



## Промысловые виды и их биология

# Индикаторный подход в качественной оценке состояния запаса длиннопалого рака в реке Волга и её водотоках (Астраханская область)

И.А. Сафаралиев<sup>1</sup>, В.В. Барабанов<sup>1</sup>, О.А. Мазникова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»), ул. Савушкина, 1, г. Астрахань, 414056

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), проезд Окружной, 19, Москва, 105187  
E-mail: safaraliev.i.a@mail.ru

**Целью работы** является качественная оценка запаса длиннопалого рака в Астраханской области на основе индикаторного подхода.

**Используемые методы:** индикаторный подход в оценке запаса, методы описательной статистики, регрессионный анализ.

**Новизна:** качественная оценка запасов длиннопалого рака в Астраханской области индикаторным подходом ранее не проводилась.

**Результат:** получены качественные оценки состояния запаса длиннопалого рака в Астраханской области в 2016–2020 гг. Результаты оценок показали, что в 2016, 2019 и 2020 гг. его запас в Астраханской области был в неопределённом состоянии (интегральная оценка показала отсутствие динамики состояния запаса в худшую или лучшую сторону), а в 2017 и 2018 гг. — в тревожном (интегральная оценка показала отрицательную динамику состояния запаса). Итоговая интегральная оценка позволила сформировать рекомендации к дальнейшей эксплуатации запаса этого вида гидробионта.

**Практическая значимость:** данное исследование показывает возможность применения индикаторного подхода для биологического обоснования оценки общего допустимого улова длиннопалого рака в Астраханской области.

**Ключевые слова:** длиннопалый рак *Pontastacus leptodactylus*, оценка запаса, индикаторный подход, размерный состав, промысел, ОДУ.

## Indicator approach in the qualitative assessment of the stock state of the long-clawed crayfish in the Volga River and its watercooms (Astrakhan region)

Ildar A. Safaraliev<sup>1</sup>, Vitaliy V. Barabanov<sup>1</sup>, Olga A. Maznikova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Volga-Caspian Branch of VNIRO («CaspNIRKH»), 1 Savuskin st., Astrakhan, 414056, Russia

<sup>2</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), 19, Okrzhnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

**The aim** of the paper is a qualitative assessment of the stock of long-clawed crayfish on the basis of the indicator approach.

**Methods used:** indicator approach of qualitative stock assessment, methods of descriptive statistics, regression analysis.

**Novelty:** a qualitative assessment of the stocks of long-clawed crayfish in the Astrakhan region by the indicator approach has not been previously carried out.

**Result:** Qualitative assessments of the state of the stock of long-clawed crayfish in the Astrakhan region in 2016–2020 were obtained. The results of the assessments showed that in 2016, 2019 and 2020 its stock in the Astrakhan region was in an uncertain state (an integral assessment showed no dynamics in the state of the stock for the worse or better), and in 2017 and 2018 — in the alarming state (the integral assessment showed a negative trend in the state of the stock). The final integral assessment made it possible to formulate recommendations for the further exploitation of the stock of this species of hydrobiont.

**Practical significance:** this study represents the application of the indicator approach in the biological substantiation of the assessment of the total allowable catch of long-clawed crayfish in the Astrakhan region.

**Keywords:** crayfish, *Pontastacus leptodactylus*, stock assessment, indicator approach, size composition, fishery, TAC.

## ВВЕДЕНИЕ

В Каспийском бассейне обитают две формы длиннопалого рака (*Pontastacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823) — типичный и каспийский, которые отличаются как внешним строением, так и местом обитания [Румянцев, 1974]. У раков типичной формы бугорки,

покрывающие боковые стороны головогруды, относительно крупнее, острее и расположены более редко, чем у каспийской формы этого вида. В Астраханской области они населяют пресные водоёмы — реки и подступные ильмени, в море не выходят. У раков каспийской формы бугорки, покрывающие голово-

грудной щит, очень мелкие, густо расположены. Место обитания раков этой формы воды Каспийского моря. Данная работа посвящена длиннопалому раку, который населяет внутренние водные объекты Астраханской области, то есть типичной его форме. Поэтому чтобы выделить типичную форму этого вида рака мы использовали название речной рак.

Наиболее плотные концентрации, имеющие промысловое значение, речной рак образует в Волго-Ахтубинской пойме (ВАП), западных подступных ильменях (ЗПИ) и нижней части дельты р. Волга. Раки Астраханской области относятся к видам с неустойчивым запасом, численность которых под влиянием внешних факторов (гидролого-гидрохимический режим водоёмов и антропогенное воздействие) может резко меняться [Румянцев, 1974; Ушивцев, 1997; Колмыков, Ушивцев, 1998; Колмыков, 2001].

В настоящее время оценка запасов речных раков во внутренних водоёмах Астраханской области выполняется методом площадей, результатом которого является количественная оценка, выраженная в абсолютных величинах. Плотность распределения раков оценивается с учётом площади облова одной раколовки и средних уловов раколовки на исследуемой акватории «Методики оценки запасов<sup>1</sup> ...». Первое упоминание о площади облова раколовки представлено в работе В.Д. Румянцева [1974]. Мы полагаем, что получаемые величины запаса необходимо рассматривать как показатели обилия, анализ временного ряда которых указывает на положительную или отрицательную или неопределённую динамику состояния запаса. Для улучшения системы прогнозирования состояния водных биологических ресурсов необходимо привлекать новые перспективные методы оценки эксплуатируемого запаса, для соответствия современному методическому уровню и повышения прозрачности и объективности процедуры разработки прогноза общего допустимого улова (ОДУ).

Известно, что биологические показатели (средняя длина тела особей в популяции или отдельных возрастных групп, упитанность, соотношение полов и т. д.) свидетельствуют о состоянии запаса. Отсюда, оценив каждый отдельный показатель и выполнив их интегральную оценку, можно сделать вывод о качественном состоянии данного промыслового запаса и дать рекомендации по его дальнейшей эксплуатации. Такой подход в оценке запаса назван индикаторным, так как каждый отдельный показатель рассматривается как индикатор одного из свойств запаса [Harford et al., 2021].

<sup>1</sup> Методики оценки запасов, определения ОДУ и возможного вылова водных биоресурсов Каспийского бассейна с целью управления рыболовством. Астрахань: КаспНИРХ, 2011, 119 с.

Индикаторный подход в Приказе Росрыболовства от 6 февраля 2015 г. № 104<sup>2</sup> отнесён к методам III уровня обеспеченности информации о запасе, для которых невозможно применить аналитические когортные (I уровень) или производственные модели (II уровень). На третьем уровне информационного обеспечения недостаточная полнота и/или качество доступной информации исключают использование моделей эксплуатируемого запаса. Обоснование ОДУ строится на эмпирических, трендовых, индикаторных и других приближенных методах, применяемых в случае дефицита информации.

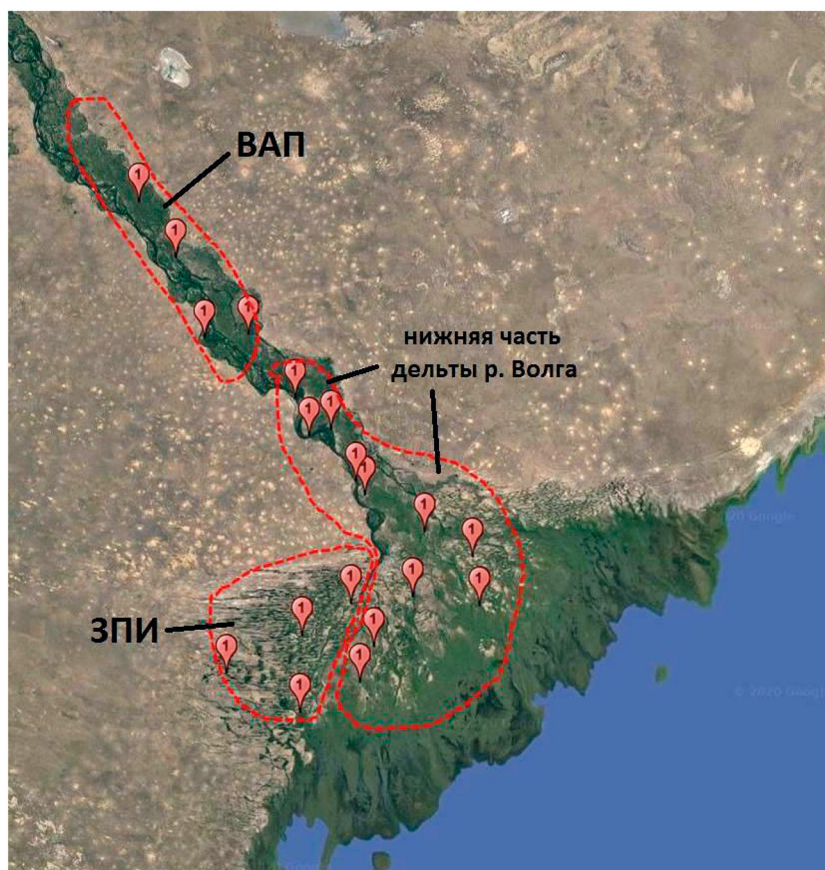
Для аналитических структурных моделей в первичных данных у раков Астраханской области отсутствуют данные о возрастном составе, так как у этого вида нет структур, по которым возможно точно определить возраст особи [Румянцев, 1974]. Применение производственных моделей для оценки ОДУ рака может быть так же не выполнимым из-за того, что раки являются сильно флюктуирующим запасом. В этом случае невозможно установить стратегическую цель управления запаса на уровне его наибольшей продуктивности ( $B_{MSY}$  — биомасса, при которой достигается максимальный устойчивый улов), поскольку стабильный максимум у такого запаса может быть не найден при биологически обоснованных параметрах уравнения производственной модели [Бабаян, 1998].

Исходя из выше изложенного, целью данной работы является апробация индикаторного подхода качественной оценки запаса речного рака, на основе его результатов провести расчёт рекомендуемого улова этого запаса и рекомендовать данный метод для обоснования ОДУ в Волго-Каспийском рыбохозяйственном подрайоне.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКИ

Материалом для данной работы послужили данные, собранные и обработанные сотрудниками лаборатории речных и полупроходных рыб Волжско-Каспийского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ») в 2016–2020 гг. в ходе мониторинговых исследований в нижней части дельты р. Волга, ВАП и ЗПИ. Район сбора и расположение станций представлены на рис. 1.

<sup>2</sup> Приказ Росрыболовства от 06.02.2015 № 104 «О представлении материалов, обосновывающих общие допустимые уловы водных биологических ресурсов во внутренних водах Российской Федерации, в том числе во внутренних морских водах Российской Федерации, а также в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации и в исключительной экономической зоне Российской Федерации, в Азовском и Каспийском морях, а также внесении в них изменений» URL: <https://docs.cntd.ru/document/557526160>



**Рис. 1.** Расположение станций учётной съёмки длиннопалого рака в Волго-Каспийском рыбохозяйственном подрайоне (Астраханская область) в 2016–2020 гг.

**Fig. 1.** Grid of long-clawed crayfish recording stations in the Volga-Caspian fishery sub-area (Astrakhan region) in 2016–2020

При исследованиях руководствовались рекомендациями «Методики оценки запасов<sup>1</sup> ...» и «Инструкции по сбору<sup>3</sup>...». У раков измеряли общую длину (расстояние от конца рostrума до конца тельсона) и определяли массу тела.

Учётные съёмки выполнены с использованием пассивных орудий лова – раколовок. Стандартные раколовки имеют вид усечённого конуса, обтянутого капроновой делью с размером ячеек 22 мм и более, входное отверстие находится в верхней части орудия лова. Ловушки устанавливали на контрольных участках на расстоянии 15 м друг от друга с экспозицией 24 часа. После выемки ловушек и анализа уловов переходили на следующую станцию. Для оценки площади распространения раков на водоёме выполняли траления волокушей. За весь период исследований было выполнено 365 постановок раколовки, 285 тралений волокушей, промерено и взвешено 1956 экз. раков.

Численность раков оценивали по методу площадей [Аксютин, 1968; «Методики оценки запасов<sup>1</sup> ...»]:

<sup>3</sup> Инструкции по сбору и первичной обработке материалов водных биоресурсов Каспийского бассейна и среды их обитания. 2011 / ред. Судаков Г.А. Астрахань: КаспНИРХ, 193 с.

$$N = p \times S, \quad (1)$$

где  $N$  – численность, экз.,  $p$  – плотность раков, экз./га,  $S$  – площадь распределения, га.

Плотность распределения раков оценивали с учётом площади облова одной раколовки и средних уловов раколовки на исследуемой акватории. Рабочая площадь облова одной раколовки принята равной 225 м<sup>2</sup> (0,023 га) [Румянцев, 1974].

Для оценки численности раков в каждом исследованном районе среднюю плотность раков (экз./га) умножали на площадь их распространения.

Общий запас раков определяли как произведение расчётной численности и средней массы особей:

$$B = N \times w, \quad (2)$$

где  $B$  – общий запас, кг;  $w$  – средняя масса речного рака, кг.

Методика индикаторного подхода к оценке запасов описана в многочисленных работах [Mohn et al., 1992; Caddy, 1999; Halliday et al., 2001; Daan et al., 2005; Буяновский, 2012; Miethe et al., 2016; Harford et al., 2021]. В ситуации ограниченности данных по запасу и возникающей в связи с этим сложности в его количественной оценке широко практикуется приме-

нение индикаторного подхода в оценке запаса. В основе индикаторного подхода лежит комплексное применение и интерпретация одновременно нескольких индикаторов, которые косвенно отражают состояние запаса. Использование системы мультииндикаторов позволяет получить цельную информацию из разрозненных источников данных и в последующем принять аргументированное решение о дальнейшей эксплуатации запаса.

Для оценки отдельного индикатора был выбран подход, включающий в себя присвоение определённого цвета по аналогии со светофором. В литературе данный метод получил название «метод светофора». В зависимости от разработанного правила каждому индикатору присваивается соответствующий цвет (красный, жёлтый или зелёный), который в итоге способствует общему описанию состояния анализируемого запаса. Для всех индикаторов определяется свой собственный целевой ориентир, по отношению к которому присваивается красный или зелёный цвет, или жёлтый – если значение индикатора находится в заданных границах целевого ориентира [Буяновский, 2012; Harford et al., 2021].

Реализация индикаторного подхода включает в себя четыре последовательных этапа [Caddy, 1999]: 1) выбор индикаторов, позволяющих максимально полно оценить состояние запаса; 2) разработка правила оценки индикатора – присвоения красного, жёлтого или зелёного цвета (метод светофора); 3) качественная оценка состояния запаса на основе обобщения данных по отдельным индикаторам; 4) принятие решения об изменении потенциального вылова.

*Выбор индикаторов.* Для оценки состояния запаса речного рака нами было выбрано пять индикаторов: статистические параметры вариационного ряда общей длины тела (средняя длина, эксцесс и размах вариационного ряда), улов на усилие (CPUE – улов на единицу усилия) и оценённая биомасса. В выборе вышеперечисленных индикаторов основывались на таких критериях как лёгкость и точность их оценки, ясная интерпретация и чувствительность к состоянию запаса [Abou El Ouafa et al., 1999].

Размерный состав и его изменение во времени являются одними из важных характеристик состояния запаса и его возможных изменений в будущем. Работа В.Д. Румянцева [1974], посвящённая ракам низовья р. Волга, свидетельствует, что в благоприятные годы рост раков в течение вегетационного периода, при низкой интенсивности промысла, сдвигает гистограмму размерного ряда вправо, а интенсивный промысел и смертность крупных особей – вле-

во. Левую асимметрию вариационного ряда общей длины раков может придать и вступающее пополнение. При левой асимметрии необходимо учитывать, что промысел и смертность сопровождаются падением уловистости, а вступление пополнения – её увеличением. Возрастание величины эксцесса у гистограммы вариационного ряда общей длины тела раков указывает на то, что в уловах доминирует одно поколение. Уменьшение эксцесса, напротив, свидетельствует о заметном присутствии в уловах нескольких поколений. Интенсивность промысла и величина смертности также отражаются на размахе вариационного ряда гистограммы длины тела. Показатель неблагополучия запаса – сужение ряда, а показатель удовлетворительного состояния запаса – его расширение.

Улов на усилие (CPUE) – относится к так называемым универсальным индикаторам, которые применимы для оценки запаса многих гидробионтов [Буяновский, 2012]. Вследствие этого, CPUE довольно часто используют в качественной оценке запаса ракообразных, где применяют индикаторный подход [Koeller et al., 2000; Caddy et al., 2005; Буяновский, 2019; Буяновский, 2020 а, б]. Но интерпретацию индикатора CPUE следует проводить с осторожностью, так как увеличение показателя может быть связано как с улучшением состояния запаса, так и с включением компенсационных биологических механизмов у популяции при ухудшении состояния эксплуатируемого запаса, например, более раннее созревание. Игнорирование механизма компенсации может привести к длительной депрессии или коллапсу запаса [Щукина, Букин, 2001; Букин, Бегалова, 2011].

Совместное использование размерного состава и CPUE позволяет скорректировать выводы из анализа динамики CPUE, а анализ гистограммы распределения размерного состава даёт возможность отследить появление высоко- или низкоурожайных поколений.

Биомасса запаса является наиболее естественным индикатором состояния запаса. Увеличение биомассы свидетельствует о восстановлении запаса, а уменьшение означает, что в запасае происходят негативные процессы (перелов, неблагоприятные экологические условия). Как было отмечено выше, в настоящей работе биомасса запаса рассматривается не как абсолютная величина, а как показатель обилия.

*Правила принятия цвета для индикаторов.* Существует два подхода к присвоению индикатору определённого цвета: статический и динамический [Буяновский, 2012]. При статическом подходе опреде-



лётный цвет присваивают при достижении заранее принятых граничных значений конкретного индикатора. Таким образом, индикатор может принять красный (тревожное или критическое состояние), жёлтый (неопределённое состояние) или зелёный (удовлетворительное состояние) цвета. При динамическом подходе нет жёсткой привязки цвета к каким-либо граничным значениям индикатора. Индикатор принимает цвет по оценке конкретной ситуации, например, по динамике линии тренда и его оценки значимости ( $p$ ) или изменения величины, в которой измеряется данный индикатор, относительно его значения предыдущего года.

Для индикатора, средняя длина рака, был применён статический подход присвоения цвета – разница средней длины рака конкретного года от целевого значения, равного  $12,1 \pm 0,3$  ( $M \pm \Delta t$ ) см, где  $\pm \Delta t$  – доверительный интервал генеральной средней, равный 95%. Величина  $12,1 \pm 0,3$  была взята из работы В.Д. Румянцева [1974], как средняя длина раков, соответствующая удовлетворительному состоянию запаса. Для этого индикатора использовались следующие правила присвоения цвета: если средняя длина находится в диапазоне доверительного интервала целевого значения (11,8–12,4 см), то данному индикатору присваивается жёлтый цвет, если меньше 11,8 см – красный и если больше 12,4 см – зелёный.

Как было отмечено выше, присутствие поколений нескольких многочисленных поколений отражается на величине эксцесса. Отсюда, индикатору присваивали зелёный цвет, если значение эксцесса было статистически достоверно ( $p \leq 0,05$ ) меньше 0, жёлтый цвет – при любом значении эксцесса, если он был статистически не достоверен ( $p > 0,05$ ), и индикатор принимает красный цвет, если значение эксцесса было статистически достоверно ( $p \leq 0,05$ ) больше 0. Статистическую достоверность эксцесса оценивали по критерию Стьюдента [Ивантер, Коросов, 2011].

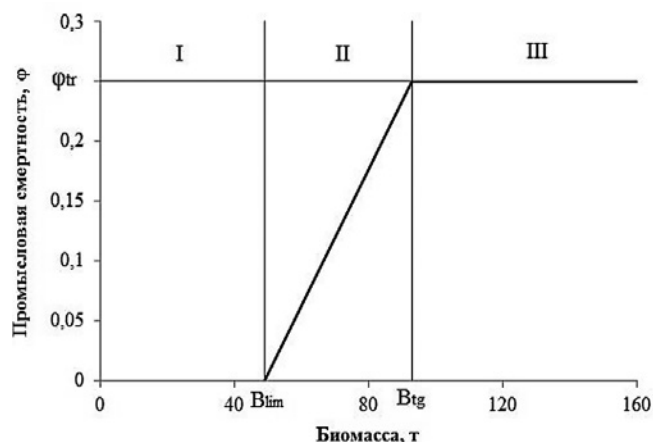
Присвоение цвета индикатору «размах вариационного ряда общей длины тела» выполняли на основе динамического подхода: индикатор принимал красный цвет, если размах размерного ряда текущего года меньше предыдущего более чем на 1,0 см, жёлтый цвет индикатору присваивали, если вариационные ряды текущего и предыдущего года были равны или разница не превышает диапазон  $\pm 1,0$  см, и в случае, если размах в текущем году был больше, чем в предыдущий год более 1,0 см, индикатору присваивали зелёный цвет.

Правила присвоения цвета индикаторам CPUE и биомассе запаса основано на регрессионном анализе динамики линейного тренда их временного

ряда по последним трём значениям соответствующих лет. Принятие решения о достоверности отрицательного или положительного тренда выносится на основании значимости критерия Фишера ( $Fp$ ). В качестве пороговой границы значимости  $Fp$  было взято значение  $p = 0,3$  в отличие от принятой в статистике величины, равной 0,05. Величина 0,3 была получена эмпирическим путём при анализе временных трендов CPUE и максимальной длины карапакса травяной креветки [Буяновский, 2012]. Применение значения  $p = 0,3$  для речных раков обосновывается методом аналогий, когда недостающий какой-либо параметр запаса берётся от известного таксономически близкого вида или вида, ведущего схожий образ жизни, занимающий ту же или близкую экологическую нишу [Бабаян, 2000]. Отсюда вытекает следующее правило: если пороговое значение  $Fp$  выше 0,3, то направление тренда считается неопределённым и индикатору присваивается жёлтый цвет, в остальных случаях направление тренда считается статистически достоверным и в зависимости от его направления, положительного или отрицательного, индикатор, соответственно, принимает зелёный или красный цвет.

*Интегрированная оценка состояния запаса и принятие решения об изменении величины ОДУ.* После присвоения каждому индикатору своего цвета выполнялась общая или интегральная оценка состояния запаса. С этой целью был выбран математический подход, при котором данные по всем индикаторам объединяют и выбирают наиболее часто встречающийся цвет, который и будет окончательной качественной оценкой состояния запаса [Koeller et al., 2011]. В случае, когда два любых индикатора принимают один из трёх цветов, а два других – один цвет из двух оставшихся цветов, то при любом цвете последнего индикатора интегральная оценка будет жёлтой, то есть состояние запаса оценивается как неопределённое. При присвоении зелёного цвета интегральной оценке запаса принимается решение об увеличении величины вылова, при жёлтом – сохранении на прежнем уровне и, наконец, при красном – снижении величины ОДУ. Для наглядной интерпретации результатов индикаторы сводят в таблицу с итоговым решением о качественной оценке состояния запаса.

В случае, если решение по интегральной оценке совпадает с динамикой биомассы запаса, то объём ОДУ рассчитывают на основе концепции предосторожного подхода управления промыслом с применением трёхзональной схемы правила регулирования промысла (ПРП), которая включает в себя заданные граничные и целевые биологические ориентиры по биомассе



**Рис. 2.** Схема правила регулирования промысла (ПРП) длиннопалого рака в Волго-Каспийском рыбохозяйственном подрайоне (Астраханская область): I – режим полного запрета на промысел, II – режим восстановления запаса, III – режим постоянной интенсивности промысла

**Fig. 2.** Scheme of harvest control rule (HCR) for long-clawed crayfish in the Volga-Caspian fishery subarea (Astrakhan region): I – total fishing ban regime, II – stock recovery regime, III – constant fishing intensity regime

запаса и целевой ориентир по промысловой смертности [Бабаян, 2000] (рис. 2). При конфликте решений между интегральной оценкой и динамикой биомассы запаса, приоритет по оценке запаса следует оставить за интегральной оценкой запаса, которая учитывает более широкий спектр параметров состояния запаса, а изменение величины рекомендуемого вылова, если это необходимо, оценивают пропорционально изменению динамики улова на усилие за последние три года, полученной на основе линейного уравнения регрессионного анализа [Буяновский, 2012].

Запас раков в Волго-Каспийском рыбохозяйственном подрайоне (Астраханская область) оце-

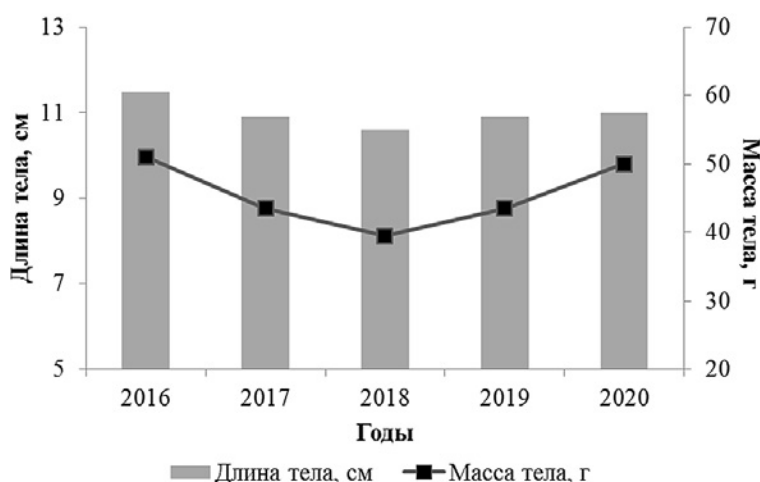
нивают регулярно, и он представлен непрерывным временным рядом лет. Одним из лимитирующих факторов численности раков и площади их распространения является водность реки Волга (колебания уровня, гидролого-гидрохимический режим и т. д.), от которой зависят условия их обитания. Достоверно оценить даже краткосрочную перспективу изменчивости гидрологического режима р. Волга не представляется возможным. Поэтому, в расчётах на двухгодичную перспективу вынуждено исходят из того, что в эти два года условия среды обитания стабильны, следовательно, численность и биомасса популяции раков на прогнозный год останется на том же уровне, что и два года назад, то есть в год проводимого расчёта.

Статистические расчёты и построение графиков выполнялись в приложении MS «Excel 2010» и программной статистической среде R Core Team (2020).

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Биология и характеристика скоплений

В нижней части дельты р. Волга, ВАП и ЗПИ, средняя длина раков в зависимости от года колебалась от  $10,1 \pm 0,2$  до  $12,5 \pm 0,1$  ( $M \pm m$ ) см (рис. 3–5). В водоёмах дельты р. Волга с 2016 по 2018 гг. отмечено снижение средних величин линейно-весовых показателей рака. В последующие два года, наоборот, прослеживается их увеличение (рис. 3). Наибольшие средние значения общей длины речного рака отмечены в 2018 г. в водных объектах ВАП и ЗАП  $12,5 \pm 0,1$  и  $11,8 \pm 0,1$  см соответственно (рис. 4 и 5). В 2020 г. в сравнении с 2019 г. во всех районах отмечено увеличение линейно-весовых показателей тела раков, что связано с относительно хорошими условиями нагула, которые сло-



**Рис. 3.** Динамика средних длины и массы длиннопалого рака в нижней части дельты р. Волга

**Fig. 3.** Dynamics of the average length and weight of river long-clawed crayfish in the delta the river Volga

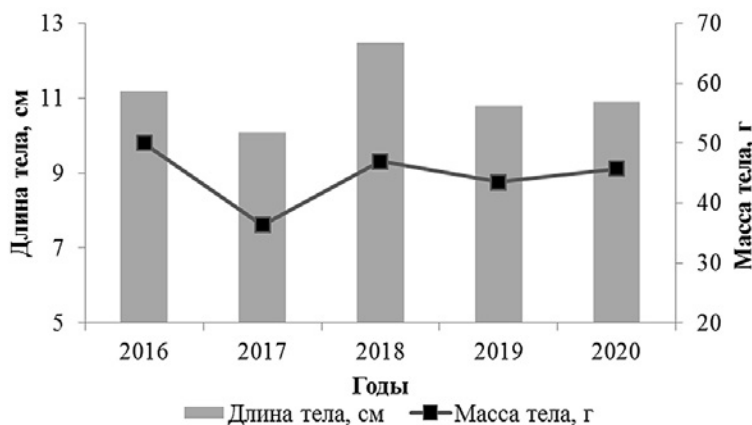


Рис. 4. Динамика средних длины и массы длиннопалого рака в водоёмах Волго-Ахтубинской поймы (ВАП)

Fig. 4. Dynamics of average length and weight of long-clawed crayfish in water bodies of the Volga-Akhtuba floodplain

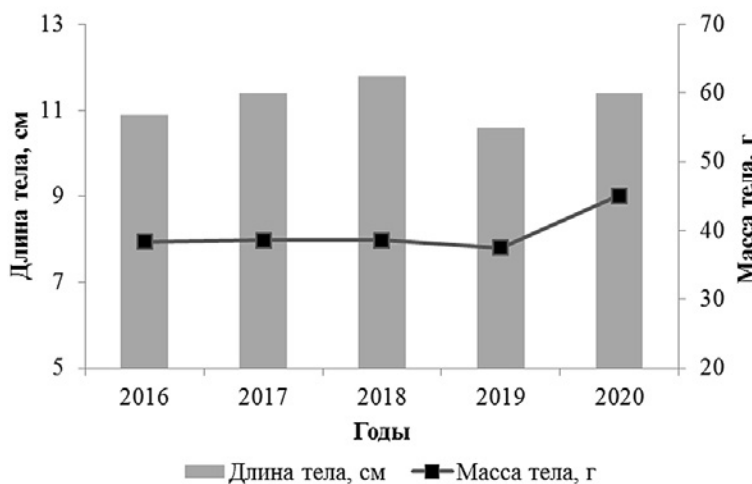


Рис. 5. Динамика средних длины и массы длиннопалого рака в водоёмах западно-подstepных ильменях (ЗПИ) Астраханской области

Fig.5. Dynamics of the average length and weight of the long-clawed crayfish in the water bodies of the western steppe ilmens of Astrakhan region

жились благодаря благоприятному гидрологическому режиму весенне-летнего периода в 2020 г.

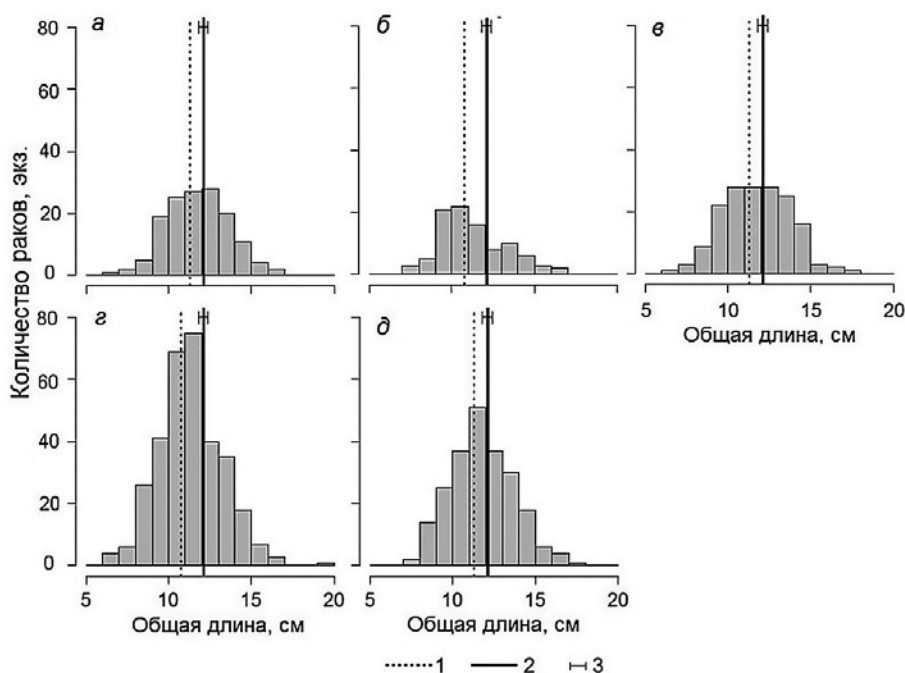
*Описание и оценка индикаторов*

В дельте р. Волга, ВАП и ЗПИ популяции раков пространственно не обособлены, в связи с этим описание и оценка индикаторов проводилась в целом для всего Волго-Каспийского рыбохозяйственного подрайона (Астраханская область).

В 2016–2020 гг. длина речных раков варьировала от 6 до 19 см (рис. 7). Во все годы наблюдений средняя длина была ниже целевого ориентира, равного 12,1 см (рис. 6 и табл. 1). Следовательно, во все годы исследований индикатор средней длины рака принимал красный цвет (табл. 2). Данный индикатор свидетельствует, что размерный ряд раков в настоящее время мельче, чем в прошлом столетии.

Величины эксцесса указывают на снижении частот в центральных размерных классах, вызывая ту-повершинную форму распределения в 2016–2018 и 2020 гг., но уровень значимости этого статистического показателя не позволяет судить о его достоверности (табл. 1). В этой связи невозможно однозначно судить, что в запасе прослеживаются заметные процессы пополнения. В этом случае данному индикатору присвоили жёлтый цвет в соответствующие года. В 2019 г. выявлена острровершинность в размерном ряде при высокой значимости эксцесса. Это говорит о том, что в запасе преобладали раки одной генерации поколений, индикатору присвоили красный цвет (табл. 1).

Размах вариационного ряда общей длины тела раков в 2016–2020 гг. колебался от 9 до 13 см



**Рис. 6.** Гистограммы распределения общей длины тела длиннопалого рака за период 2016–2020 гг. в Волго-Каспийском рыбохозяйственном подрайоне (Астраханская область): а – 2016 г., б – 2017 г., в – 2018 г., г – 2019 г., д – 2020 г., 1 – средняя общая длина тела, 2 – целевая общая длина тела, равная 12,1 см, 3 – 95% доверительный интервал целевой общей длины

**Fig. 6.** Histograms of the distribution of the total body length of crayfish for the period 2016–2020. in the Volga-Caspian fishery subarea (Astrakhan region): а – 2016, б – 2017, в – 2018, г – 2019, д – 2020, 1 – average total body length, 2 – target total body length equal to 12.1 cm, 3 – 95% confidence interval of the target total length

**Таблица 1.** Значения индикаторов, результаты присвоения им соответствующего цвета, качественная оценка состояния запаса длиннопалого рака и рекомендации по его эксплуатации в Волго-Каспийском рыбохозяйственном подрайоне (Астраханская область)

**Table 1.** Indicator values, the results of assigning the appropriate color to them, a qualitative assessment of the state of the stock of crayfish and making a decision on its exploitation in the Volga-Caspian fishery subarea (Astrakhan region)

Индикаторы	Годы				
	2016	2017	2018	2019	2020
Средняя общая длина тела ( $M \pm m$ ) относительно целевой длины (12,1), см	11,3±0,4<12,1 к	10,9±0,3<12,1 к	11,3±0,2<12,1 к	10,8±0,2<12,1 к	11,3±0,4<12,1 к
Величина эксцесса и его значимость относительно порога $p=0,05$	-0,13 (>0,05) ж	-0,22 (>0,05) ж	-0,24 (>0,05) ж	0,60 (<0,05) к	-0,18 (>0,05) ж
Размах вариационного ряда текущего года и его разница от предыдущего (в скобках), см	10 (-1)* ж	9 (-1) ж	10,5 (1,5) з	13 (2,5) з	10 (-3) к
Значение критерия Фишера регрессионного анализа для показателя СРУЕ и его значимость относительно порога $p=0,30$	2,08* (>0,30) ж	13,08 (<0,30) к	27,0 (<0,12) к	0,04 (>0,30) ж	0,01 (>0,94) ж
Значение критерия Фишера регрессионного анализа для показателя «биомассы запаса» и его значимость относительно порога $p=0,30$	0,48* (>0,30) ж	116,47 (<0,30) к	5,01 (<0,30) к	0,19 (>0,30) ж	0,19 (>0,30) ж
<b>Рекомендация по эксплуатации запаса и его интегральная оценка</b>	оставить на прежнем уровне ж	снизить к	снизить к	оставить на прежнем уровне ж	оставить на прежнем уровне ж

Примечание: \* – оценка выполнена с привлечением данных за 2014 и 2015 гг., представленных сотрудниками лаборатории полупроходных рыб «КаспНИРХ»; цвета индикаторов и интегральной оценки запаса: з – зелёный, ж – жёлтый, к – красный



(табл. 2). Его сужение относительно предыдущего года отмечено в 2016, 2017 и 2020 гг. и, следовательно, в эти годы этому индикатору присвоен красный цвет. И, напротив, в 2018 и 2019 гг. размерный ряд был шире, чем в предыдущий год, в эти годы индикатор зелёного цвета.

В 2016–2020 гг. динамика индикатора CPUE имеет незначительный отрицательный тренд (рис. 7). Данный показатель за пять лет уменьшился с 0,081 до 0,070 кг/раколовку, при минимуме в 2018 г. – 0,069 кг/раколовку. В соответствии с принятыми правилами анализа динамики индикатора регрессионным методом в 2016, 2019 и 2020 гг. отсутствует значимое сокращение этого показателя, а в 2017 ( $F = 13,08$  и  $p < 0,30$ ) и 2018 ( $F = 27,0$  и  $p < 0,30$ ) гг. сокращение значений CPUE достоверно значимо (табл. 2).

Динамика биомассы запаса речного рака также как и улов на усилие имеет общий отрицательный тренд. Если в 2016 г. биомасса составила 141 т, то в 2017 г. она сократилась в 1,5 раза (рис. 8).

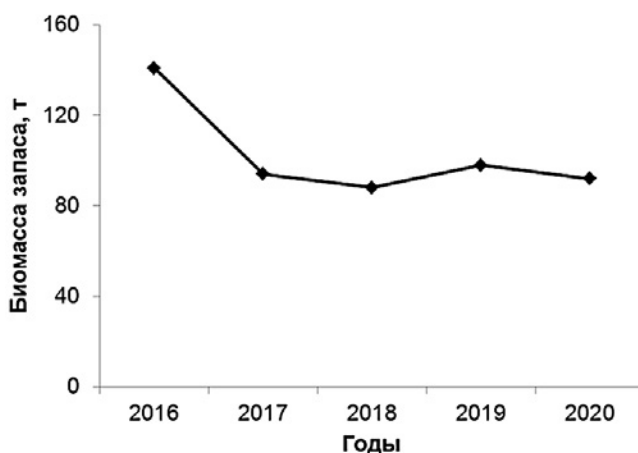


Рис. 8. Динамика биомассы запаса длиннопалого рака за период 2016–2020 гг. в Волго-Каспийском рыбохозяйственном подрайоне (Астраханская область)

Fig. 8. Dynamics of crayfish stock biomass for the period 2016–2020 in the Volga-Caspian fishery subarea (Astrakhan region)

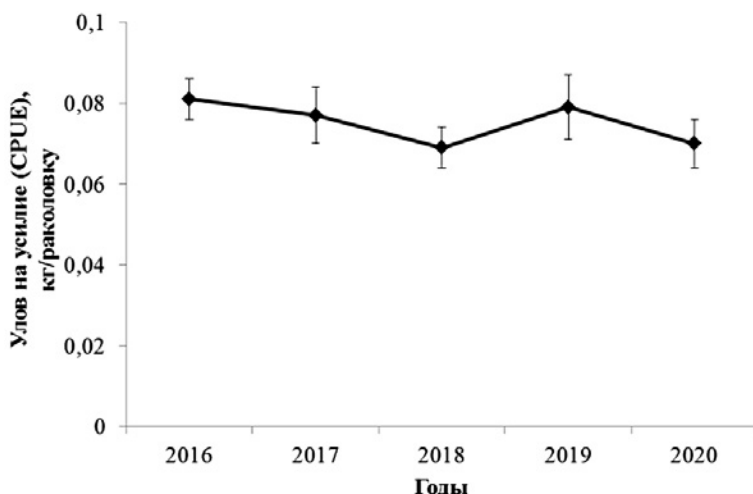


Рис. 7. Динамика показателя CPUE (кг/раколовку) длиннопалого рака в 2016–2020 гг. в Волго-Каспийском рыбохозяйственном подрайоне (Астраханская область)

Fig. 7. Dynamics of the indicator CPUE (kg/effort) of long-clawed crayfish for the period 2016–2020 in the Volga-Caspian fishery subdistrict (Astrakhan region)

Таблица 2. Оценённые величины ОДУ (т) длиннопалого рака в Волго-Каспийском рыбохозяйственном подрайоне (Астраханская область) методами, основанными на индикаторной интегрированной оценке и на оценке известной биомассы запаса и трёхзональном ПРП

Table 2. Estimated TAC values (t) for long-clawed crayfish in the Volga-Caspian fishery subarea (Astrakhan region) by methods based on indicator integrated assessment and assessment of known stock biomass and three-zone FRR

№	Метод расчёта ОДУ	Годы				
		2018	2019	2020	2021	2022
1	Интегрированная оценка состояния запаса и принятие решения об эксплуатации запаса по индикаторному методу	23,5	21,5	19,8	19,8	19,8
2	Расчёт на основе результатов прямого учёта промыслового запаса и трёхзональном ПРП при соответствующих целевых и граничных ориентирах управления	22,0	24,5	23,0	23,0	24,0

В последующие годы биомасса колебалась от 88 до 98 т. Регрессионный анализ статистически подтвердил сокращение биомассы речного рака в 2017 ( $F = 116,47$  и  $p < 0,30$ ) и 2018 ( $F = 5,01$  и  $p < 0,30$ ) гг. и отсутствие статистически значимого изменения в динамике 2016, 2019 и 2020 гг. (табл. 2).

### *Расчет объёма общего допустимого улова (ОДУ)*

Согласно принятым выше правилам интегрированной оценки запаса, для каждого года было оценено качественное состояние запаса и принято решение о его дальнейшей эксплуатации (табл. 2). На основе принятого решения по каждому году с двухгодичной заблаговременностью было рассчитан объём ОДУ речного рака на период 2018–2022 гг. (табл. 3). Расчёты показали, что с 2018 по 2020 гг. ОДУ снижается с 23,5 до 19,8 т, и в 2020–2022 гг. рекомендуется на уровне 19,8 т.

Для сравнения с полученными оценками ОДУ на основе индикаторного подхода использовались оценки ОДУ, ежегодно проводимые в рамках государственного задания обоснования ОДУ беспозвоночных животных во внутренних водах Астраханской области. Данный метод оценки ОДУ даёт более высокую величину допустимого улова относительно индикаторного метода с увеличением до 24,0 т в последний год (табл. 3). Разница в значениях ОДУ, полученная трёхзональным ПРП (2-й вариант метода расчёта ОДУ), объясняется тем, что величина ОДУ в этом методе оценки зависит только от значения биомассы соответствующего рассчитываемого года, в то время как при интегрированной оценке на изменение допустимого улова влияет совокупность используемых индикаторов запаса.

Индикаторный подход предлагает несколько меньшую нагрузку на запас речного рака в отличие от ежегодно выполняемых расчётов ОДУ, основанных на величине биомассы запаса и трёхзонального ПРП. При том, что освоение ОДУ в 2016–2020 гг. не превышало 67,4%. Величины ОДУ, основанные на биомассе и трёхзональном ПРП представлены более высокими значениями (в среднем на 12% больше) по сравнению с результатами, полученными индикаторным подходом (табл. 2).

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Данная работа представила вариант применения индикаторного подхода как один из методов качественной оценки запаса речного рака Астраханской области. Данный метод позволяет на основе доступных биологических параметров (данные по размерному ряду), относительного улова (CPUE) и значения

биомассы провести оценку качественного состояния запаса и на её основе вывести рекомендации о дальнейшей эксплуатации запаса. Использование прямого метода оценки запаса основывается только на величине биомассы запаса, что сужает представление о процессах, происходящих в запасах. В целом, индикаторный метод предлагает более предосторожный и рациональный подход в управлении промыслом речного рака. Его реализация на практике позволит более полно осваивать выделяемую промышленникам квоту.

Представленное исследование показало положительную сторону индикаторного подхода, состоящую в том, что в выведении итоговой оценки о запасах используются несколько индикаторов, цвета которых в итоге отражают три возможных состояния запаса: 1) тревожное или критическое, 2) неопределённое и 3) удовлетворительное. Процедура присвоения цвета к каждому индикатору и общей оценки в целом довольно прозрачна и понятна не только специалистам, но и широкому кругу людей, так или иначе связанных с использованием запасов речного рака в р. Волга и её водотоках.

### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Соблюдение этических норм**

Все применимые этические нормы соблюдены.

### **Финансирование**

Работа выполнена по личной инициативе, без дополнительного финансирования.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- Аксюткина З.М. 1968. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях. М.: Пищевая промышленность. 288 с.
- Бабаян В.К. 1998. О стратегии управления сильно флюктуирующими запасами рыб // Тез. докл. VII Всероссийской конф. по проблемам промыслового прогнозирования. Мурманск 7–9 октября 1998 г. Мурманск: ПИНРО. С. 37–38.
- Бабаян В.К. 2000. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ). М.: Изд-во ВНИРО. 192 с.
- Букин С.Д., Бегалова Г.В. 2011. Влияние промысла на некоторые биологические показатели травяной креветки *Pandalus latirostris* в зал. Измены (о. Кунашир) // Известия ТИНРО. Т. 165. С. 104–116.
- Буяновский А.И. 2012. Прогноз потенциального вылова прибрежных беспозвоночных при затруднении с оценкой запаса. Методические рекомендации. М.: Изд-во ВНИРО. 222 с.

- Буяновский А.И. 2019. Использование промысловой статистики для оценки динамики запаса краба-стригуна Бэрда // Вопросы рыболовства. Т. 20. № 4. С. 497–512.
- Буяновский А.И. 2020 а. Использование промысловой статистики для корректировки оценок запасов краба-стригуна опилио в морях России // Вопросы рыболовства. Т. 21. № 1. С. 106–124.
- Буяновский А.И. 2020 б. Динамика промысловых запасов синего краба в морях России с учётом данных промысловой статистики // Вопросы рыболовства. Т. 21. № 4. С. 423–439.
- Ивантер Э.В., Коросов А.В. 2011. Введение в количественную биологию. Петрозаводск: ПетрГУ. 302 с.
- Колмыков Е.В. 2001. Биологические основы регулирования численности речных раков (*Pontastacus*) дельты Волги. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Астрахань: АГТУ. 24 с.
- Колмыков Е.В., Ушивцев В.В. 1998. Флюктуация численности популяции раков в низовьях р. Волга // Тез. докл. VII Всероссийской конф. по проблемам промыслового прогнозирования. Мурманск 7–9 октября 1998 г. Мурманск: ПИНРО. С. 116–118.
- Румянцев В.Д. 1974. Речные раки Волго-Каспия. М.: Пищевая промышленность. 86 с.
- Ушивцев В.Б. 1997. Состояние запасов раков в Волго-Каспийском регионе // Проблемы сохранения, рационального использования и воспроизводства речных раков. М.: ТОО «Мединоп». С. 119–121.
- Щукина Г.Ф., Букин С.Д. 2001. О существовании скрытого периода в проявлении внешних признаков перелова // Тез. докл. межд. научно-практ. конф. «Прибрежное рыболовство – XXI век», Южно-Сахалинск, 19–21 сентября 2001 г., СахНИРО. Ю.-Сахалинск: Сахалинское книжное изд-во. С. 129–130.
- Abou El Ouafa A., Annala J., Bonzon A., Chesson J., Chong K.C., Christensen V., Dahl A., Garcia S.M., Harwood M., Huber D., Hundloe T., Lankester K., McGlade J., McManus J., O'Connor M., Perrings C., Prein M., Rayns N., Seijo J.C., Sissenwine M., Smith T., Soeftestad L. T., Staples D., Stokes K., Ward T., Willmann R. 1999. Indicators for sustainable development of marine capture fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. № .8. Rome, FAO. 68p.
- Caddy J.F. 1999. Deciding on precautionary management measures for a stock based on a suite of Limit Reference Points (LRPs) as a basis for a multi-LPR harvest law // NAFO Sci. Council Studies. V/ 32. P. 55–68.
- Caddy J.F., Wade E., Surette T., Hebert M., Moriyasu M. 2005. Using an empirical traffic light procedure for monitoring and forecasting in the Gulf of St. Lawrence fishery for the snow crab, *Chionoecetes opilio* // Fish. Res. V. 76. P. 123–145. DOI: 10.1016/j.fishres.2005.06.003
- Daan N., Christensen V., Cury Ph.M. (eds). 2005. Quantitative ecosystem indicators for fishery management. Proc. Symp. Paris, France 31 March–3 April 2004 // ICES J. Mar. Sci. V. 62. No. 3. 614 p.
- Halliday R.G., Fanning L.P., Mohn R.K. 2001. Use of the traffic light method in fishery management planning // CSAC Res. Doc. No. 108. 41 p.
- Harford W.J., Amoroso R., Bell R.J., Caillaux M., Cope J.M., Dougherty D., Dowling N.A., Hurd F., Lomonico S., Nowlis J., Ovando D., Parma A.M., Prince J.D. and Wilson J.R. 2021. Multi-indicator harvest strategies for data-limited fisheries: a practitioner guide to learning and design // *Frontiers in Marine Science*. 08 December. P. 1–16. DOI:10.3389/fmars.2021.757877.
- Koeller P., Savard L., Parsons D.G., Fu C. 2000. A precautionary approach to assessment and management of shrimp stocks in the northwest Atlantic // *J. Northwest Atlantic Fish. Sci.* V. 27. P. 235–246.
- Koeller P., Fuentes-Yaco C., Covey M., King M., Zisserson B. 2011. The Last Traffic Light on the Scotian Shelf: Shrimp 2009–2010 // *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. No. 2011/061*. 84 p.
- Miethe T., Dobby H., McLay A. 2016. The Use of Indicators for Shellfish Stocks and Fisheries: a Literature Review. *Scottish Marine and Freshwater Science*. V. 7. No. 16. 78 pp. DOI: 10.7489/1764-1.
- Mohn R.K., Parsons D.G., Savard L. 1992. Report of Canadian Atlantic fisheries scientific advisory committee special meeting, invertebrate and marine plants subcommittee, shrimp management alternatives, December 5–8, 1989. Ottawa, Canada // *Can. Techn. Rep. of Fish. and Aquat. Sci.* No 1884 (IV). P. 1–30.

## REFERENCES

- Kolmykov E.V., Ushivcev V.V.* 1998. Fluctuation of the population of crayfish in the lower reaches of the river. Volga // Abstr. of the VII All-Russian Conference on Problems of Fishery Forecasting. Murmansk October 7–9, 1998 Murmansk: PINRO. P. 116–118. (In Russ.).
- Rumyantsev V.D.* 1974. River crayfish of the Volga-Caspian. M.: Pishevaya promyshlennost. 86 p. (In Russ.).
- Ushivcev V.B.* 1997. The state of stocks of crayfish in the Volga-Caspian region // Problems of conservation, rational use and reproduction of crayfish. M.: Medinop LLP. P. 119–121. (In Russ.).
- Shchukina G.F., Bukin S.D.* 2001. On the existence of a latent period in the manifestation of external signs of overfishing // Abstracts of reports. international scientific-practical conf. «Coastal Fishing – XXI Century», Yuzhno-Sakhalinsk, September 19–21, 2001, SakhNIRO. Yu.-Sakhalinsk: Sakhalin book publishing house. P. 129–130. (In Russ.).
- Abou El Ouafa A., Annala J., Bonzon A., Chesson J., Chong K.C., Christensen V., Dahl A., Garcia S.M., Harwood M., Huber D., Hundloe T., Lankester K., McGlade J., McManus J., O'Connor M., Perrings C., Prein M., Rayns N., Seijo J.C., Sissenwine M., Smith T., Soeftestad L.T., Staples D., Stokes K., Ward T., Willmann R.* 1999. Indicators for sustainable development of marine capture fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. № 8. Rome, FAO. 68p.
- Caddy J.F.* 1999. Deciding on precautionary management measures for a stock based on a suite of Limit Reference Points (LRPs) as a basis for a multi-LPR harvest law // NAFO Sci. Council Studies. V/ 32. P. 55–68.
- Caddy J.F., Wade E., Surette T., Hebert M., Moriyasu M.* 2005. Using an empirical traffic light procedure for monitoring and forecasting in the Gulf of St. Lawrence fishery for the snow crab, *Chionoecetes opilio* // Fish. Res. V. 76. P. 123–145. DOI: 10.1016/j.fishres.2005.06.003
- Daan N., Christensen V., Cury Ph.M. (eds).* 2005. Quantitative ecosystem indicators for fishery management. Proc. Symp. Paris, France 31 March-3 April 2004 // ICES J. Mar. Sci. V. 62. No. 3. 614 p.
- Halliday R.G., Fanning L.P., Mohn R.K.* 2001. Use of the traffic light method in fishery management planning // CSAC Res. Doc. No. 108. 41 p.
- Harford W.J., Amoroso R., Bell R.J., Caillaux M., Cope J.M., Dougherty D., Dowling N.A., Hurd F., Lomonico S., Nowlis J., Ovando D., Parma A.M., Prince J.D. and Wilson J.R.* 2021. Multi-indicator harvest strategies for data-limited fisheries: a practitioner guide to learning and design // Frontiers in Marine Science. 08 December. P. 1–16. DOI:10.3389/fmars.2021.757877.
- Koeller P., Savard L., Parsons D.G., Fu C.* 2000. A precautionary approach to assessment and management of shrimp stocks in the northwest Atlantic // J. Northwest Atlantic Fish. Sci. V. 27. P. 235–246.
- Koeller P., Fuentes-Yaco C., Covey M., King M., Zisserson B.* 2011. The Last Traffic Light on the Scotian Shelf: Shrimp 2009–2010 // DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. No. 2011/061. 84 p.
- Miethe T., Dobby H., McLay A.* 2016. The Use of Indicators for Shellfish Stocks and Fisheries: a Literature Review. Scottish Marine and Freshwater Science. V. 7. No. 16. 78 pp. DOI: 10.7489/1764-1.
- Mohn R.K., Parsons D.G., Savard L.* 1992. Report of Canadian Atlantic fisheries scientific advisory committee special meeting, invertebrate and marine plants subcommittee, shrimp management alternatives, December 5–8, 1989. Ottawa, Canada // Can. Techn. Rep. of Fish. and Aquat. Sci. No 1884 (IV). P. 1–30.

*Поступила в редакцию 08.08.2022 г.  
Принята после рецензии 11.10.2022 г.*