

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 574.587: 574.62

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫСЛОВОЙ СТАТИСТИКИ  
ДЛЯ РАЙОНИРОВАНИЯ АКВАТОРИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ  
МОРСКИХ ДОННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ**

© 2018 г. А.И. Буяновский

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства  
и океанографии, Москва, 107140  
E-mail: albuy@mail.ru*

Поступила в редакцию 31.03.2017 г.

Районирование (стратификация) акватории требуется, во-первых, для увеличения точности интегральных оценок, характеризующих состояние запаса, и, во-вторых, для анализа пространственных различий в его динамике. На примере запаса краба-стригуна опилио *Chionoecetes opilio* Северо-Охотоморской подзоны приводится алгоритм районирования акватории на основе данных судовых суточных донесений с промысла. Алгоритм основан на анализе сходства и различий в многолетней динамике уловов на предварительно выделенных первичных участках. Обсуждается связь границ выделенных районов с функциональной структурой популяции.

*Ключевые слова:* промысловая статистика, улов на усилие, промысловые беспозвоночные, пространственное распределение, районирование.

## ВВЕДЕНИЕ

Роль промысловой статистики как одного из основных источников (наряду с учетной съемкой и научным мониторингом) информационного обеспечения прогноза запасов в последние годы существенно выросла (Буяновский, Алексеев, 2017). Интегральные оценки (средние; медианы; стандартизированные значения, рассчитанные на основе обобщенных линейных моделей), получаемые на основе уловов, указываемых в донесениях судов с промысла (суточные судовые донесения, ССД), используются и как индикаторы состояния запаса, и как основа для построения математических моделей (Баба-ян и др., 2014; Баканев, 2015; Буяновский, Алексеев, 2017).

Чтобы величина интегральной оценки (данных ССД) наиболее точно отражала состояние запаса, при ее расчете следует учитывать различные факторы (Буяновский, Алексеев, 2017), в том числе неравномерность пространственного распределения

усилия в разные годы. Если допустить, что за ряд лет распределение плотности в пространстве остается постоянным, то при одном и том же запасе в годы, когда в районах с низкой плотностью работало больше судов, средний улов на усилие (интегральная оценка) будет ниже, чем в годы, когда в районах с высокой плотностью судов работало больше. Для преодоления данного затруднения акваторию следует разбить на районы (страты), рассчитать в каждом из них средний улов, а затем получить интегральную оценку. Ей может быть или средневзвешенный улов, рассчитанный на основе эмпирических данных, или стандартизированный улов, вычисляемый с помощью коэффициентов обобщенной линейной модели (GLM), каждый из которых отражает вклад того или иного района (наряду с коэффициентами, отражающими влияние других факторов: сезон, год, судно и т.д.) в результирующее значение.

Для разделения акватории обычно используют два способа. Первый заключается в выделении зон, внутри которых улов ме-

няется в узких диапазонах. Для этого применяются различные методы интерполяции, часть из которых (сплайны, кригинг, триангуляция Делоне, полигоны Вороного) встроена в ГИС «Картмастер» (Бизиков и др., 2013), используемую в большинстве российских рыбохозяйственных институтов для оценки индексов запаса. Основным преимуществом метода является высокая точность оценки, связанная с тем, что в пределах каждой страты дисперсия уловов минимальная. Недостатком является отсутствие в ГИС «Картмастер» алгоритма быстрого расчета средневзвешенного улова на усилие: может быть рассчитан только запас, а для перехода от него к улову на усилие данных, содержащихся в ССД, недостаточно. Кроме того, страты, выделяемые методами интерполяции, не имеют постоянных границ, а для понимания основных тенденций в изменении запаса со сложной пространственной структурой, к каковому относится большинство популяций промысловых ракообразных (Буяновский, 2004), требуется сравнение многолетней динамики уловов в одних и тех же районах.

Эту задачу решает второй способ, при котором акваторию делят на районы с постоянными границами. Разделение обычно проводят или с помощью визуально-экспертных оценок, или на основе знания функциональной структуры популяции. Последний способ, учитывающий особенности биологии объекта, более предпочтителен. К сожалению, его применение часто ограничено отсутствием информации, позволяющей установить границы основных областей, из которых формируется функциональная структура — размножения, роста, выселения и т.д. Визуальное разделение оправдывает себя в тех рыбопромысловых зонах (или подзонах), где районы промысла компактны и четко разделены участками, где промысел не ведется. Если же районы промысла занимают обширную акваторию, без отчетливых внутренних границ, то объективное проведение границ между ними на основе визуальной оценки затруднительно. Возникает необходимость выработки иного алгоритма

районирования, основанного на сравнении уловов с разных участков. Содержащая большие массивы информации, промысловая статистика могла бы помочь в разработке подобного алгоритма, что и стало целью данной работы.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

*Выбор объекта.* Для разработки алгоритма была выбрана одна из наиболее крупных единиц запаса — краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio* Северо-Охотоморской подзоны (границы установлены приказами Министерства рыбного хозяйства СССР № 408 от 09.09.1980 г.; № 350 от 08.08.1988 г. и № 126 от 10.03.1989 г.). Выбор был связан, во-первых, с тем, что занимающие акваторию промысловые скопления не изолированы друг от друга и нет возможности районирования на основе визуальных оценок. Во-вторых, поскольку выбранная акватория ранее была поделена на районы, выявленные на основе знания функциональной структуры (Карасев, 2014), есть возможность обсудить преимущества и/или недостатки нового метода.

*Материалом* для настоящей работы послужили данные ССД, хранящиеся в отраслевой информационной системе (ИС) «Рыболовство». Для анализа выбирали не все параметры, содержащиеся в базе (подробнее о ССД см.: <http://www.ccdeditor.ru>), а только те, которые могут влиять на интегральную оценку улова на усилие — судно, дата, орудие лова, суточный вылов, среднесуточные координаты, режим лова. Данные о числе промысловых операций, позволяющие более точно рассчитать улов на единицу промыслового усилия (улов на одну промысловую операцию), не использовали, так как они могут сильно исказить реальные значения (как правило, в сторону увеличения). Основным анализируемым показателем (уловом на усилие) был суточный вылов, выполняемый одним судном, — т/судо-сутки промысла. При необходимости информацию о смене названия судна брали с сайта Российского морско-

го регистра судоходства (<http://info.rs-head.spb.ru/webFS/regbook/regbookVessel>).

В анализе использовали данные, относящиеся к режиму промышленного, контрольного или прибрежного лова. ССД, относящиеся к режиму научных исследований, были исключены.

Оценку точности интегральных оценок выполняли с помощью алгоритма, применяемого в методе изолиний (Аксютин, 1968), когда с учетом площади каждого района (страты) считали средневзвешенный улов, его дисперсию и доверительный интервал (95%). Для сравнения точности при разном числе районов использовали относительную погрешность, рассчитываемую как отношение доверительного интервала к средневзвешенному улову. Площадь района считали как число входивших в него прямоугольников со сторонами 30' по широте и 1° по долготе (о расчете сторон см. «Результаты»).

Для обработки информации использовали ПО «Картмастер. 4.1» (Бизиков и др., 2013), «MS-Excel 2010», «STATISTICA».

## РЕЗУЛЬТАТЫ

*Общий алгоритм.* Для того чтобы разделить акваторию на несколько районов, вначале надо разбить ее на множество первичных участков. Далее, предположив, что на участках, относящихся к одному району, многолетняя динамика уловов будет сходной, а на участках, относящихся к разным районам, различной, участки можно сгруппировать. Затем на основе группировки можно провести границы между районами.

*Разбивка на участки.* Поскольку в основе классификации лежит многолетняя динамика уловов на отдельных участках, то, определяя их число и границы, следует добиться максимальной повторности в разные годы. Другим словами это означает, что доля участков, на которых промысловые уловы регистрируются ежегодно, должна быть максимальной. Если ранжировать годы по числу подаваемых ССД, то при ведении промысла

на одной и той же акватории вероятность обнаружения «пустых» участков должна увеличиваться с уменьшением числа ССД. Поэтому если выбрать год, когда число ССД было минимальным, то в другие годы, когда подавалось большее число ССД, вероятность обнаружения «пустых» участков будет наименьшей. С учетом вышесказанного для первоначальной разбивки был выбран 2014 г. (рис. 1, а), когда число ССД было минимальным.

Следующей задачей является определение размеров участка — длины его сторон по широте и долготе. Для этого по каждому направлению был рассчитан шаг на основе формулы Стерджеса, связывающий размах варьирования признака и объем выборки (Буяновский, Мирошников, 2016). Для оценки размаха варьирования по широте брали координаты самых северных и самых южных точек, а по долготе — самых западных и самых восточных. По результатам расчетов после округления шаг по широте был выбран равным 30', по долготе — 1°. Полученная сетка первичных участков была нанесена на карту (рис. 1, а). Учитывая сложность границ Северо-Охотоморской подзоны (<http://www.studfiles.ru/preview/3549039/page:26/>), в сетку первичных участков попали прилежащие с востока и юга районы Западно-Камчатской и Восточно-Сахалинской подзон соответственно.

*Первичная группировка.* Вначале из дальнейшего анализа были удалены участки, откуда не было подано ни одного ССД. Затем удалили все изолированные участки, то есть те, откуда было подано менее 10 ССД, в то время как с соседних (по широте и долготе) участков не было подано ни одного ССД. В итоге осталось 53 участка, с которых было подано от 1 до 186 ССД (рис. 1, б). Минимальное количество ССД, подаваемых с одного участка и необходимое для расчета интегральной оценки, было принято равным 10 на основе оценки стабильности доверительных границ (Буяновский, Алексеев, 2017). В данном примере не было ни одного изолированного участка, откуда было бы подано  $\geq 10$  ССД, но если в других исследованиях они будут обнаружены, то их удалять не следует.



**Рис. 1.** Этапы разделения акватории промысла краба-стригуна опилио в Северо-Охотоморской подзоне на районы; первичная группировка участков: *а* — разбивка на первичные участки и карта-схема точек подачи суточных судовых донесений, ССД, в 2014 г.: (○) — < 2, (◐) — ≥ 2 и < 10, (◑) — ≥ 10 т/судо-сут.; *б* — число ССД (> 0) на первичных неизолированных участках, (◐) — участки, объединяемые на безальтернативной основе; *в* — медианные уловы (т/судо-сут.) на первичных и ранее объединенных участках, (→) — варианты объединения участков, с которых было подано 1 ССД; (◐) — выбранные варианты объединения указанных участков; *з* — медианные уловы (т/судо-сут.) на участках после первичной группировки, (—) — границы между участками.

Следующим шагом было объединение участков, откуда было подано менее 10 ССД. Если для объединения существовал только один вариант, то крайний участок объединяли с соседним (рис. 1, б). Если на объединенном участке число поданных ССД становилось  $\geq 10$ , то объединение прекращали. Если оно оставалось  $< 10$ , то участок объединяли со следующим до тех пор, пока суммарное число ССД не становилось  $\geq 10$ . Например, для участка, расположенного между  $54^\circ$ – $56^\circ$  с.ш. и  $147^\circ$ – $148^\circ$  в.д., понадобилось объединение четырех первичных участков, прежде чем суммарное число ССД стало  $\geq 10$  (рис. 1, б).

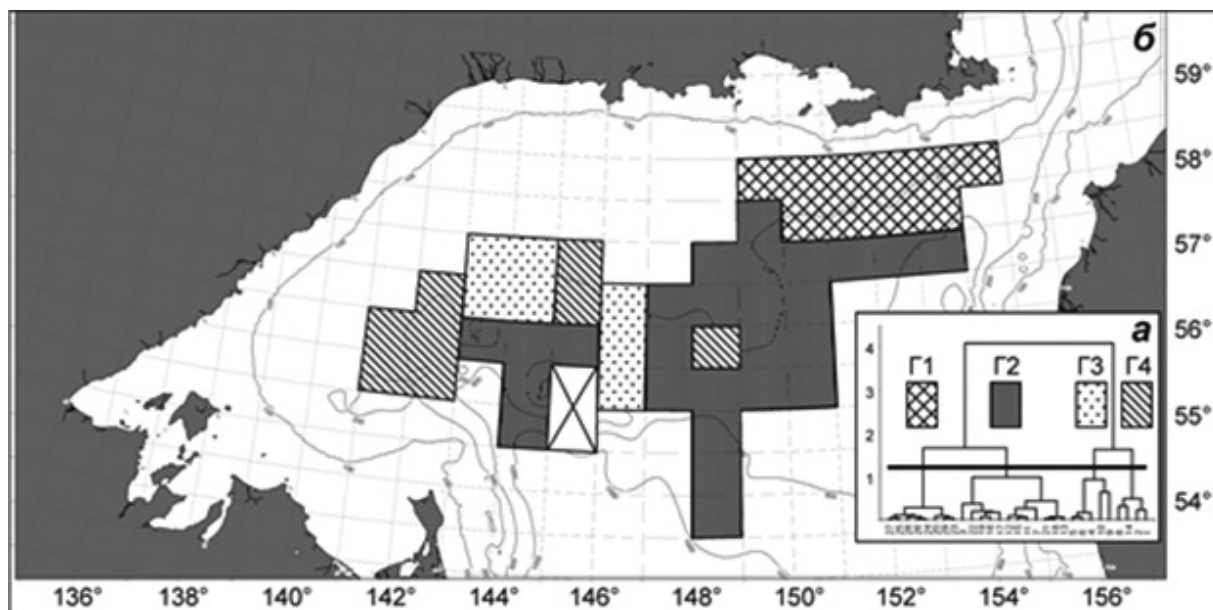
Более сложной задачей стало объединение участков при наличии нескольких вариантов объединения. Для ее решения вначале для каждого участка были рассчитаны медианные значения уловов (рис. 1, в). Предпочтение медиан средним значениям связано с тем, что они более устойчивы к изменению крайних значений, которые могут неоправданно завышаться (Буяновский, Алексеев, 2017). Далее были выбраны участки, где число ССД было равно 1, и их присоединили к тем соседним (по горизонтали или по вертикали) участкам, где разница между медианами была наименьшей. Затем для объединенных участков медианы были пересчитаны, и процедуру повторили для участков, где число ССД было равно 2, затем — 3, и так до 9. По результатам объединения было выделено 30 участков (рис. 1, г), с каждого из которых было подано не менее 10 ССД. Для дальнейшей обработки все участки были пронумерованы в направлении с запада на восток и с юга на север.

*Выделение групп участков.* На следующем этапе объединяли участки, где многолетняя динамика уловов была сходной (рис. 2). Для каждого из 30 участков были рассчитаны ежегодные медианные уловы за 2003–2014 гг. и число ССД, ежегодно подаваемых в этот период с каждого участка. Как и следовало ожидать (при выборе начального года с минимальным числом ССД), почти со всех участков ССД подавались ежегод-

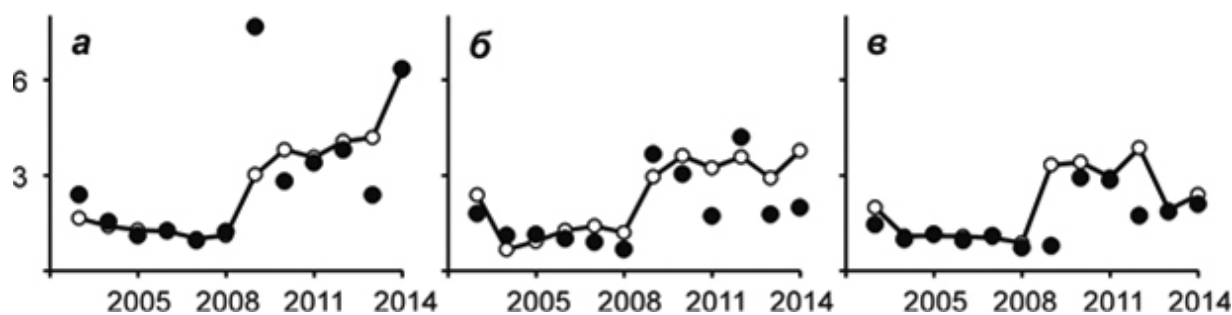
но. Из дальнейшего рассмотрения был изъят лишь один участок (с соответствующим сдвигом последующей нумерации) между  $55^\circ$ – $56^\circ$  с.ш. и  $144^\circ$ – $145^\circ$  в.д. (рис. 2, б), где только в 2012 и 2014 гг. было подано не менее 10 ССД, а в 2003 г. не было подано ни одного донесения. Для остальных участков число лет, когда было подано  $\leq 10$  ССД, не превышало 5 (5 лет — на одном участке, 2 года — на одном участке, 1 год — на пяти участках). Полученные данные были обработаны с помощью иерархического кластер-анализа, где в качестве переменных использовали номера участков, признаков — медианные уловы в 2003–2014 гг. (т/судо-сут.), меры сходства — разницу между единицей и парным коэффициентом корреляции, стратегии объединения — метод Уорда.

По результатам кластеризации (рис. 2, а) с помощью «метода скачка» было выделено четыре группы (рис. 2, б), чья устойчивость была проверена бутстрэп-методом: после удаления одной переменной оставшиеся 28 снова подвергали кластер-анализу. Операция была повторена 29 раз (по числу переменных) и показала, что все выделенные группы участков были очень устойчивы. Состав групп 1 и 4 оставался одним и тем же на протяжении 28, групп 2 и 3 — 25 испытаний. Ни разу не было отмечено исчезновения выделенных групп или формирования новых. Все изменения касались присоединения не более одной переменной из другой группы. Таким образом, можно считать, что выбранный метод позволил выделить группы с высокой степенью надежности.

*Районирование.* После кластеризации границы групп участков следует нанести на карту. В тех случаях, когда участки, относящиеся к каждой группе, располагаются компактно, работу по районированию можно считать законченной. Если же (как в рассматриваемом примере) возникает чересполосица, когда участки, относящиеся к одной группе, разделяются участками, относящимися к другой группе (рис. 2), то для уменьшения числа районов может потребоваться дополнительный анализ. В свою очередь, сама



**Рис. 2.** Этапы разделения акватории промысла краба-стригуна опилио в Северо-Охотоморской подзоне на районы: *а* — кластеризация первично сгруппированных участков по результатам многолетней динамики (по оси абсцисс — номера участков, по ординат — мера близости); (—) — значение меры близости, при котором выделяются 4 группы участков (Г1–Г4), указанные различной штриховкой; *б* — расположение групп участков (Г1–Г4), выделенных на основе кластеризации, (X) — участок, удаленный из дальнейшего анализа.



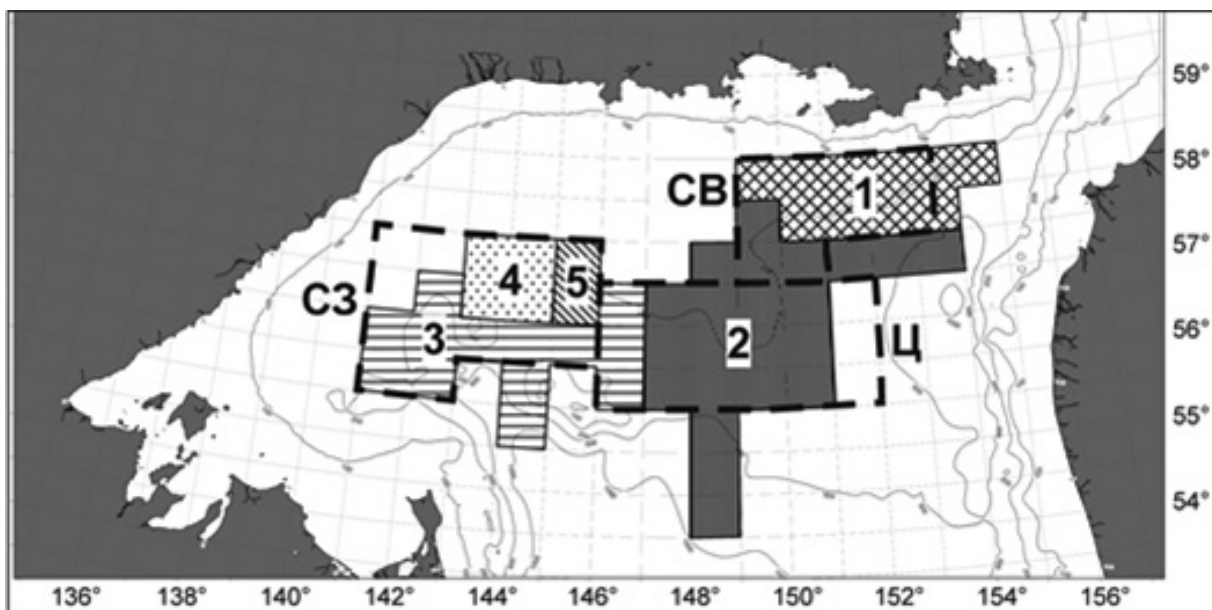
**Рис. 3.** Динамика уловов (т/судо-сут.) краба-стригуна опилио на участках, относящихся к разным группам: *а* — восточные участки группы 2 (—○—), восточный участок группы 4 (●); *б* — западные участки группы 2 (—○—), западные участки группы 4 (●); *в* — группы участков, объединенные ранее (см. б) (—○—); центральные участки группы 3 (●).

необходимость уменьшения числа районов является экспертным решением, связанным с простотой и наглядностью интерпретации результатов сравнения динамики уловов в разных районах.

В рассматриваемом примере к востоку от 147° в.д. районы компактного расположения участков выделялись достаточно четко, а к западу от указанного меридиана было 5 районов, занимающих относительно

небольшую площадь. Поскольку общее число районов оказалось достаточно большим (8), то для его уменьшения был выполнен дополнительный анализ динамики медианных уловов за период 2003–2014 гг.

Динамика медианных уловов на участках, которые относятся к группе 2, а также на оказавшемся среди них участке группы 4, была в основном сходной (рис. 3, *а*). Только в 2009 г. на участке группы 4 уловы резко



**Рис. 4.** Итоговые границы между районами; (— —) — границы между традиционными районами (Карасев, 2014) со спрямлением углов в сторону добавления площади.

выросли, что и обусловило его отличие от сопредельных участков. Такой резкий рост вряд ли был связан с динамикой запаса и, вероятно, был обусловлен появлением судна с более высокой производительностью. Учитывая вышесказанное, данный участок был отнесен к группе 2.

Для уловов из районов западнее 147° в.д. за одни и те же годы (2003–2014) были рассчитаны парные коэффициенты корреляции и суммарные квадраты отклонений значений с одного участка от значений со второго участка. Максимальная корреляция (0,75) и минимальное суммарное отклонение были отмечены для скоплений участков, относящихся к группам 2 и 4 (рис. 3, б), что дало основания для их объединения.

После объединения медианные уловы для объединенного скопления участков были пересчитаны, и процедуру повторили. В этот раз максимальная корреляция и минимальное суммарное отклонение были отмечены для разных пар участков, и поэтому была применена процедура ранжирования, когда максимальному значению коэффициента корреляции, округленному до первого десятичного знака, был присвоен ранг 1, следующему — 2

и т.д. Точно так же было выполнено ранжирование для суммарного отклонения, только ранг 1 был присвоен минимальному значению, округленному до целого числа. Далее рассчитывали суммарный ранг, из которого выбирали наименьший. На основании расчетов было выполнено еще одно объединение (рис. 3, в) и в итоге выделено 5 районов (рис. 4)

Дальнейшие сравнения показали заметные различия в динамике уловов (рис. 5), и объединение было прекращено. Анализ динамики уловов в выделенных районах показал, что наиболее высокая корреляция (0,81) отмечена для районов 1 и 2. В обоих районах в 2012–2014 гг. уловы росли и в 2014 г. достигли максимальных значений. Различие заключалось в том, что в районе 1 рост уловов начался в 2008 г., а в районе 2 — на год позже. Для района 3 наиболее высокая корреляция (0,71) отмечена с районом 2. В отличие от последнего здесь в 2012–2014 гг. наблюдалась отрицательная динамика уловов. Район 4 характеризуется наиболее высокими уловами в 2009–2011 гг., после чего они снизились. В районе 5 уловы были стабильно низкими, и только в 2009 г. был отмечен небольшой пик.

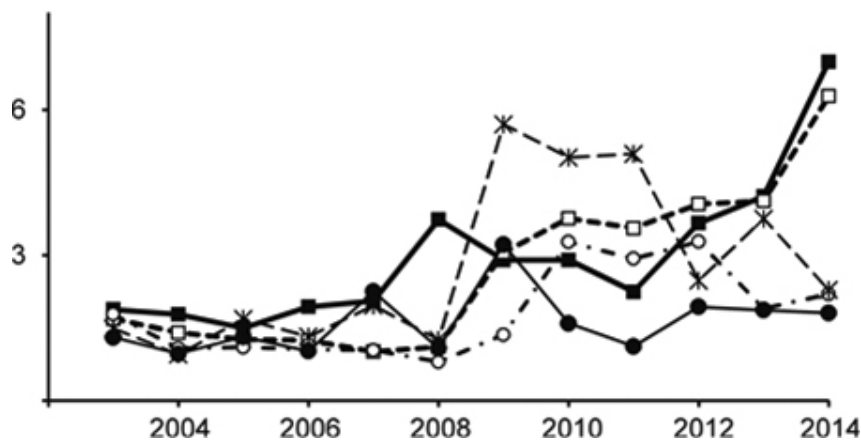


Рис. 5. Динамика уловов (т/судо-сут.) краба-стригуна опилию в основных районах промысла (номера см. на рис. 4): (■) — 1; (□) — 2; (○) — 3; (\*) — 4; (●) — 5.

Таким образом, предлагаемая методика позволила вполне объективно выделить 5 (рис. 4) или 8 (рис. 2, а) районов при отсутствии какой-либо предварительной информации об их границах (рис. 1, а). Первоначальный выбор года с минимальным числом ССД не привел к существенной потере информации, поскольку в пределах выделенных районов было подано 50013 ССД, а за их пределами — всего 1541, то есть за пределами выделенных районов оказалось менее 3% от общего числа ССД.

*Точность интегральной оценки.* В связи с проведением районирования неизбежно возникает вопрос, как сильно меняется точность интегральной оценки, и от этого зависит целесообразность самой процедуры районирования. Для проверки были взяты данные за 2012–2014 гг., когда промысловая статистика стала более или менее достоверной (Буяновский, Алексеев, 2017). Точность оценивали для следующих вариантов: 29 первичных участков (рис. 1, г); 8 районов, относящихся к 4 группам (рис. 2, а); 5 районов, выделенных на основе кластеризации и последующего сравнения динамики (рис. 4); 4 группы первичных участков (рис. 2, а); 3 традиционных района (рис. 4); без разделения на районы.

Кроме того, в программе «Карт-мастер 4.1» для тех же лет была рассчитана интегральная оценка запаса и ее доверительный интервал. Расчеты выполняли в

границах контура, построенного в соответствии с рис. 4; площадь облова ловушки была взята произвольно (3300 м<sup>2</sup>). В качестве метода оценки был выбран двухмерный сплайн с коэффициентом сглаживания 0 (интерполяция). Целью данной операции была оценка относительной погрешности, которая для улова на усилие будет такой же, как и для запаса при допуске, что эти величины связаны постоянными коэффициентами (для расчета которых данных промысловой статистики недостаточно).

Во все три года наблюдалась отчетливая тенденция к снижению относительной погрешности по мере роста числа участков (таблица). Наиболее резкие скачки в точности отмечены при переходе от «единого пространства» к разделению на 3 района и при переходе от разделения на 7 районов к разделению на 29 первичных участков.

Для плотности запаса при указанных выше параметрах расчета относительная погрешность в 2012–2014 гг. составила 3,0, 2,8 и 3,3% соответственно.

Сама величина средневзвешенного улова от разделения на районы менялась незначительно и, как правило, в сторону уменьшения.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее проведенные исследования (Карасев, 2014) показали, что в северной



Средневзвешенные уловы краба-стригуна опилио (1, т/судо-сут.) и их относительные погрешности (2, %) при разделении акватории Северо-Охотоморской подзоны на разное число участков или районов

Год	Без разделения		3 района		4 группы участков		5 районов		8 районов		29 участков	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
2012	3,9	120	3,9	69	3,9	69	3,8	66	3,9	57	3,5	26
2013	4,2	125	4,0	74	4,0	73	4,1	67	4,1	59	4,0	23
2014	6,0	110	5,7	65	5,6	62	5,7	56	5,6	48	5,4	20

части Охотского моря существует популяция краба-стригуна опилио со сложной функциональной структурой. На ее основе при составлении прогноза запаса в ФГБНУ «МагаданНИРО» выделяют три района: западный, центральный и северо-восточный (рис. 4). Их акватория соответствует зоне нагула морфологически зрелых (широкопалых) самцов, а границы определяются онтогенетическими миграциями молоди, которая формирует несколько изолированных скоплений. Каждое такое скопление пополняет определенный район, и участки, где выходцы из разных скоплений могут встречаться, можно рассматривать как границы этих районов.

Сопоставляя границы выделенных районов по традиционной и предлагаемой методике, можно отметить, что для северо-восточного и центрального района они близки (рис. 4). Правая граница (традиционного) северо-восточного района проходит вдоль  $153^{\circ}30'$  в.д., соответствуя восточной границе Северо-Охотоморской подзоны. Для выделенного района 1 она проходит восточнее, по прилежащим участкам соседней Западно-Камчатской подзоны. Южная граница (традиционного) северо-восточного района проходит по  $57^{\circ}$  с.ш., что несколько южнее, чем для района 1 ( $57^{\circ}30'$  с.ш.). С точки зрения общей конфигурации такая граница более логична, так как убирается «выступ» из района 2, направленный на восток. Тем не менее кластерный анализ убедительно показывает принадлежность этих участков к району 2. Меридиональные границы (традиционного) центрального района располагаются западнее и восточнее соответствующих границ

района 2. Положение восточной границы последнего может быть связано с отсутствием необходимых данных (которые позволили бы сдвинуть ее дальше на восток). Различия в положении западной границы подтверждаются кластер-анализом и последующим сравнением многолетней динамики уловов, которая в районе  $146^{\circ}-147^{\circ}$  в.д. была ближе к таковой в западных районах, чем в расположенном восточнее районе 2.

Наиболее серьезные различия в схемах отмечены для (традиционного) северо-западного района. Они связаны с дробностью делений. Если к этому добавить некоторую условность в объединении участков, формирующих район 3 (рис. 2; 3, б, в), то можно утверждать, что динамика промыслового запаса в этой части популяции характеризуется высокой степенью пространственной изменчивости. В целом западная, северная и южные границы районов 3–5 и северо-западного (традиционного) района совпадают; восточная граница смещена от  $146^{\circ}$  к  $147^{\circ}$  в.д. (рис. 4).

Согласно исследованиям Карасева (2014), часть молоди концентрируется в прибрежных районах, а затем, достигнув функциональной зрелости (при ширине карапакса 44 мм), мигрирует на шельф. Другая часть молоди развивается в средней части шельфа, где смешивается с иммигрантами. После 1–2 лет нагула самцы снова поднимаются в верхнюю часть шельфа, где смешиваются с самками и остаются в смешанных скоплениях до конца жизни. По сравнению с компактными зонами размножения зоны нагула (самцов) занимают более обширную

акваторию (Карасев, 2014), в основном со-ответствуя координатам, откуда были пода-ны ССД (рис. 1, а). Зоны обитания молоди, откуда происходит пополнение мест нагула, также расположены компактно в виде изоли-рованных островков. Каждая из этих зон по-полняет определенную часть акватории. Так, расположенные к востоку от 149° в.д. две группировки пополняют северо-восточную часть зоны нагула, соответствующую райо-ну 1 (рис. 4). Следующая обширная область обитания молоди расположена между 146° и 149° в.д. Из нее происходит пополнение центральной части, района 2 (рис. 4) и от-части северной части района 5. Характерно, что часть особей мигрирует отсюда в южную часть северо-восточного района, что может объяснять наличие границы между районами 1–2 вдоль 57°30' с.ш. Наличие этой груп-пировки также хорошо объясняет, почему граница между центральным и западными районами проходит вдоль 146°–147° в.д. Еще одно скопление молоди, расположенное между 142° и 145° в.д., может быть источ-ником пополнения района 4. Два оставшихся скопления, расположенных западнее, могут пополнять участки, относящиеся к району 3. Восточная часть района 3 может пополняться за счет немигрирующей молоди, оседаю-щей на шельфе.

Возникает вопрос, как разобщен-ность группировок молоди может влиять на различия в динамике промысловых уловов (рис. 5)? Это может быть связано с фазовым характером пополнения, когда плотность мо-лоди в разные годы достигает максимальных значений в разных скоплениях (Буяновский, 2004). Причины таких колебаний пополне-ния могут быть различны, но, учитывая раз-витость у крабов-стригунов каннибализма (Lovrich, Sainte-Marie, 1997; Чучукало и др., 2011), данный фактор представляется наиболее значимым.

Скачкообразное уменьшение относи-тельной погрешности (точности интеграль-ной оценки) при районировании (таблица) однозначно указывает на необходимость подразделения акватории на участки. Чис-

ло участков зависит от поставленной задачи. Если она заключается в максимизации точно-сти интегральной оценки, то районирование следует ограничить выделением первичных участков (рис. 1, в). При наличии возможно-сти расчета интегральной оценки с помощью методов интерполяции (сплайна, кригинга и т.д.) точность будет максимальной.

Если задача заключается не только в точности оценки, но и в понимании зако-номерностей пространственно-временной динамики отдельных скоплений, то для об-легчения интерпретации результатов срав-нения требуется уменьшение числа районов. Выделение 8 районов (рис. 2, а) дает наибо-лее высокую точность интегральной оценки при минимальном вмешательстве эксперта в процесс районирования. Более того, оно показывает, что существуют разобщенные в пространстве участки со сходной динами-кой уловов. Выделение 5 районов (рис. 4) за счет уменьшения их числа облегчает сравне-ние результатов (рис. 5), но подразумевает экспертное вмешательство (рис. 3) и незна-чительно увеличивает относительную по-грешность (таблица). Традиционная схема деления на 3 района (рис. 4) в еще большей степени облегчает сравнение результатов, но усиливает экспертное вмешательство и уве-личивает относительную погрешность.

В целом же совпадение старых (осно-ванных на данных о функциональной струк-туре популяции) и новых границ (рис. 4), оставляя открытым вопрос о выборе числа районов, указывает, что при наличии аква-тории, где функциональная структура по-пуляции неизвестна, а выделение районов с помощью визуальных методов затруднено, предлагаемый алгоритм для районирования будет вполне пригоден.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, даже при отсутствии чет-ких границ между районами промысла их можно найти, сравнивая уловы с помощью методов математической статистики. Рай-онирование акватории (стратификации)

позволяет уменьшить влияние пространственной изменчивости уловов на интегральные оценки, увеличивая точность последних. Вместе с тем точность, получаемая при стратификации, заметно ниже, чем при расчете с помощью методов интерполяции. Окончательное число районов, которые можно выделить с помощью данного алгоритма, может варьировать в зависимости от этапа районирования, на котором остановится эксперт. Этот этап определяется сочетанием точности интегральных оценок с легкостью сравнения динамики уловов в разных частях популяции.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаю искреннюю признательность своему коллеге, Л.К. Сидорову (ФГБНУ «ВНИРО»), предоставившему первичные данные из ИС «Рыболовство», а также Д.О. Алексею (ФГБНУ «ВНИРО»), А.Г. Васильеву, Е.А. Метелеву (ФГБНУ «МагаданНИРО»), принимавшим участие в обсуждении материалов статьи. Очень благодарю своего анонимного рецензента за ценные критические замечания, которые позволили сделать работу более завершённой.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аксютин З.М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях. М.: Пищ. пром-сть, 1968. 289 с.

Бабаян В.К., Булгакова Т.И., Васильев Д.А. и др. Оценка запасов и ОДУ минтая восточной части Охотского моря с использованием данных ИС «Рыболовство» // Тр. ВНИРО. 2014. Т. 151. С. 3–17.

Баканев С.В. Оценка запаса камчатского краба в Баренцевом море с использованием моделей истощения //

Вопр. рыболовства. 2015. Т. 16. № 4. С. 465–476.

Бизиков В.А., Буяновский А.И., Гончаров С.М. и др. Базы данных и информационные системы в управлении водными биологическими ресурсами // Матер. I науч. шк. молодых ученых и специалистов по рыбному хозяйству и экологии. М.: Изд-во ВНИРО, 2013. С. 108–133.

Буяновский А.И. Пространственно-временная изменчивость размерного состава в популяциях двустворчатых моллюсков, морских ежей и десятиногих ракообразных. М: Изд-во ВНИРО, 2004. 306 с.

Буяновский А.И., Алексеев Д.О. Промысловая статистика как индикатор состояния запаса промысловых беспозвоночных // Вопр. рыболовства. 2017. Т. 18. № 3. С. 368–382.

Буяновский А.И., Мирошников В.В. Исследование краба-стригуна красного *Chionoecetes japonicus* (Decapoda, Majidae) в Японском море. 4. Районирование акватории на основе изменчивости размерного состава // Там же. 2016. Т. 17. № 3. С. 261–276.

Карасев А.Н. Краб-стригун опилио северной части Охотского моря (особенности биологии, запасы, промысел). Магадан: Новая полиграфия, 2014. 194 с.

Чучукало В.И., Надточий В.А., Кобликов В.Н., Борилко О.Ю. Питание и некоторые черты экологии массовых промысловых видов крабов в водах северо-западной части Японского моря в ранневесенний период // Изв. ТИНРО. 2011. Т. 166. С. 123–137.

Lovrich G.A., Sainte-Marie B. 1997. Cannibalism in the snow crab, *Chionoecetes opilio* (O. Fabricius) (Brachyura, Majidae), and its potential importance to recruitment // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. V. 211. № 2. P. 225–245.

**USE OF FISHERIES STATISTICS FOR SPATIAL STRATIFICATION  
THROUGH STUDIES OF MARINE BENTHAL INVERTEBRATES**

© 2018 y. А.И. Буйановский

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, 107140*

Spatial stratification is used both to increase the accuracy of integral stock assessment and to analyze the spatial patterns of the stock dynamics. Algorithm of water area division through fisheries statics data is given in terms of the stock of the snow crab (*Chionoecetes opilio*) of the northern part of the Sea of Okhotsk. Algorithm is based on analysis of similarities and differences in long-term dynamics of annual CPUE on preliminary defined primary patches. Connection of distinguished regions with functional structure of the population is discussed.

*Keywords:* fisheries statistics, CPUE, commercial invertebrates, spatial distribution, stratification.