

Почвенно-геохимическая характеристика горно-тундровых ландшафтов районов падения отделяющихся частей ракет-носителей

Т. В. КОРОЛЕВА¹, О. В. ЧЕРНИЦОВА¹, А. В. ШАРАПОВА¹, П. П. КРЕЧЕТОВ¹,
А. В. ПУЗАНОВ², И. В. ГОРБАЧЕВ²

¹ Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
119234, Москва, Ленинские горы, 1
E-mail: korolevat@mail.ru

² Институт водных и экологических проблем СО РАН
656038, Барнаул, ул. Молодежная, 1

Статья поступила 06.09.2013

АННОТАЦИЯ

Для корректной оценки данных, получаемых в ходе экологического мониторинга ракетно-космической деятельности, необходимо учитывать природную вариабельность химических свойств почв, распространенных на территориях, используемых для приземления отделяющихся частей ракет-носителей. В статье представлены результаты почвенно-геохимических исследований в горно-тундровых ландшафтах Республики Алтай в районе падения вторых ступеней ракет. На основе полученных результатов и данных лабораторных экспериментальных исследований выполнена количественная оценка экологической буферной емкости почв одной из мониторинговых площадок по отношению к ракетному топливу.

Ключевые слова: экологическая безопасность, ракетно-космическая деятельность, ракетное топливо.

Районы падения отделяющихся частей ракет-носителей являются объектами наземной космической инфраструктуры космодромов. Для контроля состояния окружающей среды на их территории в рамках системы экологического мониторинга ракетно-космической деятельности осуществляется оперативный экологический мониторинг пусков ракет-носителей, а также с определенной периодичностью проводятся комплексные исследования динамики состояния компонентов экосистем. В статье представлены результаты почвенно-геохимических исследований, проведенных авторами в районе падения вто-

рых ступеней ракеты-носителя “Протон”, расположенном в Республике Алтай (рис. 1). Площадь района составляет 2198 км², он используется с 1967 г., и за это время в него приземлились отделяющиеся части 56 ракет.

Компонентами топлива в ракете-носителе “Протон” являются: несимметричный диметилгидразин (НДМГ) (горючее) и тетраоксид азота (N₂O₄) (окислитель). Несимметричный диметилгидразин ((CH₃)₂N–NH₂) относится к классу предельных гидразинов (C_nH_{2n+4}N₂). Это бесцветная, прозрачная, дымящаяся на воздухе жидкость с резким неприятным аммиачным запахом, характерным для органи-

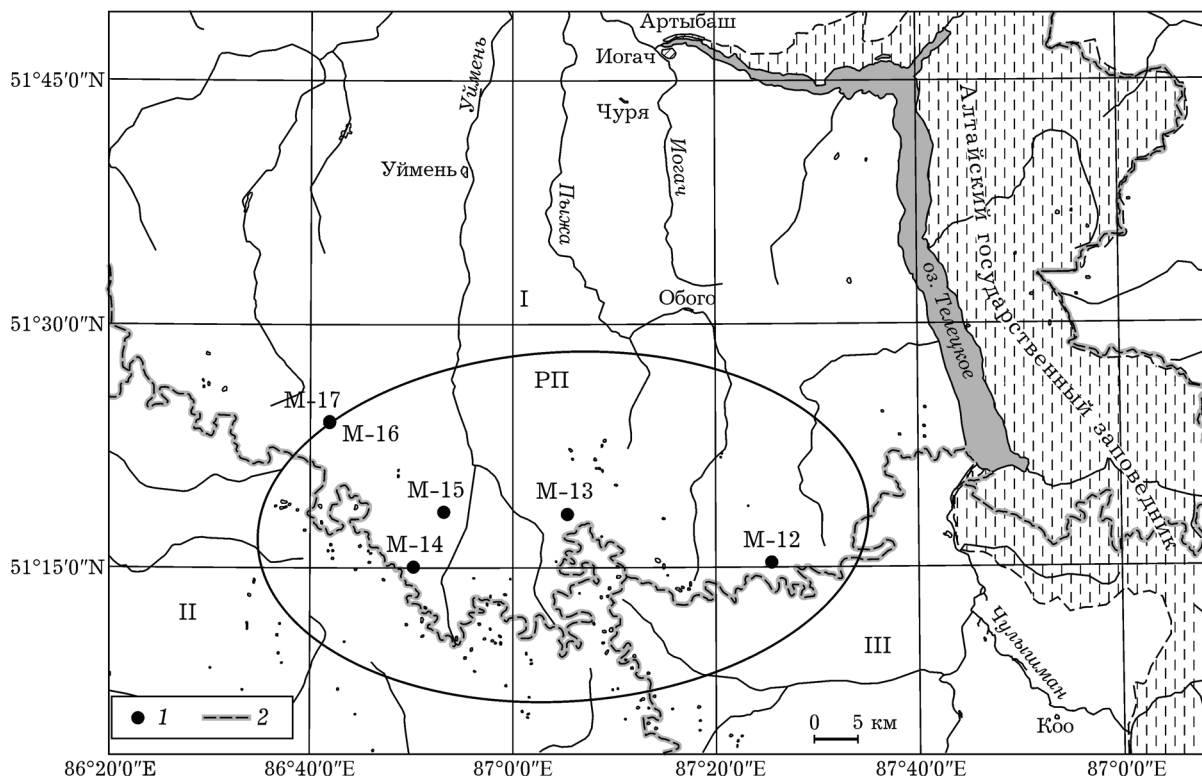


Рис. 1. Район исследований. РП – район падения вторых ступеней ракет; 1 – мониторинговые площадки; 2 – границы физико-географических провинций (I – Северо-Восточная, II – Центральноалтайская, III – Восточная Алтайская)

ческих аминов. НДМГ обладает высокой реакционной способностью, которая определяется его химическими свойствами [Греков, 1966; Зрелов, Серегин, 1975]. В природе НДМГ не встречается. Обнаружение его в объектах окружающей среды свидетельствует об антропогенном загрязнении, связанном с производством и применением НДМГ.

Вторые ступени ракет-носителей “Протон” отделяются на высотах 140–160 км. При вхождении в плотные слои атмосферы происходит нагрев ступени до температур, приводящих к взрыву остатков топлива в баках, который, по теоретическим оценкам, происходит на высотах 25–30 км. Наибольшему разрушению подвержены бак горючего и двигательная установка. В отдельных случаях бак окислителя падает на землю целым. Остатки топлива и продукты его сгорания поступают в атмосферу и рассеиваются на большой высоте [Экологический мониторинг..., 2011].

Вероятному воздействию пусков ракет-носителей наиболее подвержены высокогорные территории, почвенный покров которых ха-

рактеризуется сильной мозаичностью с высокой вариабельностью химических и физико-химических свойств. Цель исследования – оценка состояния почв горно-тундровых ландшафтов по разработанным показателям, которые объединены в три группы: специфические и неспецифические показатели химического воздействия, показатели вещественного состава [Экологический мониторинг..., 2011].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Специфические показатели химического воздействия характеризуют вероятное загрязнение почвенного покрова в результате ракетно-космической деятельности компонентами ракетного топлива. К ним относятся содержание в почвах горючего (НДМГ) и наиболее токсичного продукта его трансформации – нитрозодиметиламина (НДМА).

Поскольку поступление компонентов ракетного топлива в почву может оказывать влияние на ее свойства (кислотно-основные, содержание и доступность элементов пита-

ния и др.), для оценки их изменения используется группа неспецифических показателей химического загрязнения: содержание нитрат- и нитрит-ионов, иона аммония, показатели почвенной кислотности (актуальная почвенная кислотность (величина pH) и потенциальная почвенная кислотность (обменная и гидролитическая)).

Состояние почв, подвергающихся техногенному загрязнению, дополнительно может быть охарактеризовано с помощью показателей вещественного состава, к которым относятся содержание общего органического вещества, общего азота, обменных кальция и магния, емкость поглощения, гранулометрический состав.

Почвенно-геохимические исследования выполнены в ландшафтах Северо-Восточной Алтайской провинции, занимающей 70 % площади района падения [Ландшафты Алтая, 2010]. В высокогорных тундровых ландшафтах района падения обследовано шесть мониторинговых площадок (см. рис. 1). Высокогорные тундровые ландшафты района исследований занимают 26,2 % территории [Ландшафты Алтая, 2010]. Мониторинговые площадки заложены на абсолютных высотах от 1800 до 2210 м на склонах водоразделов рек Ложа и Каракокша (М-16, М-17), рек Уймень и Верхний Ямбош (М-13), рек Большие Чили и Сынырлу (М-12), рек Балыкту и Чевош (М-14, М-15) (см. рис. 1). Растительный покров исследованных участков представлен мохово-лишайниковыми и фрагментарно дерновинно-злаковыми тундровыми растительными ассоциациями на горно-тундровых почвах. На каждой из площадок выполнена крупномасштабная топографическая съемка с использованием высокоточного приемника системы GPS, заложены почвенные разрезы, описаны морфологические свойства почв. Для изучения свойств почв по генетическим горизонтам отобран 21 почвенный образец.

Для характеристики природной variability свойств почв высокогорных тундровых ландшафтов на одной из мониторинговых площадок (М-15) проведено поверхностное опробование почв (22 пробы с глубины 0–5 см) по сетке с шагом 50 м. Площадь участка составила 60 000 м². Координаты всех точек от-

бора фиксировались высокоточным GPS-приемником с привязкой по высоте.

В отобранных почвенных образцах определены следующие показатели: содержание органического углерода и валового азота, величина емкости поглощения почв, состав обменных катионов, значения почвенной кислотности, а также показатели, отражающие содержание подвижных форм азота. По полученным данным построена серия картосхем методом интерполяции поверхности по дискретным данным (картосхемы построены с применением дополнительного модуля Spatial Analyst геоинформационного программного обеспечения ArcGIS 9.3.1 на основе использования метода сплайна).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ содержания НДМГ и НДМА в пробах почв, отобранных в ходе почвенно-геохимических исследований, показал отсутствие специфического загрязнения всех исследованных почв.

Результаты химико-аналитических исследований почв представлены в табл. 1. Горно-тундровые почвы характеризуются высоким содержанием органического углерода в верхней толще (значения варьируют в широком диапазоне от 10,1 % до 38,5 % в зависимости от типа поверхностного горизонта). С глубиной отмечается уменьшение значений в среднем до 0,6–1,7 %. Максимальные количества общего азота до 2,2 % наблюдаются в органогенных и гумусовых горизонтах, тогда как в минеральных его содержание снижается до 0,1 %.

Все исследованные почвы характеризуются достаточно широким диапазоном емкости поглощения (от 6 до 36,8 ммоль(+)/100 г почвы), при этом максимальные значения соответствуют верхним гумусово-аккумулятивным и оторфованным горизонтам.

Для всех почв характерна кислая реакция среды: значения pH находятся в диапазоне от 3,4 до 5,3 ед. При этом с глубиной в иллювиальных горизонтах и почвообразующей породе отмечается рост pH относительно верхних горизонтов, что свидетельствует о влиянии органических кислот на формирование кислотно-основных свойств почв. Гумусовым и ор-

Гори-зонт	Глубина, см	рН	Неспецифические показатели химического воздействия компонентов ракетного топлива										Показатели вещественного состава почв			
			обменная кислотность, ммоль(+)/100 г почвы	АI ³⁺	Н ⁺	гидролитическая кислотность, ммоль(+)/100 г почвы	NH ₄ ⁺ , мг/кг	обменные формы, мг/кг	водорастворимые формы, мг/кг	N _{общ.} , %	C _{орг.} , %	обменные катионы, ммоль(+)/100 г почвы	емкость поглощения, ммоль(+)/100 г почвы	содержание физической глины, %		
Площадка М-12. Пологий склон юго-западной экспозиции, угол наклона 2° (h = 2120 м над ур. м.); почва - горно-тундровая торфянистая среднесуглинистая на щебнистом элювии; растительность - мохово-лишайниковая кустарниковая тундра														Ca ²⁺	Mg ²⁺	
Ат	0-5	3,9	3,3	0,30	28,9	49,9	5,3	0,03	0,8	10,1	4,7	3,1	11,4	18,16		
АС	5-22	3,9	2,2	0,08	13,0	24,8	35,0	0,08	0,2	2,1	1,8	1,8	6,0	27,28		
С	22-45	4,0	1,8	0,07	10,1	23,9	0,1	0,02	0,1	0,6	1,7	2,9	6,4	84,37		
Площадка М-13. Склон южной - юго-восточной экспозиции, угол наклона 10° (h = 1840 м над ур. м.); почва - горно-тундровая дерновая среднесуглинистая на щебнистом элювии; растительность - дерновинно-злаковая тундра с участием карликовой березы и кедра														Ca ²⁺	Mg ²⁺	
Ад	0-4	5,0	0,2	0,36	19,4	116,9	34,3	2,25	1,5	18,5	3,4	24,1	28,0	6,30		
А1	4-15	4,4	0,7	0,20	18,1	52,4	3,5	0,18	0,6	7,4	3,9	10,0	14,8	35,00		
СД	15-45	4,5	1,0	0,10	8,5	71,3	0,3	0,01	0,2	1,7	3,2	3,3	7,7	90,42		
Площадка М-14. Слабонаклонная (приводораздельная) поверхность северо-восточной экспозиции, угол наклона < 2° (h = 2130 м над ур. м.); почва - горно-тундровая торфянисто-перегонная глееватая легкосуглинистая на суглинистом элювии; растительность - лишайниковая тундра.														Ca ²⁺	Mg ²⁺	
Ат	0-4	3,8	4,2	0,62	56,7	147,0	56,8	8,62	2,2	24,5	7,4	6,8	19,0	12,59		
Ап	4-17	3,4	7,1	0,54	57,2	26,8	64,4	2,92	1,7	17,6	3,2	13,3	24,2	63,05		
АВ	17-34	3,8	5,8	0,10	26,9	26,0	0,1	0,11	0,4	4,1	2,4	8,6	16,9	19,64		
ВС	34-44	4,1	5,0	0,14	22,2	22,5	0,3	0,06	0,2	1,4	2,9	2,2	10,2	57,82		
Площадка М-15. Слабонаклонная поверхность (водораздел), осложнена небольшими повышениями (h = 2210 м над ур. м.); почва - горно-тундровая торфянистая среднесуглинистая-тяжелосуглинистая на щебнистом элювии; растительность - лишайниковая тундра														Ca ²⁺	Mg ²⁺	
Ат	0-17	3,9	2,4	0,15	16,5	24,0	0,4	0,15	0,5	4,7	2,8	3,9	9,2	47,68		
АС	17-36	4,0	3,3	0,07	19,6	40,3	<0,1	0,39	0,2	2,9	2,5	2,9	8,7	49,45		

Площадка М-16. Пологий склон юго-восточной экспозиции, угол наклона 3°. Осложнен понижениями диаметром до 1,5 м и глубиной до 10 см ($h = 1890$ м над ур. м.); почва – горно-тундровая торфянистая легкосуглинистая – среднесуглинистая на суглинистом элюво-делювии; растительность – лишайниковая кустарничковая тундра с участием кедр

Ад	0-3	4,4	1,79	2,50	138,3	6,8	68,2	0,05	1,6	38,9	11,1	21,4	36,8	не отр
Ат	3-14	3,7	7,8	0,39	128,6	54,3	5,8	0,01	1,0	1,6	2,8	3,9	14,9	22,33
АВ	14-20	4,2	6,04	0,10	49,5	32,6	0,4	0,01	0,5	5,6	1,7	17,8	25,6	49,09
В	20-27	3,9	5,1	0,14	28,2	13,0	<0,1	0,02	0,3	3,7	1,7	3,1	10,0	55,00
ВС	27-47	4,0	3,5	0,07	19,1	19,1	0,2	0,01	0,1	1,0	2,3	3,8	9,7	64,52

Площадка М-17. Слабонаклонная поверхность юго-восточной экспозиции, угол наклона < 2°, осложнена понижениями диаметром до 2 м и глубиной до 20 см ($h = 1900$ м над ур. м.); почва – горно-тундровая торфянисто-перетнойная среднесуглинистая на суглинистом элюво-делювии; растительность – осоково-

дерновинно-элаковая тундра

Ат	0-6	5,3	0,1	0,29	11,9	85,0	7,3	1,39	1,0	12,0	6,0	19,3	25,7	25,46
Ап	6-15	5,2	0,1	0,22	12,6	34,0	0,2	0,23	0,5	5,5	4,0	13,1	17,5	32,04
В	15-27	4,7	1,7	0,25	11,1	31,4	<0,1	0,31	0,1	0,8	2,4	12,5	16,9	55,00
ВС	27-50	4,6	1,2	0,12	9,9	29,9	<0,1	0,02	0,1	0,7	3,0	14,0	18,3	72,67

ганогенным горизонтам горно-тундровых почв свойственны высокие значения гидролитической кислотности – 11,9–57,2 ммоль(+)/100 г почвы. В минеральных горизонтах ее значение несколько ниже – 8,5–22,2 ммоль(+)/100 г почвы. Максимальные значения гидролитической кислотности установлены для оторфованных горизонтов горно-тундровой торфянистой легкосуглинистой и среднесуглинистой почвы – 138,3 и 128,6 ммоль(+)/100 г почвы. Величина обменной кислотности не столь велика – 0,32–8,19 ммоль(+)/100 г почвы соответственно. В верхних, богатых органикой горизонтах, как правило, преобладает обменный водород (58,28–74,37 %), тогда как в минеральных горизонтах его доля в обменной кислотности составляет не более 1,63–12,82 %.

Содержание различных форм азота (нитрат-иона, нитрит-иона и иона аммония) в почвах варьирует в широких пределах. Так, содержание нитрат-иона в поверхностных горизонтах колеблется от 3,5 до 68,2 мг/кг. В иллювиальных горизонтах его количество резко снижается и в среднем в этой части профиля значения находятся в диапазоне 0,1–0,4 мг/кг. Высокое содержание нитрит-иона наблюдается только в органических оторфованных горизонтах почв и составляет 1,39–8,62 мг/кг. В минеральных горизонтах, так же как и для нитратов, их количество невелико и составляет 0,01–0,31 мг/кг. Большое количество органического вещества, обусловленное торфонакоплением, и его слабая минерализация в условиях избыточного увлажнения обеспечивает также аккумуляцию восстановленных форм азота в виде иона аммония. В гумусово-аккумулятивных и оторфованных горизонтах его количество достигает 24–147 мг/кг. Достаточно высоко его содержание и в иллювиальных горизонтах – 19,1–71,3 мг/кг. Это может быть связано с закреплением иона аммония в почвенном поглощающем комплексе.

Полученные на различных мониторинговых площадках характеристики горно-тундровых почв высокогорных ландшафтов выявили их высокую вариабельность.

Для оценки пространственной неоднородности свойств почв в пределах одного участка на площадке М-15 было проведено поверхностное опробование почв. Участок расположен на слабонаклонной поверхности во-

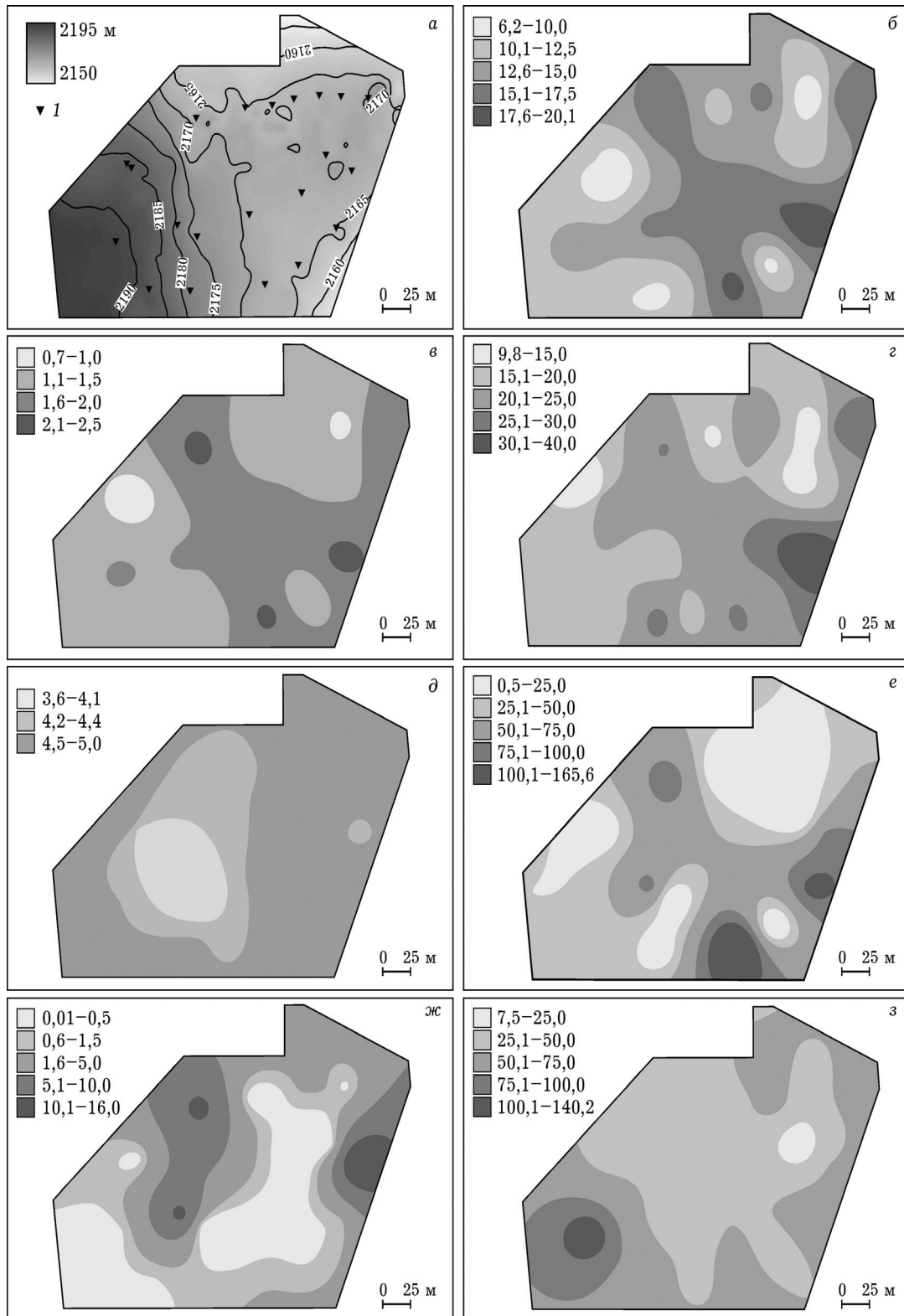


Рис. 2. Рельеф и показатели состояния поверхностных горизонтов почв мониторинговой площадки М-15: а – высоты поверхности, м, 1 – точки отбора проб почвы; б – содержание органического углерода, %; в – содержание общего азота, %; г – емкость поглощения, ммоль(+)/100 г почвы; д – величина рН; е – содержание нитратов (водорастворимые формы), мг/кг; ж – содержание нитритов (водорастворимые формы), мг/кг; з – содержание аммония (обменные формы), мг/кг

Статистические показатели свойств горно-тундровой торфянистой среднесуглинистой почвы на щебнистом элювии под лишайниковой тундрой (мониторинговая площадка М-15, $n = 21$)

Показатель свойств почв	Статистические показатели					
	среднее	медиана	минимум	максимум	стандартное отклонение	коэффициент вариации
$C_{орг}$, %	13,21	13,70	6,20	20,10	3,71	28,06
$N_{общ}$, %	1,40	1,38	0,70	2,21	0,43	30,93
NO_3^- , мг/кг	41,59	29,50	0,50	164,30	41,38	99,50
NO_2^- , мг/кг	2,45	0,44	0,01	16,00	4,32	176,05
NH_4^+ , мг/кг	59,22	49,80	29,50	140,00	26,44	44,65
pH	4,50	4,50	3,60	5,00	0,37	8,23
H^+ , ммоль(+)/100 г	0,46	0,48	0,28	0,80	0,11	23,74
Al^{3+} , ммоль(+)/100 г	1,30	0,50	0,10	8,20	1,88	144,44
Гидролитическая кислотность, ммоль(+)/100 г	30,72	29,20	15,70	60,20	10,63	34,61
Ca^{2+} , ммоль(+)/100 г	3,58	3,30	1,60	6,70	1,23	34,32
Mg^{2+} , ммоль(+)/100 г	16,01	15,60	5,40	34,80	7,35	45,89
Емкость поглощения, ммоль(+)/100 г	21,33	20,90	10,30	38,20	5,90	27,68
Экологическая емкость, мг/кг	8,53	8,67	5,47	11,10	1,67	19,51

дораздела ($h = 2210$ м над ур. м.). Почвенный покров представлен горно-тундровой торфянистой среднесуглинистой почвой на щебнистом элювии под лишайниковой тундрой.

Пространственный анализ распределения показателей состояния почв в поверхностных горизонтах почв участка выявил существенные различия в их вариабельности (рис. 2, табл. 2). Наименьшая пространственная неоднородность установлена для величины pH (8 %), а наибольшая – для нитратов, нитритов и обменного алюминия 99, 176 и 144 % соответственно. Величина коэффициента варьирования остальных показателей находится в диапазоне 19–46 %.

Дифференциация показателей состояния почв, по-видимому, обусловлена литогенной неоднородностью и особенностями рельефа участка, что приводит к перераспределению атмосферных осадков и солнечной радиации. Характерной особенностью данной территории является постепенное облегчение гранулометрического состава вниз по склону от среднего и тяжелого суглинка в верхней части склона на юго-западе до супесчаного в центре площадки, где в почвах формируются сухоторфянистые горизонты или оторфованная дернина. Далее в северо-восточной части участка в нижней части склона снова

происходит утяжеление гранулометрического состава до тяжелого суглинка.

Количественная оценка устойчивости почв к воздействию НДМГ. Для выявления почвенно-геохимических факторов, определяющих устойчивость почв к воздействию несимметричного диметилгидразина, и количественной оценки поглотительной способности почв по отношению к НДМГ авторами проводилась серия лабораторных экспериментов [Кречетов и др., 2012]. Исследование поглощения НДМГ почвами проводилось методом физического моделирования в статических условиях, при которых достигается равновесие состояния между составом жидкой и твердой фаз.

Для почв районов падения Северо-Восточного Алтая установлена зависимость поглотительной способности почв по отношению к НДМГ от величины pH. Минимальная степень поглощения соответствует образцам минеральных горизонтов со слабокислой реакцией среды (pH находится в диапазоне от 5,7 до 6,1), а наибольшая – кислым органогенным горизонтам почв (pH 4,4–4,6). Корреляционная зависимость между количеством поглощенного НДМГ и величиной pH для почв районов падения Северо-Восточного Алтая отрицательная, коэффициент корреляции составил $-0,81$. Обратное влияние величины pH объяс-

няется тем, что в кислой среде поглощение НДМГ почвами может идти по ионообменному типу: НДМГ в кислой среде переходит в катионную форму, имеет положительный заряд и способен закрепляться в поглощающем комплексе по ионообменному механизму.

При проведении экспериментов наблюдалась прямая зависимость поглощения загрязнителя от содержания гумуса: наибольшее поглощение отмечено в органогенных горизонтах с коэффициентом корреляции между количеством поглощенного НДМГ и содержанием гумуса, равным 0,47. Это объясняется тем, что НДМГ может образовывать связи с гумусовыми кислотами почвы, а именно с их карбоксильной группой.

Зависимость поглощения НДМГ от величины гидролитической кислотности, выявленная в ходе эксперимента, выражена сильнее: коэффициент корреляции – 0,77. Наибольшее поглощение загрязнителя наблюдалось в почвенных горизонтах с чрезвычайно высокими значениями гидролитической кислотности: от 98 ммоль(+)/100 г до 55 ммоль(+)/100 г почвы. Прямая зависимость поглощения загрязнителя от величины гидролитической кислотности связана с тем, что в кислых почвах возможно образование протонированной формы НДМГ в диффузном слое коллоидной мицеллы. Кроме того, для кислых образцов почв выражена прямая зависимость поглощения загрязнителя от содержания фракций ила и физической глины, что может служить подтверждением возможности закрепления загрязнителя в катионообменной форме в условиях кислой среды.

Для оценки способности почв снижать негативные последствия от загрязнения до безопасного для биологических объектов уровня авторами предложен показатель экологической буферной емкости почв по отношению к НДМГ ($\text{ЭЕ}_{\text{НДМГ}}$) [Кречетов и др., 2012]. За определяемую величину экологической буферной емкости принято максимальное количество НДМГ (мг/кг почвы), при попадании которого в почву его содержание в почвенном растворе не будет превышать ПДК для НДМГ в водах рыбохозяйственного назначения ($0,0005 \text{ мг/дм}^3$), т. е. не наблюдается токсичность почвенного раствора для биологических объектов.

С помощью регрессионного анализа определена количественная зависимость между основными свойствами гумусового горизонта исследованных почв Северо-Восточного Алтая и величинами их экологической буферной емкости:

$$\text{ЭЕ}_{\text{НДМГ}} = 5,30 - 0,76 \text{ рН} + 0,33 \text{ гумус} + 0,05 \text{ ЕКО} + 0,04 \text{ ГК},$$

где $\text{ЭЕ}_{\text{НДМГ}}$ – экологическая буферная емкость (мг/кг); рН – показатель актуальной кислотности почв; гумус – содержание органического вещества в почвах; ЕКО – емкость катионного обмена; ГК – гидролитическая кислотность.

Это уравнение является статистически значимым с $R^2 = 0,7$. Коэффициенты регрессии значимы с вероятностями 0,80 – для рН и ГК, 0,90 – для ЕКО и 0,95 – для содержания гумуса.

На основе полученных коэффициентов уравнения регрессии вычислены значения экологической буферной емкости для поверхностных горизонтов почв (0–5 см) мониторинговых площадок исследованных высокогорных тундровых ландшафтов, их значения составляют от 5,01 до 22,17 мг НДМГ на кг почвы (см. табл. 2). Для площадки М-15 построена картосхема экологической буферной емкости почв по отношению к НДМГ (рис. 3), иллюстрирующая степень вариабельности данного показателя в поверхностных горизонтах горно-тундровых почв.

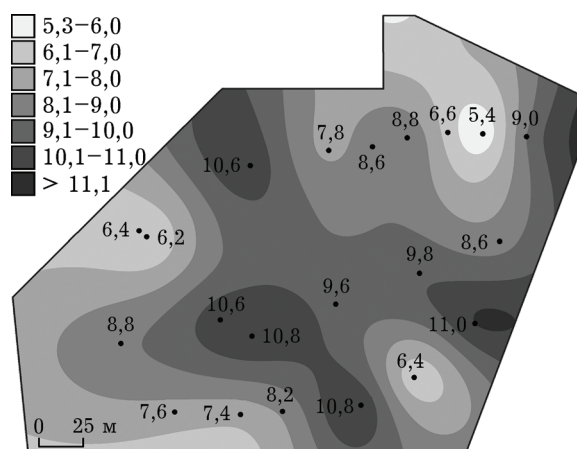


Рис. 3. Экологическая буферная емкость горно-тундровой торфянистой среднесуглинистой почвы по отношению к НДМГ (мг/кг почвы)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почвенно-геохимические исследования являются необходимым условием эффективного экологического мониторинга территорий, подверженных воздействию ракетно-космической деятельности.

Анализ результатов оценки состояния почв, проведенной в наиболее используемом районе падения вторых ступеней ракет-носителей "Протон" в Республике Алтай, не выявил загрязнения компонентами ракетного топлива и продуктами их трансформации. Природная вариабельность химических свойств почв горно-тундровых ландшафтов, даже на небольших участках, может колебаться в широком диапазоне. Величина коэффициента вариации по различным показателям может составлять от 8,23 до 176 %, что необходимо учитывать для корректной оценки данных о состоянии почв, получаемых в ходе экологического сопровождения пусков ракет-носителей.

Эксперименты по изучению поглотительной способности почв по отношению к НДМГ позволили рассчитать величину экологической буферной емкости почв по отношению к данному загрязнителю. Максимальная буфер-

ная емкость характерна для кислых горизонтов с высоким содержанием органического вещества, где она может достигать 22,17 мг НДМГ на кг почвы.

Предложенный подход к определению экологической буферности почв позволит в дальнейшем обосновать нормативы допустимого техногенного воздействия ракетно-космической деятельности на природные экосистемы районов падения отделяющихся частей ракет-носителей.

ЛИТЕРАТУРА

- Греков А. П. Органическая химия гидразина. Киев: Техника, 1966. 236 с.
- Зрелов В. Н., Серегин Е. П. Жидкие ракетные топлива. М.: Химия, 1975. 320 с.
- Кречетов П. П., Королева Т. В., Черницова О. В., Дианова Т. М. Количественная оценка устойчивости почв к воздействию несимметричного диметилгидразина // Геохимия ландшафтов и география почв. 100 лет со дня рождения М.А. Глазовской / под ред. Н. С. Касимова, М. И. Герасимовой. М.: АПР, 2012. С. 277–292.
- Ландшафты Алтая (Республика Алтай и Алтайский край). Масштаб 1 : 500 000 / Авт. Д. В. Черных, Г. С. Самойлова, 2010 (карта).
- Экологический мониторинг ракетно-космической деятельности. Принципы и методы / под ред. Н. С. Касимова, О. А. Шпигуна. М.: Рестарт, 2011. 472 с.

Soil-Geochemical Characteristics of Mountain Tundra in the Impact Zones Used for Landing of Launch Vehicles' Separated Parts

T. V. KOROLEVA¹, O. V. CHERNITSOVA¹, A. V. SHARAPOVA¹, P. P. KRECHETOV¹,
A. V. PUZANOV², I. V. GORBACHEV²

¹ Lomonosov Moscow State University
119234, Moscow, Leninskiye Gory, 1

² Institute for water and environmental problems SB RAS
656038, Barnaul, Molodyoznaya Str., 1
E-mail: korolevat@mail.ru

For proper evaluation of data received during the ecological monitoring of space-rocket activities it is necessary to take into account the natural variability of the chemical properties of soils common for the territories used for landing of launch vehicles' separated parts. The paper presents the results of the soil-geochemical studies in mountain tundra in the Altai Republic which have been carried out in the impact zone where launch vehicles' second stages fall. Based on the data obtained during the research and the results of laboratory experimental investigations the ecological buffer capacity of soils in relation to the rocket fuel has been quantified for one of the monitoring sites.

Keywords: ecological safety, space-rocket activities, rocket fuel.