

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 574.587: 574.62

**ПРОМЫСЛОВАЯ СТАТИСТИКА КАК ИНДИКАТОР СОСТОЯНИЯ  
ЗАПАСА ПРОМЫСЛОВЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ**

© 2017 г. А.И. Буяновский, Д.О. Алексеев

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

Поступила в редакцию 31.03.2017 г.

Показаны возможности использования промысловой статистики в оценке запасов морских беспозвоночных, ее достоинства и недостатки. На примере разных единиц запаса предлагаются различные методы стандартизации данных судовых суточных донесений с промысла. Для получения достоверной информации предлагается установить минимальный объем выборки — не менее 10 судовых суточных донесений. Наряду с традиционными способами выделения промысловых районов и сезонов предлагается метод выделения сезонов, основанный на попарном сравнении уловов в соседние месяцы. Рассматривается влияние «фактора судна» на интегральные оценки уловов и включение данного фактора в анализ динамики уловов с помощью метода обобщенных линейных моделей.

*Ключевые слова:* промысел, улов на усилие, состояние запаса, промысловые беспозвоночные, стандартизация, обобщенные линейные модели.

**ВВЕДЕНИЕ**

В России в основе регулирования промысла наиболее значимых видов лежит практика установления общего допустимого улова (ОДУ). В свою очередь, обоснование ОДУ невозможно без оценки состояния прогнозируемого запаса.

Первичную информацию о состоянии запаса получают из трех основных источников: учетных съемок, научного мониторинга и промысловой статистики. При учетной съемке в течение относительно короткого промежутка времени научные сотрудники собирают пробы со всего района обитания единицы запаса. При научном мониторинге пробы собираются научными наблюдателями на промысловых скоплениях в течение длительного времени. В обоих вариантах для каждой пробы оценивается улов и биологические характеристики исследуемых объектов. Промысловая статистика в отличие от первых двух источников информации представляет собой набор сведений, предоставляемых

о результатах промысла рыбаками. Каждый из этих источников обладает своими достоинствами и недостатками (Кадильников, 2001; Буяновский, 2012), но, дополняя друг друга, они создают необходимый уровень информационного обеспечения, позволяющий дать адекватную оценку (состояния) запаса.

В последние годы в силу запрета на коммерческую реализацию квот, выделяемых для научного мониторинга, а также неуклонного сокращения финансирования число работ по выполнению учетных съемок и научного мониторинга неуклонно снижается. В этих условиях промысловая статистика, в первую очередь ее первичная составляющая — ежедневные сводки о вылове, поступающие в виде судовых суточных донесений (ССД), приобретает все более важную роль в оценке состояния запаса. Бесспорным достоинством промысловой статистики является огромный объем данных, постоянно собираемых по всем объектам промысла. Вместе с тем при неаккуратном использовании данные

ССД могут дать неверные оценки, которые в дальнейшем приведут к ошибкам в оценках состояния запасов и, как следствие, в обосновании ОДУ. Цель данной работы можно определить как выявление основных рисков, связанных с использованием промысловой статистики, и выработка рекомендаций по их преодолению. Поскольку анализ больших массивов информации, поступающей с ССД, невозможен без стандартизации исходных данных, методам стандартизации будет уделено повышенное внимание.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для настоящей работы послужили данные ССД, хранящиеся в отраслевой информационной системе «Рыболовство» (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 оценку улова на усилие — вид, рыбопромысловая зона/подзона, судно, дата, орудие лова, суточный вылов, среднесуточные координаты. Иногда использовали сведения о среднесуточных глубинах, виде промысла, типе судна. 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 искажать реальные значения (как правило — в сторону уменьшения). Таким образом, основным анализируемым показателем был суточный вылов одним судном — т/судосутки промысла. При необходимости информацию о смене названия судна брали с сайта Российского морского регистра судоходства (<http://info.rs-head.spb.ru/webFS/regbook/regbookVessel>).

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

*Определение минимального объема выборки.* Для определения минимального числа значений ССД, позволяющих дать интегральную оценку, были использованы

данные с промысла краба-стригуна опилио *Chionoecetes opilio* в Северо-Охотоморской подзоне за 2014 г., относящиеся к промышленному лову. Использовано 1900 ССД (далее — проб), отсортированных в хронологическо-алфавитном порядке (вначале — по дате, затем, в пределах каждой даты, — по названию судна). Было выделено 19 групп, каждая из которых содержала по 100 проб. Группы формировали путем их последовательного отделения от общего массива. В каждой группе были рассчитаны медианы для первых 2, 3, 4 ... 100 проб. Далее в каждой группе было рассчитано отношение медиан, вычисленных для 2–99 проб к медиане, рассчитанной для 100 проб. Полученные значения были усреднены по группам: для каждого числа проб (от 2 до 99) были рассчитаны средние (по 19 группам) значения и 95%-ные доверительные интервалы. После суммирования доверительных интервалов со средними значениями для каждого числа проб (от 2 до 99) были получены верхние и нижние доверительные границы.

Оригинальная методика *разделения периода промысла на сезоны* приводится в разделе «Результаты».

*Метод обобщенных линейных моделей (GLM-метод).* В применении GLM-метода использовали тот же алгоритм, что и ранее для краба-стригуна красного (Буяновский, Мирошников, 2016б). Подготовку данных выполняли в файле MS-Excel на одном листе. Отдельными колонками заносили данные по судну, району, сезону, году и уловам. Все данные, кроме сведений по уловам, содержали буквенные символы (например, для года — Г-2014), чтобы модель воспринимала их как независимые факторы, а не как непрерывные переменные, меняющиеся в определенной последовательности. Для удобства каждую колонку в первой строке снабжали заглавием.

В программной среде R после установки стандартного набора пакетов выбирали пакет R-commander (установка программной среды и стандартного набора пакетов выполняется согласно инструкции, которую легко

найти в интернете с помощью обычных поисковых систем). После его включения через соответствующие пункты меню выполняли импорт данных из файла MS-Excel. Далее, через пункты меню «Статистика» — «Подгонка моделей» выбирали вкладку «Обобщенные линейные модели». В открывшемся окне задавали уравнение «Уловы» ~ «Год» + «Судно» + «Район» + «Сезон». Информация, что данные по годам, судам, районам, сезонам являются факторами (а не непрерывными переменными), содержится в окне, откуда они вводятся в уравнение.

Следующим шагом был выбор функций распределения и связи. Поскольку распределение уловов считается непрерывным, то для его характеристики в рамках используемого пакета предлагаются три функции — нормальное (Гауссово), гамма и обратное нормальное распределение. На каждое распределение предусмотрено три функции связи — идентичная, обратная и логарифмическая (для обратного нормального распределения предусмотрена дополнительно функция  $1/\mu^2$ ). Для вычисления расчетных значений в зависимости от выбранной функции связи производили преобразование коэффициентов влияния каждого фактора (вместе со свободным членом). При идентичной функции их суммировали, при обратной на их сумму делили 1, при логарифмической сумма была степенным показателем экспоненты. Выбор функции распределения и связи выполняли с помощью информационного индекса Акаике (AIC), который приводится в конце расчета каждого сочетания (Гауссово-идентичная, Гауссово-обратное и т.д.); выбирали комбинацию, для которой значение индекса было минимальным.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

*Формулировка задачи. Основные проблемы, возникающие при использовании промысловой статистики.* Данные промысловой статистики характеризуются рядом недостатков, ограничивающих их использование. Подробно эти недостатки и

ограничения были обсуждены ранее (Буяновский, 2012). Здесь же мы изложим наиболее существенные из них, относящиеся к предмету данного исследования.

Поступающие сведения ограничены промысловыми уловами. В тех случаях, когда орудия лова обладают малой селективностью и отсутствуют ограничения на добычу тех или иных размерных, возрастных или функциональных групп особей эксплуатируемого вида, этот недостаток несуществен. Например, при донном траловом промысле командорского кальмара *Beryteuthis magister* у северных Курильских островов плохо облавливаемая донным тралом пелагическая молодежь практически отсутствует; все размерные и функциональные группы кальмаров, опустившихся в придонные слои воды, облавливаются современными тралами приблизительно одинаково; нет ограничений на вылов по размеру или полу. Все это делает промысел максимально неизбирательным, и величина уловов может рассматриваться как индекс биомассы (Алексеев и др., 2017).

Принципиально иная ситуация складывается на промысле крабов. Запрет на добычу самок, а также ограничение добычи самцов промысловой мерой (различной для разных видов и единиц запасов крабов) приводят к тому, что самки и самцы меньше установленной промысловой меры после подъема на борт выпускаются обратно в море, а в ССД попадают данные только о вылове самцов промыслового размера.

Более того, у крабов-стригунов, для которых известен феномен антагонизма между функционально зрелыми и незрелыми самцами (Иванов, 2001), промысловые уловы характеризуют не весь промысловый запас, а только ту его часть, которая образована морфометрически зрелыми (широкопальными) особями. Для получения данных о непромысловой части популяции, так же как и о других индикаторах ее состояния (размерно-возрастной состав, физиологические, репродуктивные показатели и т.д.), требуются иные источники информации.

Информация о массе выловленных особей (сырце), представляемая в ССД, формируется на основе массы заготовленной продукции, величина которой умножается на переводной коэффициент (зависящий от вида продукции, вида особей, района, сезона и устанавливаемый нормативно-правовым актом Росрыболовства). Из-за этого данные ССД могут не соответствовать фактическим уловам, что в свою очередь может быть связано с величиной самих уловов. При высоких средних уловах на судах часто берут в обработку не всех животных промыслового размера, а наиболее крупных, коммерческого размера. Остальная часть улова возвращается в море и не учитывается. Напротив, при низких уловах сортировка осуществляется особенно тщательно с тем, чтобы взять в переработку всех особей промыслового размера, при этом нередко часть особей размером, немного недостающим до промысловой меры, неумышленно направляется в переработку. Таким образом, при высоких уловах данные ССД имеют тенденцию к недооценке фактических уловов, а при низких уловах — к их переоценке.

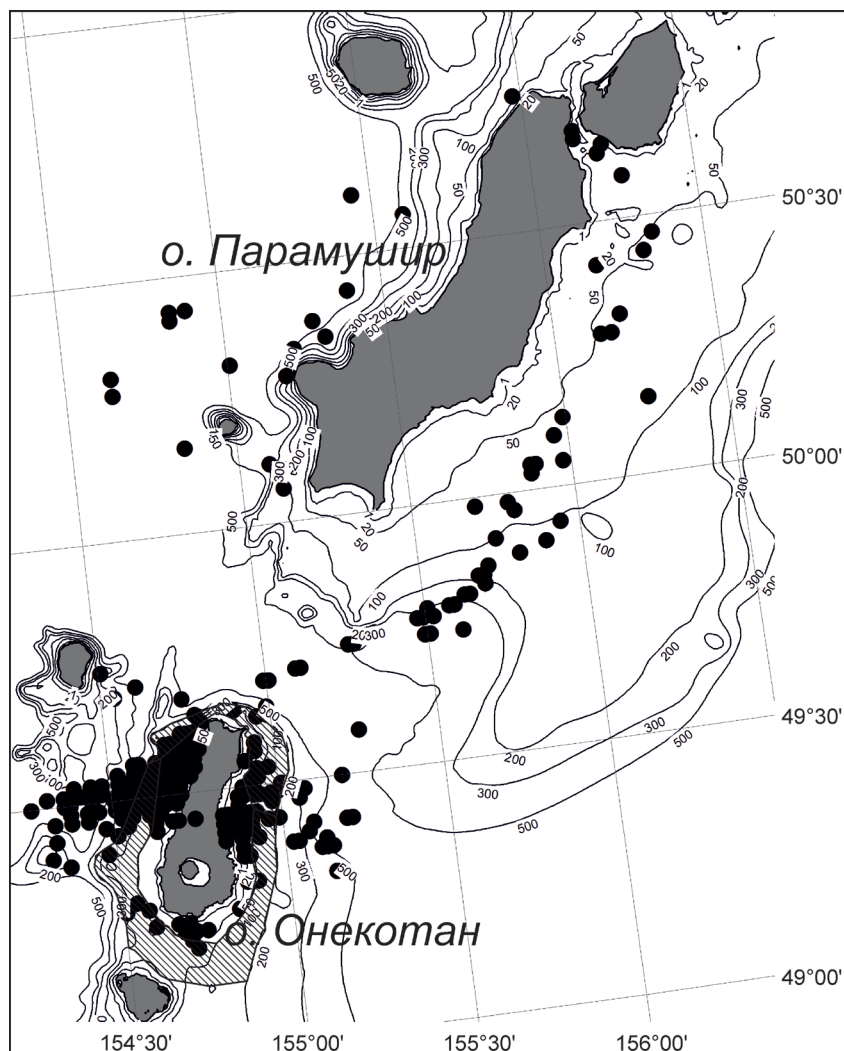
Сведения промысловой статистики весьма ограничены. Отсутствуют точные данные об индивидуальных особенностях орудий лова и тактике их применения (например, о сроках экспозиции ловушек в море). Координаты приложения усилия даются усредненными (за сутки), не позволяя оконтурить скопления и оценить характер распределения объекта внутри него. Этим недостатком можно пренебречь, если район промысла настолько обширен (например, районы промысла камчатского краба в Баренцевом море), что в его границах суточные перемещения судов малозаметны. Если же район промысла занимает ограниченную площадь, то координаты, содержащиеся в ССД, могут быть непригодны для анализа распределения промысловых усилий. Так, анализ промысла морского гребешка *Chlamys albida* у северных Курильских островов показывает, что значительная часть точек поло-

жения судов была за пределами скоплений, на которых ведется промысел (рис. 1).

Объяснение этому парадоксу достаточно простое: районы промысла расположены в территориальном море и очень ограничены в пространстве — десятки миль вдоль изобат и не более одной мили поперек изобат. Для выхода из района ведения лова судно требуется всего несколько минут. При этом действующие Правила рыболовства и санитарно-гигиенические нормы требуют осуществлять сброс пищевых отходов и битой ракушки, накапливающейся при переработке гребешка на борту судна, только за пределами территориальных вод. По этой причине суда покидают район промысла и выходят за пределы территориальных вод ежедневно во время, наименее благоприятное для промысла, — ночью. В это же время подаются ССД, которые готовятся штурманами, освободившимися от других работ. Ряд судов не перерабатывают пойманного гребешка на борту, а доставляют его на берег. Соответственно, эти суда в момент подачи ССД находятся далеко за пределами района лова, на переходе в порт Северо-Курильск. Наконец, ряд точек показывает положение судов под берегом, куда они, скорее всего, перешли в поисках укрытия от шторма. В ССД указываются координаты судна на момент подачи, то есть информация ССД абсолютно корректна, и вместе с тем она не отражает реальной картины промысла, делая невозможным использование данных ССД для анализа пространственного распределения скоплений и промысловых усилий.

Занижение или завышение заявляемых уловов. В последнее время чаще всего искажения (как в одну, так и в другую сторону) касаются значений суточных уловов в отдельные дни, в то время как данные о вылове за продолжительный период времени соответствуют действительности.

Занижение фактического вылова может наблюдаться перед переходом судна в другой район промысла, где освоение выделенной квоты может быть затруднено («перевозка» улова). Например, в 2005 г. судно



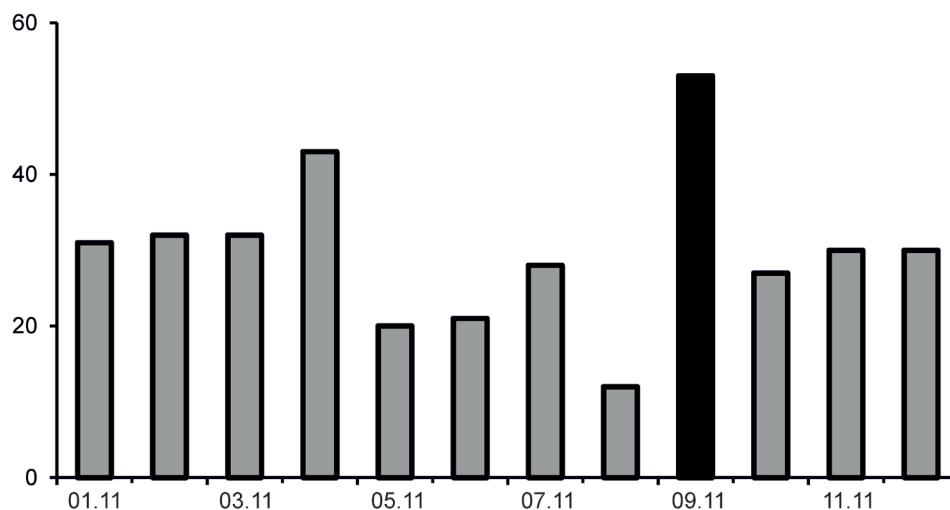
**Рис. 1.** Позиционирование судов на промысле морского гребешка в Северо-Курильской зоне в 2016 г. по данным ИС «Рыболовство»; (▨) — район, в пределах которого находятся все промысловые скопления.

в течение нескольких суток занижало уловы в старом районе (Северо-Курильская зона), создавая запас для показа освоения квоты в новом районе (Петропавловско-Командорская подзона), где районы эффективного ведения промысла еще не были разведаны (рис. 2). Во многих случаях «перевозка» уловов из района в район скрывает ведение незаконного, несообщаемого и нерегулируемого (ННН) промысла, а попросту — браконьерства.

Распространено завышение суточного вылова в последние дни промысла с целью формального освоения выделенных квот. Данное искажение преодолевается с исполь-

зованием методов робастной статистики — усечением или винзоризацией при расчете средних значений, а также заменой средних медианами (Банержи, 2007). Несколько сложнее с обратным искажением — занижением суточного вылова. Если его выполняют отдельные суда, то данная ошибка может быть (хотя и не всегда) устранена через стандартизацию (см. ниже). Если же этим занимаются все суда (ННН-промысел), то выявить его можно только по данным научного мониторинга (Васильев, 2014).

В целом при масштабных проявлениях ННН-промысла официальная статистика теряет смысл.



**Рис. 2.** Уловы одного судна в период ведения им промысла командорского кальмара в ноябре 2005 г. в Северо-Курильской зоне (■) и Петропавловско-Командорской подзоне (■). По оси абсцисс — дата, по оси ординат — вылов, т.

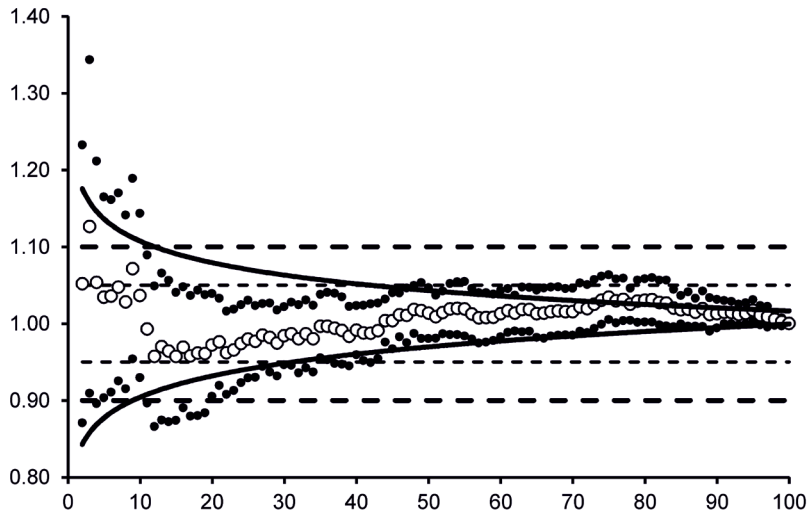
Такая картина наблюдалась на промысле крабов вплоть до начала 2010-х гг., пока не были установлены минимальные объемы суточного вылова на одно судно, определенные Приказом Минсельхоза РФ от 27.11.2013 г. № 438. На основании этой меры были существенно ограничены сроки пребывания на промысле судов, имеющих небольшие квоты вылова (один из признаков возможного ведения таким судном ННН-промысла), а сами суда, регулярно показывающие в статистике уловы ниже установленных норм, стали рассматриваться проверяющими органами как потенциальные нарушители. В результате суточные уловы во многих случаях заметно выросли и приблизились к реальным значениям (Шагинян, 2014).

Занижение оценок в связи с ограниченной производительностью судов. Когда данные по уловам на усилие используют для оценки состояния запаса, то основное допущение состоит в их пропорциональной зависимости от плотности запаса (Бабаян, 2000). Однако такая оценка ограничена проектной производительностью судов и орудий лова. После достижения судном максимальной производительности дальнейшее увеличение уловов становится невозможным, каким бы высоким ни стано-

вился запас. Пропорциональность исчезает. При неизменности улова на усилие показателем улучшения состояния запаса могло бы стать увеличение вылова, но при существующей системе управления промыслом вылов может быть увеличен только *post factum*, когда на основании данных по увеличению запаса предлагается увеличение ОДУ.

Помимо проблем, указанных выше, в промысловой статистике, так же как и в других источниках информации, действуют факторы неопределенности, связанные с неравномерным распределением запаса в пространстве, колебаниями уловов во времени, различиями в производительности судов. В устранении таких «шумов» состоит суть стандартизации, которой в данной работе будет уделено основное внимание. В наиболее общем виде задачу использования данных, получаемых с промысла, можно сформулировать как выявление статистически достоверных межгодовых различий в стандартизированных уловах на усилие.

Проблема стандартизации заключается в сведении к минимуму влияния на значение улова пространственно-временной неоднородности его распределения и особенностей применяемых орудий лова. Данные должны быть собраны с одних и тех же



**Рис. 3.** Зависимость значений 95%-ных доверительных границ (●) коэффициента, характеризующего отношение медианы, рассчитанной для числа суточных судовых донесений (ССД), к медиане, рассчитанной для 100 ССД (○) от числа ССД. По оси абсцисс — число ССД, по оси ординат — значения; (—) — степенной тренд, сглаживающий эмпирические значения верхней и нижней доверительных границ; (- -), (- · -) — границы отклонения от 1 на 5 и 10% соответственно.

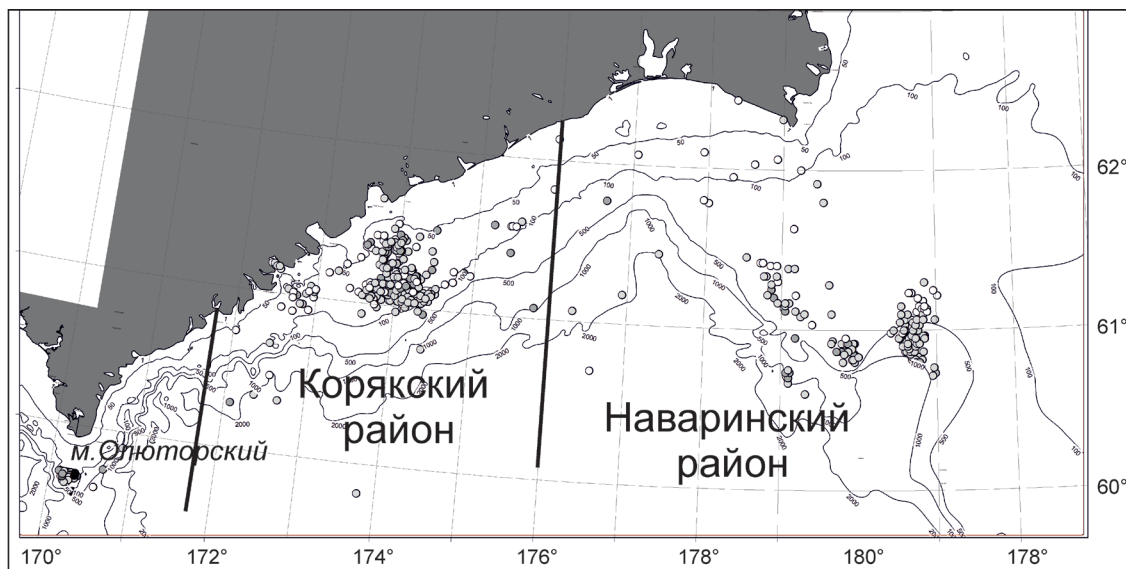
участков, в один и тот же сезон и сходными орудиями лова (Низяев и др., 2006). Для выполнения этих условий исходный массив данных статистики должен быть подготовлен к последующей обработке. Необходимо разбить акваторию на однородные участки, а сроки промысла — на сезоны, в пределах которых уловы находятся на одном уровне. Кроме того, требуется сгруппировать информацию, собранную с использованием разных орудий лова, так, чтобы особенности их конструкции и использования не оказывали влияния на интегральную оценку величины улова.

*Минимальный объем выборки.* Важной задачей является определение минимального объема выборки (числа ССД), позволяющего дать интегральную оценку (среднее, медиану и т.д.). С одной стороны, увеличение минимального объема выборки повышает точность оценок, а с другой — уменьшение объема выборки позволяет привлекать дополнительные данные с участков (и/или в сроки), откуда было подано мало ССД.

При анализе промысловой статистики краба-стригуна опилию в северной части Охотского моря было отмечено, что по мере

увеличения объема выборки отношение медианы, рассчитанной для соответствующего числа проб, к медиане, рассчитанной для 100 проб, стремилось к 1, а диапазон доверительных границ средних отношений (отношений медиан, усредненных для 19 групп, каждая из которых содержала 100 проб) — к 0 (рис. 3). Преодоление сглаживающим трендом 5%-ного отклонения от 1 (значения, к которому стремится отношение медиан по мере увеличения числа проб) наблюдается при 45 пробах, а 10%-ного — при 10 пробах. Поскольку минимальный объем в 45 проб приведет к существенной потере информации (все массивы, содержащие менее 45 проб, в этом случае не будут приниматься в расчет), то объем выборки в 10 проб (ССД) является наиболее предпочтительным. Следует отметить, что и ранее (при решении других задач другими методами для другого вида) данное число проб было установлено в качестве минимальной величины для сравнения статистических оценок уловов (Буяновский и др., 2012).

*Районирование акватории.* Набор методов, позволяющих районировать акваторию, в целом такой же, как при анализе дан-



**Рис. 4.** Распределение промысла краба-стригуна опилю в Западно-Беринговоморской зоне в 2014 г. (помимо традиционных участков в Корякском и Наваринском районах выделяется скопление у м. Олюторский). Уловы, т/судо-сутки : (○) —  $\leq 1$ ; (●) —  $> 1 - \leq 5$ ; (●) —  $> 5 - \leq 10$ ; (●) —  $> 10 - \leq 15$ ; (●) —  $> 15$ .

ных научного мониторинга (Буяновский, 2012): традиционное разделение в пределах утвержденных границ рыбопромысловых зон/подзон и разделение на основе сравнения проб. В рыбопромысловых зонах, где промысел ведется на компактных участках, разделение не имеет смысла, так как в их границах в распределении уловов трудно обнаружить какую-либо структурированность. К таким подзонам можно отнести Карагинскую для краба-стригуна опилю или Камчатско-Курильскую — для краба-стригуна Бэрди.

При распространении промысла на обширную акваторию, зачастую охватывающую большую часть зоны или подзоны, внутреннее районирование можно выполнить естественным путем, когда имеется четкое разделение районов промысла, или на основе имеющихся сведений о пространственно-функциональной структуре единицы запаса. Так, общепринятое деление Камчатско-Курильской и Западно-Камчатской подзон на шесть районов (Хайрюзовский, Северный Запретный, Ичинский, Колпаковский, Кичикский, Озерновский) было выполнено в соответствии с пониманием их роли в функ-

циональной структуре популяции камчатского краба (Виноградов, 1969). Такого же рода рекомендации сделаны для группировок командорского кальмара в Западно-Беринговоморской, Восточно-Камчатской и Северо-Курильской зонах в зависимости от роли каждой из них в пространственно-функциональной структуре беринговоморской популяции (Алексеев, 2012).

На несколько иных принципах, но со сходным результатом основано традиционное разделение Западно-Беринговоморской зоны на Корякский и Наваринский районы (рис. 4), где два центра промысла краба-стригуна опилю соответствуют двум самостоятельным группировкам, популяционный ранг которые еще точно не установлен. Вместе с тем при анализе промысловой статистики здесь (устойчиво) обнаруживается еще один район кажущейся промысловой активности, примыкающий к м. Олюторский. Поскольку данные учетных съемок никогда не показывали в нем крупных скоплений, то к ССД по этому району отношение должно быть крайне осторожным и при сравнении уловов за разные годы их лучше не использовать.



Кроме того, так же, как и при разделении акватории по особенностям размерного состава (Буяновский, 2012; Буяновский, Мирошников, 2016а), можно выделять районы на основании их сходства по величине и динамике уловов. Этой работе мы планируем посвятить одну из будущих статей, а здесь подчеркнем, что разделение, которое опирается на функциональную структуру популяции, наиболее предпочтительно.

*Периодизация данных промысловой статистики.* Сезонный фактор, так же как и пространственный, может оказывать серьезное влияние на величину уловов. Поскольку сроки промысла являются одним из инструментов его регулирования, то для большинства единиц запаса они ограничены сравнительно короткими промежутками. Например, промысел камчатского краба у Западной Камчатки длится около трех месяцев. В этих случаях сезонным фактором можно пренебречь. Однако для ряда запасов промысел может длиться в течение всего календарного года, и в этом случае выделение контрольных сезонов становится крайне актуальным.

В отличие от пространственного районирования, где часто требуется выполнить много сравнений соседних участков (Буяновский, Мирошников, 2016а), при выделении сезонов число сравнений достаточно ограничить предыдущим и последующим сроком. В качестве первоначального интервала можно взять один календарный месяц. Снижение числа сравнений позволяет привлечь к анализу еще один фактор, который может существенно влиять на величину уловов, — фактор судна. В отличие от минтая или кальмара, уловы которых на судах одного типа достаточно однородны (Бабаян и др., 2014; Алексеев и др., 2017), уловы крабов, даже для судов одного типа, могут существенно различаться. Различия обусловлены «субъективным фактором», включающим особенности промыслового вооружения, опыт командного состава, навыки экипажа, традиции лова. В дальнейшем при использовании фактора судна будут использоваться только конкретные суда (а не суда одного класса).

Алгоритм выделения сезонов можно показать на примере краба-стригуна опилио Западно-Беринговоморской зоны. Использовали данные за 2013—2015 гг., поскольку достоверность более ранних вызывает сомнения.

Обработку выполняли с помощью двухфакторного дисперсионного анализа, где в качестве зависимых переменных использовали уловы по данным ССД, в качестве факторов — месяцы и суда. Фактор месяца содержал два значения, относящихся к соседним месяцам (например, май и июнь, июнь и июль и т.д.). Фактор судна мог содержать от одного до девяти значений, которым присваивали соответствующий цифровой код. Каждое значение помимо названия судна включало в себя (кодировую) информацию о районе (Корякский или Наваринский) и годе. Например, если одно судно в одном году работало и в Корякском, и в Наваринском районах (рис. 4), то значений фактора судна было два, а если в двух разных годах, то четыре. Если фактор судна содержал одно значение, то применяли однофакторный дисперсионный анализ. Теоретически его можно было бы применить во всех случаях, но оценка влияния фактора месяца с помощью двухфакторного анализа представляется более корректной, так как учитывает отклонения, связанные с влиянием фактора судна. При каждом сравнении использовали только те значения фактора судна, которые присутствовали в оба сравниваемых месяца. Минимальный объем выборки (числа ССД) в ячейке «фактор месяца — фактор судна» был принят равным 3; если бы он был принят равным 10 (см. выше), то значительная часть информации была бы потеряна.

В качестве критерия оценки использовали значимость влияния фактора месяца — вероятность ( $p$ ) отличия изменчивости, обусловленной фактором месяца, от случайной изменчивости. При  $p > 0,05$  различия считали незначимыми и данные по соседним месяцам объединяли. Объединенным данным присваивали новый (объединенный) фактор месяца, после этого процедуру пересчета повторяли (табл. 1). На втором шаге, когда одна и та

**Таблица 1.** Поэтапное выделение сезонов промысла краба-стригуна опилю в Западно-Берингово-морской зоне на основе значимости ( $\rho$ ) влияния фактора месяца

Этап	Месяц									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\rho$ , шаг 1	0,81 (1)	0,11 (4)	0,24 (4)	0,52 (9)	0 (4)	0 (3)	0 (2)	0,35 (2)	0,03 (1)	
Сезоны-1	(3+4)		5	(6+7)		8	9	(10+11)		12
$\rho$ , шаг 2	0,11 (4)		0,11 (9)			0 (4)	0 (3)	0 (2)	0,03 (1)	
Сезоны-2	(3+4)		(5+6+7)			8	9	(10+11)		12
$\rho$ , шаг 3	0,14 (4)				0 (4)	0 (3)	0 (2)	0,03 (1)		
Сезоны-3	(3+4+5+6+7)					8	9	(10+11)		12

**Примечание.** В скобках после значения  $\rho$  — число значений фактора судна.

**Таблица 2.** Парное сравнение медианных уловов (т/сут.) камчатского краба в Камчатско-Курильской подзоне, выполняемых одними и теми же судами в 2014–2015 гг.

Судно	2014	2015	Оценки
Альтаир	7,7	7,9	$d_{cp} = 1,7$
Арина	11,2	7,8	$t_d = 1,36 (1,81)$
Бриз	15,5	5,0	$T(+) = 8 (10)$
Дежнево	5,3	4,1	$T_\phi = 15 (13)$
Екатерина	9,7	5,5	
Орион	7,6	4,2	
Созвездие	9,9	6,2	
Солид	4,8	11,1	
Соломон	5,5	5,0	
Тугур	9,6	8,5	
Яков Павлов	4,7	7,1	

**Примечание.**  $d_{cp}$  — средняя разность между уловами 2014–2015 гг.;  $t_d$  — критерий Стьюдента, расчетное и табличное (в скобках) значения, используется односторонний критерий, так как нулевая гипотеза формулируется при условии, что уловы в 2014 г. были выше, чем в 2015 г.;  $T(+)$  — критерий знаков;  $T_\phi$  — критерий Уилкоксона.

же значимость была отмечена для смежных пар сезонов, выбирали ту пару, где значений факторов судна было больше. Например, из пар март–апрель — май и май–июнь — июль на данном этапе была выбрана вторая пара, где значений факторов судна было больше (табл. 1). В итоге полученные данные позволили выделить пять сезонов — март–июль, август, сентябрь, октябрь–ноябрь и декабрь.

Сравнение уловов с учетом стандартизации. После разбиения данных на районы и сезоны можно приступить к анали-

зу динамики уловов для того, чтобы понять, как происходят изменения запаса. В качестве основного критерия можно использовать непараметрический критерий Уилкоксона, в качестве дополнительных — критерий знаков и критерий Стьюдента для выборок с попарно связанными вариантами (Лакин, 1990). При малом числе сравниваемых пар непараметрические критерии (знаков, Уилкоксона) работают плохо, и критерий Стьюдента остается единственным способом оценки достоверности различий.

Методику сравнения можно продемонстрировать на примере промысла камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* в Камчатско-Курильской подзоне в 2014–2015 гг. После проверки на переименования было выбрано 11 судов, работавших в подзоне и в 2014, и в 2015 гг. (табл. 2). Поскольку районы промысла расположены компактно, а промысел длится сравнительно недолго (сентябрь–декабрь), то разделения по районам и сезонам не выполняли. Для каждого судна и года были рассчитаны медианные уловы. При использовании непараметрических критериев уловы округляли до целого числа (увеличение знаков после запятой увеличивает число рангов, и значимость различий может не проявиться). Несмотря на то что положительных разниц между уловами 2014 и 2015 гг. было больше, ни один из критериев не показал достоверных отличий. Нестандартизированные оценки показали, что, хотя в 2014 г. средний улов (без учета фактора судна) был выше, чем в 2015 г. (8,3 и 7,6 т/судо-сутки соответственно), различия были недостоверны. Сравнение медиан также показало более высокие значения в 2014 г. (7,0 и 6,6 т/судо-сутки соответственно). На основании этих данных можно утверждать, что тенденция к снижению уловов есть, но делать вывод об ухудшении состояния запаса пока преждевременно.

Отмеченное выше совпадение результатов при использовании стандартизированных и нестандартизированных данных встречается далеко не всегда, и это можно проиллюстрировать сравнением уловов краба-стригуна Бэрди *Chionoecetes bairdi* в той же Камчатско-Курильской подзоне. В 2014–2015 гг. одни и те же суда вели промысел в январе–июне и сентябре–декабре. Предварительно (по описанной выше методике) были выделены следующие сезоны: январь, февраль–апрель, май, июнь, сентябрь, декабрь. Возможно, что какие-то сезоны не удалось объединить из-за малого объема выборки. Для сравнения использовали данные с пяти судов, работавших в оба года в одни и те же сезоны (табл. 3).

Результаты сравнения показали, что ни по одному из критериев (разности, знаков,

Уилкоксона) достоверных различий отмечено не было. При этом нестандартизированные уловы выросли весьма существенно: средний улов в 2015 г. составил 7,7 т/судо-сут. против 6,2 т/судо-сут. в 2014 г., медианные соответственно — 7,1 и 5,9 т/судо-сут. Такие отличия легко объяснить, если проанализировать распределение уловов по судам в оба года. Например, если бы судно «Урюм», обеспечившее существенный вклад в оценку среднего улова в 2015 г., работало в этот же сезон в 2014 г., то средние уловы в 2014 г. могли бы быть выше. И, наоборот, если судно «Павел Копытин» работало бы в 2015 г., то средние уловы в этот год могли бы быть ниже. Безусловно, возможны и другие версии объяснения различий, но данные, полученные для одних и тех же судов в одни и те же сезоны, свидетельствуют в пользу того, что различия между уловами 2014 и 2015 гг. связаны в большей степени с пространственно-временной изменчивостью и «фактором судна», чем с межгодовыми колебаниями величины запаса.

*Применение GLM-метода.* Оба рассмотренных примера показывают не только достоинства предлагаемой методики, но и ее недостатки. Во-первых, числа судов не всегда оказывается достаточно для того, чтобы сделать определенный вывод на основе непараметрических критериев. Это особенно заметно, когда календарный год подразделяется на сезоны, а акватория промысла — на районы. При таком дроблении неизбежно происходит потеря информации, когда значительные массивы данных не могут быть использованы в сравнении из-за отсутствия аналогичных сведений в другие годы. Во-вторых, методика достаточно трудоемка, поскольку требует оценки уловов для разных судов в разных районах и в разные сезоны. Возможно, именно поэтому в мировой и отечественной практике в последнее время получили распространение другие методы стандартизации, одним из которых является обобщенная линейная модель, или GLM-метод (Campbell, 2004; Бабаян и др., 2014; Баканев, 2015).

**Таблица 3.** Медианные уловы (С, т/сут.) краба-стригуна Бэрди в Камчатско-Курильской подзоне в 2014–2015 гг.

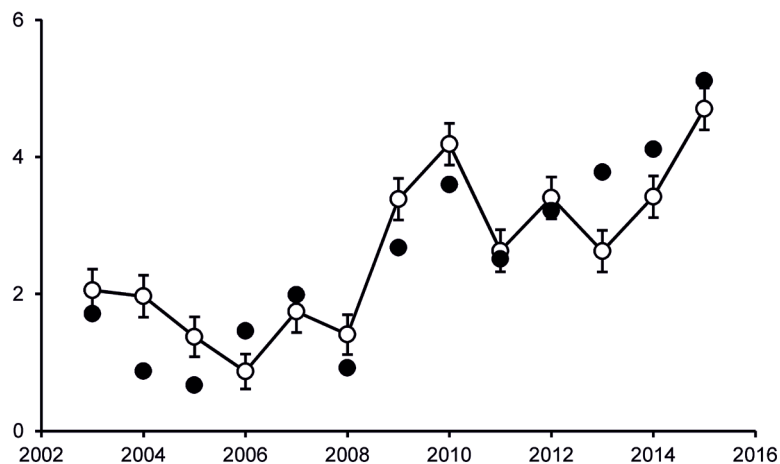
Судно	2014			2015		
	<i>k</i>	С	Сезон	<i>k</i>	С	Сезон
Урюм	—	—	—	58	7,9	Январь, февраль—апрель
				13	4,4	Декабрь
<b>Дукат</b>	20	9,9	Февраль—апрель	50	9,6	Февраль—апрель
Павел Копытин	44	6,7	То же	—	—	—
<b>Сивинд</b>	11	13,8	>>	31	13,5	Февраль—апрель
Долина	20	7,1	>>	—	—	—
Альтаир	16	5,0	Июнь	15	7,7	Февраль—апрель
Гефест	16	4,8	Декабрь	—	—	—
Залив Ольги	15	2,9	Январь	10	5,8	Февраль—апрель
<b>Святогор</b>	10	7,6	Февраль—апрель	15	7,5	То же
Доброволец	—	—	—	14	5,4	>
Одиссей-1	12	13,4	Февраль—апрель	—	—	—
Тугур	10	3,9	Январь	10	5,7	Февраль—апрель
<b>Дежнево</b>	6	3,8	Сентябрь	10	3,0	Сентябрь
Арина	—	—	—	10	9,5	Февраль—апрель
<b>Соломон</b>	6	4,3	Сентябрь	9	4,7	Сентябрь
Регул	7	10,0	Май	—	—	—
Айдар	7	8,8	Февраль—апрель	—	—	—
	5	5,7	Сентябрь			

**Примечание.** Жирным шрифтом выделены суда, для которых проводили попарное сравнение уловов; *k* — число суточных судовых донесений; «—» — нет данных.

Наряду с быстротой обработки несомненным достоинством метода является возможность учитывать всю информацию, вычлняя при этом влияние факторов района, года, сезона, судна. В тех случаях, когда в ячейке «год—район—сезон—судно» отсутствуют данные эмпирических оценок, модель позволяет вводить расчетные данные, на основании которых впоследствии выполняется интегральная оценка.

Помимо количественной оценки вклада каждого фактора в значение улова модель позволяет оценить достоверность влияния того или иного фактора. Если код значимости  $p > 0,05$ , то влияние фактора считается случайным.

В качестве примера использования GLM-метода при дефиците эмпирических данных можно привести анализ сведений по уловам краба-стригуна опилию в Западно-Беринговоморской зоне в 2003–2015 гг. При подготовке данных к обработке из общего массива вначале были исключены ССД, относящиеся к научным исследованиям. Затем (как сомнительные) были удалены ССД, отправленные из района около м. Олюторский (рис. 4). Далее были выбраны суда, находившиеся на промысле менее 7 лет (половина исследуемого срока). Для каждого такого судна были отобраны годы, когда было подано менее 10 ССД. Данные за эти годы были исключены из общего массива, а



**Рис. 5.** Динамика промысловых уловов (по оси ординат — т/судо-сутки) краба-стригуна опилио в Западно-Беринговоморской зоне: (○) — значения, рассчитанные с помощью GLM-метода ( $\pm 90\%$ -ный CL) и усредненные для 8 судов; (●) — средние уловы по данным судовых суточных донесений, рассчитанные для всех судов.

данные за годы, когда было подано 10 и более ССД, были оставлены. Для судов, находившихся на промысле более 7 лет, были использованы все ССД, даже если в какой-то год судно находилось на промысле менее 10 сут. Значение 10 было выбрано как минимальный объем выборки для более или менее достоверных оценок (см. выше)<sup>1</sup>.

Оставшиеся данные были поделены на два района — Корякский и Наваринский. Из выделенных сезонов (табл. 1) были выбраны наиболее часто повторяющиеся периоды март—июль и октябрь—ноябрь. Данные, относящиеся к другим срокам, были удалены.

После расчета всех коэффициентов (нормальное распределение с идентичной функцией связи) было выбрано восемь судов, находившихся на промысле не менее 6 лет, что составляет около половины исследуемого срока. Для каждого судна, опираясь на полученные коэффициенты,

были рассчитаны уловы в ячейках «год—сезон—район». Если расчетное значение было отрицательным, его округляли до 0. Далее для каждого года расчетные данные в ячейках «сезон—район—судно» были усреднены. Необходимо еще раз подчеркнуть, что для каждого года указанные ячейки были одни и те же и ни одна из ячеек не была пустой (так как содержала определенное расчетное значение улова). Сопоставление данных со средними нестандартизированными уловами показали неплохое совпадение (рис. 5).

Несмотря на близость значений, именно расчетные данные следует считать более предпочтительными при оценке состояния запаса (например, с помощью продукционной модели)<sup>2</sup>, так как они «очищены» от шумов, связанных с межгодовыми различиями в распределении усилия по районам и сезонам, а также — с фактором судна.

<sup>1</sup>Расчеты проводили и по другим массивам (все ССД; не менее 10 ССД для ячейки «судно—год—сезон—район»; ССД с судов, находящихся не менее 7 лет на промысле и др.), но данная схема показала минимальное отклонение расчетных данных от эмпирических.

<sup>2</sup>Результаты данных расчетов не могут быть использованы для модельных оценок, поскольку сведения, относящиеся к 2003—2012 гг. вызывают сомнения. Здесь они приведены только для иллюстрации метода.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные примеры показывают, что при стандартизации данных, поступающих с промысла, они могут дать вполне адекватное представление о динамике запаса, и в условиях постоянного сокращения работ по выполнению учетных съемок и отсутствия научного мониторинга это становится весьма актуальным. Кроме того, стандартизированные данные по промысловой статистике могут использоваться как независимый индикатор, который позволяет корректировать оценку состояния запаса, получаемую иными методами. В целом же чем больше влияния на прогнозную оценку будет оказывать промысловая статистика, тем менее выгодным для пользователей будет ее искажение в сторону занижения, так как следствием такого занижения будет снижение ОДУ и, соответственно, уменьшение размеров квот, получаемых пользователями.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаем искреннюю признательность своим коллегам Л.К. Сидорову и Ф.В. Лищенко, предоставившим первичные данные из ИС «Рыболовство», а также Д.А. Ботневу, принимавшему участие в обработке статистических данных с промысла морского гребешка.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев Д.О. О возможных подходах к эксплуатации запасов командорского кальмара *Beryteuthis magister* с учетом функциональной структуры ареалов его популяций // Матер. Всерос. науч. конф., посвященной 80-летию юбилею ФГУП «КамчатНИРО». Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2012. С. 249–257.

Алексеев Д.О., Лищенко Ф.В., Кивва К.К. Новый метод оценки биомассы командорского кальмара *Beryteuthis magister* (Oegopsida, Gonatidae) // Вопр. рыболовства. 2017. Т. 18. № 2. С. 216–230.

Бабаян В.К. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ). М.: Изд-во ВНИРО, 2000. 192 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.

Банержи А. Медицинская статистика понятным языком: вводный курс. М.: Практ. медицина, 2007. 287 с.

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 рыб. хоз-ву и экологии. М.: Изд-во ВНИРО, 2013. С. 108–133.

Буяновский А.И. Прогноз потенциального вылова прибрежных беспозвоночных при затруднении с оценкой запаса. Методические рекомендации. М.: Изд-во ВНИРО, 2012. 222 с.

Буяновский А.И., Горянина С.В., Моисеев С.И. Зависимость уловов промысловых самцов камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) в Баренцевом море от продолжительности застоя ловушки // Вопр. рыболовства. 2012. Т. 13. № 1. С. 197–214.

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 2016а. Т. 17. № 3. С. 261–276.

Буяновский А.И., Мирошников В.В. Исследование краба-стригуна красного *Chionoecetes japonicus* (Decapoda, Majidae) в Японском море. 5. Функциональная организация поселений в северо-восточ-

- ной части Японского моря // Там же. 2016б. Т. 17. № 3. С. 277–289.
- Васильев А.Г. Методы оценки данных промысловой статистики на примере анализа промысла трубачей // Там же. 2014. Т. 15. № 2. С. 299–311.
- Виноградов Л.Г. О механизме воспроизводства запасов камчатского краба (*Paralithodes camtschatica*) в Охотском море у западного побережья Камчатки // Тр. ВНИРО. 1969. Т. 65. С. 337–344.
- Иванов Б.Г. Проблемы промыслового использования крабов-стригунов *Chionoecetes* spp. в дальневосточных морях России // Тез. докл. конф. «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей». Петропавловск-Камчатский: Камшат, 2001. С. 170–172.
- Кадильников Ю.В. Вероятностно-статистическая теория рыболовных систем и технической доступности для них водных биологических ресурсов. Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 2001. 277 с.
- Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.
- Низяев С.А., Букин С.Д., Климин А.К. и др. Пособие по изучению промысловых ракообразных дальневосточных морей России. Ю.-Сахалинск: СахНИРО, 2006. 114 с.
- Шагинян Э.Р. Состояние запаса и оценка численности синего краба (*Paralithodes platypus* Brandt) западнокамчатской подзоны в путину 2013 г. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2014. Вып. 35. С. 56–62.
- Campbell R.A. CPUE standardization and the construction of indices of stock abundance in a spatially varying fishery using general linear models // Fish. Res. 2004. V. 70. P. 209–227.

## FISHERIES STATISTICS AS INDICATOR OF STOCK ASSESSMENT OF MARINE INVERTEBRATES

© 2017 y. A.I. Buyanovsky, D.O. Alexeyev

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

This paper discusses applicability of fisheries statistics for marine invertebrates stock assessment. Advantages, disadvantages, limitations and possible sources of uncertainties of fisheries statistics are analyzed. The different methods of CPUE standardization are proposed for different stocks of marine invertebrates. The minimum significant number of CPUE queries from the Data Base should be not less than 10. Together with traditional methods of spatial and temporal divisions of annual data, the new method for definition of seasons based on pairwise comparison of catches in neighbor months is proposed. Effect of “vessel factor” on integral estimation of CPUE and involving this factor in analysis of catches dynamics by GLM (general linear models) method is discussed.

*Keywords:* commercial crabs and king crabs, stock assessment and forecast, fishery management, standardization, general linear models.