УДК 629.78.07:581.14

К НАЧАЛЬНЫМ РЕЗУЛЬТАТАМ КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА С СЕМЕНАМИ РЕДКИХ РАСТЕНИЙ ПРИРОДНОЙ ФЛОРЫ НА КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ «БИОН-М» №1

© 2015 Ю.Н. Горелов[1], Л.М. Кавеленова[1], Л.В. Курганская[1], С.А. Розно[2], И.В. Рузаева[2], К.С. Рузаева[2]

[1] Самарский государственный университет
[2] Ботанический сад Самарского государственного университета

Поступила в редакцию 18.05.2015

В сообщении излагаются первичные результаты космического эксперимента с семенами высших растений, проведенного на космическом аппарате «Бион-М» № 1. Представлены материалы полевых наблюдений в 2013-2014 гг. за растениями, полученными посевом в грунт питомника ботанического сада Самарского государственного университета семян редких растений природной флоры, экспонированных на космическом аппарате и возвращенных на Землю.

Ключевые слова: *космический эксперимент, семена высших растений, природная флора*

Проблема сохранения растений природной флоры относится к числу первоочередных для человечества. Ускоренная деградация природных экосистем, приводящая к переходу ранее широко распространенных видов в разряд редких и исчезающих требует применения мер по сохранению биологического разнообразия в природе и в культуре. С другой стороны, все более широкое распространение получают генетические банки – семенные банки (хранилища семян в специально создаваемых сооружениях, как правило, при пониженной температуре) и полевые банки (коллекции живых растений на специальных питомниках). Семенные банки в принципе могут быть размещены на орбитальных станциях, что позволит устранить угрозы для них со стороны природных катастроф. Однако первоначально необходимо выяснить, как на состояние семян и последующее развитие растений повлияет комплекс факторов космического полета. В частности, не устраняемое полностью корпусом космического корабля воздействие остаточной ионизирующей радиации на семена в принципе способно изменять их жизнеспособность, провоцируя возрастание свободнорадикальной активности молекулярных и субклеточных структур. Неизвестный уровень воздействия позволяет априори предполагать эффекты в широком диапазоне – от отсутствия видимых изменений до стимуляции различной выраженности, проявления мутагенного эффекта, снижения жизнеспособности и даже гибели семян. Только эксперименты, начинающиеся на орбите с завершением их на Земле, позволят оценить характер влияния данного фактора на семена.

19 апреля 2013 г. в 14:00 по московскому времени в рамках Федеральной космической программы со стартового комплекса площадки 31 космодрома Байконур был произведён успешный пуск ракеты космического назначения «Союз-2.1а», которая вывела на орбиту научный космический аппарат (КА) «Бион-М» № 1, созданный в ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» [1] для проведения в орбитальном полёте фундаментальных и прикладных исследований по космической биологии, физиологии и биотехнологии с возвращением результатов экспериментов на Землю. После 30-ти суточного полёта на 448 витке его спускаемый аппарат 19 мая 2013 г. в 07:12 совершил посадку в расчётном районе Оренбургской области. В программу научных экспериментов на борту КА «Бион-М» № 1 входили исследования по биомедицине, гравитационной биологии, радиационно-физические и радиобиологические исследования, эксперименты по экзобиологии и биотехнологии. В целом в программу было включено 79 научных экспериментов, в том числе космический эксперимент (КЭ), проведенный в научной аппаратуре (НА) «БИОКОНТ-БС» с семенами редких растений Самарской области (разработчик НА – ЦНИИМаш (г.Королёв, Московская обл.), постановщик КЭ – Ботанический сад Самарского государственного университета). Предварительные итоги эксперимента выполненного на базе КА «Бион-М» № 1

Горелов Юрий Николаевич, доктор технических наук, профессор. E-mail: yungor07@mail.ru
Кавеленова Людмила Михайловна, доктор биологических наук, заведующая кафедрой экологии, ботаники и охраны природы. E-mail: biotest@samsu.ru
Курганская Любовь Викторовна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник. E-mail: limbo83@mail.ru
Розно Светлана Алексеевна, кандидат биологических наук, директор. E-mail: sambg@samsu.ru
Рузаева Ирина Васильевна кандидат биологических наук, начальник отдела флоры
Рузаева Ксения Сергеевна, биолог отдела флоры

были освещены в статье, опубликованной ранее в журнале «Вестник Самарского госуниверситета» [2]. В настоящей статье дано описание первичных результатов КЭ с семенами высших растений, включая два истекших этапа послеполётных исследований в вегетационные периоды 2013 и 2014 гг.

Первичные итоги полевых опытов с экспонированным на КА «Бион-М»№1 биоматериалом в вегетационном периоде 2013 г. На научной аппаратуре «Биоконт-БС», включенной в состав медико-биологических экспериментов на КА «Бион-М» №1 (место нахождения: внутри спускаемого аппарата, время пребывания на рабочей орбите со средней высотой 575 км 30 суток) были размещены на экспонирование биообразцы растительных объектов – пробы семян 9 видов редких травянистых растений природной флоры Самарской области. Семена были упакованы в пластиковые пробирки типа Test Tube Ø12/75, 4 ml, в количестве 3 штук с маркировкой соответственно БС-1, БС-2 и БС-3 и подвергнуты воздействию комплекса факторов космического полета, включая ослабленное корпусом КА ионизирующее излучение и отсутствие гравитации.

Цель исследования: получение новых данных по влиянию космического полета на жизнеспособность семян и начальные этапы онтогенетического развития дикорастущих травянистых растений.

В задачи исследования входили изучение полевой всхожести и динамики развития проростков клематиса цельнолистного, астры альпийской, гвоздики Андржеевского, льна многолетнего, синюхи голубой, примулы крупночашечковой (первоцвет крупночашечковый), касатика карликового, лилии мартагон, прострела раскрытого в открытом грунте. Объекты исследования представляли собой пробы семян по 100 штук каждого вида (табл. 1). Краткая ботаническая характеристика растений-объектов исследования, при составлении которой использованы различные руководства [3, 4], представлена ниже.

Таблица 1. Масса семян образцов, экспонированных на КА «БИОН-М»№1

№	Русское название растений	Латинское название	Масса 100 семян, г
1	Клематис цельнолистный	Clematis integrifolia L.	0,4
2	Астра альпийская	Aster alpinus L.	0,01
3	Гвоздика Андржеевского	Dianthus andrzejowskianus Kulcz.	0,1
4	Лен многолетний	Linum perenne L.	0,2
5	Синюха голубая	Polemonium caeruleum L.	0,1
6	Примула крупночашечковая	Primula macrocalyx Bunge	0,1
7	Касатик карликовый	Iris pumila L.	3,1
8	Лилия мартагон	Lilium martagon L.	0,5
9	Прострел раскрытый	Pulsatilla patens (L.) Mill	0,2

Клематис (ломонос) цельнолистный - Clematis integrifolia L. Полукустарник с прямостоячими или слабо ветвистыми в нижней части стеблями. Ареал вида охватывает Кавказ, юг Западной и Восточной Сибири, Среднюю и Восточную Европу, Балканы, Среднюю и Малую Азию. В природе встречается по опушкам широколиственных лесов, суходольным лугам, степям. Цветки одиночные, темно-синие, поникающие до 8 см в диаметре. Плод – многоорешек. Красная книга Самарской области.

Астра альпийская – *Aster alpinus* L. Многолетнее корневищное травянистое или полукустарниковое растение с горизонтально ветвистым корневищем. Распространена в Закарпатье, на Южном Урале, Кавказе, в Европе, Средней и Малой Азии, на западе Северной Америки. Соцветия — одиночные корзинки 4-5 см в диаметре. Плод — семянка с волосистым хохолком. Красная книга Самарской области.

Гвоздика Андржеевского - *Dianthus andrzejowskianus* (Zapal) Kulcz. Многолетнее стержнекорневое травянистое растение. Широко распространено в европейской части России в степях, на травянистых и каменистых склонах. Цветки с красно-розовым околоцветником собраны в соцветия головки. Плод – коробочка. Семена 2-2.7 мм в диаметре.

Лен многолетний - *Linum perenne* L. Многолетнее травянистое растение, формирующее сильноразветвленный стебель. Произрастает на юге европейской части России, в Сибири, Средней Азии, Средней Европе, на Балканах, распространено в европейской части России, в Западной и Восточной Сибири, в Средней Азии. Цветки голубые до 2 см в диаметре. Плод - коробочка. Красная книга Самарской области.

Синюха голубая -*Polemonium coeruleum* L. Многолетнее травянистое растение с коротким толстым корневищем. Широко распространена в европейской части СНГ, Западной и Восточной Сибири, на Кавказе. Цветки синие, в метельчатом соцветии. Плод – трех-гнездная миогосемянная коробочка яйцевидной или шаровидной формы, семена темно-коричневые, мелкие, узкокрылые. Красная книга Самарской области.

Первоцвет крупночашечковый - *Primula macrocalix* Bunge. Многолетнее невысокое травянистое растение с пучком прикорневых листьев, образующих прикорневую розетку. Ареал включает в себя Западную и Восточную Сибирь, Южную Европу, Кавказ, Иран. Цветки в верхушечном соцветии зонтик. Плод – овальная коробочка, расширенная в верхней части. Семена темно-бурые, овальные, угловатые. Красная книга Самарской области.

Ирис (касатик) карликовый – *Iris pumila* L. Многолетнее невысокое короткокорневищное травянистое растение. Ареал вида захватывает европейскую часть бывшего СССР, Кавказ, Среднюю Европу, Средиземноморье, Балканы, Малую Азию, степные районы европейской части России. Цветки имеют окраску от лиловой до светло-желтой. Плод – коробочка. Красная книга Самарской области.

Лилия кудреватая - *Lilium martagon* L. Многолетнее луковичное растение. Распространена от Португалии до Забайкалья, включая европейскую часть России, Кавказ, Сибирь, Малую Азию. Окраска цветков – сиреневая или розоватая с мелкими бурыми пятнами. Плод – шестигранная коробочка, семена плоские, коричневато-желтые. Красная книга Самарской области.

Прострел раскрытый - *Pulsatilla patens* (L.) Mill. Короткокорневищный многолетник с корневищными листьями, появляющимися после цветения. Распространен в Средней Европе и Скандинавии, широко представлен в европейской части России. Окраска околоцветника от лилового до светло-голубого. Плод - многоорешек с длинными пушистыми придатками. Красная книга Самарской области.

Семена данных 9 видов растений были получены после экспонирования на КА «Бион-М»№1 21 мая и 25 июля высеяны в открытый грунт на глубину 1-2 см, в соответствии с размером семян. Сроки посева были определены в примерном соответствии с временем созревания семян этих видов в природе и их попаданием на поверхность почвы в природных сообществах. Выпавшие в достаточном количестве в начале августа осадки создали благоприятные условия для появления всходов, которые мы обнаружили спустя 10-15 дней для разных видов. Показатели грунтовой всхожести (табл. 2) варьировали в пределах от 3 до 78%, причем для трех из девяти видов всходы не появились.

Таблица 2. Показатели грунтовой всхожести семян растений природной флоры после экспонирования на КА «БИОН-М»№1

№	Виды растений	Всхожесть, %
1	Клематис цельнолистный Clematis integrifolia L.	3
2	Астра альпийская Aster alpinus L.	0
3	Гвоздика Андржеевского Dianthus andrzejowskianus Kulcz.	8
4	Лен многолетний Linum perenne L.	67
5	Синюха голубая Polemonium caeruleum L.	7
6	Примула крупночашечковая Primula macrocalyx Bunge	0
7	Касатик карликовый Iris pumila L.	78
8	Лилия мартагон Lilium martagon L.	0
9	Прострел раскрытый Pulsatilla patens (L.) Mill	15

Для подавляющего большинства дикорастущих видов в норме не свойственны дружное прорастание и высокие показатели грунтовой всхожести, ежегодно порастает лишь часть сформированных семян, остальные пополняют многолетний фонд семян в почве (банк семян). Это нормальная ситуация для природных экосистем с ненарушенным растительным покровом, внедрение в который новых особей многолетников может быть затруднено и напротив, быстро происходит при появлении нарушенных участков за счет прорастания сохранившихся в почве семян. С другой стороны, семена изучаемых растений имеют, как можно предполагать, неодинаковую глубину покоя и разные физиологические основы его поддержания. Отсутствие «летних» всходов у лилии, примулы и астры может быть проявлением состояния покоя, из которого их выведет перезимовка в почве (естественная стратификация).

В качестве положительного момента стимулирующего влияния комплекса факторов космического полета следует отметить повышение, против обычных для наших многолетних наблюдений, грунтовой всхожести льна многолетнего и касатика карликового. Значения всхожести семян на уровне 70-80% для данных видов норме не свойственны. В полевых опытах выявился также эффект возрастания неоднородности растений на ранней стадии развития – среди групп всходов появлялись более крупные экземпляры, опережающие по развитию соседние особи, что особо отчетливо показали растения льна многолетнего и касатика карликового. Возможно, эта гетерогенность групп всходов связана с неодинаковыми размерами и массой исходных семян в партиях, что позволило

отдельным семенам испытать на себе более или менее сильное воздействие ослабленного ионизирующего излучения в условиях космического полета. Учитывая, что большинство данных растений привлекательны в период цветения, а многие уже выращиваются в качестве декоративных, эффект стимуляции заслуживает дальнейшего изучения и проведения за всеми экземплярами многолетних наблюдений, по крайней мере до их вхождения в генеративную стадию развития. Не исключено, что «мягкое» стимулирующее воздействие изменит характер цветения и способствует появлению новых декоративных особенностей, которые могут быть закреплены в селекции при выведении сортов.

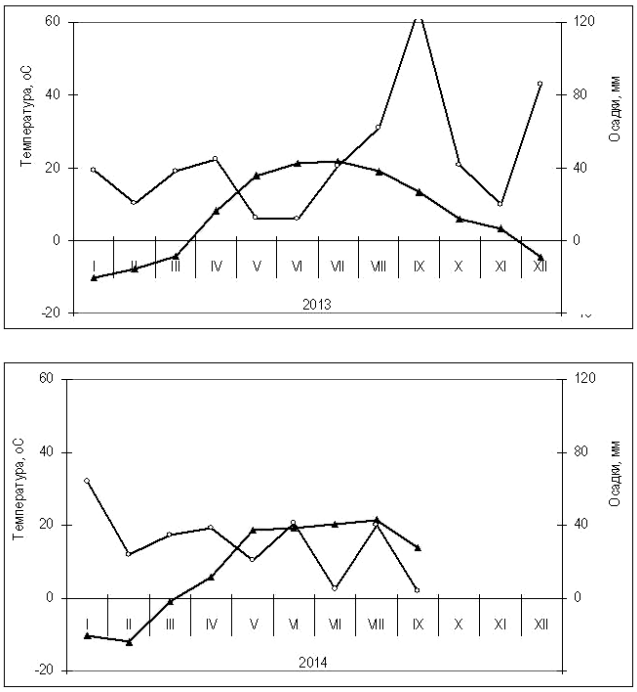

Рис. 1. Особенности вегетационных периодов 2013 и 2014 гг. (по данным метеоусловий г. Самары)

Итоги полевых опытов с экспонированным на КА «Бион-М»№1 биоматериалом в вегетационном периоде 2014 г. Продолжение наблюдений за развитием растений из семян, экспонированных на КА в следующем вегетационном периоде, показало, насколько уязвимы растения некоторых видов природной флоры в начале их онтогенеза. Изобилие осадков в конце вегетационного периода 2013 г. (рис. 1) обеспечило для ряда видов довольно дружное прорастание семян после их посева.

В 2014 г. в течение вегетационного периода мы отмечали чередование весьма засушливых мая и июля с умеренным увлажнением почвы в июне и августе, в сентябре осадки отсутствовали. Полив растений питомника не мог полностью устранить сухости воздуха; на фоне высокой температуры это, вероятно, и стало причиной гибели наиболее слабых экземпляров проростков у льна, касатика, прострела, и полным выпадением экземпляров клематиса (табл. 3). Отсутствие всходов у трех видов, для которых прорастания семян не отмечено и в 2013 г., однозначно не означает утраты ими жизнеспособности. Мы уже упоминали, что для растений природной флоры это нормально, и прорастание семян, пополнивших семенной банк в почве природного растительного сообщества, может наступить спустя годы от момента его созревания. По поводу отпада части проростков (табл. 3) мы можем высказать предположение, что для части семян воздействие комплекса факторов космического полета стало стимулирующим и привело к преждевременному прорастанию (либо прорастанию семян пониженного качества). Более слабые проростки не смогли противостоять условиям засушливого и жаркого лета и фактически были «отбракованы» природой. Отмеченное в 2013 г. наличие неоднородности размеров растений в группах всходов, оцененное с привлечением коэффициента вариации листовых пластинок в 2014 году по большинству видов и показателей стало менее выражено, за исключением касатика и по ширине листьев – гвоздики Андржеевского (рис.2). В целом разнородность особей сохранялась, что подтверждает необходимость дальнейших наблюдений за растениями.

Таблица 3. Итоги развития растений природной флоры после экспонирования семян на КА «БИОН-М»№1

Виды растений	Число экземпляров		Отпад, %
	2013	2014	
Clematis integrifolia	3	0	100
Linum perenne	67	23	66
Dianthus andrzej.	8	8	0
Polemonium caeruleum	7	7	0
Iris pumila	78	10	87
Pulsatila patens	15	7	53
всходы не появились:			
Aster alpinum	0	0	
Primula macrocalyx	0	0	
Lilium martagon	0	0	

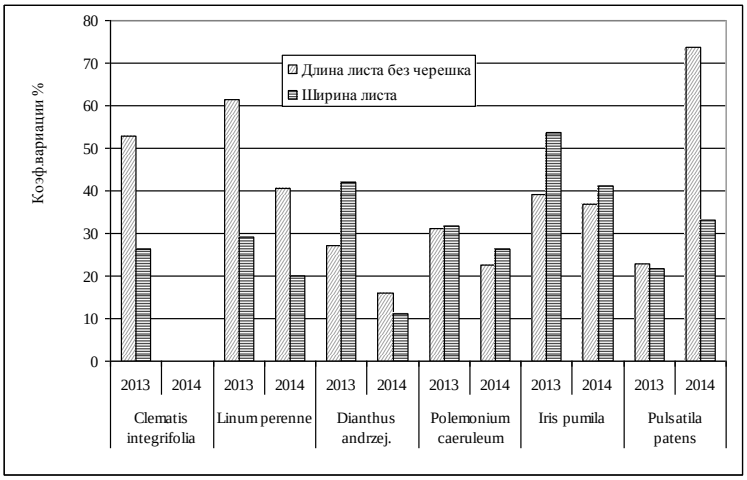

Рис. 2. Оценка варьированная показателей листьев растений, полученных посевом экспонированных на КА семян

Выводы: проведенные полевые опыты с экспонированными на КА «БИОН-М» №1 семенами растений природной флоры показали для отдельных видов стимулирующее влияние комплекса факторов космического полета на грунтовую всхожесть против обычного для них уровня (всхожесть в 2013 г. 70-80% против 30-50% соответственно). Однако неблагоприятные погодные условия в 2014 г. привели к отпаду наиболее слабых особей, что было максимально выражено для клематиса цельнолистного, но не происходило – у синюхи и гвоздики Андржеевского, где сохранились все особи. Возможно, воздействие комплекса факторов космического полета стало значимо стимулирующим и для части семян привело к их преждевременному прорастанию (либо прорастанию семян изначально пониженного качества). В полевых опытах, начиная с 2013 г. и в меньшей степени в 2014 г. выявился эффект возрастания неоднородности растений на ранней стадии развития – среди групп всходов каждого вида появлялись более крупные экземпляры, опережающие по развитию соседние особи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кирилин, А.Н.* Космическое аппаратостроение: Научно-технические исследования и практические разработки ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» / *А.Н. Кирилин, Г.П Аншаков, Р.Н. Ахметов, А.Д. Сторож*. Под ред. д.т.н. *А.Н. Кирилина*. – Самара: Изд. дом «АГНИ», 2011. 280 с.
2. *Абрашкин, В.И.* О предварительных результатах космического эксперимента с семенами высших растений на КА «БИОН-М» №1 / *В.И. Абрашкин, Е.В. Авдеева, Ю.Н. Горелов* и др. // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. 2013. № 9/1(110). С. 140-150.
3. Красная книга Самарской области. Редкие виды растений, лишайников и грибов. - Тольятти: ИЭВБ РАН, 2007. Т.1. 372 с.
4. Определитель растений on-line. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.plantarium.ru/

TO THE PRIMARY RESULTS OF SPACE EXPERIMENT WITH SEEDS OF NATURAL FLORA RARE PLANTS ON THE “BION-M” No 1 SPACECRAFT

© 2015 Yu.N. Gorelov[1], L.M. Kavelenova[1], L.V. Kurganskaya[1], S.A. Rozno[2], I.V. Ruzayeva[2], K.S. Ruzayeva[2]

[1] Samara State University
[2] Botanical Garden of Samara State University

In the paper primary results of the space experiment with higher plants seeds made on the spacecraft “Bion-M” No. 1 are stated. Materials of field supervision in 2013-2014 over the plants received by crops in soil of nursery of botanical garden of Samara state university of the rare plants of natural flora seeds exhibited on the spacecraft and returned to Earth are presented.

Key words: *space experiment, higher plants seeds, natural flora*

Yuriy Gorelov, Doctor of Technical Sciences, Professor. E-mail: yungor07@mail.ru; Lyudmila Kavelenova, Doctor of Biology, Head of the Department of Ecology, Botany and Nature Protection. E-mail: biotest@samsu.ru; Lyubov Kurganskaya, Candidate of Physics and Mathematics, Senior Research Fellow. E-mail: limbo83@mail.ru; Svetlana Rozno, Candidate of Biology, Director. E-mail: sambg@samsu.ru; Irina Ruzaeva, Candidate of Biology, Head of the Flora Department; Kseniya Ruzaeva, Biologist at the Flora Department