

(РГП «НИЦ «Ғарыш-Экология» Национального космического агентства РК, Алматы)

## **ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЙОНА АВАРИЙНОГО ПАДЕНИЯ РКН РС-20**

### **Аннотация**

Представлены результаты геохимических исследований участков территории аварийного падения ракеты космического назначения (РКН) «РС-20», которое произошло 27 июля 2006 г. в Кармакшынском районе Кызылординской области. Сделан вывод о трансформации и распаде несимметричного диметилгидразина на местах аварийного падения в течение первых двух лет после аварии (2007-2008 гг.). Последующий период 2009-2012 гг. характеризуется миграцией нитрат-ионов по горизонтали и в глубину почвенного слоя. В 2012 г. содержание нитрат-ионов в почве по сравнению с аварийным уровнем уменьшилось на 79% на большой воронке, на 99% на малой воронке.

**Ключевые слова:** аварийное падение РС-20, несимметричный диметилгидразин, нитрат-ион, химическое загрязнение почвы.

**Тірек сөздер:** РС-20-ның апатты құлауы, симметриялы емес диметилгидразин, нитрат-ион, топырақтың химиялық ластануы.

**Keywords:** emergency falling of РС-20, asymmetrical dimethylhydrazine, nitrate-ion, chemical contamination of soil.

В июле 2006 г. на территории Кармакшынского района Кызылординской области произошло аварийное падение РКН РС-20. На местах падения фрагментов ракеты, в почве выявлено химическое загрязнение компонентами ракетного топлива (КРТ) - несимметричным диметилгидразином (НДМГ) и азотным тетраоксидом (АТ), отнесенным к веществам первого и второго класса опасности. НДМГ включен в группу канцерогенных и мутагенных веществ, способных негативно воздействовать на природную среду, здоровье людей и животных. Продукты разложения и трансформации НДМГ являются токсикантами (например, нитрозодиметиламин (НДМА)). Нитраты, появляющиеся в почве при распаде АТ, способны образовывать токсические соединения [1]. В гигиенических нормативах ПДК для НДМГ в почве определены 0,1 мг/кг, для НДМА – 0,01 мг/кг, для нитратов - 130 мг/кг [2].

Цель исследования заключалась в выявлении закономерностей распределения НДМГ, НДМА, нитратов, других устойчивых продуктов трансформации КРТ в почве, с учетом аварийного характера их поступления. Работа выполнена на основе результатов геохимических обследований за период 2006 – 2012 годы.

Исследования проводились РГП «НИЦ «Фарыш-Экология» НКА РК и ДГП «ЦФХМА» КазНУ им. аль-Фараби МОН РК, совместно со специалистами Российской Федерации: ФГУП «НПО машиностроения», ФГУП «ЦЭНКИ» и Географическим факультетом МГУ им. М.В. Ломоносова. Для количественного химического анализа образцов почвы использованы методы фотоколориметрии, жидкостной ионной хроматографии с амперометрическим и вольтамперометрическим детектированием, обращенно-фазовой хроматографии со спектрофотометрическим детектированием, ионной хроматографии с кондуктометрическим детектированием.

Исследованы большая и малая воронки, расположенные на территории северной части пустыни Кызылкум, в 130 км юго-западнее космодрома «Байконур», в 35,5 км юго-западнее поселка Комекбаев, и в 43 км юго-западнее поселка Куандарья.

Большая воронка диаметром около 50 м и глубиной до 15 м образовалась в результате разрушения баков первой и второй ступеней РКН РС-20, взрыва самовоспламеняющихся КРТ. Взрывной волной было поднято на воздух более 45 тыс. м<sup>3</sup> глинистой массы, которая смешалась с НДМГ и продуктами его распада. Произошел разброс фрагментов в радиусе 400-500 м. Часть загрязнения ракетным топливом сгорела, остальная обнаружена в поверхностном слое почвы.

Анализ результатов, полученных при обследовании мест аварийного падения РС-20, выявил следующую картину процессов трансформации НДМГ в почвах территорий Кармакшинского района Кызылординской области.

Наибольшие показатели химического загрязнения почвы в 2006 году выявлены в эпицентре воронки – до 228 ПДК НДМГ и до 27 ПДК нитрат-ионов. По мере удаления от центра места падения концентрации уменьшались. На краю бруствера воронки, высотой около 2,5 м определено до 2 ПДК НДМГ, на удалении 300 м от эпицентра - до 0,6 ПДК НДМГ. В радиусе 2 км от центра большой воронки в почве обнаружено до 1,5 ПДК нитрат-ионов.

Малая воронка диаметром 4-5 м и глубиной до 1 м обнаружена на месте удара о землю части головного обтекателя и космических аппаратов РКН РС-20, фрагменты которых были разбросаны в диаметре 1000 м вокруг эпицентра. Вследствие пролива КРТ из баков одного из космических аппаратов в центральной части места падения в поверхностном слое почвы обнаружено до 61 ПДК НДМГ. На северном и западном брустверах малой воронки, в 50 м на север и запад, в 100 м на восток от центра места падения выявлено до 0,02-0,045 мг/кг НДМГ. Концентрации нитратов, превышающие ПДК с кратностью 2,00-7,74 раза установлены в центре и на брустверах малой воронки [1].

Поведение НДМГ в ландшафтах в значительной степени определяется его способностью к испарению с поверхности почвы; трансформации в окислительных нейтральных и щелочных средах; а также к сорбции органическим веществом. Степень

поглощения НДМГ возрастает в почвах с повышенной катионообменной емкостью, в зависимости от органоминерального состава. Выявлено, что глинистыми почвами поглощается 76-90 % НДМГ, а песком лишь 2-46 %. Соответственно, из глин вымывается только 2,7 % НДМГ, в то время как из песка - около 30 % [3].

Равнинный рельеф местности, на которой расположены места аварийного падения, температурный режим, повышенный летом и пониженный зимой, морфологические и физико-химические свойства почв – все эти факторы определили процессы накопления или миграции химического загрязнения в почвенном покрове, на протяжении поставарийного периода.

Большая воронка расположена на равнине, на бугристо-грядовых закрепленных и полузакрепленных песках. Почвенный покров представлен такыровидными почвами и такырами различной степени засоления на суглинистом грунте. Преимущество аккумуляции и трансформации НДМГ в этих почвах обусловлено тяжелосуглинистым механическим составом, засоленностью средней части профиля (20-150 см), малым содержанием гумуса, сильнощелочной реакцией среды (рН 8-10).

Малая воронка представляет собой супесчаную равнину на такыровидных почвах в комплексе с серо-бурыми солончаковыми и дефлированными почвами, с участием сильно запыленных мелкобугристых закрепленных песков. Механический состав почв в основном песчаный и супесчаный, реже глинистый, средне- и тяжелосуглинистый. Свойствами пылевато-песчаных почв с небольшим содержанием гумуса и нейтральной или слабо-щелочной средой, обеспечена миграция НДМГ по почвенным горизонтам.

В 2007-2010 гг. во всех пробах почв, отобранных на местах аварийного падения обнаруживался НДМГ в количестве, не превышающем предел чувствительности методики выполнения измерений, равный 0,05 мг/кг. В 2007-2010 гг. в почвенном покрове были выявлены продукты распада и трансформации несимметричного диметилгидразина – НДМА, диметилформамида (ДМФА), метилтриазола (МТ).

Для выявления динамики химического загрязнения почвы сделана выборка из рядов данных – результатов количественного химического анализа проб почвы, отобранных в ходе выполнения экологических обследований мест аварийного падения. Максимальные значения НДМГ, НДМА и нитратов в почве усреднены по большой воронке на участке радиусом 100 м от центра, на малой воронке – 50 м от центральной точки. Анализ кривых, аппроксимированных линейным трендом, приводит к выводу об уменьшении концентраций НДМГ и НДМА в почве в первые же годы после аварии. Так, в 2007 г. уровень содержания НДМГ в почве на большой воронке снизился в 456 раз, НДМА – в 22 раз (рисунок 1). На малой воронке произошло 245-кратное уменьшение концентраций НДМГ, в 12 раз сократилось содержание в почве НДМА (рисунок 2).

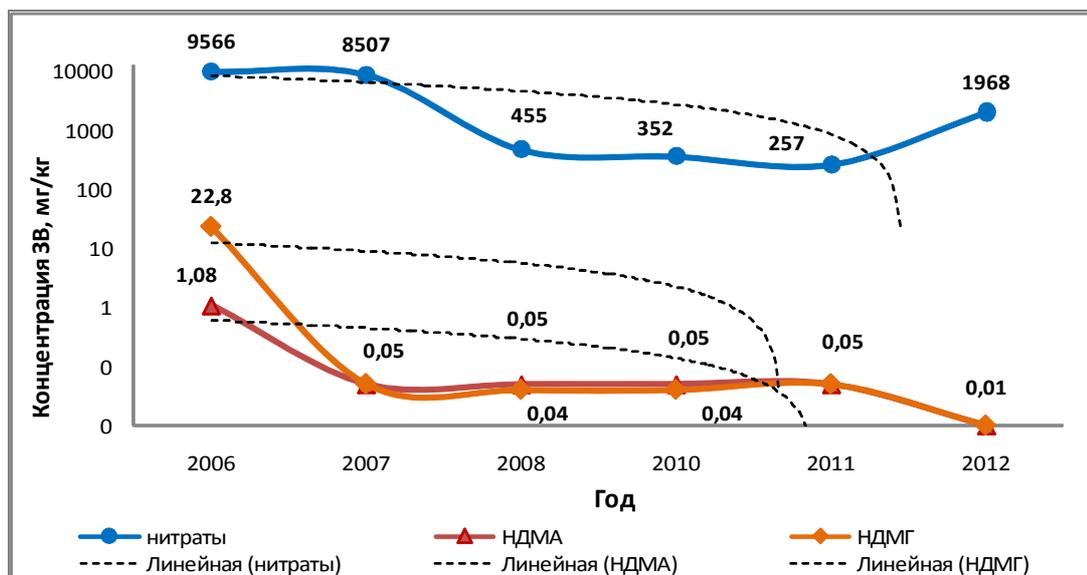


Рисунок 1 – Динамика загрязняющих веществ на большой воронке в период 2006-2012 гг.

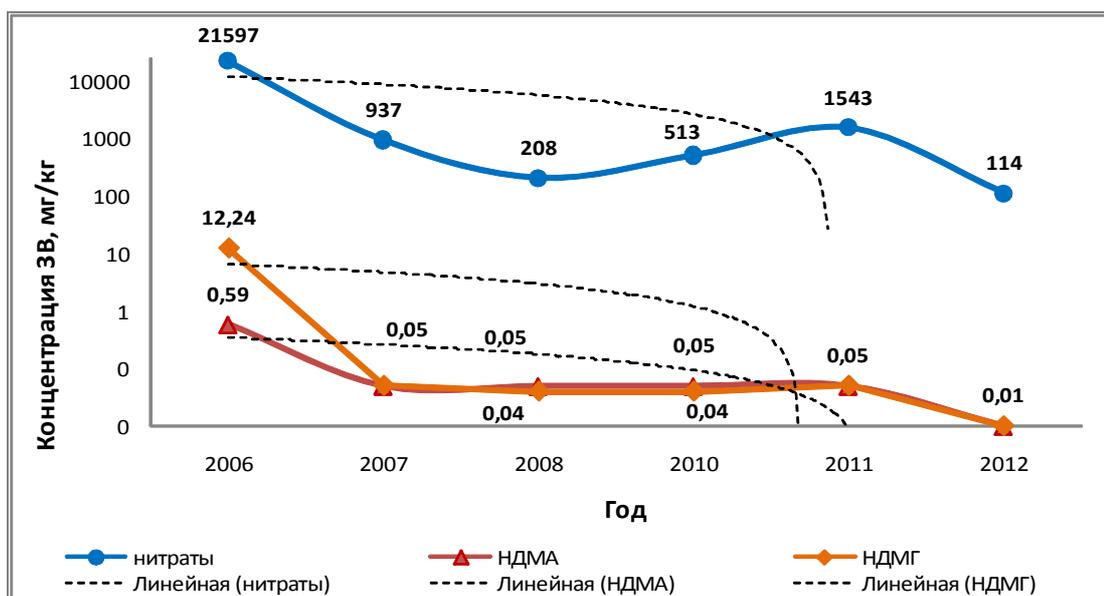


Рисунок 2 – Динамика загрязняющих веществ на малой воронке в период 2006-2012 гг.

*Продукты трансформации НДМГ в почве.* Через год после аварии на большой воронке НДМА был обнаружен в поверхностном слое почвы (0-20 см) на обширной территории, восточные границы которой удалены от центра места падения на 25 км, южные - на 10 км, юго-восточные - на 16 км, северные – на 22 км, северо-восточные - на 38 км. Наибольшие концентрации НДМА - 0,29 и 0,60 мг/кг были установлены в

центральной части большой воронки. На удалении от эпицентра большой воронки (в 6 км к северо-востоку, и в 10 км к востоку), и от центра малой воронки (в 19 км к югу) НДМА был выявлен в слое 20-60 см, в количестве 0,05-0,2 мг/кг.

В последующие 2008-2009 гг. НДМА был выявлен лишь на отдельных участках в центральной части большой и малой воронок, в концентрациях 0,05-0,26 мг/кг. В 2007, 2008 и 2009 гг., наряду с понижением уровня содержания в почве НДМА на местах аварийного падения, увеличилась глубина его проникновения, вплоть до слоя 120-150 см (2009 г.).

В 2007 г. на большой воронке в почве были определены ДМФА (0,012 и 0,032 мг/кг) и МТ (0,002-0,620 мг/кг). В отличие от ДМФА, обнаруженного лишь в двух точках в эпицентре, для МТ установлено уменьшение его содержания по мере удаления от центра места падения. Так, если в поверхностном слое почвы (0-20 см) в центре большой воронки содержание МТ составило до 0,184 мг/кг МТ, то в отдельных точках, расположенных вокруг большой воронки обнаружено от 0,06 до 0,09 мг/кг. В то же время, в почвенном слое 30-45 см на удалении от центра большой воронки на 1 км, МТ был выявлен в количестве 0,620 мг/кг.

В 2010 г. в поверхностной почве на участке, удаленном от эпицентра большой воронки в 150 м к югу вновь был обнаружен НДМГ, в количестве 0,02 мг/кг, и продукты его распада – МТ и ДМФА в количестве 0,03 и 0,001 мг/кг, соответственно. В дальнейшие годы МТ и ДМФА в почве на местах аварийного падения не определялись в пределах чувствительности хромато-масс-спектрометрического метода (0,001 мг/кг).

Распределение нитратов в почве на местах аварийного падения различалось для каждого из исследуемых мест аварийного падения.

*Нитратное загрязнение на большой воронке.* В 2007 г., после рекультивационных работ в эпицентре места падения в поверхностной почве установлено 3-х кратное уменьшение концентраций нитрат-ионов до 9,1 ПДК в 2007 г., и 4-х кратное увеличение расчетного показателя площади распространения нитратного загрязнения до 54 182 м<sup>2</sup>. До 7 ПДК нитрат-ионов в почве обнаружено на глубине 100 см.

В последующие годы нитраты в почве на большой воронке продолжали постепенно уменьшаться. В 2011 г. в почвенном покрове было обнаружено до 1,97 ПДК нитрат-ионов, на площади всего 400 м<sup>2</sup>. Нитраты распространились до глубины 100 см, по трем профилям: юго-запад; северо-восток; юг-север. Локальное нитратное загрязнение было определено на удалении 60 м к востоку и в 250 м к северу от центра места падения.

В 2012 г. в радиусе 50 м от центра большой воронки установлен 7-ми кратный рост концентраций нитратов и увеличение площади их распространения в поверхностном слое почвы до 24 543 м<sup>2</sup> по сравнению с предыдущим годом. В верхнем почвенном горизонте (0-20 см) в 150 м к юго-востоку от центра большой воронки обнаружено до 15 ПДК нитрат-ионов, в северной части – до 1,4 ПДК. В почвенных слоях до 100 см глубиной нитраты распространились по трем профилям: север-юг, запад-восток и юго-восток-северо-восток. Современный показатель максимального содержания нитратов в почве на большой воронке уменьшен по сравнению с аварийным на 79 %.

*Нитратное загрязнение на малой воронке.* В 2007 г. на малой воронке после рекультивационных работ концентрации нитратов в почве уменьшились в 23 раза, а расчетный показатель площади распространения нитратного загрязнения сократился более чем наполовину, до 425,6 м<sup>2</sup>. Зона с нитратным загрязнением переместилась от центра места падения к юго-западу. В 2008 г. уровень нитратного загрязнения и его площадь снова уменьшились – соответственно, в 4,5 и 32 раза, по сравнению с предыдущим 2007 г. До 1,6 ПДК нитрат-ионов в почве выявлено в 5-10 м к северу от центра малой воронки, в слое 30-90 см.

Период 2009-2011 гг. отмечен ростом концентраций нитратов и дальнейшей их миграцией в почвенных слоях. В 2010 г. в эпицентре малой воронки в поверхностном слое почвы выявлен участок площадью 47,8 м<sup>2</sup>, с превышением ПДК нитрат-ионов до 3,95 раз.

В 2011 г. в верхнем слое почвы 0-20 см содержание нитрат-ионов выросло до 11,9 ПДК, а площадь, занимаемая нитратным загрязнением увеличилась до 258 м<sup>2</sup>. На глубинах нитраты получили распространение в трех направлениях: запад-восток; северо-запад-юго-восток; юго-запад-северо-восток. Установлено постепенное уменьшение нитратов до глубины 100 см – по концентрации до 3,6 ПДК, по площади до 242 м<sup>2</sup>.

В 2012 г. на малой воронке произошел спад уровня содержания в почве нитратов - в 13,5 раз по сравнению с предыдущим годом. Нитрат-ионы обнаружены в концентрациях 6,82–114,2 мг/кг, что ниже ПДК. Уровень концентрации нитрат-ионов в почве на малой воронке уменьшился по сравнению с аварийными показателями 2006 г. на 99,5 %.

*Выводы.* Поставарийный период 2007-2010 гг. отмечен активной трансформацией КРТ в почвах на местах аварийного падения РКН РС-20. На большой воронке, свойствами такровидных почв на суглинистом грунте обусловлены процессы аккумуляции НДМГ в почвенных горизонтах в центральной части места падения и его трансформации в виде НДМА, ДМФА и МТ. Наряду с сокращением содержания в почве НДМА, глубина его проникновения в почвенный покров выросла до слоя 120-150 см. Другие продукты распада НДМГ - ДМФА и МТ обнаружены в 2007 и 2010 гг., в слоях 0-20 и 30-45 см. В последующие годы НДМГ и продукты его распада не определены в пределах чувствительности использованных методов химического анализа.

Нитратное загрязнение почвы в период 2007-2011 гг. постепенно уменьшалось, получив распространение до глубины 100 см. В 2012 г. обнаружен рост концентраций нитратов в почве и площади их распространения по горизонтали. Повышенные показатели содержания нитрат-ионов до глубины 100 см установлены в радиусе 50 м от центра большой воронки. Содержание нитратов в почве и площади их распространения по горизонтали с глубиной уменьшаются. По сравнению с аварийным уровнем, содержание нитратов в почве на большой воронке снизилось на 79 %.

На малой воронке в пылевато-песчаных почвах происходила миграция НДМГ и НДМА по почвенным горизонтам. В результате в 2007 г., через год после аварии, концентрации НДМГ резко сократились до уровня ниже предела чувствительности стандартных методов обнаружения, а присутствие НДМА определено лишь на отдельных участках, в слое от 20 до 60 см, в небольших количествах, по сравнению с большой

воронкой. В последующие годы НДМГ и НДМА на малой воронке в пределах чувствительности методики выполнения измерений не обнаруживались.

Нитраты, обнаруженные в почве в центральной части малой воронки уменьшались по концентрации и по площади распространения в течение 2007-2008 гг. Затем в 2009-2011 гг. выявлен рост содержания нитратов в почве максимальные концентрации которых отмечены в поверхностном слое почвы. В 2011 г. определено увеличение площади горизонтального распространения нитратов в поверхностной почве, и постепенное уменьшение содержания нитратов в почвенных слоях до глубины 100 см. В 2012 г. на малой воронке уровень содержания в почве нитрат-ионов упал ниже ПДК. По сравнению с аварийными показателями 2006 г. концентрации нитрат-ионов в почве уменьшились на 99,5 %.

#### *Рекомендации.*

1. Несмотря на признаки финальной стадии трансформации и распада токсичных загрязнений в почве, определение сроков окончательного восстановления экосистемы от негативных последствий аварии возможно с помощью комплексного моделирования процессов, с учетом особенностей морфологии почвы, природных и климатических условий, с привлечением разнообразных биологических показателей.

Учитывая теоретическую и практическую важность данного исследования, в том числе для научного обоснования реабилитационных работ на местах аварийного падения РКН, рекомендуется продолжать контроль за динамикой восстановления экосистем на местах аварийного падения РКН РС-20 с периодичностью раз в два-три года.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Материалы научно-практической конференции «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. – 215 с.

2 Гигиенические нормативы «Предельно допустимые концентрации компонентов жидких ракетных топлив и продуктов их трансформации в объектах окружающей среды». Утв. Приказом Министра здравоохранения РК от 18 ноября 2010 г. № 899.

3 Ворожейкин А.П., Проскуряков Ю.В., Пузанов А.В. Ландшафтно-геохимическое поведение НДМГ // Биохимия. Ползуновский вестник. - 2005. - № 4. – С. 188-193.

## REFERENCES

1 Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii «Itogi realizacii Programmy jekologicheskogo monitoringa territorij, podvergshihsjja tehnogennomu vozdejstviju v rezul'tate avarijnogo padenija rakety kosmicheskogo naznachenija RS-20 27 ijulja 2006 goda v Kyzylordinskoj oblasti». Almaty, **2009**, 215. (in Russ.).

2 Gigienicheskie normativy Predel'no dopustimye koncentracii komponentov zhidkih

raketnyh topliv i produktov ih transformacii v ob'ektah okruzhajushhej sredy. Utv. Prikazom Ministra zdravoooshrenenija RK ot 18 nojabrja **2010**, № 899. (in Russ.).

3 Vorozhejkin A.P., Proskurjakov Ju.V., Puzanov A.V. Landshaftno-geohimicheskoe povedenie NDMG // *Biohimija. Polzunovskij vestnik*. **2005**. № 4. 188-193. (in Russ.).

*Ж.К. Жұбатов, Ш.С. Бисариева, Е.Ю. Степанова*

(ҚР ҰҒА «Ғарыш-Экология» ғылыми-зерттеу орталығы) РМК, Алматы қ.)

## РС-20 ҒЗМ-НЫҢ АПАТТЫ ҚҰЛАУ АУДАНЫНДАҒЫ ГЕОХИМИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕР

### Резюме

2006 жылдың 27 шілдесінде Қызылорда облысының Қармақшы ауданында ғарыштық мақсаттағы РС-20 зымыранының апат болған жерлерінде жүргізілген геохимиялық зерттеулердің нәтижелері көрсетілген. Апат болғаннан кейінгі екі жылда (2007–2008 жж.) симметриялық емес диметилгидразиннің ыдырауы және трансформациялануы туралы қорытыланды. Одан кейінгі 2009–2012 жылдары нитрат-иондарының топырақтың төменгі және көлденең қабаттарына миграциялануымен сипатталды. 2012 жылы үлкен шұңқырда топырақтағы нитрат-иондарының деңгейі апат болған жылмен салыстырғанда 79%, ал кіші шұңқырда 99%-азайды.

**Тірек сөздер:** РС-20-ның апатты құлауы, симметриялы емес диметилгидразин, нитрат-ион, топырақтың химиялық ластануы.

*Zh. K. Zhubatov, Sh.S. Bissariyeva, E.Ju. Stepanova*

(«Research center of «Space-Ecology» JSC of the NSA PK, Almaty

## GEOCHEMICAL RESEARCHES OF THE AREA OF EMERGENCY FALLING OF THE RSA RS-20

### Summary

The results of geochemical researches of sites of the territory of emergency falling of the rocket of space appointment (RSA) RS-20, which happened on July 27, 2006 in the Karmakshynsky region of Kyzylorda district are presented. The conclusion is drawn on transformation and disintegration asymmetrical dimethylhydrazine on places of emergency falling within the first two years after accident (2007-2008). The subsequent period of 2009-2012 is characterized by migration nitrate-ions across and in depth of a soil layer. In 2012 the contents nitrate-ions in the soil in comparison with emergency level decreased by 79% on a large crater, for 99% on a small crater.

**Keywords:** emergency falling of PC-20, asymmetrical dimethylhydrazine, nitrate-ion, chemical contamination of soil.

*Поступила 17.09.2013 г.*