального закона распределения наполнения конечностей камчатского краба мышечной тканью, полученные программным (а), инструментальным (б) и визуальным – в) и г) методами.

Fig. 3. Histograms and frequency functions of normal distribution probability for the filling of crab legs with muscular tissue obtained by a) program, b) tool and c) and d) visual methods.

Для определения достоверности оценки наполнения И– и В–методами соответствующие распределения сравнивались с распределением, полученным П–методом (принятым за генеральную совокупность).

Наличие различий между П– и И–распределениями проверялось сравнением средних арифметических (M), стандартных отклонений (σ) и коэффициентов вариации (CV) по критерию Стьюдента ($T_{\text{ст}}$), а также сравнением дисперсий (критерий F Фишера). В результате анализа выявлено, что различия между распределениями статистически недостоверны (несущественны) с вероятностью в 99% ($p=0,99$). Различие между П– и В–распределениями проверялось сравнением средних арифметических по критерию T Стьюдента, а также с использованием жесткого непараметрического критерия U Уилкоксона-Манна-Уитни. Анализ данных показал, что фактическое значение критерия достоверности различий средних Стьюдента $T_{\phi 1}=6,36$ и $T_{\phi 2}=4,32$ значительно больше табличного числа $T_{(0,01, \infty)}=2,58$ и даже $T_{(0,001, \infty)}=3,29$ ($T_{\phi} \gg T_{\text{ст}}$), что указывает на достоверность различий между распределениями с вероятностью более 99,9%. Различие средних арифметических значений П– и В–распределений прослеживаются в большинстве 5%-ых размерных классов наполнения (рис. 4).

Визуальное сравнение средних арифметических значений НКМТ П– и В–распределений не противоречит выводу о достоверности различия между ними.



Рис. 4. Средние арифметические значения и 95%-ые доверительные интервалы НКМТ в 5%-ых классах наполнения, группированных по П-распределению.

Fig. 4. Arithmetical mean values and 95%-confidence intervals for leg fullness in 5%-classes of fullness grouped by means of P-distribution.

Сравнение рассчитанного критерия U Уилкоксона-Манна-Уитни с табличными значениями также показывает статистически достоверные различия как между распределениями B_1 и П ($T_{\phi 1} \gg T_{st}$), так и между распределениями B_2 и П ($T_{\phi 2} > T_{st}$) с вероятностью 99,9%.

Для сравнения двух распределений, полученных B_1 и B_2 методами также использовалось сравнение средних арифметических по критерию Т Стьюдента и непараметрический критерий U Уилкоксона-Манна-Уитни. Анализ данных показал, что различия между распределениями B_1 и B_2 недостоверны с вероятностью 99%.

Исходя из показателей средних арифметических значений НКМТ и уравнений линейной регрессии (табл. 1, рис. 4), можно сказать, что определение наполнения В-методом занижает реальные показатели на 6-8%. В случае B_1 -распределения это может происходить вследствие перестраховки специалистов-технологов в условиях когда большая доля промысловых самцов имеет наполнение менее 80%. Во втором случае с B_2 -распределением данный факт не может быть причиной, так как эксперт был независим. Целесообразно предположить, что занижение оценки обуславливается ошибкой самой методики, зависящей от субъективного восприятия объекта человеческим глазом.

Обязательным условием правильного расчета среднего арифметического вариационного ряда, является количество вариантов (произведенных анализов), обеспечивающее репрезентативность конечного результата.

Минимальное необходимое количество измерений рассчитывается как отношение произведений квадратов коэффициента Т Стьюдента (t) и среднеквадратичного отклонения (σ) к квадрату максимальной погрешности точности оценки (Инструкции..., 2001):

$$n = t^2 \times \frac{\sigma^2}{\delta^2}$$

где δ – заданная точность оценки средней.

Для получения достоверного результата с точностью $\pm 5\%$ наполнения И- и П-методами достаточно проанализировать по 15 экз. краба (табл. 2).

Таблица 2. Репрезентативное количество промысловых самцов камчатского краба при определении НКМТ различной заданной точности оценок среднего наполнения (δ).

Table 2. Representative quantity of commercial red king crab males to determine their leg fullness with different prescribed accuracy estimates (δ) of mean fullness.

Метод	Значение t-критерия при $p=0,95$	$\delta, \%$				
		1	2	3	4	5
Программный (П)	1,96	367	92	41	23	15
Инструментальный (И)	1,96	370	93	41	23	15
Визуальный (В)	B ₁	1,96	489	122	54	31
	B ₂	1,96	597	149	66	37

В этом случае, например, получив значение среднего наполнения инструментальным методом, равное 81%, с вероятностью в 95% можно утверждать, что реальное значение находится в пределах от 76% до 86%.

С увеличением точности, предъявляемой к оценке средней, то есть с уменьшением δ , количество закономерно увеличивается. При $\delta = 1\%$, объем выборки очень большой по сравнению с возможностями, имеющимися у наблюдателя, но он и нецелесообразен, так как это значение δ в несколько раз меньше длины 95%-го доверительного интервала. Оптимальной точностью определения НКМТ следует считать $2\% \leq \delta \leq 5\%$, так как при $\delta = 1\%$ неоправданно велик объем выборки, а при $\delta > 5\%$ доверительный интервал вычисления среднего превышает 10%-ный размерный класс наполнения, принятый при определении НКМТ визуальным методом. Окончательное решение о размере выборки должен принимать исследователь или специалист-технолог в зависимости от конкретных условий задачи.

Следует отметить, что вычисленное минимальное количество измерений НКМТ обеспечивает лишь корректное вычисление среднего арифметического полученного ряда с вероятностью 95%, но в случае определения наполнения визуальным методом среднее значение будет занижено по сравнению с реальным наполнением, так как занижены значения наполнения каждого отдельного краба.

Результаты наших исследований дают возможность оценить приемлемость определения НКМТ промысловых самцов камчатского краба П-, И- и В-методами при проведении научно-исследовательских и технологических работ.

Наиболее точным следует считать программный метод. Определенные программным способом значения НКМТ наиболее достоверны и соответствуют реальному наполнению за счет исключения субъективности визуальной оценки. Недостатком способа является его трудоемкость, необходимость затрат значительного количества времени и использования компьютерной техники. Применение этого метода оправдано при выполнении исследований методик, требующих максимального соответствия измеренных и реальных показателей.

Самый простой, и быстрый визуальный метод дает заниженную оценку НКМТ. Ошибка в несколько раз превышает погрешность вычисления среднего значения. Кроме того, количество анализов, необходимое для корректного вычисления среднего значения НКМТ выше, чем при использовании П- и И-методов. Можно рекомендовать использование данной методики в технологическом анализе при высоком среднем НКМТ, более 80-85%, подтвержденном другими способами, так как при промышленной обработке краба часто достаточным условием точности определения наполнения является «наполнение конечностей краба в готовой продукции более 80%». При выполнении научно-исследовательских работ визуальный способ не может дать достоверной оценки НКМТ. Он может использоваться как вспомогательный при определении наполнения другими методами для «сопоставимости» результатов с данными полученными ранее.

Наиболее приемлемым для определения НКМТ при проведении исследовательских и технологических работ можно считать инструментальный способ. По точности не уступая программному методу, он является достаточно простым и быстрым способом анализа. Измерение длины и ширины срезов мышечной ткани и полости панциря может производиться доступным инструментом - линейкой с миллиметровыми делениями. Расчет наполнения производится на калькуляторе с использованием простых математических действий: умножения и деления. Измерения четырех линейных размеров и расчет наполнения занимают 1,0-1,5 минуты на одного краба. Кроме простоты и скорости выполнения, анализ НКМТ инструментальным способом не нуждается в специальных навыках, дает достоверный результат, не требующий обсуждения (например, при анализе продукции представителями продавца и покупателя одновременно).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время отмечается понижение содержания мышечной ткани в конечностях промысловых самцов камчатского краба баренцевоморской популяции. Значительные физиологические изменения, оказывают влияние на

общее состояние популяции и пагубно отражаются на качестве краба-сырца. В сложившейся ситуации назрела необходимость в выработке методики достоверного определения показателя наполнения мышечной тканью конечностей камчатского краба при изучении биологических и промысловых характеристик популяции, а также для рационального использования ресурсов. Наиболее точным следует считать программный метод. Определенные программным способом значения НКМТ наиболее достоверны и соответствуют реальному наполнению. Недостатком способа является его трудоемкость, необходимость затрат значительного количества времени и использования компьютерной техники. Применение этого метода рекомендуется при выполнении исследований, требующих максимального соответствия измеренных и реальных показателей. Самый простой, и быстрый визуальный метод дает заниженную оценку наполнения, и в результате, может быть использован только совместно с другими способами для «сопоставимости» результатов с данными полученными ранее. Инструментальный метод совмещает в себе простоту и скорость выполнения анализа визуальным способом, а также достоверность полученных результатов программным методом. Исходя из отсутствия достоверных различий между результатами полученными программным и инструментальным методами, можно рекомендовать инструментальный метод оценки (метод прямоугольников) наполнения мышечной тканью конечностей камчатского краба как самостоятельный, достаточно точный и оперативный инструмент для расчета реального НКМТ. Применение этого метода рекомендуется для определения НКМТ при проведении научно-исследовательских и технологических работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Беренбойм Б.И. Краткая характеристика работ по вселению камчатского краба в Баренцево море // Камчатский краб в Баренцевом море. Изд. 2-е, перераб. и доп. Мурманск: ПИНРО, 2003. С. 5-9.

Борисов В.В., Степаненко В.В., Толкачева В.Ф. Технология обработки камчатского краба Баренцева моря // Камчатский краб в Баренцевом море. Изд. 2-е, перераб. и доп. Мурманск: ПИНРО, 2003. С. 299-311.

Виноградов Л.Г. Камчатский краб. Владивосток: ТИНРО, 1941. 94 с.

Виноградов Л.Г. Годичный цикл жизни и миграции краба в северной части западно-камчатского шельфа. Мат. по биологии, промыслу и обработке камчатского краба // Изв. ТИНРО. 1945. Т. 19, С. 3-54.

Ивантер Э.В. Основы практической биометрии Введение в статистический анализ биологических явлений. Петрозаводск: Карелия, 1979. 96 с.

Ивантер Э.В., Коросов А.В. Введение в количественную биологию. Петрозаводск: ПетрГУ, 2003. 304 с.

Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в районах исследований ПИНРО. Мурманск: ПИНРО, 2001. 291 с.

Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики. М.: Финансы и статистика, 2004. 656 с.

Камчатский краб в Баренцевом море (результаты исследований ПИНРО в 1993-2000 гг.). Мурманск: ПИНРО, 2001. 198 с.

Сенников А.М. Обзор экспериментального промысла камчатского краба в Баренцевом море // Камчатский краб в Баренцевом море. Изд. 2-е, перераб. и доп. Мурманск: ПИНРО, 2003. С. 259-291.

ON MEASUREMENT OF THE FILLING OF LEGS WITH MUSCULAR TISSUE IN THE BARENTS SEA MALE CRABS

© 2006 y. **S.V. Dolgov, V.V. Stepanenko, V.V. Borisov**

Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography, Murmansk

The paper presents statistical analysis of measurement data on leg filling with muscular tissue in 136 males of the Barents Sea red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) made by program, tool (method of rectangles) and visual methods. It was found that the tool method combined simplicity and speed of visual analysis and reliability of results obtained by the program method. The method of rectangles is recommended for estimating the fullness of red king crab legs when research and technological works are performed. Shown is a method for quantification of necessary measurements to ensure the representative sampling.