

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ ГИДРОБИОНТОВ

УДК 591.1:595.384.2
EDN ANLCOE

DOI: 10.36038/0234-2774-2025-26-2-127-138

ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ И ЛИНОЧНОЕ СОСТОЯНИЕ *PARALITHODES CAMTSCHATICUS* (DECAPODA: LITHODIDAE) В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

© 2025 г. Д.В. Артеменков¹ (spin: 6280-2570),
Н.Ю. Терпугова¹ (spin: 5485-9250), О.В. Саная² (spin: 6751-9990),
Н.Н. Лукин³ (spin: 4229-7962), Д.Ю. Блинова³ (spin: 1796-4771),
Т.А. Карасева³ (spin: 9525-3110), Д.О. Сологуб¹ (spin: 3793-3311),
А.А. Пантелеев² (spin: 4503-7105), А.А. Бессонов³ (spin: 8851-2997),
Ю.Е. Жак³

1 – ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Россия, Москва, 105187

2 – Российский государственный аграрный университет – Московская
сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, Россия, Москва, 127422

3 – Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»
(«ПИНРО» им. Н.М. Книповича), Россия, Мурманск, 183038

E-mail: dmitriy.artemenkov@gmail.com

Поступила в редакцию 28.03.2025 г.

Исследование направлено на оценку физиологического состояния камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) баренцевоморской популяции в межлиночный период через анализ биохимических показателей гемолимфы. Актуальность работы обусловлена необходимостью мониторинга популяций в условиях климатических изменений, биоинвазий и роста промысловой нагрузки. В ходе полевых работ в Баренцевом море (июль-август 2022 г.) у самцов на разных межлиночных стадиях отбирали гемолимфу, анализируя общий белок, ферменты (АСТ, АЛТ, щелочная фосфатаза), глюкозу, липиды и другие параметры с использованием биохимического анализатора. Результаты выявили значимые различия: на второй межлиночной стадии зафиксирован пик активности АСТ ($9,59 \pm 1,49$ ед/л) и общего белка ($14,68 \pm 1,01$ г/л), что связано с интенсивным ростом тканей после линьки. Уровень глюкозы и триглицеридов также оказался выше на ранних стадиях, отражая повышенные энергозатраты. При этом общий белок у баренцевоморских крабов ($13,36 \pm 0,71$ г/л) оказался ниже литературных норм (25–38 г/л), что может указывать на стресс, вызванный пищевой конкуренцией или климатическими изменениями. Снижение холестерина и триглицеридов к третьей стадии свидетельствует о завершении восстановительных процессов. Работа подчеркивает влияние линьки на метаболизм и необходимость учёта возрастной специфики при оценке здоровья популяций. Полученные данные формируют основу для создания базы биохимических показателей, важной для прогнозирования устойчивости вида к антропогенным и природным стрессорам.

Ключевые слова: камчатский краб, Баренцево море, биохимия, гемолимфа.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение промысловых видов ракообразных с целью оценки биологического состояния их популяций имеет большое значение для рыболово-рыбопромышленной отрасли. Один из наиболее распространённых и информативных

методов оценки физиологического состояния ракообразных – это анализ биохимических показателей их гемолимфы. Ранее были проведены экспериментальные работы по оценке влияния промысловых операций на жизнеспособность различных видов крабов, которые

показали, что взятие небольшого количества гемолимфы у гидробионтов не оказывает воздействия на их общее состояние (Моисеев, Моисеева, 2006; Моисеева, Моисеев, 2008; Александрова, Ковачева, 2010; Моисеев и др., 2011; Stoner, 2012; Moiseev et al., 2013).

В морской среде существует серьёзная проблема биоинвазий, вызванных переносом морскими судами чужеродных организмов, включая патогенные, которые могут выживать в балластных водах. В процессе онтогенеза камчатского краба иногда появляются эпизоотии, различного происхождения (нативного или инвазивного), сопровождающиеся высокой смертностью в популяциях ракообразных и указывающие на необходимость постоянного контроля за состоянием популяций (Meyers et. al., 1987; Odintsova et. al., 2015), кроме того, имеется причина потепления климата (Szuwalski et al., 2023). Так, при повышении температуры воды энергетические потребности крабов возрастают. Возникновение тепловых волн может оказывать влияние на метаболизм ракообразных, так, например, увеличение температуры воды на 3°C увеличивает потребности крабов-стригунов в калориях в два раза. Поэтому крабам требовалось вдвое больше пищи для поддержания жизнедеятельности, которой не оказалось. В результате сильно возрастила конкуренция за пищу, что повлекло и значительный рост смертности крабов, общая численность упала на 84%. Также, крайне высока элиминация крабов после завершения линьки – на стадиях 1–2 и 3-я ранняя, в трактовке В.Н. Лысенко (2001), которые незначительно адаптированы (Соколов, 2003). На примере синего краба *Paralithodes platypus* (Brandt, 1850), было показано, что на ранних постлиночных стадиях при подъёме на борт и при осторожном их возврате в естественную среду – смертность крабов может достигать более 30% (Моисеев, Моисеева, 2014).

В последние 20–25 лет в морской экологии активно применяются биохимические

и гематологические методы диагностики. Они позволяют установить уровень стресса у исследуемых организмов, оценивая содержание биохимических показателей в гемолимфе ракообразных. На организм могут влиять различные факторы окружающей среды, такие как воздействие воздуха, изменение температуры и солёности, а также стресс, связанный с хэндлингом, передержкой и транспортировкой (Fotedar et al., 2001, 2006; Lorenzon et al., 2008; Fotedar, Evans, 2011; Загорский, 2013; Моисеев, Моисеева, 2014; 2017; Моисеев и др., 2011; Moiseev et al., 2013). Исследования касались промысловых видов ракообразных: крабоидов, настоящих крабов, лангустов, омаров и речных раков. В аквариальных условиях Н.П. Ковачевой с соавторами (2022) изучались биохимические и физиологические исследования, а для определения иммунного статуса особей камчатского краба анализировали скорость свёртывания гемолимфы, общее количество гемоцитов в ней и гемоцитарную формулу, в том числе долю гранулоцитов (Александрова, Ковачева, 2010, Артеменков и др., 2024; Саная и др., 2024).

У многих видов ракообразных инфекционные заболевания, а также бактериальные поражения внешних хитиновых покровов после сезонной линьки могут быть вызваны низким качеством воды, недостатком пищи и загрязнением окружающей среды. Обнаружено, что у крабов-стригунов Бэрда *Chionoecetes bairdi* наблюдается уменьшение содержания гемоцианина и гликогена (Love et. al., 1996). Степень тяжести инфекционного заболевания *Cancer pagurus* коррелирует с понижением уровня общего белка и повышением концентрации меди в сыворотке их гемолимфы (Vogan, Rowley, 2002).

Поскольку данные по физиологическому состоянию, в частности биохимической характеристике гемолимфы *P. camtschaticus* из нативного ареала обитания в Баренцевом море фактически отсутствуют, целью данной работы является оценка физиологического

состояния камчатского краба баренцевоморской популяции в межлиночный период на основе использования биохимических показателей гемолимфы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Сбор материала для изучения биохимических показателей гемолимфы камчатского краба проходил в Баренцевом море с июля по август 2022 г. в ходе донной траховой съёмки на НИС «Профессор Бойко» на глубинах от 69 до 133 м в координатах от 68°49' до 70°26' с.ш. и от 39°56' до 45°58' в.д. Выборка крабов произведена в шести трахениях (донный трах чертёж 22 М, горизонтальное раскрытие 14 м, грунтроп типа «Rockhopper» длиной 12 м, диаметр дисков – 400 мм, кутцевая часть траха с мелкочечной вставкой с ячей 45 мм). Скорость трахения составила в среднем 2,5 узла с продолжительностью 15 мин.

У свежевыловленных крабов осуществляли взятие проб гемолимфы из сердца. Сразу после получения сыворотки гемолимфы, проба замораживалась при температуре -18°C для дальнейшего исследования в лаборатории. У исследованных девяти самцов не было повреждений карапакса и конечностей и признаков болезней, визуально отобранные особи были здоровыми. Самцы на 2-ой межлиночной стадии составили ширины карапакса (ШК или CW) 123–139 мм и массой 1070–1530 г (средние значения – 130,0 мм и 1313,3 г), 3-ей ранней – CW 157–164 (162,7) мм и массой 2310–2440 (2365,0) г, 3-ей – CW 165–185 (177,3) мм и массой 2530–3930 (3413,3) г. Исследования популяций промысловых видов крабов и других промысловых беспозвоночных проводились согласно стандартным методикам (Родин и др., 1979; Лысенко, 2001; Михайлов и др., 2003; Пинчуков, Беренбойм, 2003; Павлов, 2003; Изучение экосистем рыбохозяйственных водоёмов..., 2004; Низяев и др., 2006; Моисеев, Моисеева, 2006; 2008; Моисеев и др., 2011; Карасев, 2014; Мельник и др., 2014; Ковачева и др., 2022).

Определены биохимические показатели гемолимфы камчатского краба из района промыслового скопления в Баренцевом море, включая общий белок, азот мочевины, АСТ, АЛТ, глюкозу, щелочную фосфотазу, холестерин и триглицериды. Для определения этих показателей был использован биохимический автоматический анализатор BioChem FC-200 с использованием готовых наборов реагентов.

Для сопоставления отличий биохимических показателей у особей камчатского краба на разных межлиночных стадиях был применён метод сравнения независимых выборок на основе t-критерия Стьюдента. Для расчётов физиологической нормы использовано правило, утверждающее, что любая случайная величина отклонится от своего математического ожидания не менее, чем на три среднеквадратических отклонения (Pukelsheim, 1994).

Кроме того, крабы для анализа содержащего желудков были отобраны из уловов 33 учётных трахений в том же научно-исследовательском рейсе НИС «Профессор Бойко» в августе 2022 г. В общей сложности за период наблюдения были исследованы желудки 114 особей камчатского краба: 18 самок с шириной карапакса (ШК) 71–192 мм и 96 самцов с ШК 92–223 мм. В работе рассматривались только самцы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Линька и биохимические характеристики

Линька – критически важный процесс для роста и развития крабов, требующий значительных энергетических затрат и изменения физиологического состояния. После завершения линьки тело краба становится мягким и уязвимым. Новый панцирь постепенно затвердевает, только после этого краб снова становится активным (Виноградов, 2013). Ввиду естественных физиологических процессов аспартатаминотрансфераза (табл. 1) значимо повышена у камчатского краба во второй

Таблица 1. Биохимические показатели камчатского краба в Баренцевом море летом 2022 г.

Межлиноч- ная стадия	Количество крабов	Общий белок, г/л	Азот мочевины, ммоль/л	АСТ, ед/л	АЛТ, ед/л	Глюкоза, ммоль/л	Щелочная фосфатаза, ед/л	Холестерин, ммоль/л	Триглицериды, ммоль/л
Вторая	3	14,68±1,01	6,38±0,11	9,59±1,49	4,76±1,7	0,19±0,03	13,01±3,35	0,66±0,16	0,47±0,14
Третья ранней	3	13,25±0,59	6,3±0,03	7,13±0,42	2,9±0,46	0,13±0,01	5,23±0,49	0,31±0,01	0,25±0,02
Третья	3	12,16±0,25	6,25±0,01	6,69±0,47	2,79±0,63	0,17±0,03	17,93±5,18	0,25±0,01	0,19±0,05
По всем стадиям	9	13,36±0,71	6,31±0,04	7,8±0,87	3,48±0,63	0,16±0,01	12,05±2,57	0,41±0,08	0,3±0,06
Стандарт- ное откло- нение	9	2,13	0,11	2,6	1,88	0,04	7,71	0,24	0,18
Физиоло- гическая норма	9	11,23-15,49	6,19-6,42	5,2-10,41	1,6-5,36	0,12-0,2	4,34-19,76	0,17-0,64	0,12-0,49

межлиночной стадии $9,59\pm1,49$ ед/л относительно крабов в 3-ей ранней и 3-ей межлиночных стадиях ($p < 0,05$). АСТ участвует в метаболизме аминокислот, особенно аспартата, что, вероятно, связано с повышенным ростом мышечных волокон, необходимых после произошедшей линьки.

На повышенный белковый обмен также указывает показатель общего белка. Достоверность различий при $p < 0,05$ обнаружена у камчатского краба во второй межлиночной стадии $14,68\pm1,01$ г/л относительно крабов в 3-ей межлиночной стадии $12,16\pm0,2$ г/л. Так как основным белком в гемолимфе камчатского краба является гемоцианин, а другие белки расположены в порядке концентрации: коагулоген, апогемоцианин, гормоны и антисомы (Depledge, Bjerregaard, 1989), то можно предположить, что их функции, такие как перенос веществ, иммунитет, строитель-

ный материал для клеток и тканей, ферментативная активность, могут замедляться. Вероятно, изменение интенсивности синтетических процессов, связанных с формированием нового экзоскелета. Однако, без дополнительных данных (например, уровня азота мочевины в динамике или результатов балансовых опытов) делать однозначные выводы о интенсивности белкового обмена нельзя.

Линочный процесс не сильно отражается на различиях углеводного обмена, так у особей 2-ой, 3-ей ранней и 3-ей межлиночных стадий значимых отличий не наблюдается по аланинаминотрансферазе (АЛТ). Данный факт сообщает об одинаковых процессах синтеза глюкозы (табл. 1). Тем временем, повышенный уровень глюкозы наблюдается у камчатского краба во второй межлиночной стадии $0,19\pm0,03$ ммоль/л относительно

крабов в 3-ей ранней межлиночной стадии $0,13 \pm 0,01$ ммоль/л ($p < 0,05$). Поэтому можно предположить о более интенсивных метаболических процессах, включая гликолиз, цикл Кребса и синтез гликогена, у камчатского краба во второй межлиночной стадии, которые необходимы в первые месяцы для укрепления карапакса и роста мышечной массы (Mobasher, 2012; Виноградов, 2013).

АСТ и АЛТ участвуют в реакциях трансаминирования, которые важны для множества метаболических процессов, включая цикл мочевины. Однако, их уровень может повышаться не только при изменении метаболической активности, но и при повреждении клеток. Поэтому интерпретация их уровня требует осторожности.

Гликоген играет важную роль в энергетическом резерве, являясь основным запасом углеводов, который быстро мобилизуется при нехватке пищи или повышенных энергозатратах (например, во время линьки, движения или размножения). Расщепление гликогена (гликогенолиз) обеспечивает глюкозу, необходимую для работы мышц, нервной системы и других тканей. Повышение содержания глюкозы в крови увеличивает биосинтез триглицеридов и уменьшает распад гликогена. Понижение концентрации глюкозы в крови, наоборот, тормозит синтез триглицеридов и усиливает их расщепление (Иванов, 2023). Вероятно, поэтому наблюдается повышенный уровень триглицеридов у особей во второй межлиночной стадии $0,47 \pm 0,04$ ммоль/л относительно крабов в 3-ей ранней и 3-ей межлиночных стадиях ($p < 0,05$).

Кроме того, во время линьки расходуются оба ресурса: триглицериды – для синтеза новой кутикулы и восстановления тканей, гликоген – для немедленной энергии. Уровень глюкозы изменяется в зависимости от стадии линьки, что может отражать изменение энергетических потребностей организма. Однако, для более точной интерпретации необходимо учитывать дополнительные данные, такие как уровень гликогена и инсулина.

Уровень триглицеридов и холестерина снижается ($p < 0,05$) по мере восстановления после линьки (холестерин: с $0,66 \pm 0,16$ ммоль/л на второй стадии до $0,25 \pm 0,01$ ммоль/л на третьей стадии; триглицериды: с $0,47 \pm 0,14$ ммоль/л до $0,19 \pm 0,05$ ммоль/л). Это может свидетельствовать о снижении потребности в липидах для построения новых клеточных мембран и обеспечения энергетических потребностей/запасания липидов в гепатопанкреасе, вместо их расходования (Егорова и др., 2024). Для более точной интерпретации необходимо учитывать дополнительные данные, такие как уровень других липидов и метаболитов.

Щелочная фосфатаза, участвуя в метаболизме липидов, расщепляет их. Кроме этого, щелочная фосфатаза в отношении костного обмена образуется в особых клетках костей – остеобластах. Они отвечают за формирование, рост и восстановление костей после повреждений. Костная щелочная фосфатаза участвует в созревании межклеточного вещества костной ткани и его минерализации (Балабанова и др., 2023). Также известно, что панцири крабов могут использоваться для стимуляции выработки щелочной фосфатазы (ЩФ) (Abdelgalil, Abo-Zaid, 2022). Следовательно, повышение уровня ЩФ может быть связано с активными процессами формирования и минерализации нового экзоскелета, которые наблюдаются у особей второй межлиночной стадии при щелочной фосфатазе $13,01 \pm 3,35$ ед/л относительно крабов в 3-ей ранней межлиночной стадии $5,23 \pm 0,49$ ед/л ($p < 0,05$). Более высокая активность щелочной фосфатазы замечена у крабов 3-ей относительно 3-ей ранней межлиночной стадии ($p < 0,05$), что, вероятно, может быть вызвано необходимостью укрепления экзоскелета для предстоящей конкуренции за питание и размножение.

Конечно, уровень внутриклеточных ферментов, включая ЩФ, может повышаться не только вследствие усиления метаболических процессов, но и из-за разрушения клеток (как патологического, так и физиологического).

Однако, для более точной интерпретации необходимо учитывать дополнительные данные, включая уровень других метаболитов и клиническую картину.

Физиологическая норма состояния

Для оценки состояния здоровья и выявления возможных патологий камчатского краба необходимо знание о физиологической норме исследуемых биохимических показателей и их референсных значений. Кроме того, физиологическая норма показателей полезна для оценки степени тяжести нарушений питания, в целях диагностики различных заболеваний и для оценки функциональных резервов организма (Баевский, 2003). Уровень общего белка по всем стадиям линьки у камчатского краба составил $13,36 \pm 0,71$ (11,23–15,49) г/л, что существенно ниже средней физиологической нормы по литературным данным $31,52 \pm 6,92$ г/л (Загорская и др., 2017; Ковачева и др., 2022). Содержание и состав белков в организме варьируются в зависимости от условий обитания. У разных видов ракообразных количество белков в гемолимфе может как увеличиваться, так и уменьшаться при стрессе. Кроме того, оно может меняться в зависимости от температуры окружающей среды, стадии линьки, периода голодания или нагула, а также от других факторов (Chang, 2005; Stoner, 2012). В то же время наблюдается положительная корреляция динамики наполнения конечностей мышечной тканью и биохимического параметра гемоцианина (Моисеева, Моисеев, 2008).

Азот аммония по всем стадиям линьки у камчатского краба составил $6,31 \pm 0,04$ ммоль/л, что выше средней физиологической нормы по литературным данным $1,03 \pm 0,77$ ммоль/л (Загорская и др., 2017). Повышенный уровень азота мочевины может указывать на снижение выделительной функции у крабов. Вероятно, это связано с тем, что крабы некоторое время находились на воздухе до взятия проб. В таких условиях в их гемолимфе накапливается аммиак, который не может выйти

через жабры и становится токсичным. В ответ на это организм крабов запускает процессы детоксикации, в результате которых образуются мочевая кислота и мочевина. Мочевая кислота плохо растворяется в воде и накапливается в клетках. Когда крабы возвращаются в воду, мочевая кислота снова превращается в аммиак и выводится через жабры (Bernasconi, Uglow, 2011).

Содержание глюкозы по всем стадиям линьки у камчатского краба составило $0,16 \pm 0,01$ (0,12–0,2) ммоль/л, что ниже средней физиологической нормы по литературным данным $0,41 \pm 0,15$ ммоль/л (Загорская и др., 2017). Учитывая, тот факт, что у исследованных крабов Д.С. Загорской с соавторами физиологическая норма находилась в спокойном состоянии до начала транспортировки. А также то, что экспозиция на воздухе вызывает высвобождение гипергликемического гормона глазных стебельков и приводит к повышению концентрации глюкозы в гемолимфе (Webster, 1996; Chang, 2005), в нашем исследовании содержание глюкозы понижено. Вероятно, ввиду более низких метаболических процессов у всех исследованных особей (Mobasher, 2012; Виноградов, 2013).

Определение физиологической нормы и его референсных значений по липидному обмену у камчатского краба не отличается от литературных данных. Содержание триглицеридов по всем стадиям линьки у камчатского краба составило $0,30 \pm 0,06$ (0,12–0,49) ммоль/л, что схоже со средней физиологической нормой по литературным данным $0,50 \pm 0,10$ ммоль/л (Загорский, 2013) при транспортировке крабов. В нашем исследовании содержание холестерина составило $0,41 \pm 0,08$ (0,17–0,64) ммоль/л, что также схоже со средней физиологической нормой по литературным данным $0,40 \pm 0,17$ ммоль/л (Загорский, 2013).

Питание крабов

Интенсивность питания сохранилась на высоком уровне с 2003 г. (Манушин, 2021). По

ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ И ЛИНОЧНОЕ СОСТОЯНИЕ

Таблица 2. Общий индекс наполнения желудков крабов разных стадий линьки в 2022 г.

Стадия линьки	Количество крабов	Общий индекс наполнения желудка, % ^{оо}	Стандартное отклонение
Вторая	33	11,2	1,9
Третья ранняя	31	7,2	2,2
Третья	29	6,0	1,3
Третья поздняя	3	6,3	3,6
Все самцы	96	8,2	1,0

Таблица 3. Доля крабов (%) каждой стадии линьки с доминированием таксона в желудке более 50% в 2022 г.

Стадия линьки	Количество крабов	Другое	Arachnida	Asciidae	Asteroidea	Bivalvia	Copepoda	Echinoidea	Gastropoda	Gymnolaemata	Hydrozoa	Malacostraca	Ophiuroidea	Polychaeta	Thecostraca
Вторая	33	6	0	6	0	45	0	0	3	0	0	0	0	15	3
Третья ранняя	31	13	0	3	10	26	0	0	10	0	0	0	6	10	6
Третья	29	10	0	3	0	17	0	0	10	0	0	0	10	14	3
Третья поздняя	3	33	0	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
Всего	96	10	0	5	3	29	0	0	7	0	0	0	5	13	5

результатам съёмки 2022 г. среди исследованных крабов, отсутствовали особи с пустыми желудками, общий индекс наполнения желудка был чуть ниже уровня 2009 г. и составлял 8,2 %. У крабов 2-й стадии линьки наполнение желудка было больше, чем у более старых крабов (табл. 2).

Как и в предыдущие годы (Манушин, 2021), наиболее часто в желудках камчатского краба в 2022 г. встречались полихеты, двустворчатые и брюхоногие моллюски. Двустворчатые моллюски на 2-й стадии линьки занимали более половины веса пищевого

комка почти у половины исследуемых крабов (табл. 3). У крабов третьей ранней стадии двустворчатые моллюски преобладали только у четверти самцов, а у самцов 3-й стадии линьки только у 17% особей. Возможно, крабы предпочитают двустворчатых моллюсков в период интенсивного роста в связи с наличием кальция в раковинах моллюсков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследований были определены физиологические нормы и их референсные

значения для биохимических показателей гемолимфы камчатского краба Баренцева моря в летний период: по общему белку, АСТ, АЛТ, глюкозе, щелочной фосфатазе, холестерину и триглицеридам. На второй межлиночной стадии логично видеть повышенный белковый обмен, который необходим для формирования мышечных волокон и наполнения конечностей после линьки. За счёт повышенной щелочной фосфатазы происходит рост и формирование хитина экзоскелета. При этом наблюдается накопление липидов за счёт повышенного уровня глюкозы и триглицеридов.

Все биохимические показатели демонстрируют чёткую динамику изменений в зависимости от межлиночной стадии. На второй стадии наблюдается пик активности, по сравнению с более поздними стадиями, на третьей ранней стадии – замедление процессов, а на третьей стадии – восстановление обычной деятельности. Процесс линьки крабов сопровождается значительными изменениями биохимических показателей, которые отражают интенсивные процессы перестройки тканей, формирования нового экзоскелета и восстановления организма. Однако, для более точной интерпретации данных необходимо учитывать комплекс показателей, включая уровень азота мочевины, гликогена, инсулина и других метаболитов, а также клиническую и физиологическую картину:

1. Активная фаза линьки (вторая стадия) характеризуется высокими уровнями общего белка, АСТ, АЛТ, глюкозы, щелочной фосфатазы, холестерина и триглицеридов, что указывает на интенсивные процессы синтеза, перестройки тканей и энергетического обмена.

2. Ранняя третья стадия показывает снижение большинства показателей, что может свидетельствовать о замедлении метаболических процессов и подготовке к завершению восстановления после линьки.

3. Третья стадия характеризуется дальнейшим снижением большинства показате-

лей, за исключением щелочной фосфатазы, уровень которой повышается, что может быть связано с завершением формирования и минерализации нового экзоскелета.

Следует отметить пониженный уровень общего белка по всем стадиям линьки у камчатского краба в Баренцевом море ($13,36 \pm 0,71$ г/л) относительно имеющихся литературных источников (25–38 г/л). Исследованные особи находились здоровыми, а именно без повреждений и внешних признаков патологий. Тем временем, снижение уровня общего белка в сыворотке гемолимфы может быть вызвано инфекционным поражением (Vogan, Rowley, 2002). Также, имеются случаи увеличения энергетических потребностей крабов при повышении температуры из-за потепления климата, что увеличивает конкуренцию за пищу (Szuwalski et al., 2023) и создаёт предпосылки к голоданию (Chang, 2005; Stoner, 2012). Либо ввиду пищевой конкуренции и естественных причин, связанных со значительными структурными изменениями донного населения Баренцева моря (Захаров и др., 2024).

Поэтому для более глубокого понимания адаптационных реакций и оценки состояния здоровья популяции камчатского краба, необходимы дополнительные цитохимические, молекулярные и биохимические исследования гемолимфы. Несомненно, биохимические показатели позволят нам определять жизнестойкость беспозвоночных. Вероятно, этот не быстрый процесс требует вначале накопить знания о возрастной и сезонной специфичности. Поэтому в настоящее время важно собирать информацию для дальнейшего создания Банка данных.

Благодарности

Мы признательны С.И. Моисееву и С.А. Моисеевой за замечания по тексту. Также авторы выражают благодарность сотрудникам НИС «Профessor Бойко» за слаженную работу в период экспедиции в Баренцевом море.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Александрова Е.Н., Ковачева Н.П. Прижизненное определение физиологического статуса десятиногих ракообразных (Crustacea: Decapoda) по гематологическим показателям // Успехи физиологических наук. 2010. Т. 41. № 2. С. 51–67.

Артеменков Д.В., Пронина Г.И., Саная О.В. и др. Морфологическая характеристика гемоцитов и гемограмма камчатского краба // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2024. Т. 18. № 12 (227). С. 886–894. DOI: 10.33920/sel-09-2412-05.

Баевский Р.М. Концепция физиологической нормы и критерии здоровья // Российский физиологический журнал. 2003. № 4. С.473–487.

Балабанова Е.А., Сейткалиева А.В., Сон О.М., Текутьева Л.А. Щелочные фосфатазы: распространение в природе и биологические функции: Коллективная монография. Чебоксары: Изд-во Среда, 2023. 144 с.

Виноградов Л.Г. Избранные труды. М.: Изд-во ВНИРО, 2013. 502 с.

Егорова И.Э., Гуцол Л.О., Кузьменко В.В. Метаболизм липопротеидов в норме и патологии. Методы исследований показателей липидного обмена. Учебное пособие. Иркутск: ФГБОУ ВО ИГМУ Минздрава России, 2024. 59 с.

Загорская Д.С., Загорский И.А., Ковачева Н.П. Биохимические показатели как критерии оценки физиологического состояния камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* (Decapoda, Lithodidae) в процессе транспортировки // Вопр. рыболовства. 2017. Т. 18. № 1. С. 85–92.

Загорский И.А. Физиологические основы жизнедеятельности камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* в условиях транспортировки // Автореф.дисс. канд. биол. наук. М.: ВНИРО, 2013. 24 с.

Захаров Д.В., Манушин И.Е., Йоргенсен Л.Л., Стрелкова Н.А. Влияние камчатского краба и краба-стригуна опилио на сообщества мегабентоса Баренцева моря // Морской биологический журнал. 2024. Т. 9. № 1. С. 32–50. DOI: 10.21072/mbj.2024.09.1.03

Иванов А.Д. Механизмы жироожигания: актуальные методики и их эффективность // Актуальные исследования. 2023. № 48 (178). С. 75–79.

Изучение экосистем рыболово-промышленных водоёмов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки. Вып. 1. Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в морях Европейского Севера и Северной Атлантики. М.: Изд-во ВНИРО, 2004. 300 с.

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

Ковачева Н.П., Александрова Е.Н. Гематологические показатели как индикаторы физиологического состояния декапод: камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* и речных раков родов *Astacus* и *Postastacus*. М.: Изд-во ВНИРО, 2010. 92 с.

Ковачева Н.П., Борисов Р.Р., Жигин А.В. и др. Аквакультура камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815). М.: Изд-во ВНИРО, 2022. 224 с.

Лысенко В.Н. Особенности линьки камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) на западнокамчатском шельфе // Исследования биологии промысловых ракообразных и водорослей морей России. М.: Изд-во ВНИРО, 2001. С. 111–119.

Манушин И.Е. Питание камчатского краба в южной части Баренцева моря. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2021. С. 283–337.

Мельник А.М., Абаев А.Д., Васильев А.Г. и др. Крабы и крабоиды северной части Охотского моря // Магадан: МагаданНИРО, 2014. 198 с.

Михайлов В.И., Бандурик К.В., Горничных А.В., Карасев А.Н. Промысловые беспозвоночные шельфа и континентального склона северной части Охотского моря. Магадан: МагаданНИРО, 2003. 284 с.

Моисеев С.И., Моисеева С.А. Изучение структурных особенностей гемоцианина из гемолимфы камчатского краба *Paralithodes*

camtschaticus баренцевоморской популяции в течение линочного цикла. // Сб. VII Всероссийская конференция по промысловым беспозвоночным. М.: ВНИРО, 2006. С. 105–108.

Моисеева С.А., Моисеев С.И. Зависимость между наполнением конечностей мышечной тканью и концентрацией гемоцианина в гемолимфе у камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) баренцевоморской популяции // Вопр. рыболовства. 2008. Т. 9. № 1 (33). С. 200–217.

Моисеев С.И., Моисеева С.А. Изменение показателей гемолимфы у синего краба *Paralithodes platypus* вследствие стресса, вызываемого ловушечным промыслом // Вопр. рыболовства. 2014. Т. 15. № 3. С. 189–208.

Моисеев С.И., Моисеева С.А. Проблемы содержания и транспортировки крабов в живом виде на краболовных судах // Тр. ВНИРО. 2017. Т. 166. С. 22–31.

Моисеев С.И., Горянина С.В., Моисеева С.А. Сравнительные исследования структуры и концентрации гемоцианина в гемолимфе камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) из Баренцева и Охотского морей. // Изв. ТИНРО. 2011. Т. 165. С. 216–230.

Низяев С.А., Букин С.Д., Клитин А.К. и др. Пособие по изучению промысловых ракообразных дальневосточных морей России. Ю.-Сахалинск: СахНИРО, 2006. 114 с.

Павлов В.Я. Жизнеописание краба камчатского *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1885). М.: ВНИРО, 2003. 110 с.

Пинчуков М.А., Беренбойм Б.И. Линька и рост камчатского краба в Баренцевом море. Камчатский краб в Баренцевом море. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2003. С. 100–106.

Родин В.Е., Слизкин А.Г., Мясоедов В.И. и др. Руководство по изучению десятиногих ракообразных Decapoda дальневосточных морей // Владивосток: Изд-во ТИНРО, 1979. 59 с.

Саная О.В., Артеменков Д.В., Пронина Г.И. и др. Гемоциты камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* // В сборнике: Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса. Москва: ВНИРО, 2024. С. 115–117.

Соколов В.И. Распределение и некоторые особенности биологии массовых видов десятиногих ракообразных (Crustacea, Decapoda) в губе Териберка Баренцева моря // Тр. ВНИРО. 2003. Т. 142. С. 77–91.

Abdelgalil S.A., Abo-Zaid, G.A. Bioprocess development as a sustainable platform for eco-friendly alkaline phosphatase production: an approach towards crab shells waste management // Microb Cell Fact. 2022. V. 21. № 141. P. 1–36. DOI: 10.1186/s12934-022-01868-4

Bernasconi C.J., Uglow R.F. Purineolytic capacity response of *Nephrops norvegicus* to prolonged emersion: an ammonia detoxification process // Aquat. Biol. 2011. V. 11. P. 263–270. DOI: 10.3354/ab00320

Chang E.S. Stressed-out lobsters: crustacean hyperglycemic hormone and stress proteins // Integ. Comp. Biol. 2005. V. 45. P. 43–50. DOI: 10.1093/icb/45.1.43

Depledge M.H., Bjerregaard P. Haemolymph protein composition and copper levels in decapod crustaceans // Helgolander Meeresunters 1989. V. 43. P. 207–223. DOI: 10.1007/BF02367900

Fotedar S., Evans L. Health management during handling and live transport of crustaceans // J. Invert. Pathol. 2011. V. 106. P. 143–152. DOI: 10.1016/j.jip.2010.09.011

Fotedar S., Evans L., Jones B. Effect of holding duration on the immune system of western rock lobster, *Panulirus cygnus* // Comp. Biochem. Physiol. A. V. 2006. V. 143. № 4. P. 479–487. DOI: 10.1016/j.cbpa.2006.01.010

Fotedar S., Tsvetnenko E., Evans L. Effect of air exposure on the immune system of the rock lobster *Panulirus cygnus* // Mar. Freshw. Res. 2001. V. 52. P. 1351–1355. DOI: 10.1071/MF01098

Lorenzon S., Giulianini P.G., Libralato S. et al. Stress effect of two different transport systems on the physiological profiles of the crab *Cancer pagurus* // Aquaculture. 2008. V. 278. P. 156–163. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2008.03.011

Love D., Thomas R., Moles A. Bitter crab hemolymph studies: Indications of host physiological condition. In: High latitude crabs: Biology, management, and economics. Fairbanks:

University of Alaska Sea Grant, 1996. AK-SG-96-02. P. 549–562.

Meyers T., Koeneman T.M., Botelho C., Short S.
Bitter crab disease: A fatal dinoflagellate infection and marketing problem for Alaskan Tanner crabs *Chionoecetes bairdi* // Diseases of Aquatic Organisms. 1987. V. 3. № 3. P. 195–216. DOI: 10.3354/dao003195

Mobasher A. Glucose: an energy currency and structural precursor in articular cartilage and bone with emerging roles as an extracellular signaling molecule and metabolic regulator // Front. Endocrin. 2012. V. 3. № 153. DOI: 10.3389/fendo.2012.00153

Moiseev S.I., Moiseeva S.A., Ryazanova T.V., Lapteva A.M. Effects of pot fishing on the physical condition of snow crabs (*Chionoecetes opilio*) and southern Tanner crabs (*Chionoecetes bairdi*) // Fish. Bull. 2013. V. 111. P. 233–251. DOI: 10.7755/FB.111.3.3

Odintsova N.A., Eliseikina M.G., Ryazanova T.V. Experimental infection of king crab hemocytes with a Herpes-like virus in culture // Russian J. of Marine Biology. 2015. V. 41. № 5. P. 401–404. DOI: 10.1134/S1063074015050107

Pukelsheim F. The Three Sigma Rule // The American Statistician 48. 1994. P. 88–91. DOI: 10.2307/2684253

Stoner A.W. Assessing stress and predicting mortality in economically significant crustaceans // Rev. Fish. Sci. 2012. V. 20. P. 111–135. DOI: 10.1080/10641262.2012.689025

Szuwalski C.S., Aydin K., Fedewa E.J., Garber-Yonts B., Litzow M.A. The collapse of eastern Bering Sea snow crab // Science. 2023. V. 382 (6668). P. 306–310. DOI: 10.1126/science.adf6035

Vogan C., Rowley A.F. Effects of shell disease syndrome on the haemocytes and humoral defences of the edible crab, *Cancer pagurus* // Aquaculture. 2002. V. 205. P. 237–252. DOI: 10.1016/S0044-8486(01)00703-7

Webster S.G. Measurement of crustacean hyperglycemic hormone levels in the edible crab *Cancer pagurus* during emersion stress // J. Exp. Biol. 1996. V. 199. P. 1579–1585. DOI: 10.1242/jeb.199.7.1579

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF HYDROBIONTS

PHYSIOLOGICAL AND LARVAL STATUS
OF *PARALITHODES CAMTSCHATICUS* (DECAPODA:
LITHODIDAE) IN THE BARENTS SEA

© 2025 г. D.V. Artemenkov¹, N.Y. Terpugova¹, O.V. Sanaya²,
N.N. Lukin³, D.Y. Blinova³, T.A. Karaseva³, D.O. Sologub¹,
A.A. Panteleev², A.A. Bessonov³, Y.E. Zhak³

1 – State Scientific Center of the Russian Federation «VNIRO»,
Russia, Moscow, 105187

2 – Russian State Agrarian University – K.A. Timiryazev Moscow
Agricultural Academy, Russia, Moscow, 127550

3 – Polar branch State Scientific Center of the Russian Federation
VNIRO (N.M. Knipovich PINRO),
Russia, Murmansk, 183038

The study is aimed at assessing the physiological status of the Red King Crab (*Paralithodes camtschaticus*) of the Barents Sea population during the inter-larval period through the analysis of biochemical parameters of hemolymph. The relevance of the work is determined by the need to monitor populations under conditions of climatic changes, bioinvasions and increased fishing pressure. During field work in the Barents Sea (July-August 2022), hemolymph was sampled from males at different inter-larval stages, analyzing total protein, enzymes (AST, ALT, alkaline phosphatase), glucose, lipids and other parameters using a biochemical analyzer. The results revealed significant differences: at the second inter molt stage, a peak of AST activity ($9,59 \pm 1,49$ units/l) and total protein ($14,68 \pm 1,01$ g/l) was recorded, which is associated with intensive tissue growth after molting. Glucose and triglyceride levels were also higher in the early stages, reflecting increased energy expenditure. At the same time, total protein in Barents Sea crabs ($13,36 \pm 0,71$ g/l) was lower than literature norms (25–38 g/l), which may indicate stress caused by food competition or climatic changes. The decrease in cholesterol and triglycerides by the third stage indicates the completion of recovery processes. The work emphasizes the impact of molting on metabolism and the need to consider age specificity when assessing population health. The data obtained form the basis for the creation of a database of biochemical indicators important for predicting the species' resistance to anthropogenic and natural stressors.

Keywords: red king crab, Barents Sea, biochemistry, haemolymph.