

УДК 595.323.1(477.75)

**ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ ЦИСТ ПАРТЕНОГЕНЕТИЧЕСКИХ  
*ARTEMIA* (BRANCHIOPODA, ANOSTRACA) НА ВЫХОД НАУПЛИУСОВ  
И ПОСТНАУПЛИАЛЬНУЮ ВЫЖИВАЕМОСТЬ  
ПРИ РАЗНОЙ СОЛЁНОСТИ**

**Н. Ю. Мирзоева, Е. В. Ануфриева, Н. В. Шадрин**

*Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН  
Россия, 299011, Севастополь, просп. Нахимова, 2  
E-mail: snickolai@yandex.ru*

Поступила в редакцию 5.04.2018 г., после доработки 6.08.2018 г., принята 26.08.2018 г.

*Мирзоева Н. Ю., Ануфриева Е. В., Шадрин Н. В.* Влияние гамма-облучения цист партеногенетических *Artemia* (Branchiopoda, Anostraca) на выход науплиусов и постнауплиальную выживаемость при разной солёности // Поволжский экологический журнал. 2018. № 4. С. 418 – 432. DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-4-418-432>

Изучено влияние дозы гамма-облучения 2.5, 5.5 и 7.5 Гр, полученной цистами *Artemia*, на выход науплиусов и постнауплиальную выживаемость рачков при 0, 9, 18, 36, 54, 62, 78 и 88 г/л. При этих же солёностях оценивали вышеуказанные параметры в условиях без облучения. Установлено, что скорость вылупления науплиусов из цист в первую очередь зависит от солёности, коэффициент детерминации равен 90%. Доза облучения не влияет на выход науплиусов при всех солёностях, кроме 54 г/л, когда была найдена достоверная негативная связь между долей вылупившихся науплиусов и дозой облучения. Выживаемость рачков из облученных цист зависела от солёности. В диапазоне солёности 9 – 52 г/л она была достоверно меньше, чем в диапазоне 62 – 88 г/л (дозы 2.5 и 5.5 Гр). Рачки, вышедшие из цист, получивших дозу 7.5 Гр, не доживали до 12 дня при солёности 88 г/л. Минимальная выживаемость рачков отмечена при солёности 54 г/л при всех дозах облучения, данная солёность может считаться для артемий критической, при ней происходит перенастройка механизма осморегуляции. Экологические эффекты в популяциях артемий могут проявляться, начиная с доз облучения 2.5 Гр. Изученные дозы облучения могут иметь и отдаленные последствия для популяции артемий в гиперсолёных водоёмах. Для корректной количественной оценки эффекта этих доз на популяции артемий необходимы исследования не только генерации рачков, которая вылупилась из облученных цист, но и 2–3 последующих поколений.

*Ключевые слова:* *Artemia*, покоящиеся яйца, гамма-облучение, солёность, выживаемость, радиорезистентность.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-4-418-432>

## **ВВЕДЕНИЕ**

Эволюция жизни на планете проходила в среде при взаимодействии всех природных факторов, включая естественный радиационный фон, который необходим для нормального существования организмов, но его превышение может быть причиной разных негативных последствий (Кузин, 1996). Антропогенный фактор стал геологической/планетарной силой, начался новый геологический период – антро-

поцен (Waters et al., 2016). С середины XX в. искусственные радионуклиды начали поступать в окружающую среду, в настоящее время это стало глобальной проблемой (Кулепанов, 2017; Waters et al., 2016).  $^{137}\text{Cs}$ , формируя гамма-излучение, является одним из основных компонентов радиоактивного загрязнения. В частности, по оценке Международного агентства по атомной энергии, при аварии на Фукусиме в среду было выброшено  $1.5 \times 10^{16}$  Бк  $^{137}\text{Cs}$ , что составило всего лишь около пятой части  $^{137}\text{Cs}$ , выброшенного при Чернобыльской катастрофе (Brumfiel, 2011). В первые месяцы после аварии на Чернобыльской атомной электростанции акватория Чёрного моря и территория Крыма подверглись острому радиоактивному загрязнению, в мае 1986 г. на их поверхность выпало 1.7 – 2.4 ПБк  $^{137}\text{Cs}$  (Поликарпов и др., 2008). Позднее радиэкологическая ситуация в Крыму определялась вторичным хроническим загрязнением радионуклидами со стоком преимущественно Днепра, за счет водопользования (до 2014 г.) из Северо-Крымского канала (Поликарпов и др., 2008; Мирзоева, 2016; Shadrin et al., 2018). Понимание и прогноз последствий увеличения радиационной нагрузки на экосистемы, включая водные, становятся весьма актуальными (Поликарпов и др., 2008; Кулепанов, 2017). Знания о влиянии гамма-излучения на водных беспозвоночных, в том числе и ракообразных, все еще фрагментарны и недостаточны (Dallas et al., 2012; Fuller et al., 2015) что не позволяет интегрально оценивать состояние экосистем и делать прогноз.

В Крыму расположено большое количество солёных и гиперсолёных озёр различного происхождения и химизма (Балушкина и др., 2009; Shadrin et al., 2015). Радиэкологические исследования в них проводились лишь эпизодически (Гулина, Гулин, 2011; Мирзоева, 2016; Mirzoyeva et al., 2015) и показали, что концентрации постчернобыльских радионуклидов в озёрах довольно высоки, хоть и ниже предельно допустимых значений. Наиболее разнообразная и массовая группа животных в крымских гиперсолёных водоёмах – ракообразные (Балушкина и др., 2009; Belmonte et al., 2012), большинство их видов имеют покоящиеся стадии, длительно сохраняющиеся в донных отложениях (Belmonte et al., 2012; Shadrin et al., 2015). Самыми обычными и массовыми являются представители жаброногих ракообразных рода *Artemia*, цисты которых имеют высокую ценность как ресурс для развития аквакультуры (Dhont, Sorgeloos, 2002; Jia et al., 2015). Артемии широко используются в качестве модельного объекта в самых различных направлениях биологии и токсикологии (Руднева, 1991; Dhont, Sorgeloos, 2002; Gajardo, Beardmore, 2012; Anufrieva, Shadrin, 2014).

Цель данной работы – оценить влияние доз гамма-облучения цист на выход науплиусов артемий и постнауплиальную выживаемость рачков при разной солёности.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

*Объект исследования.* В Крыму обитают два двуполовых вида артемий (*Artemia urmiana* Günther, 1899 и *A. salina* Leach, 1819) и множество партеногенетических популяции различной ploидности, известно более 50 местообитаний (Shadrin, Anufrieva, 2017). В экспериментах использовали цисты из партеногенетической

популяции гиперсолёного озера морского происхождения Акташское, которое расположено на севере Керченского полуострова на побережье Азовского моря (рис. 1). Ранее показано, что среди партеногенетических артемий, обитающих в



Рис. 1. Схема распределения гиперсолёных озёр Крыма

(Радченко, 1984) позволили предположить, что дозы 2.5 – 7.5 Гр лежат на пороге малых доз для *Artemia* spp. Это и определило выбор доз облучения в нашем исследовании. Время облучения цист рассчитывали по формуле:

$$D = 0.96 + 2.8t, \quad (1)$$

где  $D$  – необходимая доза облучения, Гр;  $t$  – время облучения, мин; 0.96 – доза, полученная во время спуска и подъема пробы, Гр.

Облученные или необлученные цисты по 100 экз. помещали в чашки Петри с раствором солёностью 0, 9, 18, 36, 54, 62, 78 и 88 г/л. Отбор цист осуществляли с помощью пипетки под биноклем МБС-10 только целые экземпляры. В период опыта объем среды в чашках поддерживали неизменным. Наблюдения за выходом науплиусов вели в течение первых трех суток визуально с помощью бинокля. опыты проводили в пяти повторах в термокомнате с постоянной температурой  $26 \pm 1^\circ\text{C}$ . Выживаемость артемий контролировали в течение 44 сут., общий контроль осуществляли на 1, 12 и 21 день от времени появления из цист первых науплиусов. Вылупившихся рачков рассаживали в сосуды емкостью 1.5 л по 50 – 160 экз. в зависимости от варианта сочетания уровня солёности среды и дозы облучения цист, а также от дня выклева артемий. Уровень воды в аквариумах поддерживали неизменным до конца эксперимента, осуществляли аэрацию ежедневно в течение 30 мин. Кормили рачков через день высушенной, измельченной и просеянной зеленой водорослью *Ulva* sp. Остатки пищи, фекалии и мертвых рачков регулярно убирали пипеткой. Ежедневно, просматривая аквариумы, вели подсчет числа особей, определяли процент выживших от первоначального количества отсаженных рачков.

*Статистическая обработка.* Расчет средних, стандартных отклонений ( $SD$ ), коэффициентов вариации ( $CV$ ), параметров регрессионных уравнений и коэффициентов корреляции ( $r$ ) и детерминации ( $R^2$ ) проводили в Excel. Достоверность

озере, присутствуют диплоидные и тетраплоидные особи, различающиеся диаметром цист (Shadrin et al., 2015), в опытах которые имели характерный для диплоидных размер – от 215 до 245 мкм.

*Постановка экспериментов.* Высушенные цисты однократно облучали на гамма-установке ЛМБ-1М «Исследователь» (источник –  $^{137}\text{Cs}$ , мощность дозы – 2.8 Гр/мин) в дозах: 2.5, 5.5, 7.5 Гр. Проведенные ранее эксперименты

различий средних определяли с использованием *t*-критерия Стьюдента и критерия  $\chi^2$ , уровень значимости коэффициентов корреляции определяли по (Мюллер и др., 1982).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

*Выход науплиусов из цист.* Полученные данные по влиянию доз гамма-облучения и солёности на выход науплиусов из цист суммированы в табл. 1. В дистиллированной воде выход науплиусов из цист за три дня составил 25%. В среднем в диапазоне солёности 9 – 36 г/л за первые три дня науплиусы появились из 71.8% цист ( $SD = 6.020$ ,  $CV = 0.084$ ), не найдено достоверных различий количества вышедших рачков при этих солёностях (критерий  $\chi^2$ ,  $p > 0.05$ ). В диапазоне солёности 36 – 88 г/л с ее ростом наблюдали достоверное уменьшение количества вылупившихся за три дня науплиусов при всех дозах облучения (коэффициент корреляции Пирсона  $r = 0.941 - 0.948$ ,  $p = 0.005$ ) (рис. 2). Около 89% различий в долях выхода науплиусов при каждой дозе могут быть обусловлены солёностью, остальной разброс связан с дозой облучения и неучтенными факторами. При всех дозах облучения от 0 до 7.5 Гр в дистиллированной воде наблюдался довольно низкий процент выклева рачков, в среднем для всех доз облучения 26.7% ( $SD = 3.419$ ,  $CV = 0.128$ ). Просматривался небольшой недостоверный тренд увеличения выхода науплиусов при росте дозы от 0 до 5.5 Гр – с 25.1 до 31.0%, с последующим уменьшением при дозе 7.5 Гр до 22.0%. При солёности 9, 18, 36, 62, 78 г/л достоверного влияния величины дозы облучения на выход науплиусов не зафиксировали (критерий  $\chi^2$ ,  $p > 0.05$ ). При солёности 88 г/л при дозе облучения 7.5 Гр наибольший выклев науплиусов за три дня составлял в среднем 18.2% ( $SD = 8.439$ ,  $CV = 0.464$ ), что в 2.4 раза больше, чем в среднем при других дозах облучения. Несмотря на наблюдавшиеся различия величин, нельзя утверждать, что различия достоверны, так как из-за большой вариабельности данных значения *t*-критерия Стьюдента и критерия  $\chi^2$  были меньше критического при  $p = 0.05$ .

Таблица 1

Суммарное количество науплиусов *Artemia*, вышедших из цист за три дня при разной солёности и дозах гамма-облучения, %

Доза, Гр	Солёность, г/л					
	0	9–36	54	62	78	88
0	25.1	71.8	49.5	36.5	33.8	12.8
2.5	28.6	81.3	47.5	32.3	33.5	6.4
5.5	31.0	69.0	38.5	34.0	37.0	3.8
7.5	22.0	71.7	27.8	35.8	32.0	18.2

Выход науплиусов из цист в первые три дня происходил с разной скоростью в разные дни. В дистиллированной воде при отсутствии облучения выклев 100% науплиусов наблюдался на третьи сутки. При облучении всеми дозами выход науплиусов из цист в дистиллированной воде ускорялся, часть науплиусов появлялась в течение первых двух дней. При этом достоверных различий для разных доз не

наблюдали ( $t$ -критерий Стьюдента и критерий  $\chi^2$ ,  $p = 0.05$ ), в течение третьих суток появлялось в среднем 69.9% от всех выклюнувшихся рачков ( $SD = 6.763$ ,  $CV = 0.097$ ). При солёности 9 г/л без облучения 86% науплиусов выходили из цист в первые сутки. С увеличением солёности с 9 до 88 г/л доля науплиусов выклюнувшихся из цист в первый день уменьшалась с 86.3 до 6.4%, соответственно вышедших в течение третьих суток увеличивалась с 3.9 до 63.8%. Зависимость количества вышедших науплиусов от солёности для всех доз интегрально может быть аппроксимирована для случая первых суток уравнением ( $r = 0.892$ ,  $p = 0.005$ ):

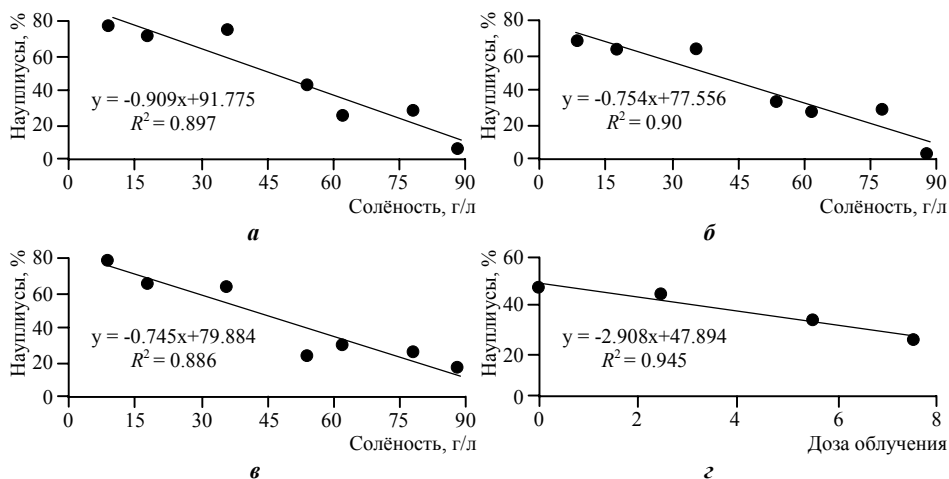
$$Y_1 = (102.8 \pm 27.1) - (0.900 \pm 0.151)X \quad (2)$$

и для третьих суток ( $R = 0.891$ ,  $p = 0.005$ ):

$$Y_3 = (1.534 \pm 0.421)e^{(0.039 \pm 0.009)X}, \quad (3)$$

где  $X$  – солёность, г/л;  $Y_1$  и  $Y_3$  – доля науплиусов, вышедших в течение 1-х и 3-х суток, %.

Исходя из коэффициента детерминации ( $R^2 = 0.796$ ), следует, что изменением солёности можно объяснить около 80% вариабельности числа науплиусов, вылупившихся в 1-й и 3-й день. В целом для совокупности всех вариантов величина дозы обуславливает менее 1% общей вариабельности доли вылупившихся науплиусов на 1ый и 3ий день ( $R^2 = 0.002 - 0.003$ ).



**Рис. 2.** Зависимость количества науплиусов *Artemia*, вышедших из цист за три дня от дозы гамма-облучения (а – 2.5 Гр, б – 5.5 Гр, в – 7.5 Гр) и солёности (г – 54 г/л)

Только при солёности 54 г/л наблюдали достоверное (критерий  $\chi^2$ ,  $p = 0.005$ ) уменьшение доли науплиусов, появившихся за трое суток с ростом дозы облучения (см. рис. 2). При этой солёности величина дозы определяет 94% вариабельности доли науплиусов ( $R^2 = 0.945$ ). При дозе облучения 2.5 Гр и без облучения из цист выходили только самки, при дозе облучения 5.5 и 7.5 Гр были единичные самцы (2 – 8 экз. на 100 экз. цист). При 7.5 Гр их было несколько больше, чем при 5.5 Гр, но различия средних были недостоверными.

## ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ ЦИСТ ПАРТЕНОГЕНЕТИЧЕСКИХ *ARTEMIA*

*Постнауплиальная выживаемость артемий.* Плавающие личинки в дистиллированной воде были вялыми и нежизнеспособными уже на третьи сутки. Наиболее долго (более 40 дней) жили рачки, вышедшие из необлученных цист при солёности 62, 78 и 88 г/л. Рачки из необлученных цист при солёности 9 и 18 г/л жили до 30 – 35 дней, а при 54 г/л живых рачков последний раз наблюдали на 14 – 18 день. Результаты опытов при солёности 9 – 88 г/л и различных дозах облучения цист даны в табл. 2. Выживаемость рачков, выклюнувшихся из необлученных цист, в среднем составляла на 12-й день 49.0%, а на 21-й день – 20.4%. Солёность существенным образом нелинейно влияла на выживаемость. Выживаемость рачков на 21-й день в диапазоне солёности 62 – 88 г/л была достоверно (критерий  $\chi^2$ ,  $p = 0.005$ ) выше, чем при солёности 9 – 54 г/л.

**Таблица 2**

Выживаемость на 12-й и 21-й день *Artemia*, вышедших из облученных и необлученных цист в среде с разной солёностью, % от общего числа появившихся науплиусов

Доза, Гр	Солёность, г/л											
	9		18–36		54		62		78		88	
	День		День		День		День		День		День	
	12-й	21-й	12-й	21-й	12-й	21-й	12-й	21-й	12-й	21-й	12-й	21-й
0	6.2	5.0	25.3	6.6	98.1	1.0	84.5	51.5	70.7	46.3	33.3	26.6
2.5	9.2	7.7	16.8	10.1	11.9	1.0	51.2	48.1	56.0	42.2	50.0	50.0
5.5	12.2	7.3	30.0	17.2	2.8	0	78.1	31.3	53.3	42.9	55.5	55.0
7.5	7.0	0.6	27.2	14.2	0.6	0	80.0	25.3	53.4	45.5	0	0

Выживаемость рачков, вышедших из облученных цист, в среднем на 12-й день составляла 30.3% (доза 2.5 Гр), 37.4% (доза 5.5 Гр), 27.9% (доза 7.5 Гр), а на 21-й день – 24.0% (доза 2.5 Гр), 24.5% (доза 5.5 Гр) и 14.3% (доза 7.5 Гр). Значения выживаемости рачков, вышедших из необлученных цист и получивших дозу 2.5 – 5.5 Гр, практически одинаковы и несколько выше, чем из цист, получивших дозу 7.5 Гр. Выживаемость рачков из облученных цист зависела от солёности. В диапазоне солёности 9 – 52 г/л она была достоверно меньше (критерий  $\chi^2$ ,  $p = 0.01$ ), чем в диапазоне 62–88 г/л (дозы 2.5 и 5.5 Гр). Рачки, вышедшие из цист, получивших дозу 7.5 Гр, не доживали до 12-го дня при солёности 88 г/л. Процент выживших рачков (среднее для всех вариантов) достоверно (критерий  $\chi^2$ ,  $p = 0.01$ ) был наименьшим при солёности 52 г/л.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

*Выход науплиусов из цист.* Доля науплиусов, вышедших суммарно за три дня, зависит от солёности и дозы облучения, при этом зависимость от солёности выражена значительно сильнее. В пресной воде выход науплиусов был небольшим, и вышедшие науплиусы были нежизнеспособными. С ростом солёности от 9 до 88 г/л наблюдалось достоверное уменьшение количества науплиусов, вышедших из цист за три дня. Полученные данные не позволяют сделать вывод о влиянии солёности на процент суммарно вылупившихся рачков, так как науплиусы могут выходить из цист в течение до 20 и более дней (Shadrin et al., 2015). В небольших количествах

живых науплиусов авторы находили в крымских озёрах при солёности до 360 г/л (Ануфриева, Шадрин, неопубл. данные). Науплиусы артемий могут выходить из цист при любой солёности. Это хорошо объясняется найденной, в том числе и для цист артемий, закономерностью (Макрушин, Лянгузова, 2006; Dai et al., 2011): покоящиеся стадии животных и растений имеют избирательно пропускающие оболочки, которые пропускают необходимые для развития эмбриона кислород и воду, а токсические вещества задерживают. Поэтому в токсичной для них среде эмбрионы способны выходить из состояния покоя и развиваться, пока целостность внешней оболочки не нарушена. После выхода из оболочки в неблагоприятную среду у личинок вскоре наступает смерть. Цисты артемий являются наиболее устойчивыми к разным стрессовым факторам среди всех покоящихся стадий животных (MacRae, 2016). Доза облучения влияла на долю вышедших личинок только при одной солёности – 54 г/л (ниже обсудим, с чем это может быть связано). Эксперименты, проведенные в открытом космосе за бортом космической станции, показали, что цисты артемий, получив дозы облучения 20 – 27 Гр, сохранили жизнеспособность, и выход науплиусов из них составил 60% (Novikova et al., 2011). В отдельных экспериментах наблюдали выход науплиусов из цист, получивших дозу гамма-облучения даже более 5000 Гр (Gaubin et al., 1985). Экспериментально показано, что облучение покоящихся яиц ветвистоусого рачка *Moina macrocopa* (Straus, 1820) дозами до 100 Гр не сказывалось на проценте вышедших рачков (Zadereev et al., 2016). Можно сделать вывод, что выход науплиусов из цист сам по себе не может быть индикатором благоприятности среды и радиорезистентности вида. Скорость эмбрионального развития, как следует из собственных и литературных данных (Conte et al., 1977; Shadrin et al., 2015), зависит от солёности, уменьшаясь с ее ростом. Для оценки влияния солёности или другого фактора на суммарное количество науплиусов, вышедших из цист, нужны более длительные эксперименты – до 30 дней (Shadrin et al., 2015).

*Существует ли критическая солёность, определяющая функциональное состояние Artemia и отклик на облучение?* Артемии являются наиболее галотолерантными животными, способными существовать в диапазоне солёности от 4–5 до 340 – 360 г/л (Gajardo, Beardmore, 2012; Shadrin, Anufrieva, 2017). Существование видов артемий в столь широком диапазоне солёности не может обеспечиваться только одним адаптационным механизмом (Gajardo, Beardmore, 2012). В их генотипах заложена возможность нескольких (больше одного) креодов – устойчивых траекторий индивидуального развития, реализации генотипа в фенотип (Шадрин, 2013). Пионерские исследования М. В. Шманкевича (Schmankewitsch, 1876) показали, что различные морфологические формы артемий развиваются при разной солёности, что было подтверждено другими исследователями (Гаевская, 1914; Vaid, 1963). К настоящему времени показано, что солёность влияет на метаболизм, экспрессию генов и траектории развития артемий (Zhu et al., 2007; Jorgensen, Amat, 2008; El-Gamal, 2011; Wu et al., 2011; MacRae, 2016). Учитывая вышесказанное, можно по-новому взглянуть на данные авторов и попробовать понять: почему результаты, полученные при солёности 54 г/л, выделяются из остальных?

Артемии имеют самый совершенный среди животных осморегуляторный механизм (Gajardo, Beardmore, 2012), благодаря которому удельный вес их тела варьирует в очень узких пределах – от 1.0308 до 1.0342 (Davenport, Nealy, 2006). Такой удельный вес раствор имеет при солёности 45 – 55 г/л. При более низкой солёности среды осморегуляция у артемий реализуется по гиперосмотическому типу, а при более высокой – по гипоосмотическому (Khlebovich, Aladin, 2010). Перенастройка механизма осморегуляции происходит в этом диапазоне солёности, что ведет к изменению экспрессии генов, кодирующих альтернативные изоформы ферментов, участвующих в осморегуляции, в частности К-Na-АТФазы, что требует дополнительных затрат энергии (Qiu, MacRae, 2008; El-Gamal, 2011; MacRae, 2016). При солёности 45 – 60 г/л организм не может «понять» какой изомер из альтернативных надо синтезировать, что приводит к некоторой дестабилизации функционирования организма. Это и определяет больший отклик на гамма-облучение цист у рачков, находившихся в этом диапазоне солёности. Подобное отмечено в действии гамма-радиации на ракообразных в других стрессовых состояниях (Dallas et al., 2012; Fuller et al., 2015).

*Могут ли изученные дозы гамма-облучения цист иметь экологический эффект на популяции?* На других ракообразных класса Branchiopoda *M. macroscopa* изучили, как облучение (дозы до 100 Гр) покоящихся яиц влияло на выход молоди из них и популяционные характеристики вышедших генераций рачков (Zadereev et al., 2017). Показано, что во всем диапазоне величина дозы не влияла на процент появившихся рачков и их выживаемость / продолжительность жизни. В то же время при дозах выше 3 – 5 Гр величина дозы была негативно связана со скоростью популяционного роста, числом кладок яиц и скоростью размножения. Авторы сделали вывод, что наиболее чувствительно реагируют на радиацию репродуктивные показатели (Zadereev et al., 2017). Подобный вывод сделан и при исследовании другого вида Branchiopoda *Daphnia magna* Straus, 1820: количество яиц в кладке уменьшалось при росте дозы выше 0.1 Гр, хотя выживаемость рачков и их соматический рост не зависели от дозы облучения до 1–2 Гр (Gilbin et al., 2008). Многие негативные эффекты облучения обнаруживаются у животных только в последующих поколениях (Dallas et al., 2012; Fuller et al., 2015). Можно утверждать, что изучение только выхода науплиусов из цист и выживаемости в генерациях рачков не позволяет определять экологически опасные дозы облучения.

Проявление экологических эффектов доз гамма-облучения цист у артемий зависит от факторов среды и внутреннего состояния развивающихся особей (Поликарпов, 1984): есть стадии развития, когда влияние доз облучения проявляется сильнее. В температурном диапазоне 15 – 22°C, который менее комфортен для развития артемий, общая выживаемость в генерации рачков негативно реагировала на дозы 5 и 7.5 Гр, что не наблюдали при комфортных температурах 25 – 27°C (Радченко, 1984). Зависимость экологических / биологических откликов на действие облучения от многих факторов показана для разных видов ракообразных (Dallas et al., 2012; Fuller et al., 2015).



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ вышеприведенного позволяет утверждать, что изученные дозы облучения могут иметь отдаленные экологические последствия для популяции артемий в гиперсолёных водоёмах. Особенно сильно эффект будет выражен в водоёмах с солёностью, близкой к 45 – 60 г/л. Учитывая важную функциональную роль артемий в экосистемах гиперсолёных озёр, можно ожидать, что любые изменения в состоянии и динамике популяций артемий будут вести к изменениям на экосистемном уровне. Для корректной количественной оценки возможных экологических последствий для популяций артемий и озерных экосистем необходимы комплексные исследования, не только генерации рачков, которая вылупилась из облученных цист, но и 2-3 последующих поколений.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Института морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН по темам «Молискологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ гос. регистрации АААА-А18-118020890090-2) и «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» (№ гос. регистрации АААА-А18-118021490093-4).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балушкина Е. В., Голубков С. М., Голубков М. С., Литвинчук Л. Ф., Шадрин Н. В. Влияние абиотических и биотических факторов на структурно-функциональную организацию экосистем соленых озер Крыма // Журн. общ. биологии. 2009. Т. 70, № 6. С. 504 – 514.
- Гаевская Н. Изменчивость у *Artemia salina* // Изв. Императ. Академии наук. VI серия. 1914. Т. 8, № 16. С. 1158 – 1159.
- Гулина Л. В., Гулин С. Б. Природные и техногенные радионуклиды в экосистеме соленого озера Кояшское (Юго-Восточный Крым) // Морской экол. журн. 2011. Т. 1, № 10. С. 19 – 25.
- Кузин А. М. Вечный спутник жизни на Земле – радиация // Вестн. РАН. 1996. Т. 66, № 4. С. 330 – 332.
- Кулепанов В. Н. Ионизирующее излучение в гидросфере. Введение в радиобиологию и радиоэкологию гидробионтов. М. : ИНФРА-М, 2017. 88 с.
- Макрушин А. В., Лянгузова И. В. Оболочка пропагул беспозвоночных и растений: избирательная проницаемость и барьерные свойства // Журн. общ. биологии. 2006. Т. 67, № 2. С. 120 – 126.
- Мирзоева Н. Ю. <sup>90</sup>Sr в экосистемах соленых озер Крыма // Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология. 2016. Т. 4, № 9. С. 467 – 483.
- Мюллер П., Нойман П., Шторм Р. Таблицы по математической статистике. М. : Финансы и статистика, 1982. 278 с.
- Поликарпов Г. Г. Морская радиохимэкология и проблема загрязнений. Киев : Наук. думка, 1984. 184 с.
- Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н., Гулин С. Б., Стокозов Н. А., Лазоренко Г. Е., Мирзоева Н. Ю., Терещенко Н. Н., Цыцугина В. Г., Кулебакина Л. Г., Поповичев В. Н., Коротков А. А., Евтушенко Д. Б., Жерко Н. В., Малахова Л. В. Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. 667 с.

- Радченко Л. А. Влияние температуры на пострадиационную выживаемость артемии *Artemia salina* (L.) // Гидробиол. журн. 1984. Т. 20, № 1. С. 61 – 65.
- Руднева И. И. Артемия. Перспективы использования в народном хозяйстве. Киев : Наук. думка, 1991. 144 с.
- Шадрин Н. В. Альтернативные устойчивые состояния озерных экосистем и критические солёности: есть ли жесткая связь? // Тр. Зоол. ин-та РАН. 2013. Т. 317, приложение 3. С. 214 – 221.
- Anufrieva E. V., Shadrin N. V. The swimming behavior of *Artemia* (Anostraca) : new experimental and observational data // Zoology. 2014. Vol. 117, № 6. P. 415 – 421.
- Baid I. C. The effect of salinity on growth and form of *Artemia salina* (L) // J. of Experimental Zoology, Part A. 1963. Vol. 153, № 3. P. 279 – 283.
- Belmonte G., Moscatello S., Batogova E. A., Pavlovskaya T., Shadrin N. V., Litvinchuk L. F. Fauna of hypersaline lakes of the Crimea (Ukraine) // Thalassia Salentina. 2012. Vol. 34. P. 11–24.
- Brumfiel G. Directly comparing Fukushima to Chernobyl // Nature News Blog. 2011. URL: [http://blogs.nature.com/news/2011/09/directly\\_comparing\\_fukushima\\_t.html](http://blogs.nature.com/news/2011/09/directly_comparing_fukushima_t.html) (дата обращения: 8.02.2012).
- Conte F. P., Droukas P. C., Ewing R. D. Development of sodium regulation and *de novo* synthesis of Na<sup>+</sup>K<sup>+</sup> activated ATPase in larval brine shrimp, *Artemia salina* // J. of Experimental Zoology, Part A. 1977. Vol. 202, № 3. P. 339 – 361.
- Dai L., Chen D.-F., Liu Y.-L., Zhao Y., Yang F., Yang J.-S., Yang W.-J. Extracellular matrix peptides of *Artemia* cyst shell participate in protecting encysted embryos from extreme environments // PLoS ONE. 2011. Vol. 6, № 6. P. e20187.
- Dallas L. J., Keith-Roach M., Lyons B. P., Jha A. N. Assessing the impact of ionizing radiation on aquatic invertebrates : A critical review // Radiation Research. 2012. Vol. 177. P. 693 – 716.
- Davenport J., Healy A. Relationship between medium salinity, body density, buoyancy and swimming in *Artemia franciscana* larvae: constraints on watercolumn use? // Hydrobiologia. 2006. Vol. 556, iss. 1. P. 295 – 301.
- Dhont J., Sorgeloos P. Applications of *Artemia* // *Artemia* : Basic and Applied Biology. Vol. 1. Biology of aquatic organisms / eds. T. J. Abatzopoulos, J. A. Beardmore, J. S. Clegg, P. Sorgeloos. Dordrecht : Springer, 2002. P. 251 – 277.
- El-Gamal M. M. Respiration of *Artemia franciscana* cultured under different salinities // Animal Biology. 2011. Vol. 61, № 4. P. 413 – 425.
- Fuller N., Lerebours A., Smith J. T., Ford A. T. The biological effects of ionising radiation on Crustaceans : A review // Aquatic Toxicology. 2015. Vol. 167. P. 55 – 67.
- Gajardo G. M., Beardmore J. A. The brine shrimp *Artemia* : adapted to critical life conditions // Frontiers in Physiology. 2012. Vol. 3. P. 185. DOI: 10.3389/fphys.2012.00185
- Gaubin Y., Pianezzi B., Planel H. Radiation-induced changes in late effects and in developmental capacities of exposed artemia cysts // Mechanisms of Ageing and Development. 1985. Vol. 32, № 1. P. 21 – 32.
- Gilbin R., Alonzo F., Garnier-Laplace J. Effects of chronic external gamma irradiation on growth and reproductive success of *Daphnia magna* // J. of Environmental Radioactivity. 2008. Vol. 99, iss. 1. P. 134 – 145.
- Jia Q., Anufrieva E., Liu X., Kong F., Shadrin N. Intentional introduction of *Artemia sinica* (Anostraca) in the high-altitude Tibetan Lake Dangxiong Co : the new population and consequences for the environment and for humans // Chinese J. of Oceanology and Limnology. 2015. Vol. 33, iss. 6. P. 1451 – 1460.
- Jorgensen P. L., Amat F. Regulation and function of lysine-substituted Na, K pumps in salt adaptation of *Artemia franciscana* // J. of Membrane Biology. 2008. Vol. 221, № 1. P. 39–49.

- Khlebovich V. V., Aladin N. V.* The salinity factor in animal life // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2010. Vol. 80, № 3. P. 299 – 304.
- MacRae T. H.* Stress tolerance during diapause and quiescence of the brine shrimp, *Artemia* // Cell Stress Chaperon. 2016. Vol. 21, iss. 1. P. 9 – 18.
- Mirzoyeva N., Gulina L., Gulin S., Plotitsina O., Stetsuk A., Arkhipova S., Korkishko N., Eremin O.* Radionuclides and mercury in the salt lakes of the Crimea // Chinese J. of Oceanology and Limnology. 2015. Vol. 33, iss. 6. P. 1413 – 1425.
- Novikova N., Gusev O., Polikarpov N., Deshevaya E., Levinskikh M., Alekseev V., Okuda T., Sugimoto M., Sychev V., Grigoriev A.* Survival of dormant organisms after long-term exposure to the space environment // Acta Astronautica. 2011. Vol. 68, iss. 9 – 10. P. 1574 – 1580.
- Qiu Z., MacRae T. H.* ArHsp22, a developmentally regulated small heat shock protein produced in diapause-destined *Artemia* embryos, is stress inducible in adults // FEBS J. 2008. Vol. 275, iss. 14. P. 3556 – 3566.
- Schmankewitsch M. W. J.* On the relations of *Artemia salina* and *Artemia Muhlhauseni*, and on the genus *Branchipus* // J. of Natural History. 1876. Vol. 17, № 99. P. 256 – 258.
- Shadrin N. V., Anufrieva E. V.* Size polymorphism and fluctuating asymmetry of *Artemia* (Branchiopoda: Anostraca) populations from the Crimea // J. of Siberian Federal University. Biology. 2017. Vol. 10, iss. 1. P. 114 – 126.
- Shadrin N. V., Anufrieva E. V., Amat F., Eremin O. Y.* Dormant stages of crustaceans as a mechanism of propagation in the extreme and unpredictable environment in the Crimean hypersaline lakes // Chinese J. of Oceanology and Limnology. 2015. Vol. 33, iss. 6. P. 1362 – 1367.
- Shadrin N. V., Anufrieva E. V., Kipriyanova L. M., Kolesnikova E. A., Latushkin A. A., Romanov R. E., Sergeeva N. G.* The political decision caused the drastic ecosystem shift of the Sivash Bay (the Sea of Azov) // Quaternary International. 2018. Vol. 475. P. 4 – 10.
- Waters C. N., Zalasiewicz J., Summerhayes C., Barnosky A. D., Poirier C., Galuszka A., Cearreta A., Edgeworth M., Ellis E. C., Ellis M., Jeandel C., Leinfelder R., McNeill J. R., Richter D. de B., Steffen W., Syvitski J., Vidas D., Wagreich M., Williams M., Zhisheng A., Grinevald J., Odada E., Oreskes N., Wolfe A. P.* The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene // Science. 2016. Vol. 351, iss. 6269. P. 138 – 147.
- Wu G., Zhang H., Sun J., Liu F., Ge X., Chen W-H., Yu J., Wang W.* Diverse *LEA* (late embryogenesis abundant) and *LEA-like* genes and their responses to hypersaline stress in post-diapause embryonic development of *Artemia franciscana* // Comparative Biochemistry and Physiology, Part B. 2011. Vol. 160, № 1. P. 32 – 39.
- Zadereev E. S., Lopatina T. S., Zotina T. A., Oskina N. A., Demytyev D. V., Petrichenkov M. V.* The effect of  $\gamma$ -radiation on resting eggs and life cycle of cladoceran *Moina macrocopa* // Doklady Biochemistry and Biophysics. 2016. Vol. 466, № 1. P. 61 – 65.
- Zhu X. J., Feng C. Z., Dai Z. M., Zhang R. C., Yang W. J.* AMPK alpha subunit gene characterization in *Artemia* and expression during development and in response to stress // Stress. 2007. Vol. 10, № 1. P. 53 – 63.

**GAMMA RADIATION EFFECT OF PARTNOGENETIC *ARTEMIA*  
(BRANCHIOPODA, ANOSTRACA) CYSTS  
ON NAUPLIUS HATCHING AND POSTNAUPLIUS SURVIVAL  
UNDER DIFFERENT SALINITY**

**Natalya Y. Mirzoyeva, Elena V. Anufrieva, and Nickolai V. Shadrin**

*A. O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research, Russian Academy of Sciences  
2 Nakhimov ave., Sevastopol 299011, Russia  
E-mail: snickolai@yandex.ru*

Received 5 April 2018, revised 6 August 2018, accepted 26 August 2018

Mirzoyeva N. Y., Anufrieva E. V., Shadrin N. V. Gamma Radiation Effect of Partnogenetic *Artemia* (Branchiopoda, Anostraca) Cysts on Nauplius Hatching and Postnauplius Survival under Different Salinity. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2018, no. 4, pp. 418–432 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-4-418-432>

The effect of gamma radiation doses of 0, 2.5, 5.5 and 7.5 Gy received by *Artemia* cysts on the hatching of nauplii and post-nauplii survival of crustaceans was studied at salinities of 0, 9, 18, 36, 54, 62, 78 and 88 g/L. Under the same salinities, the above parameters were also estimated without irradiation. It has been found that the rate of nauplii hatching from cysts primarily depends on salinity, the coefficient of determination being 90%. The radiation dose did not affect nauplii hatching at any salinity, except 54 g/L, when a reliable negative relationship between the hatched nauplii fraction and the radiation dose was found. The survival of crustaceans appeared from irradiated cysts depended on salinity. In the salinity range of 9–52 g/L, it was significantly less than in the range of 62–88 g/L (2.5 and 5.5 Gy). The crustaceans came from the cysts received 7.5 Gy did not survive to 12 days at a salinity of 88 g/L. The minimum post-nauplii survivorship of the crustaceans was noted at a salinity of 54 g/L under all irradiation doses; this salinity can be considered as critical for *artemia*, when the osmoregulation mechanism reconfigures. Ecological effects in *artemia* populations can occur, starting from the dose of 2.5 Gy. The studied radiation doses may have long-term consequences for *artemia* populations in hypersalinated water bodies. To correctly quantify the effect of these doses on *artemia* populations, it is necessary to study not only the generation of crustaceans immediately hatched from irradiated cysts, but also 2–3 subsequent generations.

*Key words:* *Artemia*, resting eggs, gamma radiation, salinity, survivability, radioreistance.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-4-418-432>

**Acknowledgments:** This research was conducted in the framework of the state orders of the Kovalevsky Institute of Marine Biological Research, Russian Academy of Sciences by the themes “Molismological and biogeochemical bases of marine ecosystem homeostasis” (no. AAAA-A18-118020890090-2) and “Functional, metabolic and toxicological aspects of the existence of hydrobionts and their populations in biotopes with different physicochemical conditions” (no. AAAA-A18-118021490093-4).

## REFERENCES

- Balushkina E. V., Golubkov S. M., Golubkov M. S., Litvinchuk L. F., Shadrin N. V. Effect of abiotic and biotic factors on the structural and functional organization of the saline lake ecosystems. *Zhurnal Obshchei Biologii*, 2009, vol. 70, no. 6, pp. 504–514 (in Russian).
- Gaevskaya N. The variability of *Artemia salina*. *Proceedings of the Imperial Academy of Sciences, VI series*, 1914, vol. 8, pp. 1158–1159 (in Russian).
- Gulina L. V., Gulin S. B. Natural and man-made radionuclides in ecosystem of the salt lake Koyashskoe (SE Crimea). *Marine Ecological J.*, 2011, vol. 1, no. 10, pp. 19–25 (in Russian).
- Kuzin A. M. The eternal companion of life on Earth – radiation. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 1996, vol. 66, no. 4, pp. 330–332 (in Russian).
- Kulepanov V. N. *Ioniziruyushcheye izlucheniye v gidrosfere. Vvedeniye v radiobiologiyu i radioekologiyu gidrobiontov* [Ionizing radiation in the hydrosphere. Introduction to the radiobiology and radioecology of hydrobionts]. Moscow, INFA-M Publ., 2017. 88 p. (in Russian).
- Makrushin A. V., Lyanguzova I. V. Sheath of propagules of invertebrates and plants: selective permeability and barrier properties. *Zhurnal Obshchei Biologii*, 2006, vol. 67, no. 2, pp. 120–126 (in Russian).
- Mirzoyeva N. Y.  $^{90}\text{Sr}$  in the ecosystems of salt lakes of the Crimea. *J. of Siberian Federal University, Biology*, 2016, vol. 4, no. 9, pp. 467–483 (in Russian).
- Muller P., Neumann P., Storm P. Tables on Mathematical Statistics. Moscow, Finance and Statistics Publ., 1982. 278 p. (in Russian).
- Polikarpov G. Morskaya radiokhimoekologiya i problema zagryazneniy [Marine Radiohimiocoecology and the Problem of Pollution]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1984. 184 p. (in Russian).
- Polikarpov G. G., Yegorov V. N., Gulin S. B., Stokozov N. A., Lazorenko G. Ye., Mirzoyeva N. Yu., Tereshchenko N. N., Tsytsugina V. G., Kulebakina L. G., Popovichev V. N., Korotkov A. A., Yevtushenko D. B., Zherko N. V., Malakhova L. V. *Radioekologicheskiy otklik Chernogo morya na chernobylskuyu avariyyu* [Radioecological response of the Black Sea to the Chernobyl accident]. Sevastopol, EKOSI–Gidrofizika, 2008. 667 p. (in Russian).
- Radchenko L. A. Influence of temperature on the post-radiation survival of *Artemia salina* (L.). *Hydrobiological J.*, 1984, vol. 20, no. 1, pp. 61–65 (in Russian).
- Rudneva I. I. *Artemiya. Perspektivy ispolzovaniya v narodnom khozyaystve* [Artemia. Prospects of use in the National Economy]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1991. 144 p. (in Russian).
- Shadrin N. V. Alternative stable states of lake ecosystems and critical salinities: is there a rigid connection? *Proceedings of the Zoological Institute RAS*, 2013, vol. 317, suppl. 3, pp. 214–221 (in Russian).
- Anufrieva E. V., Shadrin N. V. The swimming behavior of *Artemia* (Anostraca): new experimental and observational data. *Zoology*, 2014, vol. 117, no. 6, pp. 415–421.
- Baid I. C. The effect of salinity on growth and form of *Artemia salina* (L.). *J. of Experimental Zoology, Part A*, 1963, vol. 153, no. 3, pp. 279–283.
- Belmonte G., Moscatello S., Batogova E. A., Pavlovskaya T., Shadrin N. V., Litvinchuk L. F. Fauna of hypersaline lakes of the Crimea (Ukraine). *Thalassia Salentina*, 2012, vol. 34, pp. 11–24.
- Brumfiel G. Directly comparing Fukushima to Chernobyl. *Nature News Blog*, 2011. Available at: [http://blogs.nature.com/news/2011/09/directly\\_comparing\\_fukushima\\_t.html](http://blogs.nature.com/news/2011/09/directly_comparing_fukushima_t.html) (accessed 8 February 2012).
- Conte F. P., Droukas P. C., Ewing R. D. Development of sodium regulation and *de novo* synthesis of Na+K activated ATPase in larval brine shrimp, *Artemia salina*. *J. of Experimental Zoology, Part A*, 1977, vol. 202, no. 3, pp. 339–361.
- Dai L., Chen D.-F., Liu Y.-L., Zhao Y., Yang F., Yang J.-S., Yang W.-J. Extracellular matrix peptides of *Artemia* cyst shell participate in protecting encysted embryos from extreme environments. *PLoS ONE*, 2011, vol. 6, no. 6, pp. e20187.

- Dallas L. J., Keith-Roach M., Lyons B. P., Jha A. N. Assessing the impact of ionizing radiation on aquatic invertebrates: A critical review. *Radiation Research*, 2012, vol. 177, pp. 693–716.
- Davenport J., Healy A. Relationship between medium salinity, body density, buoyancy and swimming in *Artemia franciscana* larvae: constraints on watercolumn use? *Hydrobiologia*, 2006, vol. 556, iss. 1, pp. 295–301.
- Dhont J., Sorgeloos P. Applications of *Artemia*. In: T. J. Abatzopoulos, J. A. Beardmore, J. S. Clegg, P. Sorgeloos, eds. *Artemia: Basic and Applied Biology. Vol. 1. Biology of Aquatic Organisms*. Dordrecht, Springer, 2002, pp. 251–277.
- El-Gamal M. M. Respiration of *Artemia franciscana* cultured under different salinities. *Animal Biology*, 2011, vol. 61, no. 4, pp. 413–425.
- Fuller N., Lerebours A., Smith J. T., Ford A. T. The biological effects of ionising radiation on Crustaceans: A review. *Aquatic Toxicology*, 2015, vol. 167, pp. 55–67.
- Gajardo G. M., Beardmore J. A. The brine shrimp *Artemia*: adapted to critical life conditions. *Frontiers in Physiology*, 2012, vol. 3, pp. 185. DOI: 10.3389/fphys.2012.00185
- Gaubin Y., Pianezzi B., Planel H. Radiation-induced changes in late effects and in developmental capacities of exposed artemia cysts. *Mechanisms of Ageing and Development*, 1985, vol. 32, no. 1, pp. 21–32.
- Gilbin R., Alonzo F., Garnier-Laplace J. Effects of chronic external gamma irradiation on growth and reproductive success of *Daphnia magna*. *J. of Environmental Radioactivity*, 2008, vol. 99, iss. 1, pp. 134–145.
- Jia Q., Anufrieva E., Liu X., Kong F., Shadrin N. Intentional introduction of *Artemia sinica* (Anostraca) in the high-altitude Tibetan Lake Dangxiong Co: the new population and consequences for the environment and for humans. *Chinese J. of Oceanology and Limnology*, 2015, vol. 33, iss. 6, pp. 1451–1460.
- Jorgensen P. L., Amat F. Regulation and function of lysine-substituted Na, K pumps in salt adaptation of *Artemia franciscana*. *J. of Membrane Biology*, 2008, vol. 221, no. 1, pp. 39–49.
- Khlebovich V. V., Aladin N. V. The salinity factor in animal life. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2010, vol. 80, no. 3, pp. 299–304.
- MacRae T. H. Stress tolerance during diapause and quiescence of the brine shrimp, *Artemia*. *Cell Stress Chaperon*, 2016, vol. 21, iss. 1, pp. 9–18.
- Mirzoyeva N., Gulina L., Gulina S., Plotitsina O., Stetsuk A., Arkhipova S., Korkishko N., Eremin O. Radionuclides and mercury in the salt lakes of the Crimea. *Chinese J. of Oceanology and Limnology*, 2015, vol. 33, iss. 6, pp. 1413–1425.
- Novikova N., Gusev O., Polikarpov N., Deshevaya E., Levinskikh M., Alekseev V., Okuda T., Sugimoto M., Sychev V., Grigoriev A. Survival of dormant organisms after long-term exposure to the space environment. *Acta Astronautica*, 2011, vol. 68, iss. 9–10, pp. 1574–1580.
- Qiu Z., MacRae T. H. ArHsp22, a developmentally regulated small heat shock protein produced in diapause-destined *Artemia* embryos, is stress inducible in adults. *FEBS J.*, 2008, vol. 275, iss. 14, pp. 3556–3566.
- Schmankewitsch M. W. J. On the relations of *Artemia salina* and *Artemia Muhlhauseni*, and on the genus *Branchipus*. *J. of Natural History*, 1876, vol. 17, no. 99, pp. 256–258.
- Shadrin N. V., Anufrieva E. V. Size polymorphism and fluctuating asymmetry of *Artemia* (Branchiopoda: Anostraca) populations from the Crimea. *J. of Siberian Federal University, Biology*, 2017, vol. 10, iss. 1, pp. 114–126.
- Shadrin N. V., Anufrieva E. V., Amat F., Eremin O. Y. Dormant stages of crustaceans as a mechanism of propagation in the extreme and unpredictable environment in the Crimean hypersaline lakes. *Chinese J. of Oceanology and Limnology*, 2015, vol. 33, iss. 6, pp. 1362–1367.

Shadrin N. V., Anufrieva E. V., Kipriyanova L. M., Kolesnikova E. A., Latushkin A. A., Romanov R. E., Sergeeva N. G. The political decision caused the drastic ecosystem shift of the Sivash Bay (the Sea of Azov). *Quaternary International*, 2018, vol. 475, pp. 4–10.

Waters C. N., Zalasiewicz J., Summerhayes C., Barnosky A. D., Poirier C., Gałuszka A., Cearreta A., Edgeworth M., Ellis E. C., Ellis M., Jeandel C., Leinfelder R., McNeill J. R., Richter D. de B., Steffen W., Syvitski J., Vidas D., Wagnreich M., Williams M., Zhisheng A., Grinevald J., Odada E., Oreskes N., Wolfe A. P. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science*, 2016, vol. 351, iss. 6269, pp. 138–147.

Wu G., Zhang H., Sun J., Liu F., Ge X., Chen W-H., Yu J., Wang W. Diverse *LEA* (late embryogenesis abundant) and *LEA-like* genes and their responses to hypersaline stress in post-diapause embryonic development of *Artemia franciscana*. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B*, 2011, vol. 160, no. 1, pp. 32–39.

Zadereev E. S., Lopatina T. S., Zotina T. A., Oskina N. A., Dementyev D. V., Petrichenkov M. V. The effect of  $\gamma$ -radiation on resting eggs and life cycle of cladoceran *Moina macrocopa*. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, 2016, vol. 466, no. 1, pp. 61–65.

Zhu X. J., Feng C. Z., Dai Z. M., Zhang R. C., Yang W. J. AMPK alpha subunit gene characterization in *Artemia* and expression during development and in response to stress. *Stress*, 2007, vol. 10, no. 1, pp. 53–63.