

УДК 629.764. 543.

© Кожевников А.Ю., Косяков Д.С.,  
Боголицын К.Г., Копытов А.А., Бырька А.А.

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ТОРФЯНЫЕ СЛОИ ПОЧВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РФ

*Аннотация.* В статье приведены результаты исследований, целью которых являлась оценка экологического воздействия ракетно-космической деятельности в районе падения отделяющихся частей ракет-носителей «Мосеево», расположенного на территории Архангельской области. В результате исследований были получены данные о загрязненности района падения токсичными компонентами ракетного топлива (в частности несимметричным диметилгидразином), показана зависимость содержания несимметричного диметилгидразина (НДМГ) и его производных от глубины почвы, а также горизонтальное распространение экотоксикантов от эпицентра места падения отделяющейся части ракеты-носителя. Исследования проведены с применением современных высокочувствительных методов анализа, которые позволяют, с одной стороны, отдельно определять НДМГ и основные продукты его разложения в ходе одного анализа, а с другой стороны, достигать низких пределов обнаружения, характерных для вольтамперометрических методов анализа.

*Ключевые слова:* район падения, отделяющиеся части ракеты-носителя, несимметричный диметилгидразин, гидразин, метилгидразин, ионная хроматография.

© A. Kozhevnikov, D. Kosyakov, K. Bogolitsyn, A. Kopytov, A. Byrka

## THE ASSESSMENT OF AN ECOLOGICAL IMPACT OF A ROCKET- COSMIC ACTIVITY ON THE PEAT STRATA OF SOILS IN THE EUROPEAN NORTH OF THE RF

*Abstract.* The article has supplied the results of the researches, the aim of which is the assessment of an ecological impact of a rocket-cosmic activity in the fall region of separating parts of carrier rocket "Moseevo", located in the territory of Arkhangelsk region. In the results of the researches we received the data about the pollution of the fall region with toxic components of a rocket propellant (particularly unsymmetrical dimethylhydrazine), indicated the dependence of unsymmetrical dimethylhydrazine (UDMH) content and its derivatives on the depth of a soil, as well as the horizontal propagation of ecotoxicants from the epicentre of the fall region of separating parts of carrier rocket. The researches were conducted using modern highly sensitive methods of analysis, which allow separately to test UDMH and its primary detritus in the process of one analysis on the one hand, on the other hand they allow to reach low detection limits that are characteristic for voltamperometric methods of analysis.

*Key words:* fall region, separating parts of carrier rocket, unsymmetrical dimethylhydrazine, hydrazine, monomethylhydrazine, ion chromatography.

Ракетно-космическая деятельность (РКД), осуществляемая человечеством, как и любой другой вид деятельности, воздействует на окружающую среду. В значительной степени это связано с эксплуатацией районов падения для приема отделяющихся частей ракет-носителей, содержащих остаточное количество компонентов ракетного топлива. В

связи с этим возникла необходимость проведения экологических исследований в области воздействия ракетно-космической техники (РКТ) космодрома «Плесецк» на природную среду, которые могли бы дать объективную информацию о масштабах и интенсивности этого воздействия [1, 54].

На Европейском Севере РФ ракетно-космическую деятельность осуществляет Первый испытательный космодром «Плесецк», расположенный в Архангельской области. С начала своей деятельности космодром «Плесецк» использовал несколько типов ракет, на основе различных типов топлив: 1,1-диметилгидразин-несимметричный диметилгидразин (НДМГ) + азотная кислота; кислород + ракетный керосин; твердое топливо.

При этом главную экологическую опасность представляют собой ракеты-носители, которые используют в качестве топлива пару: НДМГ + азотный окислитель. Основным недостатком этой топливной пары является высокая токсичность самих компонентов топлива. Наибольшее загрязнение компонентами ракетного топлива происходит в районах падения первых ступеней ракет-носителей. При загрязнении районов падения (РП) отдельными частями ракет в слои почв проникает ракетное топливо, остающееся в ступенях и не выгоревшее при возгорании, происходящем в момент падения ступени на землю.

В настоящее время космодромом «Плесецк» проводится ряд мероприятий, направленных на снижение экологической опасности при осуществлении пусков ракет-носителей с использованием в качестве ракетного топлива НДМГ. Во-первых, планируется полный отказ от данных ракет с переходом на новый тип ракет-носителей семейства «Ангара», где топливная пара – НДМГ + азотная кислота – не используется. Во-вторых, путем более тщательных расчетов удалось уменьшить дозы топлива, заправляемые в баки первой ступени [2, 37]. Однако за годы работы космодрома произведено большое количество пусков ракет-носителей с использованием в качестве ракетного топлива НДМГ (около 110 пусков). 11 первых ступеней ракеты-носителя «Циклон 3» были приняты в район падения «Мосеево», который расположен в Мезенском районе Архангельской области [2, 37].

Данная статья составлена по результатам экспедиционных работ, целью которых было оценить степень влияния НДМГ на экологическое состояние района падения.

### **Характеристика экосистем района падения «Мосеево»**

РП «Мосеево» расположено в восточно-центральной части Мезенского административного района. Общая площадь его – 2233 км<sup>2</sup>.

Территория находится в подзоне притундровой тайги и представляет собой заболоченную и заозёрную аккумулятивную равнину, слабо наклоненную в северном направлении [5, 8-12]. Мезорельеф преимущественно бугристый, с буграми и грядами высотой до 2-3 метров. Микрорельеф разнообразен, чаще мелковолнистый с повышениями до 0,3 – 0,5 метров [4, 43-53].

Постоянное население в РП отсутствует. Временное население представлено жителями близлежащих населенных пунктов, занятыми сенокосом, рыбным и охотничьим промыслом.

Приполярное положение района обуславливает суровый климат со средней годовой температурой – 1,5°С, с коротким вегетационным периодом и ранними осенними и поздними весенними заморозками, пагубно отзывающимися на сельскохозяйственных культурах [4, 43-53].

В районе падения преобладают почвы подзолистого типа, представленные подтипами глеево-подзолистых, типичных подзолистых почв. Глеево-подзолистые почвы, у которых непосредственно под лесной подстилкой развивается оглееный горизонт, встречаются под еловыми лесами в наиболее дренированных местах. Типичные подзолистые

почвы распространены на склонах увалов и на хорошо дренированных водоразделах под хвойными лесами с моховым и мохово-кустарничковым покровом [5, 8-10].

Широкое распространение в Мезенском лесничестве получили болотно-подзолистые и болотные почвы, часто встречаются дерново-карбонатные и дерново-глеевые, реже пойменные аллювиальные [5, 8-12].

Гидрологическая сеть района представлена р. Пеза и ее притоками. Озера: крупные ледниковые озера (площадь 2-4 км) имеют глубины около 2-х метров, илистое или песчаное дно, низкие и пологие берега, чаще болотистые. Многочисленные озера болотных массивов длиной 10-500 м, шириной 10-150 м имеют торфяное дно и небольшие (0,3-0,6 м) глубины. Болота занимают более 50 % территории. Многие из них, сливаясь, образуют болотные системы. На поверхности болот сформировались длинные торфяные гряды высотой 0,5-0,8 м, шириной 2-20 м, поросшие редкой угнетенной сосной. Гряды разделены более увлажненными участками – мочажинами. Наибольшая глубина болот – 6,5 м, средняя – 2 м [4, 43-53].

Преобладают еловые леса с примесью березы – на заболоченных водоразделах, и сосны – на сухих придолинных участках. Высота деревьев 18-25 м, толщина ствола – 0,15-0,30 м. Леса местами засорены буреломом. Подлесок редкий, из можжевельника, рябины и шиповника. На склонах в наземном покрове преобладают зеленые мхи и ягодники, в понижениях – осоки и мох сфагнум. Массивы болот безлесны, лишь гряды покрыты тонкоствольным низкорослым редколесьем. По долинам рек нередко заросли кустов ивы высотой 1-3 м, сильно затрудняющие подход к руслам.

Согласно схеме флористического районирования, изученный район относится к Мезенско-Косминскому и Несскому флористическим районам. Список видов этой флоры насчитывает 531 вид, 239 родов, 76 семейств. В головную часть флористического спектра входят следующие семейства: *Poaceae* (9%), *Cyperaceae* (8,7%), *Asteraceae* (8,5%), *Rosaceae* (5,3%), *Ranunculaceae* (5,3%), *Caryophyllaceae* (5,1%), *Fabaceae* (3,8%), *Scrophulariaceae* (3,8%), *Apiaceae* (3,2%), *Brassicaceae* (2,6%) [4, 43-53].

Суровость природных условий в сочетании с продолжительной полярной ночью приводят к относительной бедности состава фауны зимой и летом. Видовой состав млекопитающих представлен несколькими видами: олень, лось, заяц, лисица, медведь, куница, песец и полевка. Видовой состав птиц более разнообразен: гусь, куропатка, белая сова, крачка, белобровик, вьюрок, шур, чечетка, снегирь.

Для оценки распространения НДМГ в глубинные слои почв в августе 2009 г. экспедиционной группой проведен отбор проб объектов окружающей среды в районе падения «Мосеево». Работы проводились по заказу Комитета по экологии Архангельской области. В месте падения ракеты, использующей в качестве топлива пару НДМГ + азотная кислота, в ходе работ отобраны пробы почв согласно схеме, приведенной на рис. 2.

В соответствии с вышеприведенной схемой, пробы отобраны в эпицентре падения и по четырем сторонам света с удалением 10 м от эпицентра. Метод отбора проб – азимутальный. Таким образом, общее количество отобранных проб почвы с данного места падения составило 25 штук.

Количественный химический анализ отобранных проб почв проведен в Аналитическом центре Северного (Арктического) федерального университета (С(А)ФУ), аккредитованном Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии, имеющим лицензию на деятельность в области метеорологии и смежных с ней областях (Росгидромет).

Анализ на наличие компонентов ракетного топлива проведен совместно со специалистами кафедры аналитической химии химического факультета МГУ им. Ломоносова и Аналитического центра С(А)ФУ с использованием методик выполнения измерений массовой доли НДМГ и продуктов его трансформации в природных водах, почвах и растениях, адаптированных для районов Европейского Севера.

Для анализа использован метод ионной хроматографии с амперометрическим детектированием на жидкостном хроматографе «Стайер» (производства НПКФ «Аквилон», г. Москва), оснащенный амперометрическим детектором «АД» (производства НПО «Химавтоматика», г. Москва). Разделение осуществляется в изократическом режиме на катионообменной колонке для анализа гидразинов. Колонка изготовлена на кафедре аналитической химии химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Объем вводимой пробы составляет 100 мкл.

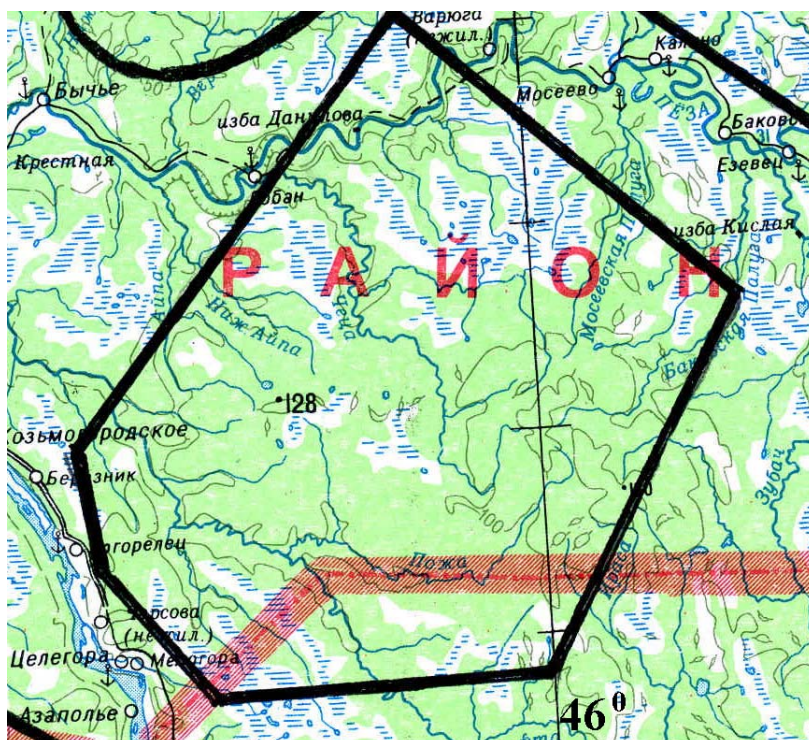


Рис. 1. Район падения отделяющихся частей ракет «Мосеево»

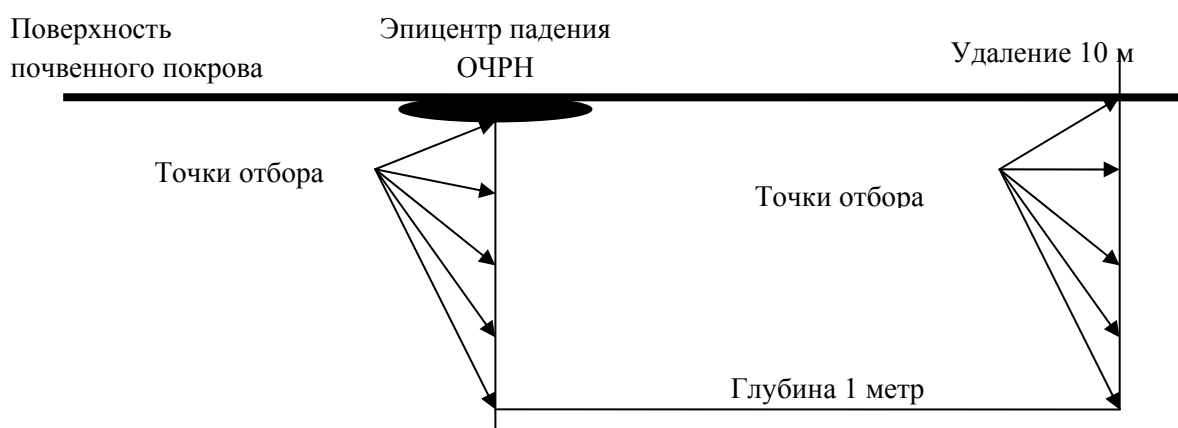


Рис. 2. Точки отбора проб почв на содержание компонентов ракетного топлива

Исследование проб почвы проведено в соответствии с методикой, аттестованной МВИ МГУ № 41-01 [3, 5-10], предусматривающей предварительную пробоподготовку, которая заключается в получении кислотного экстракта и последующей его перегонке в избытке щелочи. Отгон, содержащий несимметричный 1,1-диметилгидразин, собирается в емкость с 0,1М с серной кислотой и после фильтрования через мембранный фильтр 0,2 мкм вводится в хроматограф.

Калибровка хроматографической системы производится в диапазоне концентраций от 0 до 1,0 мг/л 1,1-диметилгидразина непосредственно перед проведением серии анализов.

Наряду с 1,1-диметилгидразином, хроматографическим методом определялось содержание двух наиболее важных продуктов его разложения в окружающей среде – гидразина и метилгидразина, токсичность которых сопоставима с токсичностью НДМГ. Данные соединения являются неперенными спутниками несимметричного диметилгидразина, поэтому их обнаружение в пробе является дополнительным доказательством правильности идентификации НДМГ.

Кроме гидразинов, в отобранных пробах почвы определено содержание нитрит- и нитрат-ионов, образующихся при взаимодействии ракетного окислителя (тетраоксида азота) с водой. Для анализа использован метод ионной хроматографии с кондуктометрическим детектированием и капиллярным подавлением фоновой электропроводности элюента (хроматограф Стайер-CD с кондуктометрическим детектором CD-510 (НПКФ «Аквилон», г. Москва). Разделение проводили на анионообменной колонке Star-ion A300 (Phenomenex, США). В случае проб воды их непосредственно вводили в хроматографическую систему. Для анализа почвенных образцов использовали водную вытяжку.

Нижний предел обнаружения НДМГ в соответствии с использованной методикой составлял для образцов природных вод, почв (в пересчете на абсолютно сухой материал) и растений соответственно 0,01 мг/дм<sup>3</sup> (0,5 предельно допустимой концентрации (ПДК) для водоемов хозяйственно-бытового назначения), 0,01 мг/кг и 0,1 мг/кг.

При оценке степени загрязненности мест падения отделяющихся частей ракет-носителей гидразинами особую важность приобретает изучение возможности миграции НДМГ в глубинные слои почвенного покрова. Это связано с тем, что переход НДМГ в связанные формы в почве (например, за счет образования гидразонов с лигногуминовыми веществами) не является абсолютно необратимым. При определенных условиях (в зависимости от заболоченности почвы) возможно высвобождение несимметричного диметилгидразина и его поступление в окружающую среду, обеспечивающее постоянное и долговременное воздействие данного загрязнителя на экосистемы.

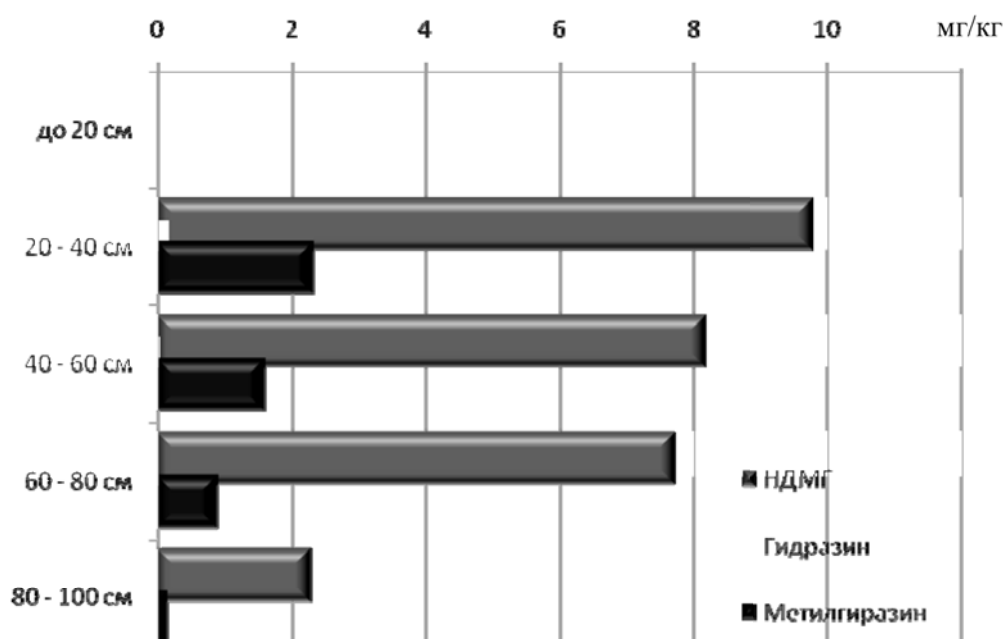


Рис. 3. Распределение НДМГ и продуктов его разложения в глубинные слои почв в месте падения ОЧ РН

Исходя из полученных данных, можно утверждать, что глубина проникновения НДМГ составляет до 1 м (рис. 3). При этом наибольшая концентрация НДМГ и продуктов его разложения наблюдается на глубине 20-40 см: 9,8 мг/кг. Концентрация незначительно снижается на глубине 40-80 см, а на глубине 1 метр показывает значительную убыль до 2,3 мг/кг. Одновременно с этим, наличие НДМГ было обнаружено только в пробе поверхностной почвы при удалении на 10 метров на север (0,08 мг/кг или 0,8 ПДК). Прочие пробы показали отсутствие НДМГ и продуктов его разложения.

Необходимо отметить, что такие высокие (десятки ПДК) концентрации НДМГ нами наблюдались только в месте падения отделяющихся частей ракет. При этом на удалении даже в 10 метров от эпицентра содержание НДМГ либо сильно падало, либо не наблюдалось вовсе. Учитывая сильную заболоченность именно данных двух мест падения, можно предположить, что НДМГ прочно связывается лигнотуминовыми компонентами торфа в эпицентре падения и не распространяется далее 10-50 метров по поверхностным слоям почв, тогда как на глубине 1 метр распространение НДМГ и вовсе отсутствует. При этом максимум концентрации в эпицентре меняется в зависимости от заболоченности почвы. Чем большее количество влаги наблюдается около места падения, тем выше залегает слой накопления НДМГ и продуктов его разложения.

### Вывод

Проведенная оценка влияния РКД на экологическое состояние объектов окружающей природной среды с применением разработанных методик определения НДМГ и продуктов его разложения в экосистемах позволила сделать вывод о слабом распространении токсичных компонентов ракетного топлива в горизонтальном направлении. Токсичные компоненты ракетного топлива локализованы на небольших площадках непосредственно на месте падения отдельной части ракеты-носителя в диаметре не далее 50 м от места падения. Поэтому можно утверждать, что загрязнение компонентами ракетного топлива района падения ОЧРН «Мосеево» носит точечный и локальный характер.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Журин А.К. Организация экологического контроля на космодроме «Плесецк» // Экологические проблемы разработки и эксплуатации ракетно-космической техники: Материалы 6-го научно-практич. семинара. М.: СИП РИА, 2004. Вып. 12.
2. Иванов А.Н. О деятельности космодрома «Плесецк» и сотрудничестве его с администрацией Архангельской области // Проблемы ракетно-космической деятельности : Материалы научно-практич. конф. 28 ноября 2006 г. Архангельск: изд-во АГТУ, 2007.
3. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм 1,1-диметилгидразина в образцах почв методом ионной хроматографии с амперометрическим детектированием. М: МВИ МГУ № 41-01 (свидетельство ВНИИМС), 2006.
4. Шварцман Ю.Г., Болотов И.Н., Игловский С.А. Современное геоэкологическое состояние ландшафтов Мезенской тундры / Вестник ПГУ. Серия: Естественные и точные науки. Архангельск: Изд-во ПГУ, 2003. № 1.
5. Экологический паспорт района падения отделяющихся частей ракет-носителей «Мосеево». Мирный: космодром «Плесецк», 1998.