

# ВЛИЯНИЕ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭКОСИСТЕМЫ

УДК 639.517: 591.526

А. В. Алехнович<sup>1</sup>, А. Гопинатхан<sup>2</sup>, А. П. Голубев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup> VIT Университет, г. Велуру, Республика Индия

<sup>3</sup> Международный государственный экологический институт имени А.Д.Сахарова  
Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь

## НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРЕДЕЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕГОЛЕТКОВ ДЛИННОПАЛОГО РАКА *ASTACUS LEPTODACTYLUS* В АКВАКУЛЬТУРЕ

Предложены методы определения максимальной плотности выращивания сеголеток *Astacus leptodactylus* ( $N_{max}$ ) в аквакультуре: (1) по соотношению между площадью поверхности, на которой производится их выращивание, и площадью, занимаемой одной особью; (2) по уравнениям зависимости удельной скорости роста особей ( $C_w$ , сутки<sup>-1</sup>) разных возрастных групп от плотности их посадки. Значения  $N_{max}$  снижаются по мере роста особей и для возрастов 30, 65 и 120 суток составляют соответственно 4167, 2222 и 617 экз.·м<sup>-2</sup>. Значения  $C_w$  для особей в возрасте 30 суток не зависят от плотности посадки в диапазоне 300–1500 экз.·м<sup>-2</sup>. Для старших возрастов отмечено линейное снижение  $C_w$  в градиенте плотности. Плотность, при которой  $C_w$  становится равной нулю, для возраста 65 суток составляет 4168 экз.·м<sup>-2</sup>, а для возраста 120 суток – 1356 экз.·м<sup>-2</sup>. Выявленные различия могут быть обусловлены воздействием специфических механизмов внутривидовой регуляции численности особей в условиях повышенной плотности культивирования.

➤ **Ключевые слова:** длиннопалый рак *Astacus leptodactylus*, удельная скорость роста, плотность посадки, емкость среды, аквакультура.

### Введение

В течение последних 150-ти лет из-за рачьей чумы и деятельности человека по изменению местообитаний речных раков их уловы в Европе повсеместно снизились на 95% [1]. Однако спрос на их продукцию остается высоким, что обуславливает рыночную привлекательность этого вида бизнеса. В таких условиях важнейшим способом удовлетворения возрастающего спроса на речных раков является увеличение их производства в аквакультуре [2]. Это, в свою очередь, требует значительного количества молоди речных раков в качестве посадочного материала.

Успешность подращивания молоди раков в аквакультуре определяется многими факторами: качеством водной среды (температура, рН, кислородный режим, чистота воды, фотопериод и пр.), качеством корма и режимом питания, контролем заболеваний, размерами и возрастом особей и плотностью их посадки. В настоящее время можно утверждать, что диапазоны оптимальных значений перечисленных выше абиотических факторов, а также режим питания определены с достаточной точностью [3–6]. К сожалению, этого нельзя сказать о плотности посадки при выращивании молоди, хотя этот факт в значительной степени определяет скорость роста особей и уровень их смертности. В условиях аквакультуры сеголетки речных раков обычно подращиваются от стадии личинки до возраста 120 суток. При этом плотность посадки, рекомендуемая разными авторами для сеголеток их европейских видов, варьирует от 30 до 2000 особей·м<sup>-2</sup> [2; 7–9] и даже до 5000 особей·м<sup>-2</sup> [10]. Однако большинство подобных рекомендаций имеет достаточно субъективный характер и не имеет серьезного научного обоснования.

Речные раки – бентосные организмы, поэтому их молодь способна перемещаться только в двухмерном пространстве. Отсюда на ограниченной площади может разместиться лишь некоторое конечное число их особей соответствующих размеров. Очевидно, в процессе роста молоди это число

будет постоянно снижаться. Однако неясными остаются вопросы, до каких пределов возрастания плотности будет продолжаться снижение скорости роста, существует ли верхний предел плотности, при котором особи перестают расти? Иными словами, какой может быть предельная емкость единицы площади, необходимой для молоди раков, и возможно ли ее установить?

В соответствующей литературе прямых ответов эти вопросы не обнаружено. В этой связи нами на основе анализа доступных нам литературных источников предлагаются новые методы определения предельной плотности выращивания сеголеток длиннопалого рака *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823) в аквакультуре. Первый метод основан на оценке сопряженных изменений площади, занимаемой растущей особью, и соотношения между ней и общей площадью, на которой производится выращивание. Второй метод предполагает анализ изменений удельной скорости роста разновозрастных особей в градиенте плотности посадки.

### Материал и методы исследования

**Определение площади, занимаемой речными раками.** Представляется, что верхний предел плотности посадки, при которой молодь речных раков теряет способность расти, можно определить, исходя из площади поверхности, занимаемой одной особью ( $S$ ). Молодь *A. leptodactylus* имеет выступающие по бокам головогруды 4 пары ходильных ног и направленные вперед клешни (рис. 1а). Поэтому форма площади поверхности, занимаемой одной особью, близка к форме эллипса (рис. 1б). Его большая ось (АВ) соответствует максимальной длине особи ( $M_L$ ), или расстоянию от кончика клешней и до конца тельсона. Малая ось (СD) – соответствует наибольшей ширине особи ( $M_W$ ), т. е. размаху четвертой (задней) пары ходильных ног (рис. 1б). Отсюда площадь, занимаемую одной особью *A. leptodactylus*, можно определить согласно:

$$S = (\pi / 4) \times (M_w \times M_L) \quad (1)$$

Нами определены значения  $M_L$  и  $M_W$  в выборках сеголетков *A. leptodactylus* в возрасте 30 суток (период раннего развития, соответствующий первым 1–2 межличинным периодам у новорожденных личинок), 65 суток (молодь, полностью прошедшая метаморфоз) и 120 суток (продолжительность сезона вегетации для сеголетков в водоемах умеренной зоны).

**Расчеты удельной скорости роста особей** проведены на основе анализа доступных нам литературных данных по весовому или линейному росту сеголетков *A. leptodactylus* от плотности посадки в условиях эксперимента. Анализировались данные только по выращиванию сеголетков *A. leptodactylus* в лабораторных аквариумах и приравненным к ним емкостям [7; 9; 11–14].

Для сравнения брались раки одинакового возраста, которые выращивались в близких температурных условиях. Предполагалось, что в этих исследованиях большинство факторов среды имело вполне сопоставимые характеристики и были близкими к оптимальным для молоди *A. leptodactylus*; особи были обеспечены в нужном количестве качественной пищей, а рециркуляция воды через биофильтры или ее периодическая смена обеспечивали приемлемое качество среды.

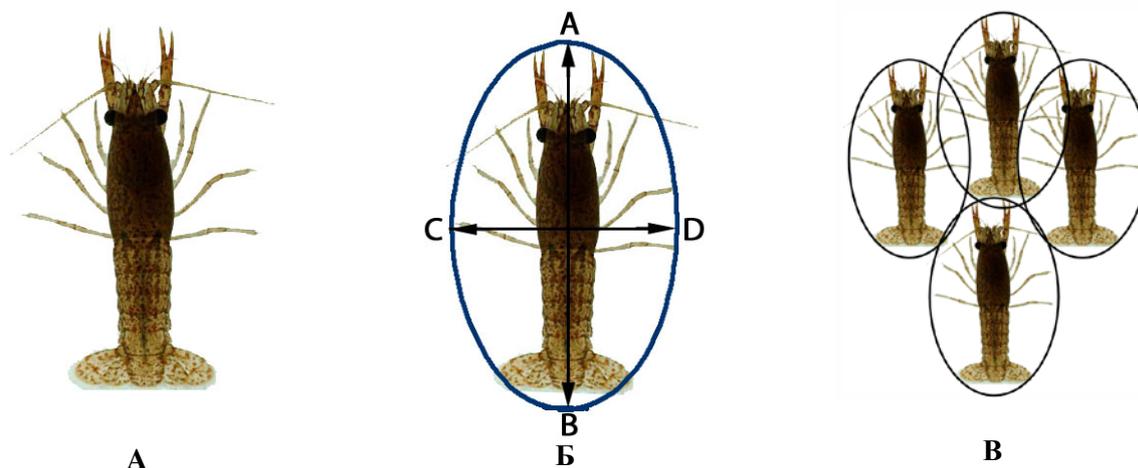


Рисунок 1 – А – внешний вид сеголетки *Astacus leptodactylus* в возрасте 1,5 месяца; Б – форма тела *A. leptodactylus*, вписанная в овал; Б' – Расположение молоди *A. leptodactylus* на плоскости по принципу «пчелиных сот». Объяснения в тексте

Значения удельной скорости роста массы особей ( $C_w$ , сутки<sup>-1</sup>) рассчитывали общепринятым способом [15]:

$$C_w = (\ln W_t - \ln W_o) / (t - t_o), \quad (2)$$

где  $W_t$  – средняя масса особей (мг) в возрасте  $t$  (сутки),  $W_0$  – средняя масса новорожденных личинок (мг), для которых  $t_0 = 0$ . При расчетах  $C_w$  средняя масса новорожденных личинок бралась из анализируемых литературных источников.

Если таких данных не было, значение  $W_0$  принималась равным 32 мг. Если в соответствующих публикациях приведены данные только по линейному росту сеголетков, расчеты  $C_w$  проводили следующим образом. Значения  $C_w$  находится в простом соотношении с удельной скоростью их линейного роста ( $C_L$ ), которая рассчитывается аналогично (2):

$$C_w = b \times C_L, \quad (3)$$

где  $b$  – показатель степени в уравнении зависимости массы тела особи от ее длины:

$$L = a \times W^b \quad (4)$$

В уравнениях (4) для большого числа видов водных беспозвоночных чаще всего значение  $b$  обычно находится в пределах 2,5–3,5 [15]. Однако поскольку в большинстве использованных нами работ уравнение (4) для молоди *A. leptodactylus* не приводится, для расчетов (3) принимали, что  $b = 3,0$ .

В использованных нами работах, как правило, указывается начальная и конечная плотность посадки молоди и изменения массы (или размеров) особей в течение времени наблюдений. Поэтому для дальнейшего анализа использовали среднюю плотность посадки ( $N$ ), которая определялась как средняя арифметическая между численностью особей в начале и периода наблюдений с учетом смертности особей. Все расчеты проведены с применением программного пакета «STATISTICA 8.0».

### Результаты исследования

В наших предыдущих исследованиях с выборками сеголетков *A. leptodactylus* из водоемов Беларуси установлено, что в среднем  $M_w = 0,75 \cdot M_L$ . По этим данным нами рассчитаны согласно (1) значения площади, занимаемой одной особью ( $S$ ) для особей в возрасте 30, 65 и 120 суток (табл. 1). Далее по величинам  $S$  рассчитана максимально возможная плотность посадки ( $N_{max}$ ) у особей этих возрастных групп:

$$N_{max} = 1 \text{ м}^2/S \quad (5)$$

Очевидно, значения  $N_{max}$  в определенной степени можно рассматривать как показатель максимальной емкости среды при выращивании сеголетков *A. leptodactylus* в аквакультуре в отсутствие пищевого лимитирования и оптимальных условиях среды. В процессе роста сеголетков значения  $S$  быстро увеличиваются с возрастом, соответственно этому уменьшаются и значения  $N_{max}$  (см. табл. 1).

Данные по зависимости удельной скорости роста ( $C_w$ , сутки<sup>-1</sup>) сеголетков *A. leptodactylus* разных возрастных групп от плотности посадки ( $N$ , экз·м<sup>-2</sup>) представлены на рис. 2. Из него следует, что у сеголетков в возрасте 30 суток статистически значимая зависимость  $C_w$  от  $N$  отсутствует (рис. 2А). Коэффициент корреляции  $r$  для исследованного массива данных составляет  $-0,120$ . Это можно объяснить, что начальная плотность посадки новорожденных личинок *A. leptodactylus* в использованных нами работах не превышала 1500 экз·м<sup>-2</sup>, что значительно ниже  $N_{max}$  даже для возраста 30 суток.

Таблица 1

Линейные размеры особей, занимаемая ими площадь пространства ( $S$ ) и максимальная плотность посадки ( $N_{max}$ ) у сеголетков *Astacus leptodactylus* в разном возрасте

Возраст, сутки	$M_L$ , см	$M_w$ , см	$S$ , см <sup>2</sup> ; рассчитано по (1)	$N_{max}$ , экз·м <sup>-2</sup> , рассчитано по (5)	$N_{cr}$ экз·м <sup>-2</sup> , рассчитано по (6)
30	2,02	1,52	2,4	4167	—
65	2,77	2,08	4,5	2222	4168
120	5,04	3,78	15,0	667	1356

Для двух других возрастных групп (65 и 120 суток) установлено четное снижение  $C_w$  с увеличением плотности посадки (рис. 2Б). Выявленная зависимость вполне может быть описана уравнением линейной регрессии типа

$$C_w = a - b \times N, \quad (6)$$

где  $a$  – максимальное значение  $C_w$ , достигаемое при плотности посадки ( $N$ ), близкой к нулю;  $b$  – эмпирическая константа, характеризующая угол наклона линии регрессии к оси абсцисс.

В численной форме уравнение (6) для возраста 65 суток имеет вид:

$$C_w = 0,033342 - 0,000008 \times N, \quad (7)$$

Коэффициент корреляции ( $r$ ) между  $C_w$  и  $N$  для (7) равен  $-0,871$ , уровень значимости  $p$  для  $r$  составляет 0,024, что свидетельствует о статистической значимости выявленной зависимости.

Для возраста 120 суток, что приблизительно соответствует длительности вегетационного периода роста для сеголетков, аналогичное уравнение имеет вид:

$$C_w = 0,035264 - 0,000026 \cdot N, \quad (8)$$

$$r = -0,999, \quad p = 0,017$$

В целом, удельная скорость роста сеголетков в возрасте 65 и 120 суток снижается прямо пропорционально плотности их посадки. При этом у старших особей снижение  $C_w$  с плотности выражено сильнее, чем у более молодых (рис. 2Б).

Уравнение (6) позволяет определить теоретическую плотность посадки ( $N_{cr}$ ), при которой рост особей прекращается, т. е., когда значение  $C_w$  становится равным нулю. Поскольку  $N_{cr} = a/b$ , для возраста 65 суток  $N_{cr} = 0,033342/0,000008 = 4168 \text{ экз.}\cdot\text{м}^{-2}$ , а для возраста 120 суток  $N_{cr} = 0,035264/0,000026 = 1356 \text{ экз.}\cdot\text{м}^{-2}$ .

Полученные значения  $N_{cr}$  для указанных возрастов приблизительно в 2 раза превышают значения  $N_{max}$ , рассчитанные по площади, занимаемой одной особью (табл. 1). Одной из причин подобных расхождений, возможно, является, определенное завышение площади, занимаемой одной особью. Теоретически возможное расположение особей на плоскости по принципу «пчелиных сот» увеличивает их число на единице площади (рис. 1В).

Второй возможной причиной является отсутствие данных по временной динамике смертности в период экспериментов в использованных нами работах. В наших расчетах плотность сеголетков в период роста принималась равной средней арифметической для значений плотности в начале и конце периода наблюдений. Это предполагает прямолинейное снижение численности особей с их возрастом, что, строго говоря, не соответствует действительности. Смертность сеголетков речных раков обычно максимальна в начальном периоде их роста, обычно не превышающем первого месяца жизни (первые 1–2 межлиночных периода). В старших возрастах их выживаемость снижается незначительно [16]. Поэтому расчет средней плотности особей за период выращивания только по ее значениям в начале и конце периода роста может привести к существенному ее завышению для старших возрастов.

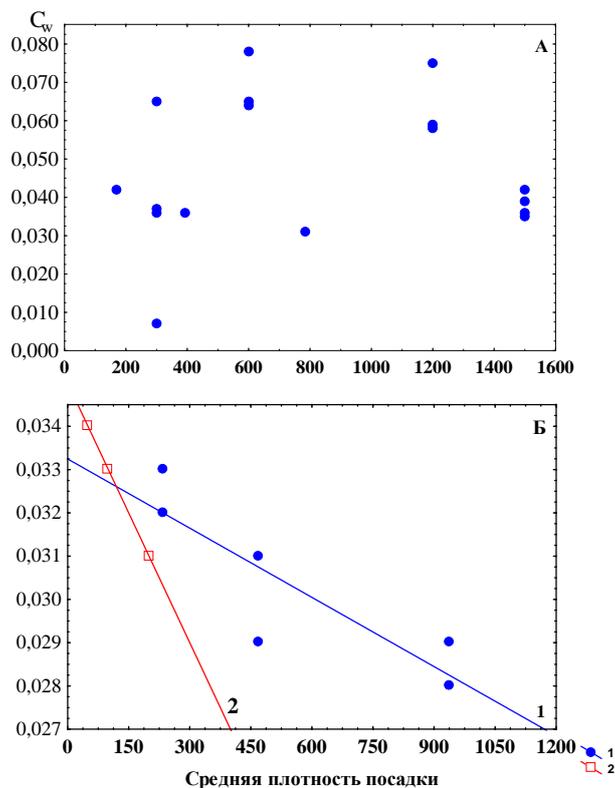


Рисунок 2 – Зависимость удельной скорости роста ( $C_w$ , сутки<sup>-1</sup>) у сеголетков *Astacus leptodactylus* при разной плотности посадки (особи·м<sup>-2</sup>): А – возраст 30 суток; по [7; 11; 12]; Б – возраста 65 суток (1) и 120 суток (2); по [9, 14]. Прямая 1 – линия регрессии уравнения (7); прямая 2 – линия регрессии уравнения (8)

## Обсуждение результатов

Рассчитанные обоими методами максимальные значения плотности посадки сеголеток *A. leptodactylus* в возрасте 65 и 120 суток в условиях аквакультуры показали достаточно высокую сходимость (табл. 1). Это дает основания утверждать, что емкость среды при культивировании сеголетков будет постоянно снижаться по мере их роста, и к возрасту 120 суток не будет превышать 600–1200 особей·м<sup>-2</sup>. Отрицательная зависимость между плотностью посадки сеголетков в старших возрастах и удельной скоростью их роста в указанных возрастах (рис. 2Б) обусловлена быстрым исчерпанием емкости среды по мере роста особей. Это дает возможность, исходя из конкретной задачи аквакультуры, альтернативы получения в конце периода выращивания с единицы площади большего количества мелких особей или меньшего числа более крупных особей.

Для особей в возрасте 30 суток подобной зависимости не установлено, поскольку даже при достаточно высокой плотности (до 1600 экз·м<sup>-2</sup>) емкость среды для данной возрастной группы далека от исчерпания (см. табл.). Характерно, что в других экспериментах у сеголеток *A. leptodactylus* к возрасту 30–32 суток при низкой плотности (15–60 особей·м<sup>-2</sup>) отмечены высокая выживаемость и достаточно независимый от плотности весовой рост [17]. Очевидно, скорость роста сеголеток этого вида при минимальной плотности посадки определяется иными факторами – температурой, режимом питания и пр.

Однако выращивание молоди раков при плотностях, близких к предельным, неизбежно приведет к включению в их группах определенных механизмов саморегуляции численности, направленных на достижение оптимальной плотности посадки, или, хотя бы на приближение к ней. Поскольку пространственные ресурсы в условиях аквакультуры всегда ограничены, эти механизмы действуют по принципу отрицательной обратной связи.

В условиях повышенной плотности посадки рост особей приводит к постепенному исчерпанию ресурсов жизненного пространства для них, что является мощным лимитирующим фактором. Поэтому в условиях постоянной плотности при достижении особями определенных размеров их рост может вообще прекратиться. Этот теоретический вывод подтвержден в экспериментах по так называемому «батареинному культивированию («battery culture»)» молоди речных поодиночке в отдельных ячейках [18]. Этот метод позволяет устранить целый ряд негативных эффектов повышения плотности, в т.ч. интенсификации внутривидовой конкуренции, постличничного каннибализма и пр. Однако постоянное повышение площади ячеек по мере роста особей с экономической точки зрения не всегда является целесообразным. Поэтому в большинстве случаев рост выращивание молоди раков в аквакультуре производится групповым способом, что требует учета эффекта плотности на рост и выживаемость особей.

В аквакультуре речных раков плотность посадки представляет комплексный фактор, влияние которого на рост особей реализуется как непосредственно, так и опосредованно, через возрастную динамику выживаемости. Непосредственное воздействие может сказываться через ухудшение качества воды, вследствие накопления в ней метаболитов, остатков пищи и пр., дефицит пищевых и пространственных (убежища и т. п.) ресурсов, интенсификацию внутривидовой конкуренции и постличничного каннибализма [19]. Могут иметь место и другие факторы: изменение социальной структуры популяции, особенности поведения, химические и визуальные сигналы [20].

Многочисленными исследованиями на гидробионтах из разных таксонов (креветки, моллюски, рыбы, личинки амфибий) показано, что с увеличением плотности посадки отмечается снижение роста особей, а, следовательно, и их средних размеров, повышение их смертность и размерной дифференциации [21–24].

У сеголетков *A. leptodactylus*, выращенных в аквакультуре при начальной плотности 2000 экз·м<sup>-2</sup>, в возрасте 3 месяца четко выделяются две размерные группы [25]. Первую немногочисленную группу (до 3% от общей численности) составляли самые крупные особи («лидеры») с длиной тела 30–36 мм. Вторая группа (приблизительно 97% общей численности) включала гораздо более мелких особей («аутсайдеры») размером 17–30 мм. Это является типичным примером формирования социальной структуры в группах особей с доминированием лидеров над остальными особями. Считается, что торможение роста аутсайдеров вызвано специфическим воздействием на них метаболитов лидеров, накапливающихся в ограниченном объеме воды [21]. Лидеры выходят из-под пресса внутривидовой конкуренции с аутсайдерами за пищевые и пространственные ресурсы, что в перспективе может обеспечить этой небольшой группе более быстрый рост в условиях повышенной плотности.

Речные раки принципиально отличаются от таких объектов аквакультуры, как моллюски или нехищные рыбы, наличием разных форм агрессивного поведения и каннибализма [26], которые относятся к важнейшим факторам регуляции численности раков в ограниченном объеме пространства. В наибольшей степени от каннибализма страдают наиболее уязвимые перелинявшие особи. В первое

лето жизни молодь *A. leptodactylus* линяет не менее 5–6 раз. Линьки у молодежи происходят асинхронно, поэтому обильные особи являются потенциальными объектами нападения для более многочисленных особей, находящихся на стадии межлиньки.

Постлиночный каннибализм может привести к снижению численности молодежи раков в замкнутых емкостях, где происходит их культивирование, до единичных экземпляров. Однако линьки у раков чаще всего происходят днем. Поэтому наличие достаточного числа подходящих убежищ, в которых раки, как сумеречные животные скрываются в дневное время, достаточное количество корма и правильно подобранный режим освещения позволяют существенно снизить постлиночный каннибализм [17].

Другим важным условием успешного культивирования раков является учет их поведенческих особенностей. Увеличение плотности посадки раков приводит к интенсификации внутривидовой конкуренции, что выражается, в частности, в увеличении числа столкновений между собой и роста агрессивного поведения. Это может снижать скорость роста раков из-за возрастающих затрат энергии на активный обмен [20]. В группах молодежи *A. leptodactylus*, выращиваемых в аквариумах, продолжительность и интенсивность антагонистических стычек вначале увеличивалось, затем снижалось по мере роста особей и становления иерархической структуры [5]. При этом раки меняют стратегию борьбы с другими особями, когда социальные обстоятельства меняются. Увеличение размеров группы снижает количество драк на 50% и их продолжительность на 80% [27].

Агрессивное поведение также приводит к снижению потребления пищи, поскольку раки больше времени проводят в борьбе друг с другом. При увеличении гетерогенности среды обитания (рост числа потенциальных убежищ и укрытий), скорость потребления пищи (если она в достатке) возрастает, поскольку снижение внутривидовой конкуренции приводит к увеличению времени на поиски и потребление пищи [4]. В экспериментах с красным болотным раком *Procambarus clarkii* показано, что если с увеличением плотности пропорционально увеличивать количество убежищ, то можно снизить негативное влияние плотности на скорость роста особей посредством смещения активного агрессивного поведения особей в сторону пассивного [3]. Однако в исследованиях на менее агрессивном австралийском раке *Cherax quadricarinatus* не установлено статистически значимой зависимости между плотностью особей и их выживаемостью. Можно предположить, что снижение энергетических затрат на взаимодействие между особями может привести к увеличению скорости их роста. При этом удельная скорость роста *C. quadricarinatus*, как и *A. leptodactylus*, снижалась с увеличением плотности посадки [28].

Авторы выражают искреннюю признательность рецензенту канд. биол. наук Т. П. Сергеевой за конструктивную критику, ценные советы и замечания, которые способствовали значительному улучшению данной статьи.

### Выводы

Предпринимаемые в последние годы попытки найти ключевые факторы, регулирующие скорость роста молодежи речных раков в условиях аквакультуры, не дали однозначного результата. Очевидно, она определяется сложным взаимодействием между плотностью посадки, пищевой обеспеченностью, гетерогенностью среды, интенсивностью внутривидовой конкуренции, особенностями биологии и поведения особей и др., относительное влияние которых на их скорость роста и выживаемость может быть неодинаковым у разных видов. Это предполагает дальнейшие исследования в указанных направлениях с применением специальных схем экспериментального дизайна и адекватных методов многофакторного статистического анализа.

Тем не менее, можно считать установленным снижение удельной скорости роста сеголетков речных раков, по меньшей мере, старших возрастных групп, в градиенте плотности. Также, на примере *A. leptodactylus* разработаны подходы к определению максимальной плотности выращивания сеголетков в аквакультуре, которые вполне возможно использовать и для других видов речных раков. Это, в свою очередь, создает основу для дальнейшей разработки оптимальной стратегии их культивирования, позволяющей в значительной степени нивелировать отрицательные последствия разных факторов (каннибализм, внутривидовая конкуренция) на рост особей с целью получения максимального выхода сеголетков желательных размеров и массы.

Работа выполнена в рамках международного проекта «Эколого-биохимические подходы в регуляции роста и размножения у жаброногих и десятиногих раков в аспекте их потенциального использования в аквакультуре» (№Б15-Инд-007; 2015–2016 гг.), выполняемого Международным государственным экологическим университетом имени А.Д. Сахарова (г. Минск, Беларусь) и ВИТ Универ-

ситетом (г. Велуру, Индия). Проект финансируется Государственным комитетом по науке и технологиям Республики Беларусь и Министерством науки и технологий Республики Индия.

### Список литературы

1. Skurdal, J. Management strategies, yield and population development of the noble crayfish *Astacus astacus* in Lake Steinsfjorden / Skurdal, J., Garnas, E., Taugbøl, T. // Bull. Fr. Peche Piscic. – 2002. – Vol. 367. – P. 845–860.
2. Ackefors, H. E. G. Freshwater crayfish technology in the 1990s: a European and global perspective / Ackefors, H.E.G. // Fish and Fisheries. – 2000. – Vol. 1. – P. 337–359.
3. Ramalho, R.O. Effects of density on growth and survival of juvenile red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard), reared under laboratory conditions / Ramalho, R.O., Correia, A.M., Anastacio, P.M // Aquacult. Res. – 2008. – Vol. 39. – P. 577–586.
4. Corkum, L. D. Habitat complexity reduces aggression and consumption in crayfish / Corkum, L.D., Cronin, D.J. // J. Ethol. – 2004. Vol. 22. – P. 23–27.
5. Goessmann, C. The formation and maintenance of crayfish hierarchies: behavioral and self-structuring properties / Goessmann, C., Hemelrijk, C., Huber, R. // Behav. Ecol. Sociobiol. – 2000. – Vol. 48. – P. 418–428.
6. Saez-Royuela, M. Effects of shelter type and food supply frequency on survival and growth of stage-2 juvenile white-clawed crayfish (*Austropotamobius pallipes* Lereboullet) under laboratory conditions / Saez-Royuela, M., Carral, J.M., Celeda, J.D., Perez, J.R. // Aquacult. Internat. – 2001. – Vol. 9. P. 489–497.
7. Ulikowski, D. A comparison of survival and growth in juvenile *Astacus leptodactylus* (Esch.) and *Pacifastacus leniusculus* (Dana) under controlled conditions / Ulikowski, D., Krzywosz, T., Smietana, P. // Bull. Fr. Peche Piscic. – 2006. Vol. 380–381. – P. 1245–1253.
8. Kozak, P. The effect of inter- and intra-specific competition on survival and growth rate of native juvenile noble crayfish *Astacus astacus* and alien spiny-cheek crayfish *Orconectes limosus* / Kozak, P., Buric, M., Policar, T., Namačkova, J., Lepičova, A. // Hydrobiologia. – 2007. – Vol. 590. – N 1. – P. 85–94.
9. Harlioğlu, M. M. A comparison of the growth and survival of two freshwater crayfish species, *Astacus leptodactylus* Eschscholtz and *Pacifastacus leniusculus* (Dana), under different temperature and density regimes / Harlioğlu, M.M. // Aquacult. Int. 2009. Vol.17. – N 1.– P. 31–43.
10. Черкашина, Н. Я. Сборник инструкций по культивированию раков и динамике их популяций / Черкашина, Н.Я. – Ростов-на-Дону: ФГУП «АзНИИРХ». – 2007. – 117с.
11. Ulikowski, D. Impact of food supply frequency and the number of shelters on the growth and survival of juvenile narrow-clawed crayfish (*Astacus leptodactylus* Esch.) / Ulikowski, D., Krzywosz, T. // Arch. Pol. Fish. – 2006. –Vol. 14. – Fasc.2. – P. 225–241.
12. Ulikowski, D. The impact of photoperiod and stocking density on the growth and survival of narrow-clawed crayfish (*Astacus leptodactylus* Esch.) larvae / Ulikowski, D., Krzywosz, T. // Arch. Pol. Fish. – 2004. Vol.12. – Fasc. 1. – P. 81–86.
13. Grozev, D. Influence of density on growth and survival of narrow-clawed crayfish when reared in aquaria up to the age of a month / Grozev, D., Zaikov, A // Agricult. Sci. – 2000. – N 1. – P. 40–46.
14. Mazlum, Y. Stocking density affects the growth, survival and cheliped injuries of third instars of narrow-clawed crayfish, *Astacus leptodactylus* Escholtz, 1823 juveniles / Mazlum, Y. // Crustaceana. – 2007. – Vol. 80. – P. 803–815.
15. Алимов, А. Ф. Введение в продукционную гидробиологию. / А. Ф. Алимов. – Л.: Гидрометеоздат. – 1989. – 151 с.
16. Кулеш, В. Ф. Выращивание молоди длиннопалого рака (*Astacus leptodactylus* Esch.) в прудах и садках с использованием сбросной подогретой воды теплоэлектростанции / В. Ф. Кулеш, А. В. Алехнович. // Гидробиол. журн. – 2010. – Том 46. – №1. – С. 47– 61.
17. Franke, R. Enhancement of survival and growth in crowded groups: the road towards an intensive production of the noble crayfish *Astacus astacus* L. in indoor recirculation systems / Franke, R., Wessels, S., Horstgen-Schwark, G // Aquacult. Res. – 2013. – Vol 44. – P. 451–461.
18. Barki, A. Growth of redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in a three-dimensional compartments system: Does a neighbor matter? / Barki, A., Karplus, I., Manor, R., Parnes, S., Aflalo, E. D., Sagi, A // Aquaculture. – 2006. Vol. 252. – P. 348–355.
19. Lowery, R. S. Growth, Moulting and Reproduction / Lowery, R.S. Freshwater Crayfish. Biology, Management and Exploitation / Holdich, D.M.& Lovery, R.S. eds. – London: Chapman and Hall. – 1988. – P. 309–340.

20. Barki, A. Size rank and growth potential in redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*): are stunted juveniles suitable for grow-out? / Barki, A., Karplus, I // *Aquacult. Res.* – 2004. – Vol. 35. – P. 559–567.
21. Шварц, С. С. Эффект группы в популяциях животных и химическая экология / С. С. Шварц, О. А. Пястолова, Л. А. Добринская, Г. Г. Рункова. – М.: Наука. – 1976. – 152 с.
22. Бигон, М. Экология. Особи, популяции и сообщества / Бигон, М., Харпер, Дж., Таунсенд, К. М.: Мир. – 1989. – Том 1. – 667 с.
23. Golubev, A. P. Effect of the carrying capacity of environment on intraspecific competition in the mollusk *Physella integra* (Gastropoda, Pulmonata) / Golubev, A.P // *Doklady Biological Sciences*. 1999. Vol. 369. – P. 552–554.
24. Huner, J. V. The relationship between pond size and crayfish (*Procambarus spp.*) production / Huner, J.V. // *Freshwater Crayfish*. – 1999. – Vol. 12. – P. 573–583.
25. Голубев, А. П. Опыт получения и подращивания личинок узкопалого рака *Astacus leptodactylus* в замкнутой рециркуляционной системе / А. П. Голубев, А. В. Алехнович, А. М. Бакулин. // Сахаровские чтения 2015 года: экологические проблемы XXI века. – Минск. – 2015. – с. 169 – 170.
26. Taugbøl, T. Growth, mortality and molting rate of noble crayfish, *Astacus astacus* L., juvenile in aquaculture experiments / Taugbøl, T., Skurdal, J // *Aquacult. Fisher. Manag.* – 1992. – Vol. 23. – P. 411–420.
27. Patullo, B. W. Altered aggression in different size groups of crayfish support a dynamic social behavior model / Patullo, B. W., Baird, H. P., Macmillan, D. L. // *Appl. Anim. Behav. Sci.* – 2009. – Vol. 120. – P. 231–237.
28. Jones, C. M. Assessment of stocking size and density in the production of redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens) (Decapoda: Parastacidae), cultured under earthen pond conditions / Jones, C. M., Ruscoe, I. M. // *Aquaculture*. – 2000. – Vol. 189. – P. 63–71.

**A. V. Alekhovich, A. Gopinthan, A. P. Golubev**

**SOME METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE DEFINITION OF THE LIMITING DENSITY OF THE CULTIVATION OF LONG-CLAYED CRAYFISH *ASTACUS LEPTODACTYLUS* UNDER YEARLINGS IN AQUACULTURE**

*Methods for the definition of the maximum density of *Astacus leptodactylus* underyearling cultivation ( $N_{max}$ ) in aquaculture have been proposed on the basis of literary data analysis: (1) on a ratio between the area on which they are being grown, and the area occupied by one individual; (2) on the equations of the planting density dependence of the specific growth rate of different aged individuals ( $C_w$ ). The  $N_{max}$  values decrease with the growth of individuals and are respectively 4167, 2222 and 617 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup> for the ages of 30, 65 and 120 days. The values of  $C_w$  for individuals at the age of 30 days do not depend on planting density in the range of 300–1500 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup>. The linear decrease of  $C_w$  is observed in density gradient for older ages. The density at which  $C_w$  becomes equal to zero is 4168 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup> for the age of 65 days and 1356 ind. $\cdot$ m<sup>-2</sup> for the age of 120 days. The revealed differences may be caused by the influence of the specific mechanisms of an intrapopulation regulation in the conditions of high densities of juveniles at rearing in aquaculture.*