

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ КАЛИЯ И КАЛЬЦИЯ НА PONTOGAMMARUS ROBUSTOIDES В СВЯЗИ С ЕГО АККЛИМАТИЗАЦИЕЙ

В. И. ЧЕКУНОВА

В связи с реконструкцией фауны некоторых морей перед биологической наукой возникла необходимость изучить требования водных организмов к изменяющейся среде, чтобы иметь возможность определить поведение и изменчивость организма в новых условиях.

Перед нами была поставлена задача выяснить влияние отдельных ионов солей морской воды на кормовых беспозвоночных Северного Каспия в целях их акклиматизации в водоемы с различными соотношениями солей (Балхаш, Аральское море и другие водоемы).

Известно, что животные, обитающие в солоноватых водах, испытывают влияние не только изменяющейся общей солености, но и качественного и количественного изменения в соотношении отдельных ионов в воде. Так, например, В. Н. Беклемишев и В. П. Баскина [1] объясняют увеличение продолжительности жизни дафний magna в аральской воде по сравнению с черноморской и каспийской меньшей величиной соотношения $Mg:Ca$ в аральской воде.

Я. А. Бирштейн и Г. М. Беляев [2] считают, что ядовитость балхашской воды обусловлена ее своеобразным солевым составом и прежде всего повышенным содержанием ионов калия и магния, неуравновешенных соответственными ионами-антагонистами.

Большой практический интерес представляет работа М. П. Богоявленской [3], которая экспериментальным путем доказала, что рыбы, выращенные в воде с различным содержанием Ca и Mg , различаются по весовому приросту. Наилучший прирост рыбы наблюдается при соотношении $Mg:Ca=1:3,7$, а наихудший—при $Mg:Ca=1:11,1$.

На примере дрейссен Северного Каспия А. Ф. Карпевич [7] показала, как изменение количественных соотношений между одно- и двухвалентными ионами во внешней среде приводит к изменению солевого обмена у моллюска, что в свою очередь оказывает влияние на физиологию организма, состав и морфологию раковины, а также биологию исходного вида. Этот случай А. Ф. Карпевич рассматривает как качественный скачок в обмене веществ, приведший к образованию нового вида *Dreissena andrusovi* (Brus). В другой работе А. Ф. Карпевич [8] установила зависимость интенсивности газообмена у мезомизис из дельты р. Волги от различного соотношения солей в воде разных водоемов при одинаковой хлорности и прочих равных условиях.

В наших ранних исследованиях [12] испытывалось действие повышенных концентраций хлористых солей K , Na , Ca , Mg на беспозвоночных Северного Каспия. Было установлено, что при добавлении этих солей к естественной каспийской воде соленостью 3‰ только ионы калия повышают гибель животных, а нейтрализовать ядовитое действие этого иона может кальций.

В настоящей статье рассматривается влияние повышенных концентраций калия и его антагониста кальция на физиологическое состояние *Pontogammarus robustoides*.

Вместе с процессом выживания определялась интенсивность дыхания животных в тех же растворах и проникновение изотопа калия (K^{42}) в тело бокоплава. Работа проводилась в осенние периоды 1957—1958 гг. на базе Каспниро под руководством доктора биологических наук А. Ф. Карпевич.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Объект исследования *Pontogammarus robustoides* (Grimm)—солоноватоводная форма, эвригалинная и эвритермная, широко распространенная в бассейнах Азовского, Черного и Каспийского морей [4]. Благоприятный солевой диапазон этого вида в каспийской воде лежит в пределах от 0 до 14‰ [11]. Поэтому контрольной средой была выбрана каспийская вода соленостью 3‰. Гаммарид собирали в дельте р. Волги на корнях высшей водной растительности или у поверхности воды среди плавающих водорослей, обрастаниями которых они питаются.

В опытах использовали зрелых особей летних генераций длиной от 9 до 12 мм.

Влияние ионов калия на понтогаммарусов испытывалось в каспийской воде соленостью 3‰ при добавлении различных концентраций хлористого калия. Антагонистическое взаимодействие между K и Ca и влияние их концентрации на бокоплавов определяли также в каспийской воде соленостью 3‰ при добавлении к ней 300 мг/л калия и различных количеств соли хлористого кальция. Показателями действия испытуемых растворов на животных являлись среднесуточная гибель их, интенсивность потребления ими кислорода и величина проникновения иона калия в тело исследуемой особи.

Дыхание понтогаммарусов определялось методом закрытых сосудов, в которых испытуемые гаммариды находились 5—6 часов при температуре 14—18°.

Способ физиологической адаптации [6] животных к изменяющейся среде, позволяющей выявить весь солевой интервал, в котором возможна нормальная жизнедеятельность организма, употреблялся только при выяснении интенсивности дыхания в растворах с повышенными концентрациями ионов калия. В этом случае гаммарид постепенно переводили из растворов с меньшей концентрацией калия в большую, последовательно увеличивая содержание иона калия в каспийской воде от 20 до 30, 50, 70, 90, 120, 140, 170, 220 и 320 мг/л. В каждом растворе животные перед опытом содержались не менее 1 суток. Во всех других случаях испытуемых особей сразу переводили из естественной среды в опытные растворы. Полученные при этом показатели помогают установить только оптимальную зону для жизни данной популяции.

Проникновение иона калия в тело понтогаммаруса изучалось с помощью изотопа K^{42} в лаборатории ВНИРО под руководством И. А. Шехановой¹.

В обычную каспийскую воду соленостью 3‰, содержащую различные концентрации калия или кальция, добавляли радиоактивный раствор KCl с таким расчетом, чтобы на каждые 10 мг/л стабильного калия приходилось 25,5 мкС радиоактивного.

Опыты проводили в чашках Коха. В 100 мл раствора помещали по 3—5 особей понтогаммаруса, по окончании испытания их помещали в газовые мешочки и отмывали в течение 3—4 минут под струей водопроводной воды. Затем животных обсушивали на фильтровальной

¹ Пользуюсь случаем, приношу ей глубокую благодарность за помощь в овладении методикой меченых атомов.

бумаге, взвешивали и готовили из них препарат. На предметное стекло наклеивали строго определенный отрезок фильтровальной бумаги, на который тонким ровным слоем наносили массу, приготовленную из растертой испытуемой особи. Содержание K^{42} в теле животного определяли при помощи установки Б-1 со счетной трубкой типа АС-2.

Количество проникшего изотопа K^{42} в тело пересчитывали на общее содержание радиоактивного и стабильного калия, поступившего в организм. Период полураспада K^{42} составляет 12,4 часа, поэтому длительные опыты, связанные с физиологической адаптацией гаммарид к растворам, не проводились.

ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ИОНОВ КАЛИЯ НА PONTOGAMMARUS ROBUSTOIDES

В табл. 1 представлены результаты опытов по выживанию *Pontogammarus robustoides* и потреблению им кислорода, а также данные, характеризующие проникновение в его тело иона калия. Опыты проводились в каспийской воде соленостью 3‰ при повышенных концентрациях КСl. Сравнивая полученные показатели влияния испытуемой соли на жизнедеятельность гаммарид, находим тесную зависимость процессов выживания и дыхания от количества проникшего в организм ионов калия. В нормальных условиях обитания раков, т. е. в каспийской воде соленостью 3‰ при добавлении 53 $\mu\text{C}/\text{л}$ K^{42} , количество проникших в организм ионов калия увеличивается прямо пропорционально длительности опыта (рис. 1, кривая 1). Наши исследования длились от 30

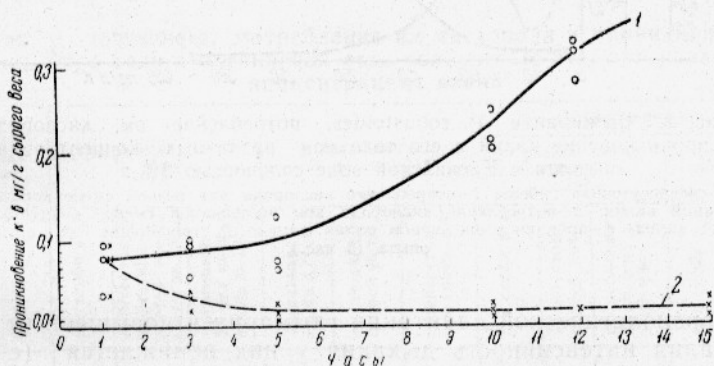


Рис. 1. Проникновение ионов калия в тело *P. robustoides*, в каспийской воде соленостью 3‰:

1—проникновение ионов калия в тело рачка за время опыта в мг/г сырого веса; 2—проникновение ионов калия за 1 час в мг/г.

минут до 15 часов, при этом в тело животного проникло калия от 0,08 до 0,2 мг на 1 г сырого веса. Мы не изучали обмена калия у понтогаммаруса, поэтому не знаем о выведении этого иона из организма. Но совершенно очевидно, что в нормальных условиях обитания понтогаммаруса калий не механически проникает в тело—это физиологический процесс, когда животное для поддержания нормальной жизнедеятельности организма ежечасно потребляет определенную дозу калия—0,02 мг на 1 г сырого веса (рис. 1, кривая 2).

Известно, что калий является необходимым элементом для жизни животных. Он встречается главным образом в мышечной ткани [9, 10, 15] и, по мнению многих ученых [9, 10, 14, 16], этот ион способствует активности животных. Слишком большое содержание калия в организме или его полное отсутствие может затормозить мышечную активность, например вызвать прекращение сердечной деятельности [10] и полный паралич животных [13].

Наши наблюдения показали, что с увеличением концентрации калия от 20 до 70 мг/л в каспийской воде соленостью 3‰ повышается и потребление его организмом с 0,134 до 0,213 мг на 1 г сырого веса за 5 часов (табл. 1, рис. 2). В соответствии с изменением дозы потребления калия гаммариды изменяются и интенсивность потребления ими кислорода.

Если животных пересаживать сразу из контроля в растворы с повышенным содержанием калия от 20 до 70 мг/л, то понтогаммарусы становятся очень активны и в связи с этим увеличивается потребление ими кислорода с 0,37 до 0,53 мл/г·час.

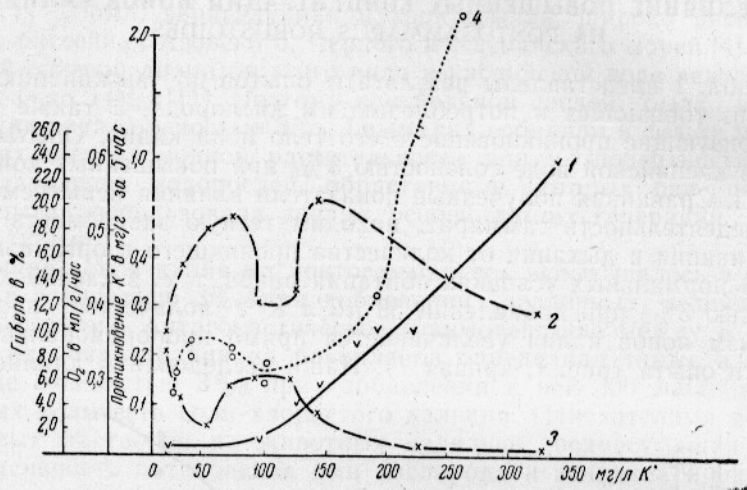


Рис. 2. Выживание *P. robustoides*, потребление им кислорода и проникновение калия в его тело при различных концентрациях калия в Каспийской воде соленостью 3‰:

1—среднесуточная гибель; 2—потребление кислорода при резкой смене концентраций калия; 3—потребление кислорода при постепенной смене концентраций калия; 4—проникновение ионов калия в тело *P. robustoides* за время опыта (5 час.).

При физиологической адаптации гаммарид к повышенным концентрациям калия интенсивность дыхания у них понижается (с 0,344 до 0,301—0,246 мл/г·час), что указывает на некоторое ослабление общей жизнедеятельности организма. Однако несмотря на это, животные в таких растворах питаются и нормально линяют, а среднесуточная гибель их не превышает контроля (1,27%).

Следовательно, даже небольшое превышение (0,0158 мг/г·час) над нормой (0,0268 мг/г·час) потребления калия организмом вызывает возбуждение животного при кратковременном действии иона и угнетение при длительном его воздействии.

Дальнейшее увеличение в каспийской воде соленостью 3‰ общей концентрации калия — от 90 до 120 мг/л — не вызывает превышения над нормой потребления его. Оно почти одинаково с контролем (0,134—0,165 мг/л), и потребление кислорода понтогаммарусом в этих пределах близко к норме как при резкой смене концентраций в растворах (0,37—0,43 мл/г·час), так и при физиологической адаптации (0,34—0,30 мл/г·час) животных к ним.

Необходимо отметить, что при физиологической адаптации животных общие концентрации калия, в которых наблюдается нормальное дыхание, расширяются в сторону пониженного содержания калия (от 70 до 120 мг/л).

В таком диапазоне содержания калия гаммариды интенсивно пи-

таются, после линьки остаются живыми и среднесуточная гибель их незначительная—1,2—2,8%.

При общем содержании калия—140—170 мг/л—его проникновение в организм увеличивается до 0,295 мг/г. У животных, которые попадают из условий контроля в такие растворы, резко повышается активность, и потребление кислорода становится равным 0,55 мл/г·час. Наоборот, при постепенном приспособлении гаммарид к этим же концентрациям калия интенсивность их дыхания снижается до 0,26 мл/г·час, а гибель увеличивается (5,9—8,3%) и особенно после линьки, что является следствием угнетения животных.

При добавлении к каспийской воде 200 и 300 мг/л калия организм полностью теряет способность регулировать поступление этого иона внутрь тела, калий свободно проходит через ткани, превышая норму проникновения в 10 раз (см. табл. 1). Накапливаясь в организме, он вызывает нарушение всех физиологических функций. Попад в такие растворы из каспийской воды с естественным содержанием ионов, животные в первые часы опыта очень возбуждены, затем наступает угнетение, гаммариды слабеют и неподвижно лежат на дне респирометра, потребление кислорода у них в конце опыта ничтожно малое.

В табл. 1 приведены средние результаты за 5 часов опыта. При постепенном приучении понтогаммарусов к высокому содержанию калия физиологической адаптации не происходит, животные угнетены, потребление кислорода у них минимальное (0,23 мл/г·час), а среднесуточная гибель и особенно после линьки резко возрастает до 10—25%.

Таблица 1

Выживание *P. robustoides*, потребление им кислорода и проникновение ионов калия в его тело в каспийской воде соленостью 3‰ при различных концентрациях калия¹

Количество калия в Каспийской воде соленостью 3‰ в мг/л		Проникновение К ⁺ в тело ¹			Выживание <i>P. robustoides</i>			Потребление кислорода					
добавленное	общее							при резкой смене концентрации солей			при постепенной смене концентраций		
		вес особи в мг	количество К ⁺ , проникшего в тело особи в мг/г за 5 час.	превышение К ⁺ над нормой в мг/г за 1 час.	длительность опыта в сутках	количество особей (шт.)	среднесуточная гибель в %	вес особи в г	количество особей (шт.)	потребление кислорода в мл/г·час	вес особи в г	количество особей (шт.)	потребление кислорода в мл/г·час
Контроль	20	29	0,134	—	63	5	1,27	0,574	16	0,375	0,561	15	0,344
10	30	20	0,206	0,0144	26	5	3,8	0,492	15	0,462	0,588	14	0,283
30	50	25	0,197	0,0126	—	—	—	0,410	15	0,508	0,584	15	0,246
50	70	28	0,213	0,0158	63	5	1,27	0,490	16	0,532	0,566	14	0,301
70	90	—	—	—	63	5	1,27	0,512	14	0,406	0,501	13	0,308
100	120	30	0,165	0,0062	35	5	2,8	0,462	15	0,431	0,643	16	0,303
120	140	—	—	—	17	5	5,9	0,522	15	0,551	0,616	16	0,260
150	170	29	0,295	0,0322	12	5	8,3	—	—	—	—	—	—
200	220	28	1,225	0,2182	10	5	10,0	0,494	15	0,384	0,444	14	0,282
300	320	25	1,533	0,2792	4	5	25,0	0,463	13	0,394	0,366	11	0,229

¹ Среднее из 3—5 измерений.

Таким образом *Pontogammarus robustoides* способен регулировать поступление калия внутрь тела при общем содержании его в каспийской воде соленостью 3‰ от 20 до 120 мг/л.

Эти концентрации калия, когда его проникновение внутрь организма не превышает норму больше чем на $0,0158 \text{ мг/г} \cdot \text{час}$, можно назвать благоприятными для жизни этого вида.

Дальнейшее увеличение концентрации исследуемого иона (выше 120 мг/л) в каспийской воде соленостью 3‰ вызывает резкое увеличение проникновения калия в организм вследствие потери способности животным регулировать поступление калия внутрь тела. Это ведет к нарушению всех физиологических функций организма и к его гибели. Среднесуточная гибель гаммарид находится в прямой зависимости от превышения количества калия: чем выше эта величина, тем быстрее наступает гибель.

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ-АНТАГОНИСТОВ K^+ И Ca^{++} НА *PONTOGAMMARUS ROBUSTOIDES*

Из вышеизложенного ясно, что каспийская вода соленостью 3‰ , имеющая в своем составе 320 мг/л ионов калия, является сильным ядом для *P. robustoides*, их среднесуточная гибель достигает 25% . При добавлении к такому раствору хлористого кальция от 100 до 700 мг/л гибель животных резко сокращается и при доведении общего содержа-

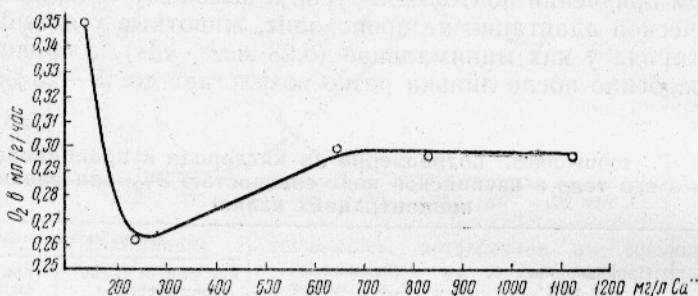


Рис. 3. Потребление кислорода *P. robustoides* при различных концентрациях ионов кальция во внешней среде.

ния кальция до 820 мг/л она достигает значения контроля. В таком растворе животные хорошо переносят линьку. Потребление кислорода у понтогаммарусов в каспийской воде соленостью 3‰ (табл. 2), содержащей 320 мг/л калия, составляет $0,29 \text{ мл/г} \cdot \text{час}$. По мере добавления ионов кальция интенсивность дыхания повышается и только при общем содержании кальция 1120 мг/л она близка к контролю, т. е. составляет $0,324 \text{ мл/г} \cdot \text{час}$.

Сами по себе ионы Ca при добавлении к каспийской воде соленостью 3‰ до 1000 мг/л не влияют на выживание и размножение солоноватоводных беспозвоночных [12], но они снижают потребление кислорода у понтогаммарусов (рис. 3).

Особенно резко оно падает при добавлении к естественной воде 100 мг/л Ca и достигает величины $0,26 \text{ мл/г} \cdot \text{час}$. Дальнейшее увеличение этого иона в растворе повышает интенсивность дыхания гаммарид до $0,29 \text{ мл/г} \cdot \text{час}$ и оно остается постоянным при содержании кальция в пределах от 620 до 1120 мг/л .

Это обстоятельство нужно учитывать при вселении солоноватоводных раков в водоемы с высоким содержанием ионов Ca^{++} , например в Аральское море. Снижение энергетического обмена у животного под влиянием этого иона может привести в конечном результате или к приспособлению осморегуляции гаммарид к новым условиям существования, или к угнетению физиологических процессов данного вида в новой среде.

Чтобы объяснить повышение потребления кислорода по мере увеличения содержания ионов Са в каспийской воде соленостью 3‰, содержащей 320 мг/л калия, мы попытались установить величину проникновения ионов калия в организм в таких растворах. Оказалось, что (табл. 2, рис. 3) с добавлением СаCl₂ проникновение ионов калия в организм уменьшается (с 1,2 до 0,3 мг/г). При соотношении $\frac{K}{Ca} = \frac{320}{1120}$ количество проникшего в тело калия составляет 0,3 мг/г и близко к норме — 0,2 мг/г*, как в каспийской воде соленостью 3‰. Следовательно, ионы кальция тормозят прохождение ионов калия в организм.

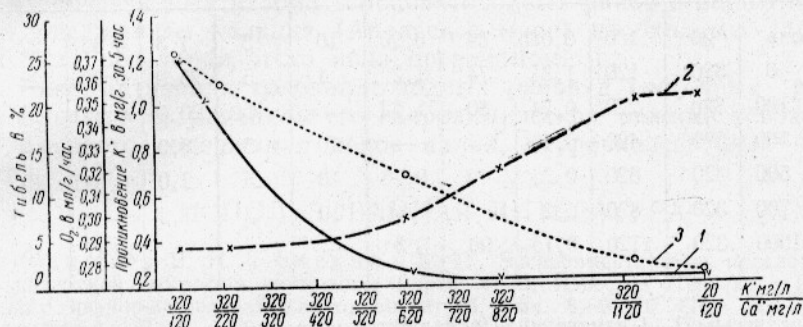


Рис. 4. Выживание *P. robustoides*, потребление им кислорода и проникновение ионов калия в его тело при различных соотношениях ионов K:Ca в каспийской воде соленостью 3‰:

1—среднесуточная гибель; 2—потребление кислорода; 3—проникновение ионов калия в тело за время опыта (5 час.).

Известно [10], что кальций уплотняет внешнюю оболочку живой клетки. Вероятно, в этом и проявляется его защитная роль.

Некоторую роль в этом процессе играет осмотическое превышение содержания Са над калием в растворе. Этим и можно объяснить полученное раньше [12] небольшое снижение среднесуточной гибели беспозвоночных при добавлении к летальным концентрациям калия ионов натрия и магния, но эти ионы не могут полностью нейтрализовать ядовитое действие калия. И только кальций, обладая уплотняющим действием на ткань, сможет играть защитную роль при действии на животных ядовитых доз калия.

Таким образом при соотношении $\frac{K}{Ca} = \frac{320}{1120}$ когда проникновение калия внутрь организма близко к контролю, где $\frac{K}{Ca} = \frac{20}{120}$, то и значение потребления кислорода и выживания животных в этих растворах близки к этим же показателям в естественных условиях.

К сожалению, мы не можем более точно определить соотношения калия и кальция, в которых возможна нормальная жизнедеятельность гаммарид, так как используемые в опытах концентрации этих ионов имели широкие диапазоны. Однако приближенно можно установить, что при соотношении $\frac{K}{Ca} = \frac{320}{820}$ и $\frac{320}{1120}$ (где K и Са выражены в мг/л)

или при $\frac{K}{Ca} = 0,15-0,2$ (где K и Са выражены в мг-экв/л) гаммариды имеют низкую среднесуточную гибель, нормально линяют и потребление ими кислорода близко к норме. Увеличение этих значений до 0,4—1,37 приводит к гибели животных (см. табл. 2).

* Из-за недостатка живого материала были использованы особи разных размеров и веса, поэтому количественный анализ провести трудно.

Таблица 2

Выживание *P. robustoides*, потребление им кислорода и проникновение ионов калия в его тело в каспийской воде соленостью 3‰ при различном соотношении ионов K:Ca*

Количество K ⁺ и Ca ⁺⁺ в каспийской воде соленостью 3‰ в мг/л						Проникновение калия		Выживание			Потребление кислорода		
добавленное		общее				вес особи в мг	количество проникшего калия в мг за 5 часов	длительность опыта в сутках	количество особей (шт.)	среднесуточная гибель в %	вес особи в г	количество особей (шт.)	потребление кислорода в мл/2-час
K	Ca	K	Ca	K**	Ca								
Контроль		20	120	0,085		34	0,20	10	5	1,3	0,697	22	0,342
300	0	320	120	1,37		74	1,2	4	5	25,0	0,296	22	0,296
300	100	320	220	0,74		80	1,12	5	5	20,0	0,641	15	0,272
300	300	320	420	0,40		—	—	10	5	8,0	—	—	—
300	500	320	620	0,26		49	0,76	10	5	2,0	0,641	15	0,285
300	700	320	820	0,2		—	—	10	5	1,3	—	—	—
300	1000	320	1120	0,15		90	0,3	—	—	—	0,647	15	0,324

* Среднее из 3—4 измерений. Продолжительность опытов 5 часов.

** K и Ca выражены в мг-экв/л.

Определение благоприятных для жизни животных соотношений $\frac{K}{Ca}$ представляет большой интерес для водоемов с высоким содержанием калия. Так, например, в оз. Балхаш в его восточных районах содержится от 163,9 до 253,9 мг/л калия при солености воды около 3—4‰ [5]. Эти концентрации калия являются ядовитыми для большинства солоноватоводных беспозвоночных Северного Каспия. Для нейтрализации иона калия в балхашской воде должно содержаться не менее 410—635 мг/л Ca, в то время как в воде этих районов содержится 23—73 мг/л Ca. Разумеется, что при таком соотношении ионов (3,6—1,44) гаммариды жить не будут.

В западных районах озера содержание калия невысокое — от 5 до 49 мг/л, даже при невысокой концентрации кальция (31—81) оно не представляет опасности для солоноватых беспозвоночных.

В связи с этим возможна акклиматизация солоноватоводных ракообразных в западные районы оз. Балхаш, что указывается в работе А. Ф. Карпевич [7] и С. К. Тюенькова¹.

ВЫВОДЫ

1. При увеличении концентрации ионов калия в каспийской воде соленостью 3‰ в пределах от 20 до 120 мг/л *Pontogammarus robustoides* регулирует поступление этого иона в организм. Вследствие этого физиологическое состояние организма: его выживание, потребление кислорода, линька и т. д. незначительно отклоняется от показателей контроля.

2. При увеличении общего содержания калия выше 120 мг/л в каспийской воде соленостью 3‰ у понтогаммарусов нарушается способность регулировать поступление калия в организм. Он проникает

¹ Акклиматизация каспийских мизид в оз. Балхаш, «Биологические основы рыбного хозяйства, Изд. Томского Государственного университета, 1959.

в него в больших количествах (1,5 мг/г за 5 часов) и вызывает нарушение всех физиологических функций, что приводит к гибели животных.

3. Неблагоприятное действие ионов калия нейтрализуется ионами кальция при соотношении $\frac{K}{Ca} = 0,2-0,15$.

4. Защитная роль кальция заключается в его уплотняющем действии на оболочку живой клетки.

5. Увеличение содержания кальция (от 120 до 1120 мг/л) в каспийской воде соленостью 3‰ не влияет на выживание и размножение солоноватых беспозвоночных, но снижает потребление ими кислорода. Поэтому при акклиматизации солоноватоводных раков в водоемы с высоким содержанием кальция (Аральское море) необходимы данные о способности регуляции этого иона организмом.

6. Акклиматизация солоноватоводных раков в восточные районы оз. Балхаш при современном его гидрохимическом режиме невозможна ввиду высокого содержания ионов калия, неуравновешенных ионами кальция.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Беклемишев В. Н. и Баскина В. П., Экспериментальные предпосылки к экологической географии внутренних морей, ч. II, Известия Пермского Биологического научно-исследовательского института, вып. 8—9—10, Обл. изд-во, 1933.
2. Бирштейн Я. А. и Беляев Г. М., Действие вод озера Балхаш на волго-каспийских беспозвоночных, Зоологический журнал, т. XXV, вып. 3, Изд. АН СССР, 1946.
3. Богоявленская М. П. и Карзинкин Г. С., Некоторые данные по изучению кальциевого обмена при помощи радиоактивного изотопа Ca^{45} , Труды совещания по физиологии рыб, вып. 8, Изд. АН СССР, 1958.
4. Державин А. Н., Животный мир Азербайджана, Malacostraca, АН Азербайджанской ССР, 1951.
5. Домрачев П. Ф., Балхаш и Прибалхашье, Алма-Ата—Москва, 1935.
6. Карпевич А. Ф., Приспособление обмена дрейссен Северного Каспия к изменению солевого режима, Зоологический журнал, т. XXVI, вып. 4, Изд. АН СССР, 1947.
7. Карпевич А. Ф., Некоторые данные о формообразовании двусторчатых моллюсков, Зоологический журнал, т. XXXIV, вып. I, Изд. АН СССР, 1955.
8. Карпевич А. Ф., Выживание, размножение и дыхание мизиды *Mesomysis kowalevskyi* в водах солоноватых водоемов СССР, Зоологический журнал, т. XXXVII, вып. 8, Изд. АН СССР, 1958.
9. Линтцель В., Руководство по кормлению и обмену веществ сельскохозяйственных животных, т. III, Сельхозгиз, 1937.
10. Рубинштейн Д. Л., Физико-химические основы биологии, Медиздат, 1932.
11. Романова Н. Н., Многолетние изменения биомассы высших ракообразных Северного Каспия, Доклады АН СССР, т. 9, № 2, 1956.
12. Чекунова В. И., Влияние некоторых ионов солей солоноватых вод на выживание каспийских беспозвоночных, Информационный сборник ВНИРО, № 5, Пищепромиздат, 1959.
13. Hove E. L., Herndon I. T. Potassium deficiency in the rabbit as a cause of muscular dystrophy. I. Nutrition, N 3, 1953.
14. Robertson I. D., Further studies on ionic regulation in marine invertebrates. J. of Exper. Biol. 30, 1953.
15. Seck Charlotte, Untersuchungen zur Frage der Ionenregulation bei in Brackwasser lebenden Evertabraten Kieler Meeresforschungen B. XIII, H. 2, 1957.
16. Schlieper Carl und Kowalski Ruth, Quantitative Beobachtungen über physiologische Ionenwirkungen im Brackwasser. Kieler Meeresforschungen B. XII, H 2, 1956.