

## СОСТОЯНИЕ ПУСТЫННЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН НА ТЕРРИТОРИЯХ АВАРИЙНОГО ПАДЕНИЯ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ<sup>1</sup>

© 2020 г. С.А. Леднев, И.Н. Семенов, Т.В. Королева, А.В. Шарапова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв  
Россия, 119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: sled1988@mail.ru, semenkov@geogr.msu.ru

Поступила в редакцию 19.08.2019. После доработки 01.09.2019. Принята к публикации 01.09.2019

В статье охарактеризован растительный покров, сформировавшийся через 4-12 лет на трех местах аварийных падений ракет-носителей, использующих в качестве топлива токсичный несимметричный диметилгидразин. Авария ракеты-носителя сопровождается химическим, механическим и термическим (или пирогенным) воздействием на растительный покров, которое распространяется на разное расстояние от места удара, формируя характерные зоны техногенных нарушений. Для характеристики растительного покрова на трёх местах аварийных падений ракет-носителей, произошедших в 2006-2013 гг., выполнены геоботанические описания на площадках, расположенных на различном удалении от центра места удара. Особенностью самовосстановления растительного покрова на исследованных местах падения является формирование однолетнесоляноквого сообщества (*Climacoptera lanata*, *Salsola laricina*, *S. paulsenii* и др.) с относительно высоким проективным покрытием на месте бывшей ударной воронки вследствие просадки грунта и перераспределения поверхностного стока. По мере удаления от центра места удара наблюдается демутиация исходной растительности: уменьшается участие однолетников, увеличивается общее проективное покрытие и флористическая насыщенность сообществ. Самовосстановление фитоценозов без проведения биологической рекультивации может составлять не менее 15 лет по наиболее оптимистичным прогнозам.

*Ключевые слова:* ракета-носитель, техногенное воздействие, самовосстановление фитоценозов, рудеральные однолетники, демутиация, Казахстан.

**DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10110**

Ракетно-космическая деятельность (РКД), как и любой другой вид техногенеза, негативно воздействует на ландшафты, в том числе на растительный покров (Koroleva et al., 2018). Наибольшую опасность для окружающей среды представляют собой аварийные падения ракет-носителей (РН) на подтрассовую территорию, где на Землю может упасть связка из космического аппарата, разгонного блока и от одной до трех ступеней РН (Экологическая безопасность ..., 2015).

В период 2006-2013 гг. произошло три аварийных падения РН, запущенных с космодрома Байконур: РС-20 «Днепр» в 2006 г., «Протон-М» в 2007 и 2013 гг. На каждом из мест падения на экосистемы оказано специфичное воздействие (Lednev et al., 2019). В результате аварий в экосистемы попало большое количество несимметричного диметилгидразина (НДМГ) – высокотоксичного компонента ракетного топлива (КРТ), относящегося к веществам 1-го класса опасности, а также азотного тетраоксида – вещества 2-го класса опасности (Экологическая безопасность ..., 2015; Королева и др., 2015).

Согласно выполненным ранее исследованиям (Экологическая безопасность ..., 2015; Lednev et al., 2019), аварийное падение ракеты-носителя приводит к формированию выраженных зон техногенных нарушений, различающихся по характеру и интенсивности преобладающего техногенного воздействия. Рассмотренные аварийные падения РН привели к механическому воздействию (взрыв, работы по утилизации фрагментов и детоксикации почвы, засыпка взрывной

<sup>1</sup> Исследование выполнено в рамках государственной темы 1.4 «Природные и антропогенные изменения ландшафтно-геохимических и почвенных систем» (№АААА-А16-116032810057-4).

воронки), пирогенным и термическим нарушениям; наземным проливам КРТ. Рекультивация нарушенных участков включает в себя засыпку взрывной воронки и детоксикацию участков с выявленным химическим загрязнением почвы. В то же время вторичное воздействие, связанное с работами по ликвидации последствий аварий РН, также определяет появление новых техногенно-нарушенных участков (Экологическая безопасность ..., 2015).

Геоботанические исследования в районах аварий РН являются составной частью экологического мониторинга РКД и позволяют оценить реальное состояние растительного покрова нарушенных территорий, что необходимо для экологического нормирования – ключевой проблемы для экологической безопасности в РКД. Кроме того, сведения о функционировании аридных сообществ Центральной Азии и их отклике на техногенное воздействие ограничены. Аварийное падение РН можно рассматривать как модельное нарушение экосистемы с известными параметрами оказанного воздействия, а результаты исследования самовосстановления растительного покрова обладают фундаментальным значением и могут быть использованы для оценки возможности и сроков регенерации нарушенных сообществ.

### Материалы и методы

В настоящей работе охарактеризовано актуальное на 2017-2018 гг. состояние растительного покрова на трёх местах аварийных падений РН. Место падения РН РС-20 «Днепр» (27.07.2006) расположено в Кармакшинском районе Кызылординской области, в подзоне средних пустынь, в сообществе с преобладанием саксаула чёрного (*Haloxylon aphyllum*) на такыровидных пустынных солончаковатых почвах. Место падения РН «Протон-М» (5.09.2007) расположено в Улытауском районе Карагандинской обл., в подзоне северных пустынь, в сообществах с преобладанием полыни полусухой (*Artemisia semiarida*) и ежовника солончакового (*Anabasis salsa*) на бурых полупустынных почвах и солонцах. Место падения РН «Протон-М» (2.07.2013) расположено в Кызылординской области на территории космодрома «Байконур», в подзоне средних пустынь, в сообществах с преобладанием полыни белоземельной (*Artemisia terrae-albae*) и житняка ломкого (*Agropyron fragile*) на серо-бурых пустынных почвах.

По завершении рекультивации на рассмотренных участках выделены 5 зон техногенного воздействия (Экологическая безопасность ..., 2015; Lednev et al., 2019):

1) сильных механических нарушений на месте взрывной воронки, характеризующихся уничтожением растительного покрова;

2) слабого и среднего механического воздействия, где срезаны (с целью засыпки воронки) или перемешаны (при детоксикации) верхние горизонты почв;

3) термического (пирогенного) воздействия от высоких температур в момент взрыва КРТ (один из участков аварии РН «Протон-М» 2007 г. и участок аварии 2013 г.) и воспламенения растительности. Степень модификации сообществ в данной может варьировать от очень сильной (смена полукустарничков эфемерами) до средней или даже слабой (например, при абсолютном преобладании дерновинных злаков до падения РН);

4) механического воздействия на экосистемы, оказываемого взрывной волной и разбрасываемыми фрагментами РН. Степень модификации различна для сообществ с преобладанием разных жизненных форм. Деревья и кустарники ломаются от ударной силы взрывной волны; в то же время сообщества, изначально сложенные низкорослыми одревесневающими кустарничками, полукустарничками и травянистыми растениями, по-видимому, не получают существенных повреждений при описанном воздействии;

5) условно фоновая территория, не испытывавшая значительного воздействия от взрыва. В качестве источников воздействия от РКД возможен аэрогенный перенос газообразных КРТ по ветру после аварии или проезд техники к месту падения.

В пределах каждой из зон проведённая характеристика состояния растительного покрова базируется на геоботанических описаниях пробных площадок размером 100 м<sup>2</sup> с характеристикой общего проективного покрытия (ОПП) и высоты сообщества, видового состава с указанием для каждого вида проективного покрытия, высоты и фенологического состояния. На месте падения РН «Протон-М» 2013 г. выполнено 18 описаний в августе 2017 г. до проведения рекультивации. Места падения РН «Днепр» (2006 г.) и «Протон-М» (2007 г.) обследованы в апреле 2018 г.

с геоботаническими описаниями на 5 площадках соответственно в различных зонах. Ввиду специфики собранных данных детальное сопоставление зон техногенных нарушений проведено для участков мест падения РН «Днепр» 2006 г. и «Протон-М» 2013 г., которые при сходном географическом положении наиболее контрастны по ряду параметров: тип РН, природные сообщества на месте падения, срок восстановления, характер выполненных работ и др.

При выполнении геоботанических описаний использована стандартная методика (Воронов, 1973). Основными анализируемыми характеристиками растительного покрова являются флористическая насыщенность (число видов, выявленных на пробной площадке) и проективное покрытие (в %). Кроме того, определена доля видов-однолетников во флористическом составе и сложении проективного покрытия, поскольку данные виды являются важным индикатором техногенного воздействия при осуществлении РКД (Экологическая безопасность ..., 2015).

Степень модификации фитоценозов, подвергшихся воздействию, определена по ранее разработанной авторским коллективом шкале воздействия РКД на природные сообщества (табл. 1). Для характеристики степени модификации растительности использованы соотношение жизненных форм в сообществе, проективное покрытие (ПП) однолетников и общее проективное покрытие (ОПП) сообщества.

Видовая принадлежность растений определена по «Флоре Казахстана» (1956-1965) и «Иллюстрированному определителю растений Казахстана» (1969, 1972). Все названия растений приведены по работе С.К. Черепанова (1995).

**Таблица 1.** Критерии состояния и модификации фитоценозов под воздействием РКД (Феодоритов и др., 2016; Lednev et al., 2019 с изменениями).

Степень модификации фитоценоза	Показатели состояния фитоценоза		
	Соотношение жизненных форм растений в сообществе	ПП однолетников (% от ОПП)	ОПП растительности (% от исходного)
Слабая (I)	Абсолютное преобладание травянистых, кустарничковых и кустарниковых многолетников	Менее 20	90 и более
Средняя (II)	Снижение доли многолетников, появление сорных однолетников	20-40	70-90
Сильная (III)	Переход сорных однолетников на позиции содоминантов	40-70	50-70
Очень сильная (IV)	Абсолютное преобладание сорных и пионерных однолетников	Более 70	Менее 50

### Результаты и их обсуждение

1. Общая характеристика растительного покрова на местах аварийных падений РН в период самовосстановления сообществ.

Зоны техногенных нарушений сообществ, выделенные по окончании работ по рекультивации (для места падения РН «Протон-М» 2013 г. – работ по первичной детоксикации), на момент обследования в 2017-2018 гг. также хорошо диагностируются (табл. 2). Выявляемые сообщества не соответствуют фоновым фитоценозам в полной мере, что свидетельствует о незавершённости восстановления ни в одной из обследованных зон.

В зоне 1 на рекультивированных местах падения после засыпки воронки вследствие просадки грунта образовалось понижение, способствующее перераспределению влаги и формированию сообщества с преобладанием однолетников: климакоптеры шерстистой (*Climacoptera lanata*), солянки Паульсена (*S. paulsenii*), солянки многолистной (*S. foliosa*), бассии иссополистной (*Bassia hyssopifolia*), петросимонии сизоватой (*Petrosimonia glaucescens*) и др.. На участке МП РН «Протон-М» 2013 г. до проведения рекультивации к 2017 г. солянковое сообщество также сформировалось в воронке на месте ЦМУ.

В зоне механического воздействия техники (зоне 2) при отсутствии фитомелиорации сохраняется разреженный растительный покров с преобладанием однолетников (преимущественно рогача

песчаного – *Ceratocarpus arenarius*) и эфемероидов. При этом, хотя однолетники доминируют в обеих зонах, видовой состав их различается: перераспределение поверхностного стока в понижение зоны 1, а также сильное механическое воздействие приводит к преобладанию в зоне 2 более ксерофитных рудеральных видов, главным из которых является рогач песчаный (*Ceratocarpus arenarius*).

Термическое и пирогенное воздействие в зоне 3 привело к уничтожению не только сравнительно высокорослых деревьев и кустарников, но и надземных частей полукустарничков (полыни – *Artemisia* spp., ежовника солончакового – *Anabasis salsa*), кустарничков (солянки восточной – *Salsola orientalis*) и травянистых растений. Впоследствии у особей многолетников с глубоким залеганием почек возобновления, например, дерновинных злаков из родов ковыль (*Stipa*) и житняк (*Agropyron*), уже в следующем вегетационном сезоне после термического воздействия и/или пожара (а в некоторых случаях – и в текущем сезоне) образуются новые побеги, тогда как полукустарнички (например, полыни подрода *Seriphidium*, широко распространённые в данных природных зонах) возобновляются главным образом за счёт заноса семян с прилегающих территорий. В случаях пирогенного воздействия доминантами сообществ могут становиться виды, толерантные к пожарам, тогда как при более мягком термическом воздействии сохраняется большее количество исходных особей кустарничков и полукустарничков, способствующих быстрому восстановлению исходного фитоценоза.

**Таблица 2.** Степень модификации фитоценозов на обследованных участках мест падения РН с характеристикой преобладающих на момент обследования видов растений.

Участок	Локация		Критерии			Итоговая степень модификации
	Зона	Виды растений с ПП>1% (на момент обследования)	А*	Б	В	
РС-20 «Днепр» (2006 г.) на 2018 г.	1	<i>Climacoptera lanata</i>	IV	IV	**	Очень сильная (IV)
	2	Нет	IV	IV	IV	
	3	Нет	III	III	IV	Очень сильная (IV) к сильной (III)
	4	<i>Salsola orientalis, Anabasis salsa</i>	I	I	II	Средняя (II) к слабой (I)
	5	<i>Haloxylon aphyllum, S. orientalis, A. salsa</i>	I	I	I	Слабая (I)
«Протон-М» (2007 г.) на 2018 г.	1	<i>Salsola laricina, C. lanata, Bassia sedoides</i>	IV	IV	**	Очень сильная (IV)
	2	<i>Ceratocarpus arenarius</i>	IV	IV	III	
	3	<i>Artemisia semiarida, C. arenarius</i>	III	II	I	Сильная (III) к средней (II)
	4	<i>A. semiarida, C. arenarius</i>	I	I	II	Средняя (II) к слабой (I)
	5	<i>A. semiarida</i>	I	I	I	Слабая (I)
«Протон-М» (2013 г.) на 2017 г.	1	<i>Salsola paulsenii, C. lanata, Ceratocarpus utriculosus</i>	IV	IV	III	Очень сильная (IV)
	2	<i>C. utriculosus, Salsola paulsenii</i>	IV	IV	III	
	3	<i>Agropyron fragile, Stipa hohenackeriana, C. arenarius, Artemisia terrae-albae, Carex physodes</i>	III (II)	IV	II	Очень сильная (IV) к средней (II)
	4	<i>A. terrae-albae, C. arenarius, S. orientalis, Carex pachystylis</i>	I	I	I	Слабая (I)
	5	<i>A. terrae-albae, C. pachystylis</i>	I	I	I	

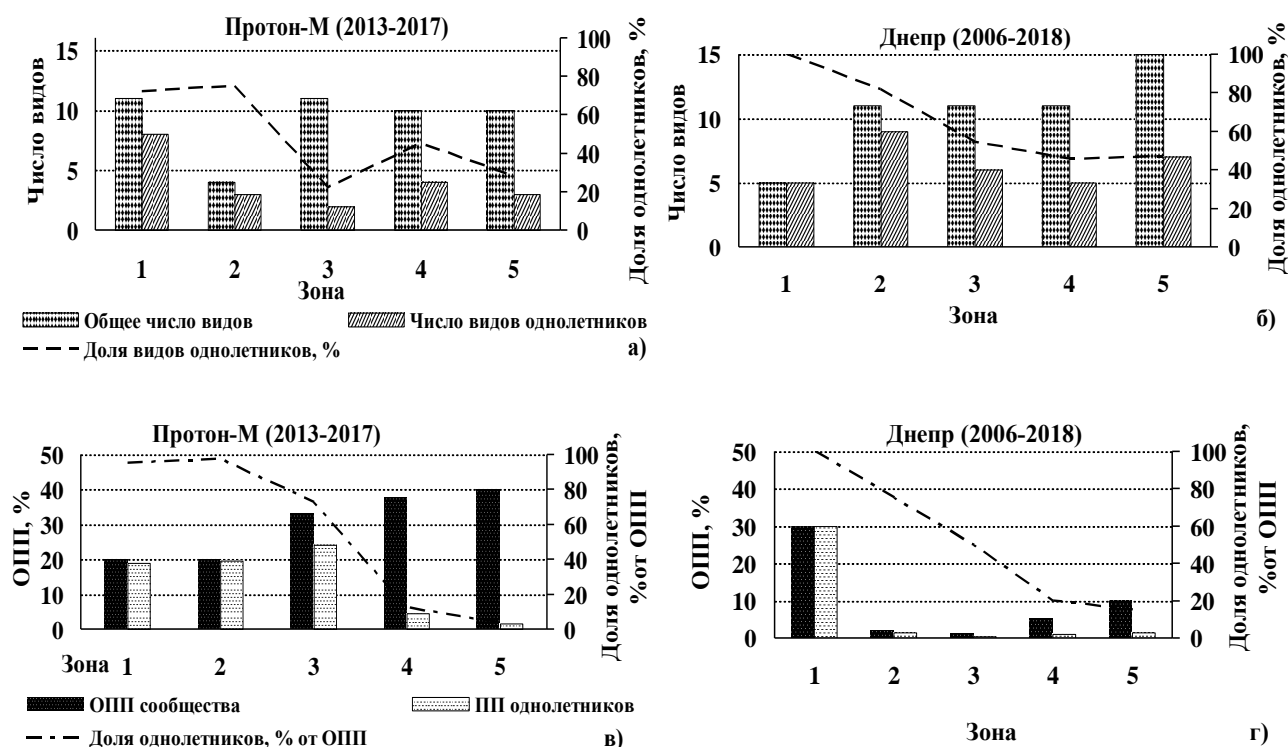
**Примечания к таблице 2:** \*А – соотношение жизненных форм в сообществе, Б – ПП однолетников (в % от ОПП), В – снижение ОПП растительности (% от исходного; табл. 1); \*\* – не применим, поскольку виды-доминанты исходной растительности отсутствуют, а ОПП превышает фоновые значения.

В зоне 4 на участке места падения РН «Днепр» 2006 г. уничтоженные взрывной волной деревья и кустарники, до падения главным образом представленные *Haloxylon aphyllum*, не восстановились на позициях доминантов сообществ. В 2018 г. в этой зоне преобладают полукустарнички: солянка восточная (*Salsola orientalis*) и ежовник солончаковый (*Anabasis salsa*), а особи *H. aphyllum* встречаются единично и разрозненно. На других местах аварийных падений, где изначально преобладала полукустарничковая растительность, доминанты не сменились. При этом на всех исследованных участках в результате оказанного воздействия в сообществах повышена доля видов-однолетников за счёт локальных механических нарушений растительного покрова.

2. Сравнительная характеристика самовосстановления растительного покрова на местах аварийных падений РН «Днепр» 2006 г. и «Протон-М» 2013 г.

При сопоставлении флористической насыщенности и проективного покрытия сообществ в разных зонах техногенных нарушений обследованных участков можно выявить общие закономерности, несмотря на значительные различия в первоначальном состоянии мест падения РН (разные типы почв и растительность, различные обстоятельства падения РН, продолжительность детоксикации и др.).

Характерной чертой растительного покрова в зонах 1 и 2, а также, в ряде случаев, в зоне 3, является повышенная (70-90%) доля однолетников во флористическом составе относительно условно фоновых сообществ (рис. а, б), что особенно ярко проявляется при рассмотрении ПП (рис. в, г). Многолетники в зонах 1 и 2, как правило, представлены одиночными эфемероидами или проростками полукустарничков, не формирующими значительного проективного покрытия. В зоне 1 в составе обоих сообществ отмечается значительное участие *Climacoptera lanata*, но флористический состав места падения РН «Протон-М» 2013 г. более разнообразен (табл. 2).



**Рис.** Флористическая насыщенность (а, б) и проективное покрытие (в, г) растений в зонах техногенных нарушений на участках мест падения РН «Протон-М» (2013) и «Днепр» (2006). Для гистограммы используется левая шкала оси ординат, для пунктирного графика – правая шкала оси ординат.

Начиная с зоны 3, доля однолетников как во флористическом составе, так и в ПП сообществ снижается. На обоих рассмотренных местах падения РН для фоновых сообществ ПП однолетников составляет около 2%. При этом характер изменения значений ОПП растительности при движении от

центра места удара к фоновой территории существенно различается. В роговцевых сообществах (с преобладанием *Ceratocarpus arenarius*) и дерновинно-злаковых сообществах (с преобладанием *Agropyron fragile* и *Stipa hohenackeriana*) на участке места падения РН «Протон-М» 2013 г. ОПП растительности в зоне 2 существенно не отличается от отмеченного в зоне 1, а начиная с зоны 3 быстро восстанавливается, приближаясь к фоновым значениям. В то же время для саксаулово-солянковых сообществ на месте падения РН «Днепр» характерно максимальное покрытие (превышающее фоновое в 3 раза) для участков в зоне 1 и минимальное покрытие (в 3-5 раз меньше фонового) в зонах 2 и 3, что, по всей видимости, связано с формированием благоприятных условий для произрастания однолетников в техногенных просадках и промоинах в центре места удара и оказанным механическим воздействием на почву в пределах зон 2 и 3.

В обоих случаях для зоны 4 доля однолетников как во флористическом составе, так и в проективном покрытии отличается от фоновых значений несущественно, вследствие чего по данному параметру механическое воздействие, оказываемое взрывной волной и разбрасываемыми фрагментами, можно рассматривать как незначительно влияющее на сообщества, особенно в случае полынных и дерновинно-злаковых фитоценозов.

Выделенные на аварийных местах падения РН зоны техногенных нарушений исходных фитоценозов представляют собой участки, на которых наблюдается сукцессия растительного покрова, в большинстве случаев направленная на самовосстановление исходных сообществ и снижение степени модификации сообщества (табл. 2). На протяжении периода самовосстановления наибольшей степенью модификации характеризуются растительные сообщества зон 1 и 2. Восстановление сообществ в данных зонах будет занимать длительное время и, по всей видимости, не всегда возможно – в условиях техногенной просадки грунта на месте бывшей воронки вероятно формирование фитоценозов, характерных для более гидроморфных условий. Степень участия многолетников во флористическом составе сообществ данных зон могут определять 2 положения.

1) Разница микроклимата, обусловленная градиентом и перепадом высот. В центре места падения РН «Протон-М» 2013 г. сохранилась воронка глубиной более 2 м с относительно крутыми склонами, в которой наблюдается наиболее интенсивное самовосстановление растительности. Наличие здесь большего количества многолетников, в т.ч. проростков *Artemisia terrae-albae*, может быть следствием более благоприятных условий для приживания проростков: увеличение увлажнения почвы за счёт перераспределения поверхностного стока, уменьшение испарения и нагрева при частичном затенении крутыми склонами. В свою очередь, после засыпки взрывной воронки от РН «Днепр» спустя 12 лет общая глубина просадки грунта не превышает 1 м, а развитие относительно сомкнутых микрогруппировок (*Climacoptera lanata*, *Salsola foliosa* и др.) приурочено к отдельным промоинам глубиной до 50 см;

2) Меньший радиус зоны 2 (механического воздействия техники) и различный характер воздействия. На участке места падения РН «Протон-М» данная зона представлена относительно узкой (до 25 м) полосой боронования почв после экскавации, а не областью «скальпирования» грунта, характерной для других мест падений РН и простирающейся в рассматриваемом случае аварии РН «Днепр» на 50 м. В данной ситуации более вероятно как выживание отдельных особей многолетников в зоне 2 (например, эфемероидов с относительно глубоким залеганием многолетних частей – видов *Rheum*, *Tulipa* и др.), так и занос семян многолетников из расположенной ближе зоны 3, где отдельные особи полыни и других полукустарничков выживают даже в случае пожара.

В зоне 3 скорость восстановления растительности заметно выше, и переход к слабой степени модификации может происходить уже в первые годы после аварии. Например, на участке места падения РН «Протон-М» 2013 г. к 2017 г. часть фитоценозов в пределах зоны 3 достигла средней степени модификации. Наконец, в зоне 4 техногенное воздействие при падении РН в большинстве случаев не привело к существенным перестройкам в сообществах, в результате чего степень модификации фитоценозов не превышает среднюю и по большинству критериев соответствует слабой модификации. В данной зоне можно выделить 2 подзоны – внутреннюю, где механическое воздействие усиливает мозаичность растительного покрова за счёт появления микрогруппировок однолетников, и внешнюю, где влияние на флористический состав и соотношение видов в фитоценозах незначительно; соответственно, во внутренней подзоне более вероятно пребывание фитоценозов в более высокой степени модификации по сравнению со внешней.

Сообщества галофитов, характерные для такыровидных пустынных солончаковых почв, более уязвимы к техногенному воздействию по сравнению с полыньниками на бурых полупустынных почвах во всех зонах с высокой интенсивностью техногенного воздействия. Не исключено, что восстановление растительности могло бы быть более успешным при фитомелиорации, в т.ч. с высевом доминанта исходных сообществ *Haloxylon aphyllum*, широко используемого как фитомелиорант в пустынях Средней Азии (Кузьмина и др., 2006) и обладающего эдификаторными свойствами (Жагловская, Айдосова, 2014). В то же время на глинистых почвах эффективность фитомелиорации с *H. aphyllum* меньше, чем на песчаных (Meirman et al., 2012). Вероятно, препятствием к успешному самовозобновлению *H. aphyllum* на месте аварийного падения РН «Днепр» являются относительно низкие всхожесть семян и выживаемость проростков в отсутствие периодического полива (Кузьмина и др., 2006; Meirman et al., 2012; Chlachula, Zhaglovskaya, 2017).

Сравнительно успешное возобновление растительности в зонах 3 и 4 объяснимо не только более низкой интенсивностью воздействия, но и «близким к естественному» характером повреждений, так как структура, свойственная аридным сообществам Земли, сформировалась в т.ч. под влиянием периодического пирогенного воздействия? вследствие чего в них заложены механизмы к сравнительно быстрому самовосстановлению после пожаров (Степные пожары ..., 2015). Вследствие этого в них заложены механизмы к сравнительно быстрому самовосстановлению после пожаров при условии полнотелности экосистем. Полынные степи Казахстана выгорают с периодичностью 10-20 лет (Иванов, 1958), но при этом считается, что необходимым фактором для восстановления доминирования полыни является выпас скота (Степные пожары ..., 2015). После механического воздействия, аналогом которого можно рассматривать перевыпас скота или вспашку, сообщества полыни белоземельной, характерные для обоих мест падения РН «Протон-М», могут восстанавливаться за срок от 15 лет (Kerven, 2003) до 25 лет (Димеева и др., 2017).

Предположить сроки окончания демутиации растительности на наиболее модифицированном участке места падения – РН «Днепр» 2006 г. – затруднительно ввиду ограниченности необходимых сведений для сообществ саксаула на такыровидных пустынных солончаковых почвах. Для галосерий на обнажённом дне Аральского моря кустарниковая стадия длится с 7-го по 18-й годы с момента начала зарастания (Димеева, 2007). Однако развитие растительности здесь идёт по иной схеме в условиях постепенного понижения уровня грунтовых вод, определяющего скорость и порядок стадий сукцессии. Кроме того, данная сукцессия является первичной, тогда как характер техногенного воздействия на местах падения РН позволяет рассматривать посттехногенную сукцессию как вторичную. Грядовые посадки *H. aphyllum* на солончаках обсохшего дна Аральского моря, перешедшие к эффективному семенному возобновлению через 6 лет (Кузьмина, Трешкин, 2013), нельзя считать примером самовосстановления растительности. М. Ebrahimi с соавторами (2019) сообщает о достижении максимальных значений флористической насыщенности и ОПП в сообществах *H. aphyllum* возрастом 25 лет, однако здесь также рассматриваются искусственные посадки саксаула. К тому же отличается природная зона (пустынно-степная) и гранулометрический состав почв (пылеватый суглинок). Кроме того, посадка возрастом 25 лет является примером наиболее длительной сукцессии в данной публикации, и нет сведений о дальнейшей динамике сообществ (возможно, рассматриваемая стадия сукцессии является промежуточной). Наконец, известно, что срок восстановления саксауловых сообществ после массовых вырубок может составлять 30-40 лет (Жагловская, Айдосова, 2014). Однако неизвестно, применимы ли эти цифры к рассматриваемому сообществу в условиях наличия вторичного техногенного воздействия со скальпированием верхнего слоя почвы.

Для штатных мест падений первой ступени РН «Протон-М» в случае максимальных степеней модификации фитоценозов расчётный срок самовосстановления экосистем может составлять 15-20 лет (Кречетов и др., 2011; Koroleva et al., 2018; Lednev et al., 2018). Можно предположить, что для аварийных мест падений РН, характеризующихся большей площадью нарушенных участков, данные значения являются нижней границей возможных сроков самовосстановления, и в реальности демутиация займет не меньший промежуток времени. Очень сильная степень модификации растительности в зонах 1 и 2 мест падения РН «Днепр» (2006 г.) и «Протон-М» (2007 г.) в 2018 г. не позволяет рассчитывать на завершение демутиации в срок 15-20 лет, т.е. к 2021-2027 гг. Для участка места падения РН «Протон-М» 2013 г., рекультивированного в конце 2017 г. с засыпкой и

выравниванием территории зон 1 и 2, а также внесением удобрений и семян растений, напротив, можно ожидать ускорение восстановительного процесса.

### Выводы

Даже спустя 12 лет после воздействия на местах аварийных падений ракет-носителей отмечаются сообщества, находящиеся в очень сильной и сильной стадиях модификации.

Для разных мест падения характерен одинаковый набор зон техногенного воздействия; динамика восстановления растительных сообществ в них различается между собой.

Вследствие перераспределения тепла и влаги в гидроморфных условиях на месте воронки формируется однолетнесолянковое сообщество, в котором однолетники составляют 75-100% видового состава и 95-100% ОПП. На окружающей территории наблюдаются демулационные процессы, скорость которых возрастает при удалении от центра места удара.

По сравнению с полынными сообществами, наиболее распространёнными в северных и средних пустынях, саксауловые сообщества на такыровидных пустынных солончаковатых почвах более уязвимы к воздействию, вызванному падением РН, и характеризуются более длительными сроками восстановления растительности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Воронов А.Г. 1973. Геоботаника. Изд-е 2-е, испр. и доп. М.: Высшая школа. 384 с.
- Димеева Л.А. 2007. Закономерности первичных сукцессий Аральского побережья // Аридные экосистемы. Т. 13. № 33-34. С. 89-100.
- Димеева Л.А., Пермитина В.Н., Султанова Б.М., Усен К., Лысенко В.В. 2017. Оценка восстановительной динамики белоземельнополынных (*Artemisia terrae-albae*) в Северном Приаралье // Аридные экосистемы. Т. 23. № 4 (73). С. 50-60. [Dimeyeva L.A., Permitina V.N., Sultanova B.M., Ussen K., Lyssenko V.V. 2017. Evaluation of the restoration dynamics of the *Artemisia terrae-albae* communities in the northern part of the Aral Sea region // Arid Ecosystems. Vol. 7. No. 4. P. 256-264.]
- Жагловская А.А., Айдосова С.С. 2014. Разнообразие типов и динамика саксаульных лесов Иле-Балхашского региона // Вестник КазНУ. Серия: Экология. № 2 (41). С. 78-88.
- Иванов В.В. 1958. Степи западного Казахстана в связи с динамикой их покрова. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 288 с.
- Иллюстрированный определитель растений Казахстана. 1969-1972. Алма-Ата: Наука. Т. 1. 1969. 644 с.; Т. 2. 1972. 572 с.
- Королева Т.В., Кондратьев А.Д., Кречетов П.П., Семенов И.Н., Шаранова А.В., Черницова О.В. 2015. Совершенствование экологических характеристик ракетно-космической техники и мониторинг её воздействия на окружающую среду // Экология и промышленность России. Т. 19. № 6. С. 17-23.
- Кречетов П.П., Неронов В.В., Королева Т.В., Черницова О.В. 2011. Трансформация почвенно-растительного покрова на местах падений первых ступеней ракет-носителей // Аридные экосистемы. Т. 17. № 1 (46). С. 55-64.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2013. Мониторинг развития саксаула черного (*Haloxylon aphyllum*) на гидроморфных солончаках обсохшего дна Аральского моря // Аридные экосистемы. Т. 19. № 4 (57). С. 40-48. [Kuzmina Zh.V., Treshkin S.Ye. 2013. Monitoring of growth of black haloxylon (*Haloxylon aphyllum*) on hydromorphic salt marches of dried bottom of Aral Sea // Arid Ecosystems. Vol. 3. No. 4. P. 220-226.]
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Мамутов Н.К. 2006. Результаты опытного формирования естественной растительности на засоленных землях обсохшей части Аральского моря // Аридные экосистемы. Т. 12. № 29. С. 27-39.
- Степные пожары и управление пожарной ситуацией в степных ООПТ: экологические и природоохранные аспекты. Аналитический обзор. 2015 / Ред. И.Э. Смелянский. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы. 144 с.
- Феодоритов В.М., Шаранова А.В., Королева Т.В., Кречетов П.П. 2016. Состояние растительности в районах падения ступеней ракет (Центральный Казахстан) // Вестник МГУ. Серия 5: География. С. 40-47.
- Флора Казахстана. 1956-1966. Алма-Ата: Издательство АН Казахской ССР. Т. 1. 1956. 373 с.; Т. 2. 1958. 292 с.; Т. 3. 1960. 476 с.; Т. 4. 1961. 571 с.; Т. 5. 1961. 528 с.; Т. 6. 1963. 486 с.; Т. 7. 1964. 517 с.; Т. 8. 1965. 465 с.; Т. 9. 1966. 656 с.
- Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб: Мир и семья. 992 с.
- Экологическая безопасность ракетно-космической деятельности. 2015 / Ред. Н.С. Касимов. М.: Спутник+. 280 с.
- Chlachula J., Zhaglovskaya A.A. 2017. Environmental aspects of the black saxaul forests' distribution in the cold semi-deserts of Central Asia / 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2017. P. 821-828.
- Ebrahimi M., Mohammadi F., Fakhireh A., Bameri A. 2019. Effects of *Haloxylon* spp. of Different Age Classes on Vegetation Cover and Soil Properties on an Arid Desert Steppe in Iran // Pedosphere. Vol. 29. №5. P. 619-631.
- Kerven C. 2003. Prospects for Pastoralism in Kazakstan and Turkmenistan: From State Farms to Private Flocks.
- АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2020, том 26, № 3 (84)



London/New York: Routledge Curzon. 276 p.

- Koroleva T.V., Krechetov P.P., Semenov I.N., Sharapova A.V., Lednev S.A., Karpachevskiy A.M., Kondratyev A.D., Kasimov N.S.* 2018. The environmental impact of space transport // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. No. 58. P. 54-69.
- Lednev S., Koroleva T., Krechetov P., Sharapova A., Semenov I., Karpachevskiy A.* 2018. Revegetation of areas disturbed by rocket impact in Central Kazakhstan // *Ecoscience*. Vol. 25. No. 1. P. 25-38.
- Lednev S.A., Koroleva T.V., Semenov I.N., Klink G.V., Krechetov P.P., Sharapova A.V., Karpachevskiy A.M.* 2019. The natural regeneration of desert ecosystem vegetation at the 2013 crash site of a Proton-M launch vehicle, Republic of Kazakhstan // *Ecological Indicators*. No. 101. P. 603-613.
- Meirman G.T., Dimyeva L., Dzhamantikov K., Wucherer W., Breckle S.-W.* 2012. Seeding experiments on the dry Aral Sea floor for phytomelioration // *Sustainable Land Use in Deserts*. Springer Science & Business Media. P. 318-322.