

ИНЕРЦИАЛЬНАЯ МАССА В ОРГАНЕ РАВНОВЕСИЯ *POMACEA DIFFUSA*. ЭКСПЕРИМЕНТ НА БИОСПУТНИКЕ “БИОН-11”

© 2023 г. Г. И. Горгиладзе^{1,*}

¹ ФГБУН Государственный научный центр Российской Федерации, Институт медико-биологических проблем РАН
123007 Москва, Хорошевское шоссе, д. 76а, Россия

*E-mail: gio119193@mail.ru

Поступила в редакцию 25.05.2023 г.

После доработки 01.06.2023 г.

Принята к публикации 16.06.2023 г.

Инерциальную массу в органе равновесия-статоцисте *Pomacea diffusa* изучали с момента вылупления улиток из яиц и до завершения жизненного цикла. Оценивали последствия воздействия невесомости на инерциальную массу в 14-суточном орбитальном полете на биоспутнике “Бион-11”. По мере взросления улиток диаметр статоциста возрастал с 150 до 650 мкм, а содержащаяся в нем инерциальная масса увеличивалась с 11–13 до 700 статоконий. Внутренняя структура статоконии имела слоистую структуру с ядром в ее центральном участке. Основной минеральный элемент, придающий статокониям тяжесть, это карбонат кальция, представленный в виде кристаллов арагонита. 14-суточная экспозиция в невесомости привела к заметным изменениям морфометрической картины инерциальной массы в статоцистах полетных улиток в сравнении с контрольными улитками синхронного сопровождения. У большей части статоконий возросли показатели площади, размера, периметра, формфактора, длины и ширины, что могло указывать на стимулирующее влияние невесомости на инерциальную массу в органе равновесия *Pomacea diffusa*.

Ключевые слова: улитка, статоцист, статоконии, невесомость, биоспутник “Бион-11”

DOI: 10.31857/S0235009223030058, **EDN:** ZVGJKR

ВВЕДЕНИЕ

Человек в космосе. Невесомость. Земной организм мгновенно реагирует на потерю веса. Непосредственные мишени для потери веса – все те функциональные системы, в организации которых исключительную роль играет гравитация: сердечно-сосудистая и опорно-двигательная (прежде всего ее антигравитационная составляющая), а из органов чувств – вестибулярная, точнее ее отолитовый аппарат. На первом этапе космоплавания животных использовали для получения опережающей информации для оценки безопасности человека в невесомости. Для исследователя, занимающегося проблемой “Невесомость – земной организм”, животные в качестве экспериментального объекта дали возможность изучить в “чистом” виде состояние и последствия воздействия невесомости на организм земного существа. Особенно успешными по своей результативности явились исследования на беспозвоночных животных и, в особенности, – исследования, проведенные на брюхоногих моллюсках. У гастропод орган равновесия – статоцист, пузырьчатое образование, заполненное вязкой жидкостью – статолимфой. Внутренняя стенка статоциста вы-

стлана чувствующими клетками. В статолимфе в свободном состоянии располагается так называемая инерциальная или пробная масса. Она состоит из биоминералов эндогенного происхождения и представлена в виде единичных достаточно крупных статолитов либо многочисленных небольшого размера статоконий, которые растут вокруг своих ядер слоями-приростами минерально-органического происхождения (Винников и др., 1971). Наряду с чувствующими клетками, инерциальная масса – первостепенный и обязательный элемент гравирецепции. У гастропод статоцист представляет собой аналог вестибулярного аппарата позвоночных животных в той его части, которая является измерителем гравитационных сил и прямолинейных ускорений – отолитового аппарата. Относительно простая структурная организация статоциста гастропод, легкость доступа и осуществления соответствующих манипуляций, давали возможность проведения точной морфометрии инерциальной массы, установления ее структуры и элементного состава на большом числе животных. К этому следует добавить неприхотливость и выносливость гастропод к условиям их содержания и, что немаловажно, дешевизна таких экспериментов. Все вышеперечис-

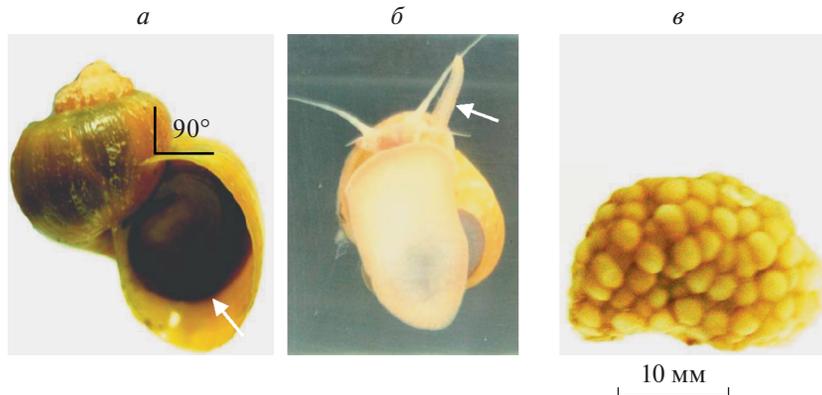


Рис. 1. *Pomacea diffusa*.

a – раковина улитки. Стрелкой обозначен operculum; *б* – улитка на стенке аквариума у поверхности воды с выставленным сифоном (отмечен стрелкой); *в* – кладка с яйцами. (Фото автора).

численное предопределило выбор этих моллюсков в качестве тестовых, модельных объектов для изучения гравирецептивной функции в изменяющемся гравитационном поле: невесомости и повышенной весомости (Pedrozo, Wiederhold, 1994; Pedrozo et al., 1996; Wiederhold et al., 1997, 1999, 2000; Горгиладзе, 2001; 2002; 2020, Горгиладзе и др., 2013). Инерциальной массе свойственна высокая пластичность. После оперативного опустошения статоцистов они довольно быстро заполнились новыми статоконамиями (Geuze, 1968).

В настоящей работе представлены экспериментальный материал по изучению инерциальной массы в статоцисте брюхоногого моллюска и ее изменения под влиянием невесомости в 14-суточном орбитальном полете на автоматическом космическом аппарате – биоспутнике “Бион-11”.

ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ

Объект исследования. Пресноводная переднежаберная раковинная улитка *Pomacea diffusa* из рода *Pomacea*, семейства *Ampullariidae*, отряда *Vasomatophora*, подкласса *Prosobranchia*, класса *Gastropoda*. Спирально закрученная раковина состоит из 5 сильновыпуклых оборотов преимущественно желтой окраски. Устье раковины закрывается округлой формы темно-коричневого цвета роговой пластинкой-крышечкой (operculum), сращенной с верхней поверхностью задней части ноги. Витки раковины имеют плоские скаты, образуя угол в 90° между устьем и первым витком. Такая особенность раковины является видовой чертой *Pomacea diffusa*, отличающей ее от других ампулярий (рис. 1, *a*).

На голове улитки расположены две пары осязательных и хемочувствительных щупалец. У основания задней пары на небольших отростках расположены глаза. Улитка амфибионтная, может выходить за пределы воды. Ее мантийная полость разделена перегородкой: с правой сторо-

ны тела находится жабра для водного дыхания, с левой стороны легкое. Для дыхания атмосферным воздухом улитка выставляет дыхательную трубку (сифон) из подводного положения и ритмичными движениями тела закачивает воздух в легкое (рис. 1, *б*). По способу перемещения относится к ползающим улиткам. Раздельнополая, размножается круглый год. Половая зрелость наступает в зависимости от температуры воды в возрасте от 4 до 12 мес. Самка откладывает одну или две кладки, имеющие форму гроздьев, на листьях растений, свисающих над водой. В кладке до 150 яиц серовато-молочного цвета диаметром 2–2.5 мм (рис. 1, *в*). По мере созревания они темнеют и приобретают черный цвет. Вылупляются улитки спустя 12–14 сут при температуре воды 24–26°C и спустя 22–24 сут при температуре воды 18–20°C и сразу падают в воду. Продолжительность жизни составляет 14–18 мес при температуре воды 25°C и 20–24 мес при температуре воды 18–21°C. Масса может достигать 25 г при диаметре раковины 45–65 мм. Родина *Pomacea diffusa* – Южная Америка. Обитает в стоячих или медленно текущих водоемах Амазонии (Ghesquiere, 2007).

Улиток приобретали в зоомагазинах Москвы, содержали в большом аквариуме при pH воды 7.1–7.3 и температуре 20–22°C. Самка откладывала кладку на крышке либо на стенках аквариума выше поверхности воды. В качестве корма использовали замороженную мотыль, рыбий корм, вареную морковь, салат. В эксперименте были использованы 198 улиток с момента их вылупления и до взрослого состояния.

Методы исследования. Улиток наркотизировали смесью нембутала и хлористого магния. Для доступа к статоцистам переднюю часть раковины удаляли, крышечку откидывали назад и энтомологическими булавками закрепляли на препаровальный столик. Кожу на дорсальной поверхности головы и передней части туловища рассекали вдоль по средней линии, обнажившуюся при

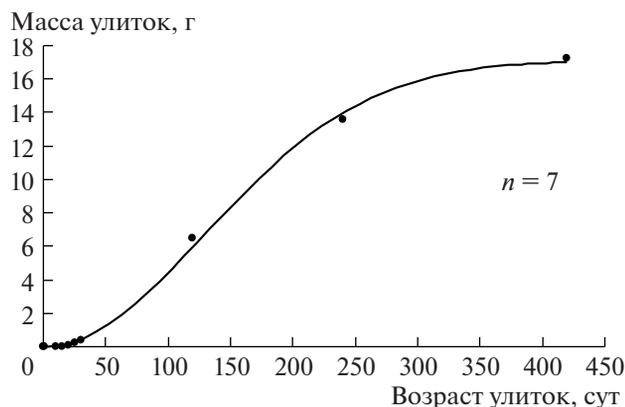


Рис. 2. Кривая зависимости массы улиток от возраста.

этом глотку удаляли и в небольших углублениях в мускулатуре ноги на уровне последнего завитка раковины рядом с педальными ганглиями находили симметрично расположенные сферической формы статоцисты, которые своим блеском заметно выделялись на фоне окружающих тканей. Статоцисты извлекали и фотографировали в световом микроскопе, после чего в капле дистиллированной воды вскрывали препаровальными иглами. Высыпавшиеся статоконии предварительно фотографировали в световом и фазово-контрастном микроскопе. В ряде случаев для изучения внутренней структуры при помощи специального устройства статоконии механически разламывали на отдельные фрагменты (Горгиладзе и др., 2013). Интактные статоконии и их фрагменты микропипеткой переносили на токопроводящую графитовую пленку, наклеенную на небольшие предметные столики из алюминия, размещали в катодно-ионный испаритель E5100 и напыляли золотом в атмосфере аргона при напряжении 2.2 кВ, силе тока 20 мА, давлении 0.1 атм. При сканировании образцов в сканирующем электронном микроскопе (“CamScan”, Oxford, Великобритания) использовали два режима работы детекторов электронов: режим вторичных электронов и режим отраженных электронов. Морфологические параметры статоконий (площадь, размер, периметр, формфактор, длина, ширина) определяли при помощи специализированной программы “SSIMP”. В этом случае образцы сканировали с ускоряющим напряжением 20 кВ, рабочим расстоянием 35 мм (режим “Preset”) и 280-кратным увеличением. Элементный состав статоконий определяли при помощи системы микроанализа “ISIS” (Oxford, Великобритания), оснащенной детектором рентгеновского излучения (тип детектора – с дисперсией по энергиям, материал кристалла – германий). Кристаллическую структуру статоконий

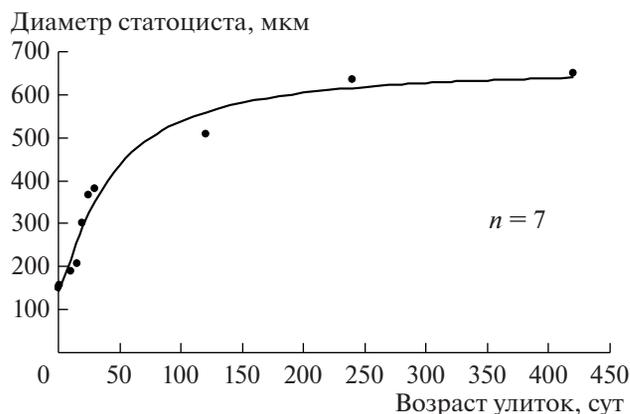


Рис. 3. График зависимости размера статоциста от возраста улитки.

изучали методом рентгенофазового анализа (“ДРОН-УМ1”).

Подготовка КЭ. Эксперимент на автоматическом космическом корабле “Бийон-11” (последний космический аппарат биоспутник серии “Бийон”) проводили на улитках ювенального возраста. 17 улиток составили полетную группу массой 2.4–4.3 г, 15 улиток – контрольную группу синхронного сопровождения массой 2.5–4.2 г. Улиток обеих групп размещали в специальные биоконтейнеры, стенки и дно которых были обложены увлажненным ПВФ. Запуск биоспутника был осуществлен с космодрома Плесецк (РФ), посадка в районе г. Костанай (Казахстан). Параметры орбиты (апогей/перигей, км) – 375/216. Длительность орбитального полета – 14 сут.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Спустя три недели после появления кладки в аквариуме из яиц начали вылупляться улитки. Они имели массу 2.5–3.0 мг при диаметре раковины 2–2.5 мм. Улитки сразу падали в воду и начинали активно перемещаться по аквариуму. По мере взросления улиток показатели массы и размера возрастали. Максимальное увеличение массы отмечалось в течение первых трех месяцев с момента вылупления, в среднем со скоростью 50 мг/сут, наименьшее – 26 мг/сут на отрезке времени 8–14 мес (рис. 2). 50–60% от общей массы улиток приходилось на раковину вместе с крышечкой, остальные – на мягкие части тела.

Статоцист

Сферической формы статоцист *Pomacea diffusa* окружен соединительнотканной оболочкой, окружающей своего рода гнездо, которое соединительнотканными тяжами прикреплено к окружающим его структурам. Статоцист заполнен вязкой жидкостью статолимфой. В ней в свободном состоянии располагается инерциальная масса,

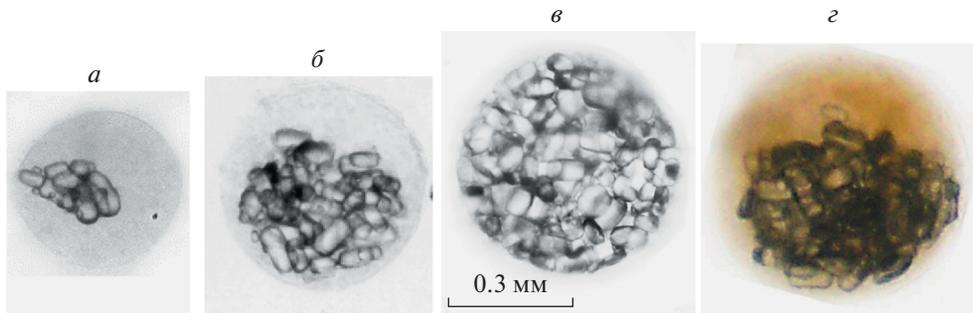


Рис. 4. Свежеизвлеченные неокрашенные статокцисты с статокониями после вылупления. *a* – спустя 20 ч; *б* – на четвертые сутки; *в* – спустя 1 год; *г* – положение статоконий в статокцисте после его наклона вниз на 90°. Световой микроскоп. Ув.: ×125.

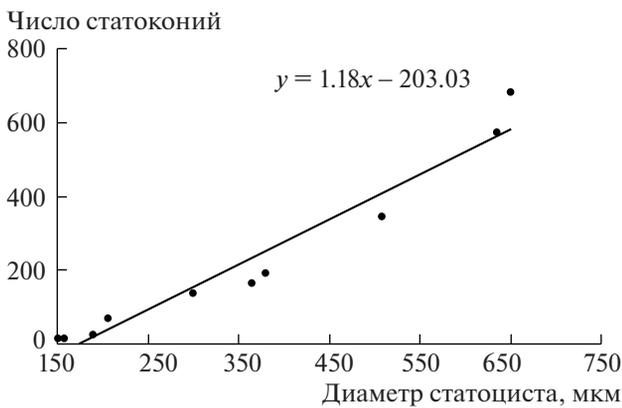


Рис. 5. Количество статоконий в статокцисте по мере увеличения диаметра статокциста.

около 150 мкм. В течение первых 50 сут он увеличивался со средней скоростью 8 мкм/сут. В дальнейшем рост статокциста резко замедлялся, составляя с 3-месячного возраста 0.5 мкм/сут и к концу жизненного цикла достигал 600–650 мкм в диаметре (рис. 3).

Статоконии

На витальных препаратах в статокцистах, в особенности у ювенальных улиток, хорошо просматривались отдельные статоконии. В день вылупления можно было насчитать до 13–15 статоконий. В годичном возрасте число статоконий составило около 700. Наклон статокциста на 90° приводил к сдвигу статоконий. Они начинали опускаться в статолимфе и довольно быстро вся масса статоконий оседала в нижней части статокциста, занимая 2/3 его просвета (рис. 4).

состоящая из статоконий – образований биоорганического происхождения. У только что вылупившихся улиток диаметр статокциста составлял

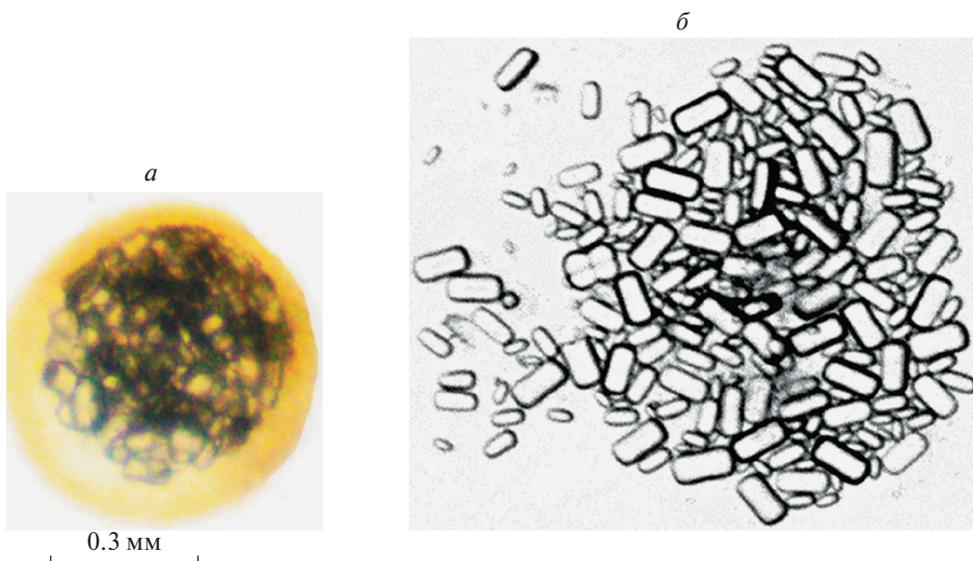


Рис. 6. *a* – статокцист *Potamocorbula amurensis*, заполненный статокониями; *б* – извлеченные из статокциста статоконии. Возраст улитки 13 мес, масса 20 г. Световой микроскоп. Ув.: ×125.

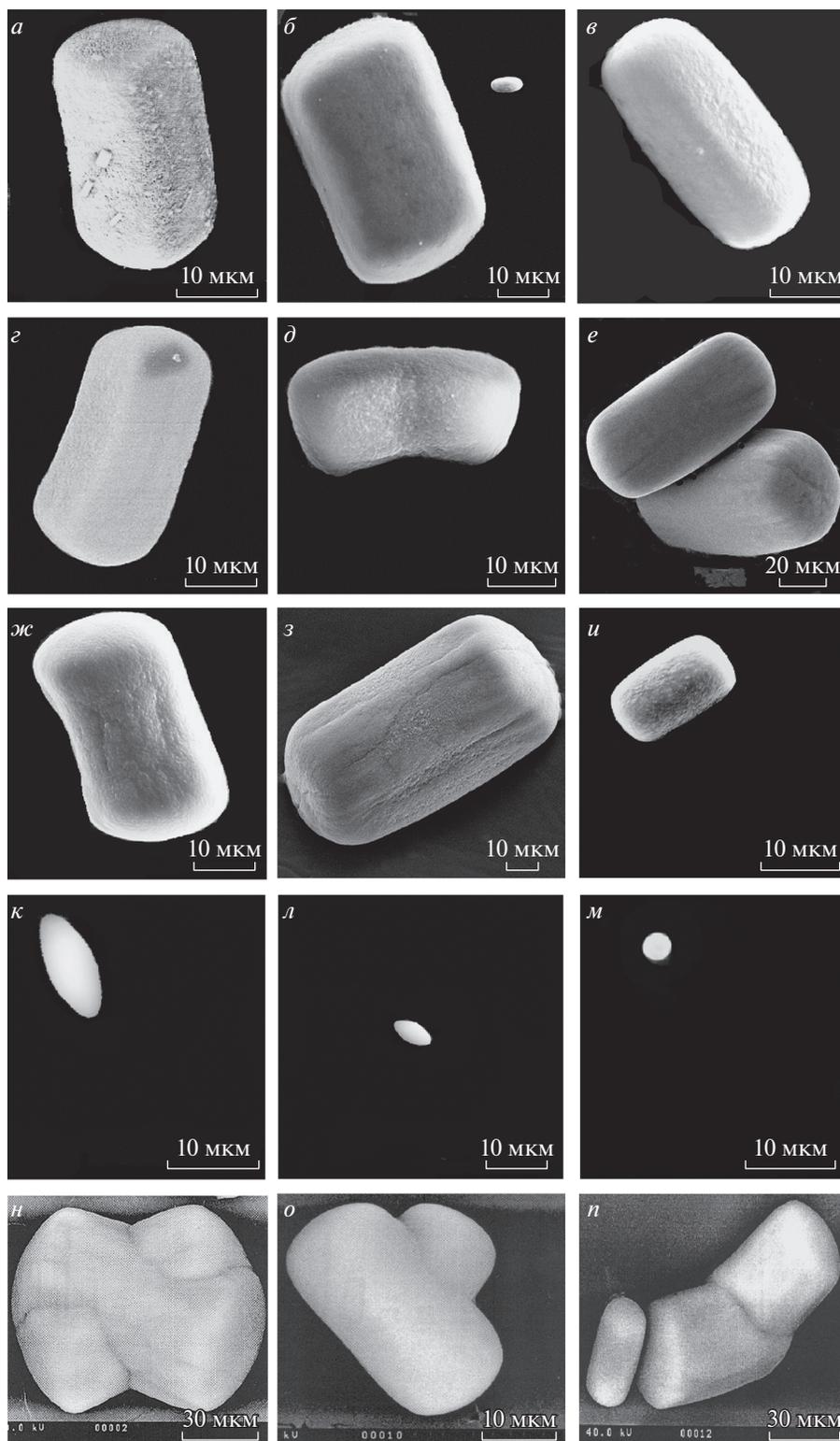


Рис. 7. Простые и сложные формы статоконий. Сканирующий электронный микроскоп. Пояснение в тексте.

Наибольший рост количества статоконий отмечался в течение первого месяца жизни и за этот период количество статоконий увеличивалось в среднем со скоростью 7 статоконий/сут. В дальнейшем появление новых статоконий

снижалось до 0.5 статоконий/сут. Зависимость между количеством статоконий и размером (диаметром) статокониста характеризовалась линейной регрессией сильной связью с константой роста 1.18 (рис. 5).

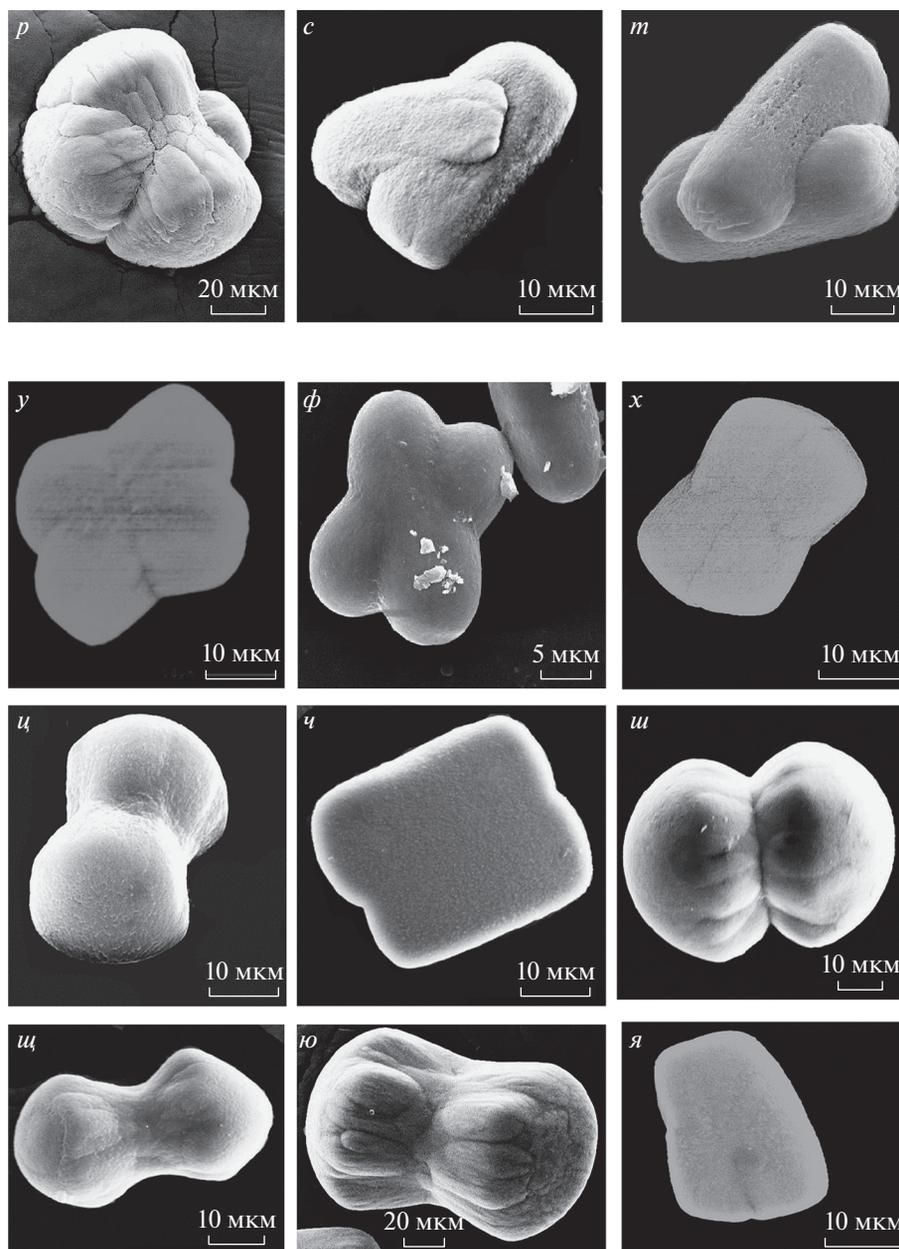


Рис. 7. Окончание

Морфологические параметры статоконий колебались в широком диапазоне: по длине 5–120 мкм, по ширине 3–80 мкм, по толщине (высоте) 3–10 мкм. Статоконии всех указанных размеров, как правило, могли присутствовать в одном и том же статоцисте как ювенальных, так и дефинитивных улиток. На рис. 6 представлены заполненный статокониями свежеевлеченный статоцист из тела взрослой половозрелой улитки и извлеченные из него статоконии.

Крупные статоконии и статоконии среднего размера имели форму “кирпичиков” и “цилиндров” (рис. 7, *a–u*).

У некоторых из них боковые поверхности с одной или обеих сторон были деформированы вмятинами. Кроме статоконий, с такими формами в статоцистах имелось достаточное количество мелких и очень мелких статоконий чаще веретенообразной формы (рис. 7, *к, л*), а также круглые образования диаметром 2.5–3.0 мкм (рис. 7, *м*). В процессе роста улиток возрастало число крупных статоконий. В статоцистах всех возрастных групп встречались также структуры, которые представляли собой сросшиеся между собой несколько статоконий в одно целое образование. Во многих случаях границы между ними достаточно хорошо просматривались при сканирова-

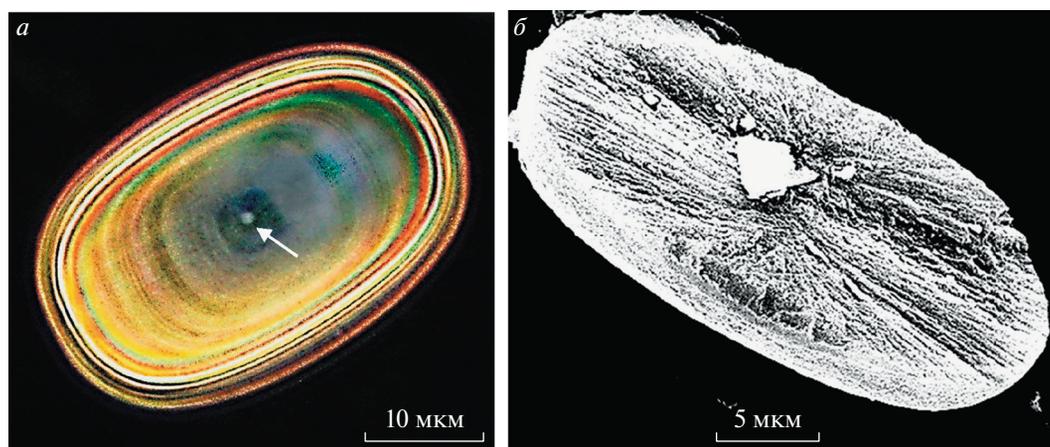


Рис. 8. Внутренняя структура статоконии.

a – слоистость статоконии в фазово-контрастном микроскопе. Стрелкой отмечено ядро статоконии; *b* – продольно разломанная статокония. Видна ее кристаллическая структура в виде тяжей из арагонита. На ее поверхности осколки от разломанных статоконий. Сканирующий электронный микроскоп.

нии, особенно в режиме отраженных электронов (рис. 7, *н-я*). Морфометрическая картина каждой статоконии исключительно индивидуальна и неповторима. Внутреннее строение статоконии представляло собой слоистую структуру различной ширины и оптической плотности. В ее центральной части располагалось ядро диаметром 2–3 мкм, окруженное слоями-приростами, тем больше, чем крупнее была сама статокония (рис. 8, *a*).

(из этих элементов только натрий и кремний отражены на спектрограмме) (рис. 9).

Структурообразующее химическое соединение, придающее статокониям тяжесть, это карбонат кальция в виде кристаллов арагонита (рис. 8, *b*). В кислых растворах минеральная составляющая статоконий растворялась.

Эксперимент на орбите

Элементный состав и кристаллическая структура статоконий

В статокониях обнаружены преимущественно кальций, углерод, кислород. В значительно меньших количествах присутствовали хлор, натрий, калий, фосфор, сера, кремний, железо, весовые доли которых колебались в пределах 0.15–1.8%

Спустя 9 ч после возвращения биоспутника на Землю полетный контейнер с улитками был доставлен в лабораторию в Москву и улитки были извлечены из полетного контейнера. 14-суточный орбитальный полет привел к заметной потере общей массы улиток в сравнении с исходной. Несколько большая потеря массы отмечалась у улиток синхронного сопровождения. Устье раковины полетных и контрольных улиток было плотно закрыто крышечками. Улиток опустили в аквариум при температуре воды 27.5°. Спустя 20–30 мин у четырех полетных улиток крышечки начали приоткрываться. Еще через 1 ч у одной из них из образовавшейся щели выступили щупальца. Затем крышечка полностью отошла назад и из открытого устья раковины высунулась голова и передняя часть туловища, и улитка начала медленно ползти по дну аквариума в поисках пищи. У контрольных улиток крышечки к этому времени еще закрывали устье раковины. Спустя 13 ч все улитки, как полетные, так и контрольные, были активны, и их масса заметно возросла в результате поглощения аквариумной воды. С этого времени начиналось приготовление препаратов для исследования статоконий (см. раздел “Методы исследования”).

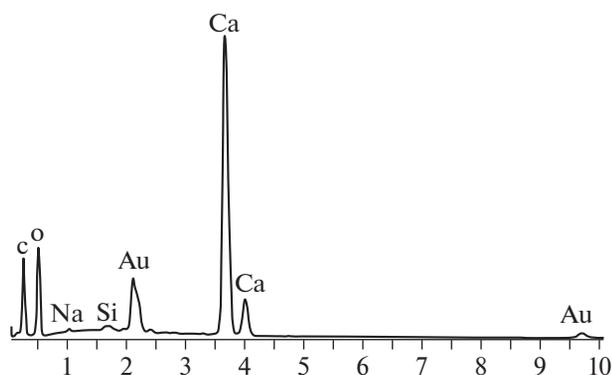


Рис. 9. Спектрограмма элементного состава статоконии.

C – углерод; O – кислород; Na – натрий; Si – кремний; Ca – кальций; Au – напыленное на поверхность статоконии золото. Площадь анализа: 10 × 10 мкм.

Таблица 1. Усредненные морфометрические показатели статоконий в статоцистах полетных и контрольных улиток

Параметры статоконий	Полет	Контроль
Площадь, мкм ²	1035.76 (<i>n</i> = 1026)	797.43 (<i>n</i> = 956)
Размер, мкм	32.65 (<i>n</i> = 1026)	29.65 (<i>n</i> = 956)
Периметр, мкм	129.54 (<i>n</i> = 1026)	113.38 (<i>n</i> = 956)
Формфактор	0.33 (<i>n</i> = 996)	0.27 (<i>n</i> = 956)
Длина, мкм	41.56 (<i>n</i> = 1026)	39.05 (<i>n</i> = 956)
Ширина, мкм	24.70 (<i>n</i> = 1026)	20.66 (<i>n</i> = 956)

Морфометрическая картина и распределение статоконий в статоцистах полетных улиток заметно отличались от таковых улиток синхронного сопровождения (табл. 1).

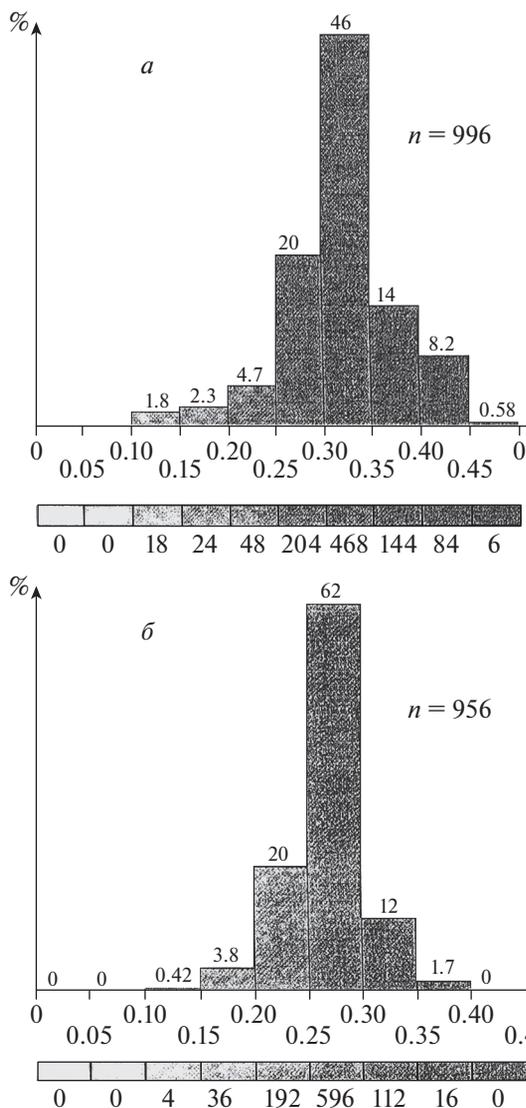


Рис. 10. Распределение статоконий по форм-фактору в статоцистах. *а* – полетных улиток; *б* – улиток синхронного сопровождения.

612 статоконий (61.4%) из 996 статоконий, извлеченных из статоцистов полетных улиток и подвергнутых морфометрии, имели формфактор в границах 0.3–0.35 против 128 статоконий (13.4%) примерно из такого же количества статоконий в тех же границах, извлеченных из статоцистов улиток синхронного сопровождения (рис. 10).

402 (39.2%) из 1026 статоконий полетных улиток имели длину в пределах 44–77 мкм. Для улиток синхронного сопровождения таких статоконий оказалось в 2.5 раза меньше (160 статоконий; 16.7%) (рис. 11).

По показателю ширины 812 статоконий (85%) из 956 статоконий, извлеченных из статоцистов улиток синхронного сопровождения, были сгруппированы в левой половине гистограммы и только незначительное количество относительно широких статоконий было представлено в ее правой половине. У полетных улиток, напротив, в правой половине гистограммы отмечалось появление статоконий шириной, почти в 3 раза превосходящей контрольные значения (рис. 12).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инерциальная масса, предназначенная для реагирования на земную силу тяжести, в органе равновесия – статоцисте переднежаберной раковинной улитки *Potacea diffusa*, представлена многочисленными биоминеральными образованиями эндогенного происхождения – статоконами. По мере взросления улиток, с момента вылупления из яиц и до завершения жизненного цикла, увеличились диаметр статоциста и содержащаяся в нем инерциальная масса с наибольшим ростом в течение первых двух месяцев жизни. Инерциальная масса характеризовалась большим морфологическим разнообразием. В одном и том же статоцисте улиток всех возрастных групп, как ювенальных, так и дефинитивных, завершивших свой рост особей, как правило, наряду с крупными статоконами всегда присутствовало множество мелких статоконий, а также самые небольшие образования сферической формы диаметром 2–3 мкм. Последние, очевидно, представляли собой ядра, вокруг которых со временем формиро-

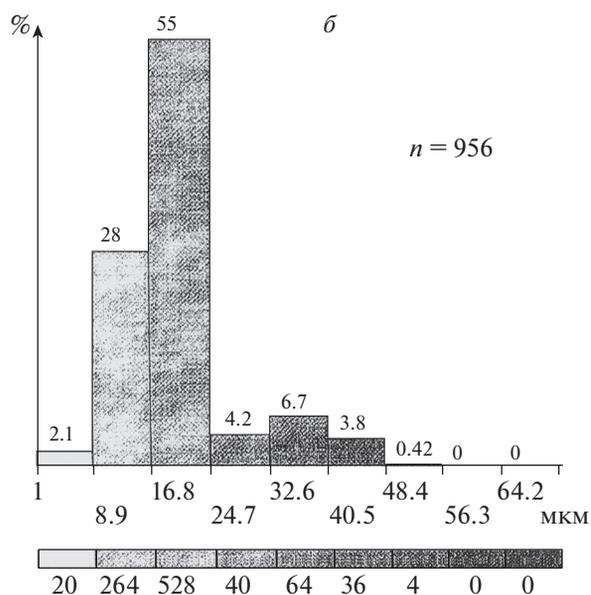
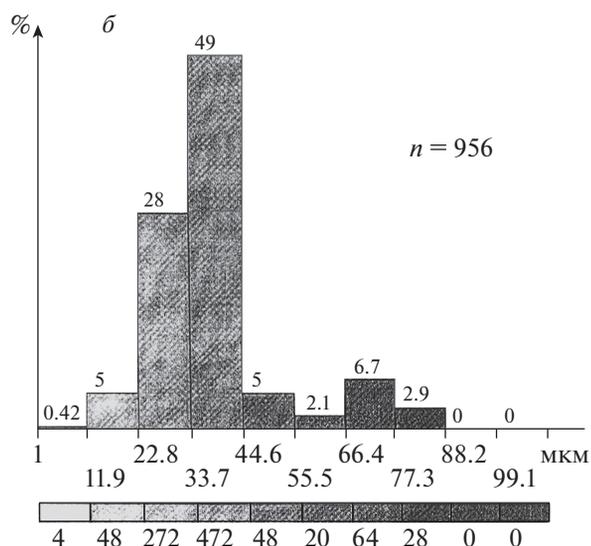
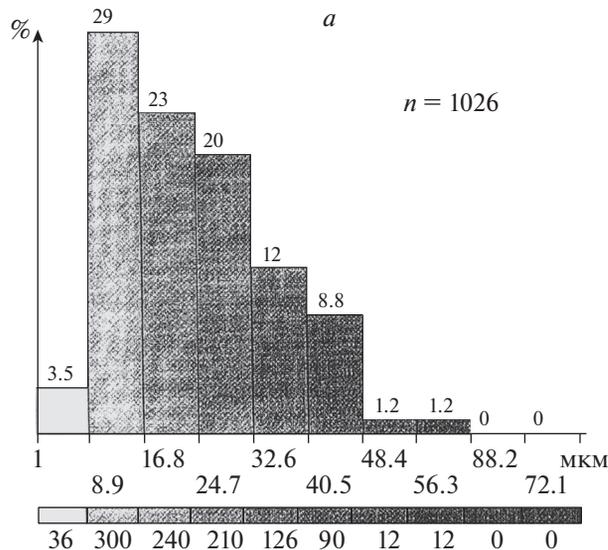
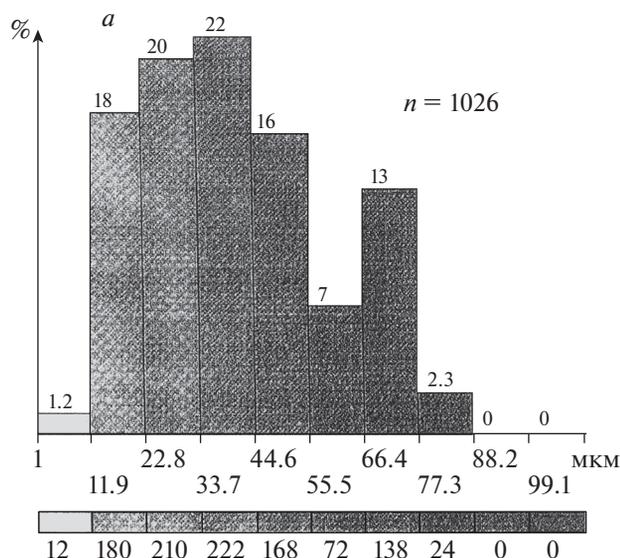


Рис. 11. Распределение статоконий по длине в ста-
тоцистах.
а – полетных улиток; б – улиток синхронного сопро-
вождения.

Рис. 12. Распределение статоконий по ширине в ста-
тоцистах.
а – полетных улиток; б – улиток синхронного сопро-
вождения.

вались новые статоконии. Очевидно, такая вари-
абельность инерциальной массы могла свиде-
тельствовать о ее пластичности, выражающейся в
постоянной генерации и обновлении в течение
всей жизни животного. Внутренняя структура
статоконии имела слоистую структуру различной
ширины и оптической плотности с ядром в ее
центральной части. Большая часть статоконий
обладали относительно простыми геометриче-
скими формами с одним ядром в центре, и по
этой причине названы “простыми” статокония-
ми. Отдельные статоконии могли срастаться
между собой в одно целое образование и допол-

нительно обрастать общими для них слоями-при-
ростами. Такие образования обозначены как
“сложные” статоконии. Основной минеральный
элемент, придающий статокониям тяжесть, — это
карбонат кальция, представленный в виде кри-
сталлов арагонита.

Потеря веса в 14-суточном орбитальном поле-
те на биоспутнике “Бион-11” сопровождалась пе-
реформированием паттерна инерциальной
массы в статоцистах *Pomacea diffusa*. На гисто-
граммах морфометрические показатели статокон-
ний полетных улиток сдвинулись в сторону
больших значений. Возросли показатели форм-

фактора в сторону их “округления”. Средние значения площади, размера, периметра, длины и ширины статоконий превысили таковые, полученные на контрольных улитках синхронного сопровождения. Таким образом, невесомость оказала стимулирующее влияние на инерциальную массу в органе равновесия *Pomacea diffusa*.

Автор выражает благодарность научному сотруднику ИМБП А.М. Носовскому за подготовку графического материала (рис. 2, 3, 5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Винников Я.А., Газенко О.Г., Титова Л.К. Рецептор гравитации. Серия “Проблемы космической биологии”. Т. XII. Л.: “Наука”, 1971. 523 с.
- Горгиладзе Г.И. Стимулирующее влияние невесомости на рост статоконий (эксперименты на автоматических космических аппаратах “Фотон” и “Ресурс-Ф” и пилотируемом орбитальном комплексе “Мир”). *Georgian Engineering News*. 2001. № 4. С. 113–119.
- Горгиладзе Г.И. Структурно-функциональные особенности статокониста улиток *Helix lucorum*. *Орбитальная станция “Мир”. Медико-биологические эксперименты*. 2002. Т. 2. С. 366–383.
- Горгиладзе Г.И. Пластичность инерциальной массы в органе равновесия в изменяющемся гравитационном поле. *Сенсорные системы*. 2020. Т. 34. № 4. С. 267–282.
- Горгиладзе Г.И., Носовский А.М., Букия Р.Д. Статолит *Pomatias rivulare*. *Сенсорные системы*. 2013. Т. 27. № 3. С. 216–223.
- Geuze J.J. Observations on the function and the structure of the statocysts of *Lymnaea stagnalis*. *Netherl. J. Zool*. 1968. V. 18. № 2. P. 155–204.
- Ghesquiere S. Apple snail. 2007. (Stijn Ghesquiere. <http://www.applesnail.net>).
- Pedrozo H.A., Schwartz Z., Luther M. A mechanism of adaptation to hypergravity in the statocyst of *Aplysia californica*. *Hear. Res.* 1996. V. 102. № 1–2. P. 51–62.
- Pedrozo H.A., Wiederhold M.L. Effects of hypergravity on statocyst development in embryonic *Aplysia californica*. *Hear. Res.* 1994. V. 79. P. 137–146.
- Wiederhold M.L., Harrison J.L., Ortiz C.A. Enhanced production of the “test mass” in the statocyst of pond snails reared in microgravity. *Proc. Fifteenth Space Utilization Res. Sympos.* Tokyo. 1999. V. 15. P. 89–92.
- Wiederhold M.L., Harrison J.L., Parker K.A., Nomura H. Otoliths developed in microgravity. *J. Grav. Physiol.* 2000. V. 7. № 2. P. 39–42.
- Wiederhold M.L., Pedrozo H.A., Harrison J.L. et al. Development of gravity-sensing organs in altered gravity conditions: opposite conclusions from an amphibian and a molluscan preparation. *J. Grav. Physiol.* 1997. V. 4. № 2. P. 51–54.

Inertial mass in the balance body of *Pomacea Diffusa*. Experiment on the biosatellite “Bion-11”

G. I. Gorgiladze^{a, #}

^a Institute of Biomedical Problems RAS 123007 Moscow, Khoroshevskoe shosse, 76a, Russia

[#] E-mail: gio119193@mail.ru

The inertial mass in the balance organ-statocyst of *Pomacea diffusa* was studied from the moment of hatching from eggs until the end of the life cycle, as well as the effects of weightlessness on the inertial mass during a 14-day orbital flight on the biosatellite “Bion-11”. As the snails grew older, the diameter of the statocyst increased from 150 μm to 650 μm, and the inertial mass contained in it increased from 11–13 statoconia to 700 statoconia. The internal structure of the statoconia had a layered structure with a nucleus in its central region. The main mineral element that gives statoconia heaviness is calcium carbonate, presented in the form of aragonite crystals. A 14-day exposure in weightlessness led to noticeable changes in the morphometric pattern of the inertial mass in the statocyst of flight snails in comparison with the control snails of synchronous tracking. In most of the statoconia, the form factor, length, and width indicators increased, which could indicate the stimulating effect of weightlessness on the inertial mass in the balance organ of *Pomacea diffusa*.

Key words: snail, statocyst, statoconia, weightlessness, biosatellite Bion-11

REFERENCES

- Gorgiladze G.I. *Stimuliruyushcheye vliyaniye nevesomosti na rost statokoniy (eksperimenty na avtomaticheskikh kosmicheskikh apparatakh “Foton” i “Resurs-F” i pilotiruyemom orbital’nom komplekse “Mir”)* [The stimulating effect of weightlessness on the growth of statoconia (experiments on the automatic spacecraft “Photon” and “Resurs-F” and the manned orbital complex “Mir”)] *Georgian Engineering News*. 2001. № 4. P. 113–119 (in Russian).
- Gorgiladze G.I. *Strukturno-funktsional’nyye osobennosti statotsista ulitok Helix lucorum. Orbital’naya stantsiya “Mir” [Structural and functional features of the statocyst of Helix lucorum snails. Orbital station “Mir”]. Mediko-biologicheskkiye eksperimenty [Medico-biological experiments]* 2002. V. 2. P. 366–383 (in Russian).

- Gorgiladze G.I. *Plastichnost' inertsiyal'noy massy v organe izmenyayetsya v izmenyayushchemsya grafonnom pole [plasticity of the inertial mass in the balance organ in a changing gravitational field. Sensornyye sistemy. [Sensory systems].* 2020. V. 34. № 4. P. 267–282 (in Russian).
- Gorgiladze G.I., Nosovskiy A.M., Bukiya R.D. *Statolit Pomatias rivulare. [Statolith Pomatias rivulare]. Sensornyye sistemy [Sensory systems].* 2013. V. 27. № 3. P. 216–223 (in Russian).
- Gorgiladze G.I. *Strukturno-funksional'nyye osobennosti statotsista ulitok Helix lucorum. [Structural and functional features of the statocyst of snails Helix lucorum]. Orbital'naya stantsiya "Mir". Mediko-biologicheskiye eksperimenty. [Orbital station "Mir". Biomedical experiments].* Moscow. 2002. V. 2. P. 366–383 (in Russian).
- Ghesquiere S. *Apple snail.* 2007. (Stijn Ghesquiere. <http://www.applesnail.net>).
- Pedrozo H.A., Schwartz Z., Luther M. A mechanism of adaptation to hypergravity in the statocyst of *Aplysia californica*. *Hear. Res.* 1996. V. 102. № 1–2. P. 51–62.
- Pedrozo H.A., Wiederhold M.L. Effects of hypergravity on statocyst development in embryonic *Aplysia californica*. *Hear. Res.* 1994. V. 79. P. 137–146.
- Vinnikov Ya.A., Gazenko O.G., Titova L.K. *Retseptor gravitatsii. [Gravity receptor]. Seriya "Problemy kosmicheskoy biologii". ["Series Problems of Space Biology"].* V. XII. L. "Nauka", 1971. 523 p. (in Russian).
- Wiederhold M.L., Harrison J.L., Ortiz C.A. Enhanced production of the "test mass" in the statocyst of pond snails reared in microgravity. *Proc. Fifteenth Space Utilization Res. Sympos.* Tokyo. 1999. V. 15. P. 89–92.
- Wiederhold M.L., Harrison J.L., Parker K.A., Nomura H. Otoliths developed in microgravity. *J. Grav. Physiol.* 2000. V. 7. № 2. P. 39–42.
- Wiederold M.L., Pedrozo H.A., Harrison J.L. et al. Development of gravity-sensing organs in altered gravity conditions: opposite conclusions from an amphibian and a molluscan preparation. *J. Grav. Physiol.* 1997. V. 4. № 2. P. 51–54.