**Экологическое состояние растительного покрова на местах аварий и изучение особенностей образования и накопления НДМГ и НДМА в растениях**

*Атыгаев А.Б.*

*под руководством Муканова Г.А*

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан

e-mail: newanuar@gmail.com

**Введение**

Интенсивное развитие ракетно-космической деятельности (РКД) началось в 60-е гг. XX в. Сейчас это одна из важнейших интеллектуальных и технических видов деятельности человечества в интересах решения народнохозяйственных, научных и оборонных задач. На раннем этапе ее развития основное внимание уделялось созданию собственно ракетно-космической техники, но по мере появления все более мощных и современных космических систем, таких, как "Союз", "Энергия", "Протон", "Спейс Шаттл", "Ариан" и др., накопления опыта их эксплуатации, пришло понимание, что космическая индустрия является специфическим источником загрязнения окружающей среды. Как любая отрасль промышленности, ракетно-космический комплекс оказывает воздействие на многие компоненты окружающей природы, особенно в районах функционирования космодрома и падения первых ступеней ракет-носителей [1].

Влияние РКД на окружающую среду весьма многообразно - химическое, механическое, акустическое, тепловое, электромагнитное. Некоторые из указанных типов воздействия взаимосвязаны и их вклад в общее возмущение окружающее природной среды может иметь синергетический эффект. Из хозяйственного оборота в Казахстане выведены площади под позиционный район космодрома Байконур - 6,7 тыс. км2 и 22 зоны падения отработавших ступеней ракет-носителей, включающие 46 районов падения – 41,3 тыс. км2. [1, 2].

За время эксплуатации космодрома Байконур был осуществлен запуск космических объектов различного назначения. Основными компонентами ракетного топлива для ракет тяжелого класса (Протон и др.) являются несимметричный диметилгидразин (НДМГ, гептил) и азотный тетраоксид (АТ, амил), главными токсикантами являются НДМГ и продукты его трансформации: нитрозодиметиламин, диметиламин, метилтриазол, диметилформамид, формальдегид, окислы азота они относятся к 1 классу опасности [3].

Попадание компонентов ракетного топлива в окружающую среду способствует образованию локальных биохимических поверхностных аномалий. Негативное действие ракетно-космической деятельности (РКД) в Казахстане усиливается из-за климатогеографических условий. Территории вокруг космодрома Байконур относятся к пустынной и полупустынной зонам и характеризуются низким уровнем годовых осадков, частыми ветрами. [1].

**Объекты и методы исследований**

Объектом исследований на местах аварийных падений РН «Протон-М» 2013 года на территории позиционного района космодрома «Байконур» и в 2007 г. на территории Улытауского района Карагандинской области являлась почва и растительность.

Флористическое исследование растительности проводили в общей системе натурных наблюдений, так как для выявления тренда развития и изменения растительности необходимы сведения по другим компонентам экосистем и их параметрам. Подсистема растительности является основным функционирующим природным блоком экосистем. Она индуцирует любые изменения других компонентов, включая антропогенные. Присущие растительности свойства сверх информативности и физиономичности в ландшафте позволяют визуально оценить деструктивные изменения экосистем.

Подсистема растительности является основным функционирующим природным блоком экосистем. Она индуцирует любые изменения других компонентов, включая антропогенные. Присущие растительности свойства сверх информативности 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.) [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; функции направлены на получение информации с карты.

На первом этапе проанализирована БД по результатам экологических исследований растительного покрова на местах аварий РН «Протон-М» 2007 и 2013 годов. С помощью SQL-запросов из БД выбраны точки с выявленными концентрациями НДМГ и НДМА. Место аварийного падения РН «Протон-М» 2007 г. в Улытауском районе Карагандинской области (место падения (МП) верхней части разгонного блока (РБ) «Бриз-М» и части переходного отсека космического аппарата КА)) 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

*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 – 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 году. Выбор основывался на анализе встречаемости НДМГ и НДМА в растительном покрове, значений концентраций и наличии загрязнений НДМГ и НДМА в почве [6].

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 аварии РН «Протон-М» 2013 г. в Кызылординской области в летом 2018 г. представляло собой более-менее выровненную поверхность с наличием борозд, что явилось результатом распашек при проведении рекультивации осенью 2017 года, постепенно возвышающуюся к югу от МП.

На территории непосредственного места падения в осенний период отмечено зарастание нарушенных земель разреженными группировками и отдельными экземплярами рудеральных однолетних солянок, таких как солянка чумная и эбелек, с проективным покрытием почвы растениями от 3% до 10%.

Средняя высота растений 15-25 см, местами достигая 40 см. Отмечено присутствие сухого эфемерового разнотравья (ревеня татарского). По мере удаления от места падения проективное покрытие почвы увеличивается до 15%. При визуальном наблюдении аномальных изменений в морфологическом строении растений, таких как гигантизм, изменение окраски листьев и стеблей не выявлено.

Об аэрогенном пути поступления загрязнителя в растения говорит наличие НДМГ в смывах и его отсутствие после смыва, который можно проследить на примере таких видов растений, как *Anabasis salsa,* сем. Маревые *и Festuca sulcata,* сем. Злаки*, Artemisia pauciflora,* сем. Сложноцветные, причем как на месте падения, так и на достаточно большом расстоянии от места падения (МП). Присутствие НДМГ в пробе после смыва и его отсутствие в смыве подтверждает почвенный путь поступления (*Stipa Lessingiana*, *Artemisia pauciflora)*. В случае присутствия НДМГ как в смыве, так и в растениях после смыва *(Atriplex сапа,*  *Artemisia pauciflora*) подтверждается наличие двух возможных путей поступления НДМГ в растения [7].

Таким образом, отмечено, что растения способны поглощать НДМГ всеми своими органами из различных фаз внешней среды (газообразной, твердой), причем отмершие растения могут достаточно длительное время являться поставщиками НДМГ в природную среду**.** Кроме того, растительность является лучшим индикатором для определения площади рассеяния НДМГ, на территории, где нет условий для его сохранения в почвах [8].

Известно, что НДМГ, попадая в окружающую природную среду, может сохраняться без изменения или связываться с природными веществами, преимущественно органическими (фульвокислоты, гуминовые вещества и др.), а также частично трансформироваться в N-нитрозоамины, в том числе нитрозодиметиламин (НДМА). При этом могут образовываться тетраметилтетразен (ТМТ), метилметиленгидразин (ММГ), диметиламин (ДМА). Конечными продуктами трансформации НДМГ в объектах окружающей среды являются нитраты, нитриты, формальдегид, гидразинкарбоновые кислоты и другие вещества [9].

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 года рекультивация земель (на бывшей огороженной территории с подсевом семян саксаула черного (рисунок 1. а). 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%) (рисунок 1.б.) Преобладали однолетние солянки (рогач песчаный), климакоптера мясистая, солянка чумная, из эфемеров и эфемероидов: мортук пшеничный, рогоглавник 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) [10]

Об аэрогенном пути поступления загрязнителя в растения говорит наличие НДМГ в смывах и его отсутствие после смыва, который можно проследить на примере таких видов растений, как Anabasis salsa, сем. Маревые и Festuca sulcata, сем. Злаки, Artemisia pauciflora, сем. Сложноцветные, причем как на месте падения, так и на достаточно большом расстоянии от места падения (МП). Присутствие НДМГ в пробе после смыва и его отсутствие в смыве подтверждает почвенный путь поступления (Stipa Lessingiana, Artemisia pauciflora). В случае присутствия НДМГ как в смыве, так и в растениях после смыва (Atriplex сапа, Artemisia pauciflora) подтверждается наличие двух возможных путей поступления НДМГ в растения [5,9].

Основные пути поступления компонентов ракетного топлива в ландшафты - аэрогенное рассеивание и проливы как при падении ОЧ РН на землю, так и при аварийных падениях. Большая часть поступающего топлива сгорает и испаряется в атмосфере. Меньшая - захватывается растительностью, проникает в почву, растворяется в воде. В отличие от почв, загрязненных преимущественно в местах проливов гептила при падении ОЧ РН, растительность загрязнена на более значительной площади. В результате выпадения токсикантов из атмосферы формируются обширные региональные поверхностные аномалии на местах падения ОЧ РН за их пределами.

Это подтверждается рядом экспериментов по изучению распределения НДМГ в органах растений (надземная и подземная части). Делались смывы дистиллированной водой с поверхности вегетативных органов растений, определялось наличие НДМГ в данном растворе и его присутствие НДМГ в вегетативных органах после смыва дистиллированной водой. [5,7,8].

Основываясь на результатах собственных исследований по ликвидации последствий аварийных падений РН «Протон-М» установлено, что в почве на местах аварийного падения РН длительное время сохраняется загрязнение продуктами распада НДМГ и НДМА. Отмечается периодическое появление НДМА в растениях при отсутствии НДМГ и НДМА в почве, также отмечено повторное загрязнение почвенно-растительного покрова НДМГ и НДМА после их отсутствия в течение нескольких лет, при этом, площади загрязнения растительного покрова в десятки раз превышали площади выявленного загрязнения почвы КРТ и продуктами их трансформации [6, 10].

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. Повсюду отмечено наличие обгоревших корней и стеблей полыни белоземельной. На расстоянии 3-5 м от центра МП в юго-юго-восточном направлении выявлено 15 кустов вегетирующей полыни белоземельной высотой 20-22 см.

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

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 подзнемная 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 [10].

**Выводы**

Выявлены существенные различия в накоплении НДМГ разными видами растений, на местах проливов гептила. Его содержание в злаках составило 35% от проб данного семейства, в сложноцветных – 42%, в маревых – 50 %. Составлен видовой список дикорастущих растений, способных к накоплению НДМГ и НДМА: полынь белоземельная (*Artemisia terrae-albae, сем. Asteraceae),*солянка восточная, кейреук *(Salsola orientale, сем.* *Chenopodiacea),*пырей гребневидный (*Agropyron pectiniformee),* ковыль Лессинга (*Stipa lessingiana, сем.* *Poacea),* выбор которых обоснован многолетними исследованиями, а также их приуроченностью к особенностям данной территории, как коренных видов.

Место аварийного падения в настоящее время представляет собой более-менее выровненную поверхность с наличием борозд, что явилось результатом распашек при проведении рекультивации осенью 2017 года, постепенно возвышающуюся к югу от МП. На территории непосредственно места падения в осенний период отмечено зарастание нарушенных земель разреженными группировками и отдельными экземплярами рудеральных однолетних солянок, таких как солянка чумная и эбелек, с проективным покрытием почвы растениями от 3% до 10%. Средняя высота растений 15-25 см, местами достигая 40 см. Отмечено присутствие сухого эфемерового разнотравья (ревеня татарского). По мере удаления от места падения проективное покрытие почвы увеличивается до 15%. При визуальном наблюдении аномальных изменений в морфологическом строении растений, таких как гигантизм, изменение окраски листьев и стеблей не выявлено.

Проведено комплексное экологическое обследование почвенно-растительного покрова на местах аварий ракет-носителей «Протон-М». Выполнены визуальный осмотр состояния растительного покрова, оценка состояния растительных сообществ и оценка уровня загрязнения почвы и растений компонентами ракетного топлива и продуктами их трансформации на местах аварийного падения РН «Протон-М» в 2007 и 2013 гг.

На местах аварий РН «Протон-М» 2013 г. и 2007 г. соответственно, отобрано 72 и 165 проб растений (с разделением надземной и корневой части), предназначенных для количественного химического анализа на содержание НДМГ и НДМА. В местах отбора проб растений также было отобрано соответственно 24 и 50 проб почвы из поверхностного слоя 0-25 см для определения содержания НДМГ, НДМА, нитрат-ионов, аммонийного азота, уровня рН.

**Список использованных источников**

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-прак. конф. «Обеспечение экологической безопасности ракетно-космической деятельности». - М: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2011. – С. 74-79.
2. Договор аренды комплекса «Байконур» между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Казахстан (Москва, 10 декабря 1994 г.)
3. 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.
4. Полевая геоботаника в 4-х томах / Под ред. Е.М. Лавренко и А.А. Корчагина. – М.-Л.: Наука, 1959-1972. – 1805 с.
5. 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.
6. Transformation of unsymmetrical dimethylhydrazine in soils using chromatography/mass spectrometry // Journal of Analytical Chemistry. – 2010. - Vol.65. – P.1266-1272.
7. Айвазян Л.Д., Касимов Н.С. О геохимической специализации растений (на примере Мугоджар) // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 1979. № 5. С. 42 - 47.
8. Ensing B., Buda F., Baerends E. J. Fenton-like chemistry in water: Oxidation catalysis by Fe (III) and H O //J. Phys. Chem. A. 2 2 2003. Vol. 107, № 30. – С. 5722-5731.
9. 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.
10. Исследование природны загрязнения раститений несимметричным диметилгидразином и токсичными продуктами его трансформации: отчет о НИР (заключительный) / РГП «НИЦ «Ғарыш-Экология»; рук. Козловский В.А.; Исполн.: Бекешев Е.А., Агапов О.А., Большакова Н.А. [и др.] . – Алматы, 2018. – 134 с. – Библиогр.: с. 126-129. – Регистрационный № 0118РК01181.