

УДК 504.054 :574.3

Канд. биол. наук  
Доктор техн. наукШ.С. Бисариева\*  
Ж.К. Жубатов\*  
Е.А. Бекешев\*  
Е.Ю. Степанова\*  
О.А. Агапов\***ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ  
АВАРИЙНОГО ПАДЕНИЯ РКН РС-20 «ДНЕПР»  
В КЫЗЫЛОРДИНСКОЙ ОБЛАСТИ***РАКЕТОНОСИТЕЛЬ, АВАРИЙНОЕ ПАДЕНИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ  
МОНИТОРИНГ, ПРИРОДНЫЙ КОМПЛЕКС*

*В статье представлены основные выводы, сделанные в результате полевых и камеральных исследований, проведенных в послеварийный период, на местах механического нарушения и химического загрязнения участков зоны падения РКН РС-20.*

На протяжении ряда лет, начиная с 27 июля 2006 г. – с даты аварийного пуска ракеты космического назначения (РКН) РС-20 с космодрома «Байконур», казахстанские и российские научно-производственные организации ведут мониторинг негативных экологических последствий на участке территории Кармакшинского района Кызылординской области. Неотъемлемой частью этих работ стала комплексная оценка экологического состояния зоны аварийного падения, выполненная в 2007...2009 гг. в рамках «Программы экологического мониторинга территорий, подвергшихся техногенному воздействию в результате аварийного падения ракеты космического назначения РС-20, 27 июля 2006 года», и в 2010...2011 гг. в рамках республиканской бюджетной программе «Прикладные научные исследования в области космической деятельности».

Рассмотрим какая обстановка сформировалась в районе аварийного падения РС-20 спустя пять лет.

Целью научного исследования явилось изучение природного комплекса на предмет выявления его способности к восстановлению равновесия, нарушенного во время аварии.

---

\* РГП «Научно-исследовательский центр «Ғарыш-Экология», г. Алматы

Негативное воздействие аварийного падения РКН РС-20 распространилось на участки территории, расположенные южнее места старта. 27 июля 2006 г., при аварийном взрыве конструкции ракеты, отдельные фрагменты головного обтекателя были найдены в 45 км от места старта к югу. Часть головного обтекателя и группы космических аппаратов была обнаружена на удалении 90 км, в том же направлении. Место падения связки первой и второй ступеней находилось на расстоянии 150 км от места старта. Трасса аварийного полета РКН РС-20 прошла над южной частью поселка Комекбаева, занятого под выпас скота. Расстояние от места падения связки ступеней до поселка Комекбаев (Жанакала) составило 35,5 км, до поселка Куандария – 43 км, до поселка Тогай – 32 км.

Аварийный взрыв привел к нарушениям в почвенной структуре и вызвал негативные нарушения растительного покрова. На месте удара о землю части головного обтекателя и космических аппаратов обнаружена воронка глубиной до 1 м, диаметром до 4...5 м (малая воронка). Вследствие падения ступеней ракеты образовалась воронка глубиной до 15 м и диаметром около 50 м (большая воронка). В результате взрыва на большой воронке пострадало 300 га саксауловых лесов. Растения уничтожены полностью на удалении до 100 м от центра аварийного участка. Признаки теплового или химического воздействия на растительный покров отмечены на расстоянии до 1 км от эпицентра аварийного взрыва.

Дополнительным негативным последствием аварии стало химическое загрязнение поверхностной почвы высокотоксичными веществами – компонентом ракетного топлива (КРТ) – несимметричным диметилгидразином (НДМГ) и производным азотного тетраоксида – нитратом-иона. Концентрации НДМГ в центре большой воронки достигали 228 ПДК, в центре малой воронки – 61,1 ПДК. Максимум нитратного загрязнения, обнаруженного на месте падения космических аппаратов, соответствовало 27 ПДК (130 мг/кг). Фактическая площадь загрязнения компонентами ракетного топлива в районе большой воронки составила 12,56 км<sup>2</sup>, в районе малой воронки – 31,4 тыс. м<sup>2</sup>.

Почвенный покров в районе малой воронки, представлен такырами и такыровидными почвами, характеризующимися тяжелосуглинистым механическим составом, засоленностью средней части профиля (20...150 см), малым содержанием гумуса, сильнощелочной реакцией среды (рН 8...10). Перечисленные физико-химические свойства почвенного покрова обеспечивают благоприятные условия для аккумуляции НДМГ на глубинах. В пылевато-песчаных почвах на большой воронке (место падения связки первой и

второй ступеней) с ничтожно малым содержанием гумуса и нейтральной или слабощелочной средой, происходит миграция НДМГ, как по почвенным горизонтам, так и по воздуху.

Изучение состояния экосистем аварийной зоны и подтрассовых участков в послеварийный период 2007...2011 годы позволило прийти к выводу о постепенном восстановлении почвенно-растительного покрова от трансформаций и химического загрязнения продуктами распада КРТ, первые признаки которого были выявлены уже через год после аварии.

В результате геоботанических исследований отмечено распространение площадок, покрытых плотной солончаково-солонцевой коркой, разделенной трещинами на полигоны и свободных от высших сосудистых растений. На поле рекультивации в районе большой воронки, в зоне гибели саксауловых лесов, выявлены признаки второй стадии сукцессии растительного покрова – увеличение обилия эфемеров, эфемероидов, летне-осенних однолетников из семейства маревых и сорных растений в локальных пионерных группировках. По прогнозам ученых, период полного восстановления растительного покрова будет весьма продолжительным и займет несколько десятков лет [1].

**Химическое загрязнение почвы.** В период 2007...2011 гг. в почвенном покрове были обнаружены продукты распада НДМГ, такие как нитрозодиметилламин (НДМА), метилтриазол (МТ), диметилформамид (ДМФА). Выявлено нитратное загрязнение почвы.

*НДМА в почве.* Верхний уровень содержания НДМА, выявленного в 2007, 2008 и 2009 гг. постепенно уменьшается. Одновременно растёт глубина проникновения НДМА, вплоть до слоя 120...150 см (2009 г.). В последующие годы (2010, 2011 гг.) НДМА в пределах чувствительности метода обращено-фазовой хроматографии (0,05 мг/кг) обнаружен не был.

В 2007 году на месте большой воронки обнаружена обширная площадка с загрязнением НДМА, очерченная линиями 24 км на восток, 10 км на юг, 16 км на юго-восток, 38 км на северо-восток, 22 км на север. Содержание НДМА в 34 пробах почвы (16,2 % от общего количества проб) изменялось в пределах от 0,05 до 0,60 мг/кг (максимум НДМА в эпицентре места падения). В отдельных точках, расположенных возле малой воронки (удаление на 19 км к югу) и большой воронки (удаление на 6 км к северо-востоку, и на 10 км к востоку), на глубинах 20...40 см и 40...60 см, содержание НДМА изменялось в пределах 0,05...0,1 мг/кг, в отдельном случае доходило до 0,2 мг/кг.

В 2008 году присутствие НДМА было выявлено в 45 пробах (20,1 % от общего количества проб), отобранных в аварийной зоне, включая почвенные профи-

ли по трассе полета РС-20 и по направлению на восток и юго-восток от большой воронки. В толще почвы на глубине 120...150 см содержание НДМА составляло от 0,07 до 1,68 мг/кг.

В 2009 году присутствие НДМА было подтверждено во всех местах обнаружения его в предыдущие годы. Содержание НДМА в почве, на центральных участках большой и малой воронок и в трех почвенных скважинах на подтрассовой территории варьировало от 0,05 до 0,26 мг/кг.

*Другие токсичные производные НДМГ* обнаружены в 2007 и 2010 годах в отдельных точках, что существенно затруднило выявление каких-либо динамических тенденций.

В 2007 г. в эпицентре большой воронки найден ДМФА в концентрациях 0,012 и 0,032 мг/кг. На этом же участке обнаружен МТ, в количестве 0,002...0,620 мг/кг – в 40 пробах почвы (81 % от общего количества проанализированных проб). В поверхностном слое почвы (0...20 см) в эпицентре большой воронки концентрация МТ соответствовала 0,184 мг/кг, в отдельных точках, расположенных вокруг большой воронки – от 0,09 до 0,06 мг/кг. По мере удаления от воронки наблюдалось уменьшение содержания МТ в почвенном слое. Верхний предел выявления МТ в почве отнесен к слою 30...45 см (точка на удалении 1 км от большой воронки).

В 2010 г. в образце поверхностного слоя почвы, отобранного на расстоянии 150 м к югу от эпицентра большой воронки, установлено наличие НДМГ в количестве 0,02 мг/кг, МТ – 0,03 мг/кг, ДМФА – 0,01 мг/кг. В 2011 г. МТ и ДМФА в почве не обнаружены, в пределах чувствительности хромато-масс-спектрометрического метода (0,001 мг/кг).

*Нитраты в почве.* В послеаварийный период установлено снижение показателей загрязнения почвы нитрат-ионом.

Максимальный уровень обнаружения нитратов в 2007...2011 годы соответствуют верхнему слою (0...20 см) в эпицентрах воронок. Концентрация нитрат-иона убывает с глубиной: от 3,94 ПДК в поверхностном слое (0...25 см) до 3,3 ПДК в слое 25...50 см, 1,95 ПДК в слое 50...75 см и 1,38 ПДК в слое 75...100 см.

Общий объем загрязнения нитрат-ионами в большой воронке оценивается в 52 м<sup>3</sup>, в малой воронке – 26,2 м<sup>3</sup>.

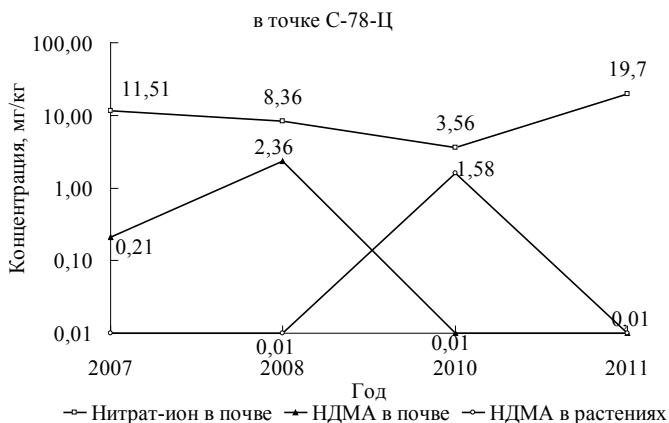
На подтрассовой территории, максимальные показатели нитратного загрязнения определены в верхних слоях почвы, по трассе выведения РС-20, в 20...25 км к югу от большой воронки – 7,5 ПДК в слое 0...25 см; 16 ПДК в слое 0...25 см и 8,5 ПДК в слое 25...50 см.

**Химическое загрязнение растительности.** Летом 2010 г. в растительном покрове аварийной зоны был выявлен основной продукт химической трансформации гептила – НДМА. В 95 пробах растений, отобранных на большой и малой воронках, а также в 72-х пробах, отобранных на подтрассовых участках и прилегающих территориях (всего в 75,8 % от общего количества проб) НДМА обнаружен в количестве от 0,1 до 3,18 мг/кг.

В точках, расположенных под трассой полета РН, расположенных в 20...25 км к югу от большой воронки, обнаруженные в растениях концентрации НДМА достигали 1,76...1,93 мг/кг; в 7...10 км к востоку от большой воронки – 0,91 мг/кг; на отрезке трассы между большой и малой воронкой – до 1,05...1,58 мг/кг. Учитывая отдаленность перечисленных точек от мест аварийного падения, следует предположить, что загрязнение растительности КРТ произошло по воздуху, во время выветривания верхнего слоя почвенного покрова на местах аварийного разлива КРТ.

Сравнительно высокие показатели содержания НДМА (до 3,18 мг/кг), выявленные в пределах земельных угодий крестьянских хозяйств, могут быть вызваны накоплениями навоза и стоков, образующихся при выпасе скота.

В точке (С-78-Ц) с высоким содержанием НДМА в растительности в 2010 г. (1,58 мг/кг НДМА, самый высокий пик на нижнем графике), выявлено сравнительно небольшое количество нитратов, которое уменьшилось от 11,51 мг/кг в 2007 г. до 3,56 мг/кг в 2010 г. Концентрации НДМА в почве в 2008 г. составляли 2,36 мг/кг – это второй по величине пик на среднем графике (рис.).



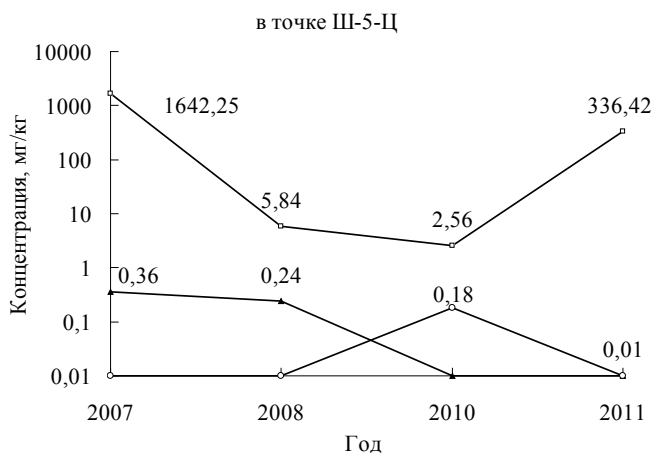
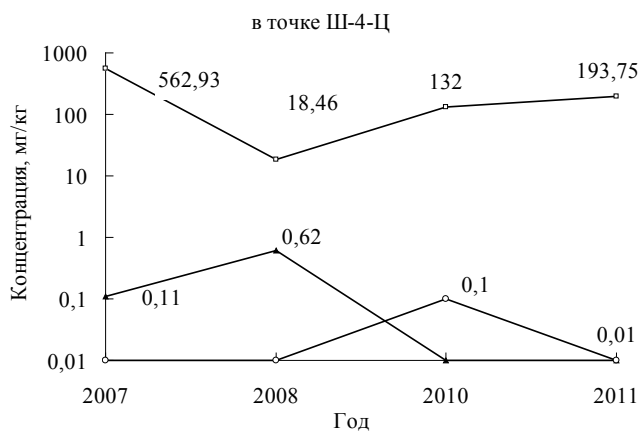
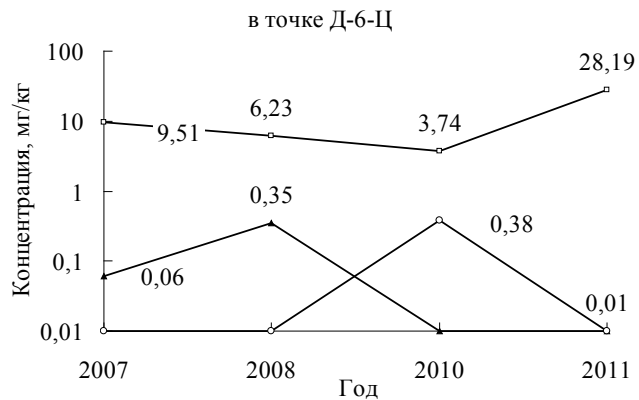


Рис. Изменение концентраций НДМГ, НДМА и нитрат-ионов в почве и растениях в зоне аварийного падения МБР РС-20 (2007...2011 гг.).

В южной части земель села Комекбаев загрязнение почвенного покрова (точка Д-6) нитрат-ионами не превышает ПДК, и НДМА в пробах почвы не обнаружен. Однако в растительности, на площадке радиусом 100 м, методом обращено-фазовой хроматографии выявлено содержание НДМА в пределах концентраций от 0,38 до 3,18 мг/кг. Следует отметить, что выявленная концентрация НДМА 3,18 мг/кг является максимальной для всех отобранных и исследованных в июне 2010 года растений в зоне аварийного падения РС-20, на подтрассовых участках и прилегающих территориях.

В 7...10 км от большой воронки (в точке Ш-5-Ц) подтрассового участка обнаружено содержание НДМА с концентрацией 0,18 мг/кг. В точках Д-3-С-100 и С-78-Ц, расположенных под трассой полета ракеты-носителя, между большой и малой воронкой летом 2010 г. в растениях было обнаружено 1,05 и 1,58 мг/кг НДМА, соответственно.

При обследовании тех же точек в 2011 г. НДМА не был обнаружен в пределах чувствительности метода ионной хроматографии (0,1 мг/кг).

Таким образом, сравнительный анализ динамики КРТ в почве за 2007...2011 гг. и распределения НДМА в растительности, показал, что в точках с максимумами НДМА в растительности, концентрации нитратов в почве в разные годы изменяются в самых различных пределах. В некоторых случаях повышенным показателям НДМА в растительности в 2010 г. предшествуют высокие концентрации НДМА в почве, обнаруженные в 2008 г.

Исследование загрязнения растительности показало, что летом 2010 г. НДМА в растениях был обнаружен, несмотря на сравнительно невысокий уровень нитратного загрязнения в почвенном покрове. Летом 2011 г., при повышении нитратов в почве по сравнению с предыдущим годом, НДМА ни в одной пробе растительности выявлен не был. Однако, поступление НДМА в растения остается до конца неизученным.

Как установлено в работе [2], накопление продуктов распада НДМГ растениями зависит от семейства растений, геохимических условий мест их произрастания, близости источников поступления НДМГ, количества поступившего на поверхность почв и растений топлива. Это, по-видимому, связано с токсичностью не только самого НДМГ, но и продуктов его распада, образующихся при взаимодействии с кислородом или окислителями. В результате появляются не менее токсичные нитратсодержащие соединения [3], которые, трансформируясь, включаются в циклы азота в почве.

Одной из причин накопления нитратсодержащих веществ в растительности является несоответствие размеров поглощения растительными организмами нитратсодержащих веществ из почвы и их ассимиляция. Среди представителей высших растений выделяется группа семейств, аккумулирующих значительное количество нитратсодержащих веществ. К ним относятся семейства амарантовых, маревых, зонтичных, сложноцветных, капустных, пасленовых.

Способность к образованию НДМА в растениях обусловлена не только биологическими особенностями растений, но и условиями минерального питания. Несбалансированное основными элементами питания растений также может дать толчок к образованию НДМА.

Антропогенными факторами воздействия на растительный покров, помимо РКД, является сельскохозяйственная деятельность. Внесение на посевные поля высоких и сверхвысоких доз азотных удобрений приводит к избытку азота в почве и способствует избыточному накоплению нитратов в растениях. Кроме того, азотные удобрения усиливают процессы минерализации органического вещества почвы, и как следствие происходит нитрификация в растениях.

Отходы и стоки от животноводства также оказывают воздействие на процессы накопления в почве нитратов и способствуют образованию токсичных нитратсодержащих продуктов, в том числе и НДМА [4].

В степных экосистемах в конце весны отмечается повышенное содержание нитратов в почвах. Это связано с отмиранием эфемеров и эфемероидов. При этом резко повышается активность гетеротрофных микроорганизмов в нитрификации [5]. То есть можно ожидать увеличение содержания гидроксиламинов. Не отмирающие на лето степные полыни обладают специфической особенностью питания – они быстро поглощают вещества из почвы и возвращают их в природный круговорот с окончанием жизненного цикла.

Пока не найден ответ на вопрос о причинах и динамике загрязнения почв и растений нитрозодиметиламином (НДМА), являющимся веществом первого класса опасности, а также других устойчивых продуктов трансформации гептила в объектах окружающей среды. В связи с этим, в дальнейшем необходимо провести детальные исследования по установлению химизма образования НДМА в растениях и почвах.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байтулин И.О. Оценка техногенной нарушенности растительного покрова на территории аварийного падения РКН РС-20 27 июля 2006 года в Кызылординской области и динамика восстановления естественного состояния растительности / Матер. научно-практ. конф. «Итоги реализации Программы экологического мониторинга территорий, подвергшихся техногенному воздействию в результате аварийного падения ракеты космического назначения РС-20 27 июля 2006 года в Кызылординской области». – Алматы, 2009. – С. 131-136.
2. Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв / Под ред. С.М. Малахова. – М.: 1984. – Часть II. – 39 с.
3. Касимов Н.С., Гребенюк В.Б., Королева Т.В., Проскуракова Ю.В. Поведение компонентов ракетного топлива в почвах, водах и растениях // Почвоведение. – 1994. – № 9. – С. 110-120.
4. Навродская Е.Б., Шарাপова А.В., Филаретова А.Н. Биогеохимическая трансформация растительности под воздействием компонентов ракетного топлива в районе аварийного падения РН «Протон-М» 6 сентября 2007 года // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Обеспечение экологической безопасности ракетно-космической деятельности. МГУ им. М.В. Ломоносова. – М.: 2011. – С. 79-85.
5. Тулупов П.Е., Колесников С.В., Кирюхин В.П. Химические превращения НДМГ в атмосфере воздуха и идентификация их продуктов // Загрязнение атмосферы и почв: Тр. 4 Всесоюзн. совещания. – Обнинск, 1989. – С. 87-102.

Поступила 20.08.2012

Биол. ғылымд. канд.  
Техн. ғылымд. докторы

Ш.С. Бисариева  
Ж.Қ. Жұбатов  
Е.А. Бекешев  
Е.Ю. Степанова  
О.А. Агапов

### **ҚЫЗЫЛОРДА ОБЛЫСЫНДА «ДНЕПР» РС-20 ҒМЗ-НЫҢ АПАТТЫ ҚҰЛАУЫНАН БОЛҒАН ЗАРДАПТАРҒА КОЛОГИЯЛЫҚ БАҒАЛАУ**

*Мақалада РС-20 ҒМЗ-ның апатты құлау аймақтарындағы апат болғаннан кейінгі кезеңдердегі механикалық әсері мен химиялық ластануына далалық және зертханалық зерттеулер нәтижесінде алынған маңызды қорытындылар берілген.*