

УДК 504.06:629.78.004

А.О. Бимаганбетова¹
Т.А. Базарбаева²
Г.А. Муканова²
А.Б. Атыгаев²**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА МЕСТЕ АВАРИЙ ПРОТОН-М**

Ключевые слова: ракетно-космическая деятельность, компоненты ракетного топлива, воздействие ракетного топлива, несимметричный диметилгидразин в растениях, несимметричный диметилгидразин и продукты его трансформации

В статье приведен краткий обзор актуальных направлений изучения воздействия ракетно-космической деятельности на окружающую среду. Выявлено воздействие ракетного топлива, где главными токсикантами являются несимметричный диметилгидразин (НДМГ) и продукты его трансформации: нитрозодиметиламин (НДМА), диметиламин, тетраметилтетразен. Попадание компонентов ракетного топлива в окружающую среду способствует образованию локальных биохимических поверхностных аномалий. В работе объектом исследования является место аварийного падения ракеты-носителя «Протон-М» 2013 г. Составлена база данных с координатами точек отбора проб на месте падения ракет-носителей (РН).

Введение. Под влиянием хозяйственной деятельности человека повсеместно происходит трансформация естественного растительного покрова, в результате которой формируются неустойчивые модификации растительных сообществ, упрощается их структура, уменьшается биоразнообразие, снижается продуктивность, утрачивается ресурсная значимость и функциональная роль в биосфере [1]. В связи с этим целями экологического обследования почвенно-растительного покрова являлись: визуальный осмотр состояния растительного покрова, оценка состояния растительных сообществ и оценка уровня

¹ РГП «НИЦ Фарыш-Экология», Алматы, Республика Казахстан

² КазНУ имени аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан

загрязнения почвы и растений компонентами ракетного топлива и продуктами их трансформации на местах аварийного падения ракеты-носителя «Протон-М» в 2007 и 2013 гг.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований на местах аварийных падений ракеты-носителя «Протон-М» в 2013 г. на территории позиционного района космодрома «Байконур» и в 2007 г. на территории Улытауского района Карагандинской области являлись почва и растительность.

Флористическое исследование растительности проводили в общей системе натуральных наблюдений, так как для выявления тренда развития и изменения растительности необходимы сведения по другим компонентам экосистем и их параметрам (Договор аренды комплекса «Байконур» между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Казахстан (Москва, 10 декабря 1994 г.)) [2].

Подсистема растительности является основным функционирующим природным блоком экосистем. Она индуцирует любые изменения других компонентов, включая антропогенные. Присущие растительности свойства сверхинформативности и физиономичности в ландшафте позволяют визуально оценить деструктивные изменения экосистем.

Состояние флоры и растительности определяется конкретным типом местообитания со всеми, свойственными ему, процессами и явлениями. Поэтому, в качестве теоретической платформы исследований использовался экосистемный или ландшафтно-динамический подход, позволяющий всесторонне подойти к оценке состояния растительности и выявить связи взаимодействия с другими компонентами (почвами, водами и т.д.) [3, 4].

В качестве методической основы использовались традиционные методы геоботанических исследований: описания фитоценозов, ландшафтно-экологическое профилирование. Особое внимание уделялось изучению пространственного размещения (структуры) растительности в её взаимосвязи с другими компонентами ландшафта (рельефом, почвой и др.), оценке состояния фитоценозов, выявлению редких, эндемичных видов и сообществ, оценке биоразнообразия.

Результаты. Для экологического обследования почвенно-растительного покрова на местах аварий ракет-носителей «Протон-М» проведен анализ базы данных (БД) по результатам многолетнего экологического мониторинга мест аварийного падения, созданы схемы отбора проб при экспедиционных работах [5]. Для решения поставленных задач применялась программа MapInfo Professional 12.1 и ГИС-методы:

- *SQL-запрос*, (Structured Query Language – язык структурированных запросов, инструмент для создания всевозможных выборок из БД;
- *пространственный анализ*, в данном случае анализ расположения точек с выявленными концентрациями НДМГ и НДМА в растительном покрове;
- *картометрические функции* – это операции, позволяющие измерять расстояния и площади и направлены на получение информации с карты.

На первом этапе проанализирована БД по результатам экологических исследований растительного покрова на местах аварий РН «Протон-М» 2007 г. и 2013 г. С помощью SQL-запросов из БД выбраны точки с выявленными концентрациями НДМГ и НДМА.

На месте аварийного падения «Протон-М» в 2013 г. концентрации НДМА выявлены в растительном покрове в 2017 г. (спустя 4 года после аварии) в 18 точках (0,12...4,025 мг/кг) на месте падения внутри огороженной территории, на расстояниях 300...350 м от огороженной территории и в фоновой пробе на расстоянии 790 м.

На месте аварийного падения «Протон-М» в 2007 г. (верхняя часть разгонного блока «Бриз-М» и часть переходного отсека космического аппарата) концентрации НДМГ и НДМА в растительном покрове выявлены в 74 точках за период 2009...2014 гг. В 2009 г. НДМГ в растительном покрове обнаружен в 23 точках в пределах 0,14...1,9 мг/кг, НДМА в 3 точках в пределах 0,3...1,0 мг/кг. В последующие годы выявлен только НДМА: в 2010 г. – в 63 точках (0,03...6,9 мг/кг); в 2011 г. – в 11 точках (0,11...0,21 мг/кг); в 2013 г. – в 12 точках (0,127...4,839 мг/кг); в 2014 г. – в 9 точках (1,69...13,05 мг/кг). В 18 из 74 точек концентрации НДМА сохранялись от двух лет и более. На втором этапе выбраны точки для исследований в 2018 г. Выбор основывался на анализе встречаемости НДМГ и НДМА в растительном покрове, значений концентраций и наличии загрязнений НДМГ и НДМА в почве [6].

В соответствии с техническим заданием проведено маршрутное обследование растительных сообществ с указанием их расположения (по GPS) и описанием (видовой состав, обилие, проективное покрытие), констатацией наличия аномалий у растений, взятием проб растений для химических исследований [Договор аренды комплекса «Байконур» между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Казахстан (Москва, 10 декабря 1994 г.)].

В ходе полевых работ на территории места аварии РН «Протон-М» в 2013 г. в позиционном районе космодрома «Байконур» проведены обследования флоры на 12 точках (10 точек непосредственно на месте

аварии РН и 2 фоновые), размером 10 x 10 м. Методом космической навигации (GPS) определены координаты нижнего левого угла площадки и вся информация занесена в полевые бланки геоботанических описаний. Эколого-флористическое обследование сопровождалось описанием состояния растительных сообществ на период проведения полевых работ, с указанием экологических условий на местах отбора проб растений (флористический состав, общее проективное покрытие, высота растений). На местах описаний отобрано 72 пробы растений (по 3 вида растения с разделением надземной и корневой части), предназначенные для количественного химического анализа на содержание НДМГ и НДМА в аналитической лаборатории РГП «НИЦ «Гарыш-Экология». В местах отбора проб растений также было отобрано 24 пробы почвы из поверхностного слоя 0...25 см для определения содержания НДМГ, НДМА, нитрат-ионов, аммонийного азота, уровня *pH*.

На месте аварийного падения РН «Протон-М» в 2007 г. (место падения верхней части разгонного бока «Бриз-М» и переходного отсека космического аппарата) обследование почвенно-растительного покрова проведено на 25 точках по 8 румбам. Вся информация об описании растительных сообществ занесена в полевые бланки. Отобрано 165 проб растений (по 3...6 видов растений с каждой точки с разделением надземной и корневой части), предназначенные для количественного химического анализа (КХА) на содержание НДМГ и НДМА в аналитической лаборатории РГП «НИЦ «Гарыш-Экология» и 50 проб почвы из поверхностного слоя глубиной до 0,5 м (из слоев 0...25 см и 25...50 см) для определения содержания НДМГ, НДМА, нитрат-ионов, аммонийного азота, уровня *pH*.

Территория аварийного падения РН «Протон-М» 2013 г. в позиционном районе космодрома «Байконур» представляет собой наклонный выровненный участок, пересеченный бороздами распашек, что явилось результатом, проведенной в осенний период 2017 г., рекультивации земель на бывшей огороженной территории с подсевом семян саксаула черного (рис. 1а). В апреле 2018 г. непосредственно на месте падения растительность отсутствовала, на расстоянии 10...15 м от места падения наблюдалось возобновление растительного покрова в виде неустойчивых, смешанного видового состава, группировок с низким проективным покрытием почвы (от 1 до 10 %) (рис. 1б.). Преобладали однолетние солянки (рогоз песчаный), климакоптера мясистая, солянка чумная, из эфемеров и эфемероидов: мортук пшеничный, рогозланник пряморогий, пажитник дугообразный, осока вздутоплодная, мятлик луковичный с проективным покрытием

10...15 % в зоне аварии, при средней высоте растений 2...5 см (солянки и сорные эфемеры, ранг) [7-9]. Единично были отмечены ревень татарский, высотой 8...15 см, вегетативные побеги полыни белоземельной 4...6 см. На период описания солянки и эфемеры находились в фазе вегетации, тюльпаны и ревень в стадии цветения. Наиболее возвышенная часть района аварийного падения, подвергавшаяся пожару в 2013 г., расположена в южном направлении от места падения на песчаном массиве.



Рис 1. Место аварийного падения РН «Протон-М» 2013 г.: а) – распахка земель в центре места падения РН «Протон-М»; б) – возобновление растительного покрова на месте аварии.

Отмечено преобладание разреженных группировок разнотравья (ирисы, тюльпаны) и злаков (пырей гребневидный) с проективным покрытием 10...15 % и средней высотой растений 12...15 см, а также большое количество сухих, местами выгоревших корней коренной растительности данной территории – полыни белоземельной (рис. 2).



Рис 2. Район аварийного (после пожара в 2013 г.) падения РН «Протон-М».

На фоновых точках растительный покров представлен коренными полынно-кейреуковыми ассоциациями, с проективным покрытием почвы растениями 40...45 %, высота растений полыни белоземельной – 6...8 см, солянки восточной (кейреука) – 30...40 см (рис. 3а).

В ходе полевых работ, как на фоновых участках, так и на нарушенных почвах выявлен восстанавливающийся вид, подлежащий охране и занесенный в Красную книгу Казахстана – тюльпан Борщева (*Tulipa borczowii*). Природоохранный статус видов (редкие, эндемичные) приводится согласно Красной книге растений КазССР (рис. 3б) [2].



Рис 3. Фоновая точка (РФ-12): а) – коренные (фоновые) кейреуково-полынные ассоциации места падения РН «Протон-М»; б) – тюльпан Борщева (*Tulipa borczowii*).

В результате полевых работ в районе обследования составлен предварительный список наиболее распространенных по обилию и встречаемых растений. Собран гербарий неустановленных видов растений для дальнейшего их определения в камеральных период.

Место аварийного падения РН «Протон-М» 2007 г. в Улытауском районе Карагандинской области (место падения (МП) верхней части разгонного блока «Бриз-М» и части переходного отсека космического аппарата), обследовано 26 мая 2018 г. Место падения характеризуется комплексом пятен оголенных почв с неоднородным по всем румбам от центра МП сильно разреженным растительным покровом в виде сухих группировок из однолетних солянок, сорного разнотравья и корней полыни с единичными вегетирующими особями иксилириона татарского и горца птичьего с проективным покрытием 1...3 %, при средней высоте растений 10...15 см. Сухими побегами неопределенных растений покрыто 15...20 % при высоте

сухих побегов 10...20 см. По мере удаления от центра МП (10...20 м) увеличивается количество вегетирующих видов (горец птичий, единичные побеги полыни белоземельной и кейреука) с проективным покрытием 10...15 % и высотой растений 6...8 см (рис. 4). Повсюду отмечено наличие обгоревших корней и стеблей полыни белоземельной (рис. 5). На расстоянии 3...5 м от центра МП в юго-юго-восточном направлении выявлено 15 кустов вегетирующей полыни белоземельной высотой 20...22 см.



Рис. 4. Восстановление солянки восточной (кейреука) и ревеня низкого.

За пределами бруствера на расстоянии от 100 м до 1000 м от центра МП растительный покров представлен диффузным зарастанием сорнотравными группировками из клоповника сорного, горчака ползучего, бурачка пустынного, как результат пожара осени 2017 г. и разреженными коренными видами ковыля Лессинга и полыни белоземельной (рис. 6).



Рис. 5. Обгоревшие стебли коренной (фоновой) растительности на месте падения верхней части РБ «Бриз-М» и части переходного отсека космического аппарата КА.

Отмечены факты восстановления растительности в центре места падения фрагментов аварийной РН «Протон-М» в 2007 г. рудеральными группировками и возвращением фоновых многолетних видов растений, таких как полынь белоземельная, полынь полусухая, ковыль лессинговский, ковыль волосатик, солянка восточная (кейреук).



Рис. 6. Состояние растительности на территории места падения верхней части РБ «Бриз-М» и части переходного отсека космического аппарата КА.

В сентябре 2018 г. проведен повторный отбор проб растений и почвы на месте аварии РН «Протон-М» 2013 г. позиционного района космодрома «Байконур». Было отобрано 24 пробы растений с 12 точек (раздельно бралась надземная и подземная части) для определения содержания НДМГ и НДМА и 24 пробы почвы из поверхностного слоя 0...25 см для определения содержания НДМГ, НДМА, нитрат- и нитрит-ионов.

Выводы. По результатам визуальной оценки местности растительный покров на месте аварийного падения РН «Протон-М»:

1. На месте воронки, которая появилась после взрыва аварийного РН отмечены положительные результаты работ по технической рекультивации и посеву семян саксаула.
2. На месте воронки, образованной после аварии РН, проективное покрытие растениями земной поверхности составляет 1...10 %. Растительный покров представлен: эфемерами, эфемероидами: осока вздутоплодная, мортук восточный, ревень татарский, рогач песчаный, а также в большом количестве таким видов солянки как рогач песчаный (эбелек). Отмечено появление единичных экземпляров тюльпана Борщева – вида, занесенного в Красную книгу Казахстана.

3. За пределами бывшей огражденной территории, на месте пожара 2013 г., можно выделить зону с увеличением видов растений и общего проективного покрытия 10...25 %. Растительность также представлена эфемерами, эфемероидами, злаками, разнотравьем и солянками: осока вздутоплодная, мортук восточный, мятлик луковичный, бурачок пустынный, рогозавник пряморогий, клопо пронзеннолистный, ревень татарский, тюльпан Борщева, рогач песчаный, ирис тонколиственный. В незначительном количестве отмечены виды коренной растительности - полыни белоземельной и пырея пустынного.
4. На территории, не подвергавшейся пожару, а также на фоновых точках сохранена коренная растительность (полынь белоземельная, солянка восточная (кейреук), кохия простертая (изень)). Проективное покрытие почвы растениями составляет 40...55 %.
5. В апреле-мае 2018 г. по сравнению с 2017 г. за пределами района аварийного падения выявлены признаки восстановления растительности. На месте аварийного падения, в пределах бывшей зоны ограждения, сохраняется очень сильная степень нарушенности – как результат рекультивации этой территории, проведенной осенью 2017 г.

По результатам экологического мониторинга места падения РН «Протон-М» дана оценка современного состояния места аварийного падения и прилегающих территории. На месте аварий наблюдается положительная динамика восстановления природной экосистемы, выраженная в появлении единичных растений, разреженных группировок и сорнотравно-эфемеровых ассоциаций, а также сокращение аварийных уровней загрязнения почвы НДМГ, НДМА, нитрат-ионов и нитрит-ионов.

По наблюдениям за местом аварий РН «Протон-М», можно заметить, что спустя столько лет после аварий на месте бывших воронок идет постепенное увеличение растительного покрова, тем самым идет восстановление прежних мест приближенное к первоначальному виду.

По результатам исследований сделаны следующие рекомендации.

1. Нужно увеличить объем финансирования работ по выполнению комплексной экологической оценки в районах аварийного падения.
2. Учитывая процессы естественного восстановления техногенно- нарушенной экосистемы, отмеченные в 2018 г. в районе аварийного падения РН «Протон» от 02.07.2013 г., не проводить дополнительные работы по деток-

сикации и рекультивации почв. В плане продолжения экологического мониторинга этой территории необходимо выполнять дальнейший контроль за динамикой восстановления от негативных аварийных последствий.

3. В точках обнаружения в 2018 г. признаков негативных аварийных последствий (химическое загрязнение продуктами трансформации КРТ, техногенная трансформация растительного покрова) необходимо провести углубленное исследование почвенно-растительного покрова, с подключением к анализу физико-химических, морфологических и микробиологических характеристик почвенных разрезов, геоботанических описаний, морфологических и цитологических показателей проб растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жубатов Ж.К., Бисариева Ш.С., Товасаров А.Д., Бекешев Е.А., Толегенова Н.А., Агапов О.А. Оценка динамики загрязнения почвенно-растительного покрова компонентами ракетного топлива в районах аварийных падений ракет космического назначения // Матер. научно-практ. конф. «Обеспечение экологической безопасности ракетно-космической деятельности». – М: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2011. – С. 74-79.
2. Касимов Н.С., Гребенюк В.Б., Королева Т.В., Проскуряков Ю.В. Поведение компонентов ракетного топлива в почвах, водах и растениях Н. С. Касимов, В. Б. Гребенюк, Т. В. Королева, Ю. В. Проскуряков // Почвоведение. – 1994. – № 9. – С. 110–120.
3. Полевая геоботаника в 4-х томах / Под ред. Е.М. Лавренко и А.А. Корчагина. – М.-Л.: Наука, 1959-1972. – 1805 с.
4. Касимов Н.С., Гребенюк В.Б., Королева Т.В., Проскуряков Ю.В. Поведение компонентов ракетного топлива в почвах, водах и растениях Н. С. Касимов, В. Б. Гребенюк, Т. В. Королева, Ю. В. Проскуряков // Почвоведение. – 1994. – № 9. – С. 110–120.
5. R. S. Smirnov, I. A. Rodin, A. D. Smolenkov, and O. A. Shpigun. Transformation of unsymmetrical dimethyl hydrazine in soils using chromatography/mass spectrometry // Journal of Analytical Chemistry. – 2010. – Vol. 65. – P.1266-1272.
6. Айвазян Л.Д., Касимов Н.С. О геохимической специализации растений (на примере Мугоджар) // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. – 1979. – № 5. С.42-47.

7. Ensing B., Buda F., Baerends E. J. Fenton-like chemistry in water: Oxidation catalysis by Fe (III) and H₂O₂ // J. Phys. Chem. A. 2003. Vol. 107/ – № 30. – С. 5722-5731.
8. Ермаков Е.И., Панова Г.Г., Петрова З.М., Остапенко Н.С., Бойцова Л.В. Влияние несимметричного диметилгидразина на состояние почвенно-растительной системы. // Материалы научно-практической конференции «Экологические аспекты воздействия компонентов жидких ракетных топлив на окружающую среду». Санкт-Петербург, 12-15 сентября 1996 г. – СПб.: РНЦ «Прикладная химия», 1996. – С. 15-19.

Поступила 15.03.2019

А.О. Бимаганбетова
Т.А. Базарбаева
Г.А. Муканова
А.Б. Атыгаев

«ПРОТОН-М» АПАТ БОЛҒАН ЖЕРДЕ ӨСІМДІК ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЫ

Түйін сөздер: ғарыш-зымыран қызметі, зымыран оты, топырақтың ластануы, өсімдіктегі симметриялы емес диметилгидразин және симметриялы емес диметилгидразин өнімдері мен оның өзгерісі.

Мақалада ғарыштық-зымыран қызметінің қоршаған ортаға әсерін зерттеуге бағытталған өзекті мәселелерге шолу келтірілген. Зымыран отының компоненттерінің әсері, оның басты токсиканттары симметриялы емес диметилгидразин (СЕДМГ) мен оның өзгерген өнімдері нитрозодиметиламин (НДМА), диметиламин, тетраметилтетразен екені айқындалды. Зымыран отының компоненттерінің қоршаған ортаға түсетін компоненті жергілікті беткейлік биохимиялық бұзылыстарды түзуге қабілетті. Жұмыста 2013 жылғы «Протон-М» зымыран тасымалдағыштың авариялық құлаған орны зерттеу нысаны ретінде келтірілді. Зымыран тасымалдағыштың апат аймағынан үлгі алу нысандарының координаттарының мәліметтер қоры құрастырылды.

A.O. Bimaganbetova, T.A. Bazarbaeva, G.A. Mukanova, A.B. Atygayev

ECOLOGICAL CONDITION OF THE VEGETATION COVER AT THE PROTON-M ACCIDENT SITE

Key words: rocket and space activity, components of rocket fuel, impact of rocket fuel, unsymmetrical dimethylhydrazine in plants, unsymmetrical dimethylhydrazine and its transformation products.

The article provides a brief overview of current trends in studying the environmental impact of rocket and space activities. The effects of rocket fuel have been identified, where the main toxicants are unsymmetrical dimethylhydrazine (UDMH) and its transformation products: nitrosodimethylamine (NDMA), dimethylamine, tetramethyltetrazene. The entry of rocket fuel components into the environment contributes to the formation of local biochemical surface anomalies. In this study, the object of study is the crash site of the 2013 Proton-M launch vehicle. A database has been compiled with coordinates of sampling points at the location of the drop in the LV and mapped points.