

МИКРОБИОЛОГИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ СОЕДИНЕНИЯМИ АЗОТА ПОЧВМ. Е. Баранов^{1*}, Л. А. Герасимова¹, С. В. Хижняк², П. А. Дубынин¹, И. А. Клешина¹¹Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31²Красноярский государственный аграрный университет
Российская Федерация, 660049, г. Красноярск, просп. Мира, 90

*E-mail: pavel.dubynin@mail.ru

Антропогенное загрязнение почвы существенно нарушает механизм самоочищения и способствует скорейшей её деградации. В результате загрязнения в почве изменяется влажность, температура, нарушается режим аэрации. Существенные изменения происходят в видовом и качественном составе микроорганизмов, нарушается режим их жизнедеятельности, что очень негативно сказывается на процессах почвообразования и ее самоочищения. Наибольшую угрозу для почвы представляет химическое загрязнение. Объектом исследования являлись почвенный покров и его микробные сообщества на объекте хранения компонентов ракетного топлива (КРТ). После ликвидации воинской части в районе поселка Памяти 13 Борцов Емельяновского района Красноярского края из-за попадания в почву значительного количества КРТ сложилась неблагоприятная экологическая обстановка, что нашло своё отражение в сохранении высокого уровня фитотоксичности. В настоящее время бывшая ракетная база является бесхозной, имеются разрушенные спецсооружения. На почвенном покрове имеются видимые маслянистые пятна, присутствует специфический запах. Содержание КРТ в грунте составляет 0,001 мг/л, что соответствует уровню «Очень опасно» и «Опасно» по показаниям войскового прибора химической разведки (ВПХР). В связи с этим необходимо углубленно изучить предполагаемые места пролива КРТ для проведения работ по детоксикации почвенного покрова. Для проведения эксперимента было отобрано 13 проб из различных участков, расположенных на определенном расстоянии друг от друга и охватывающих зоны, приближенные к техническим сооружениям, а также одна проба на удалении трех километров от объекта исследования.

Целью исследования является проведение микробиологического анализа почвы и выявление наиболее загрязненных участков на исследуемом объекте. В связи с этим требуется углубленно изучить микробиологические показатели почвы как основного индикатора, определяющего уровень загрязнений; сравнить микробиологические показатели изучаемого участка до проведения рекультивации с почвенными микробными комплексами региона; провести статистическую обработку полученных экспериментальных данных для минимизации площади, подлежащей рекультивации.

Ключевые слова: почва, химическое загрязнение, компоненты ракетного топлива, микробиологический анализ.

Siberian Journal of Science and Technology. 2017, Vol. 18, No. 4, P. 890–896

MICROBIOLOGY CONTAMINATED WITH NITROGEN COMPOUNDS OF SOILSM. E. Baranov^{1*}, L. A. Gerasimova¹, S. V. Khizhnyak², P. A. Dubynin¹, I. A. Kleshnina¹¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation²Siberian State Agrarian University
90, Mira Av., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

*E-mail: pavel.dubynin@mail.ru

Anthropogenic pollution of soil greatly disturbs the self-cleaning mechanism and assists in its degradation. As a result of contamination in the soil changes the humidity, temperature, impaired aeration mode. Significant changes occur in the species and qualitative composition of microorganisms, the mode of life is disrupted that has a negative effect on the processes of soil formation and self-purification. The greatest threat to the soil is chemical pollution. The object of the study was the soil and its microbial community at the storage facility KRT (rocket fuel). After the liquidation of the military unit near the settlement of pamyati 13 Bortsov, Emelyanovsky district, Krasnoyarsk region due to contact with soil significant amount of KRT was unfavorable ecological situation that has reflected in maintaining a high level of phytotoxicity. Nowadays the former missile base is unattended, special structures are destroyed. In the soil cover there is visible oily spots, a peculiar smell. The contents of KRT in soil is 0.001 mg/l, which corresponds to the level of “Danger” according to the testimony of the army device of chemical investigation (VPHR).

In this connection it is necessary to study in depth the places of the Strait of KRT for the work on detoxification of soil cover. For the experiment, we selected 13 samples from different sites located at a certain distance from each other and covering the area close to technical facilities, as well as one sample for the removal of three kilometers from the object of study.

The aim of the study is to conduct a microbiological analysis of soil and identify the most polluted areas on the object. In this connection, you need to study the microbiological parameters of soil as the main indicator defining the level of pollution. It is necessary to compare the microbiological characteristics of the study area prior to reclamation of soil microbial complexes in the region. To carry out statistical processing of the obtained experimental data to minimize the area subject to reclamation.

Keywords: soil, chemical pollution, rocket fuel components, microbiological analysis.

Введение. Эксплуатация ракетной техники является многофункциональным и сложным процессом, связанным с использованием химически опасных веществ и материалов [1].

В настоящее время на фазе предстартовой подготовки ракет разработаны эффективные мероприятия, позволяющие существенно снизить экологическую нагрузку на окружающую среду [2]. Например, процессы нейтрализации паров и жидкой фазы окислителя с помощью поглотителей, дожигание горючего в специальных аппаратах и т. д. Несмотря на это, в процессе ликвидации военных объектов неоднократно могли происходить аварии [3]. Серьезной экологической проблемой является слив из ракет и специальных емкостей несимметричного диметилгидразина (НДМГ) и азотной кислоты (АК) при выводе их из эксплуатации. Извлечение всего объема топлива и окислителя – технологически сложный и опасный процесс [4]. В связи с этим возникает необходимость проведения экологических исследований в области воздействия объектов ракетно-космической техники (РКТ) на природную среду, которые могли бы дать объективную информацию о масштабах и интенсивности этого воздействия [5]. Одним из факторов такого воздействия является попадание в почву окислителя – тетраоксида азота [6].

На сегодняшний день существует множество способов определения химического загрязнения почвы [7]. Самым распространенным и универсальным по праву

считается метод биотестирования [8]. Большинство животных, растений, микроорганизмов однозначно реагируют на наличие загрязнения в окружающей их среде [9]. Для определения загрязненности почвенного покрова можно использовать бактерии, находящиеся в нем [10].

Микробиологические показатели почвы являются основными индикаторами уровня загрязнения. Приняв за показатель загрязненности грунта количество колоний, можно судить о наличии отсутствия антропогенного загрязнения в почвенном покрове.

Целью исследования является проведение микробиологического анализа почвы и выявление загрязненных участков на исследуемом объекте, определение зон для последующей рекультивации.

Объект и методы исследований. Объектом исследования является почвенный покров и его микробные сообщества на территории хранилища КРТ, расположенного на бывшем месте дислокации воинской части в районе поселка Кедровый Емельяновского района Красноярского края (рис. 1).

Летом 2017 года на исследуемом объекте было выбрано 13 пробных площадок размером 2×2 м [11]. Площадки выбирались с учетом видимых проливов на поверхности почвы вблизи технических сооружений. Для контроля выбрана площадка на удалении трех километров от исследуемого объекта. Точечные пробы отбирали на пробных площадках из слоя 0–20 см методом конверта (рис. 2).



Рис. 1. Хранилище окислителя (фото авторов)

Fig. 1. Fuel storage (photo of the authors)

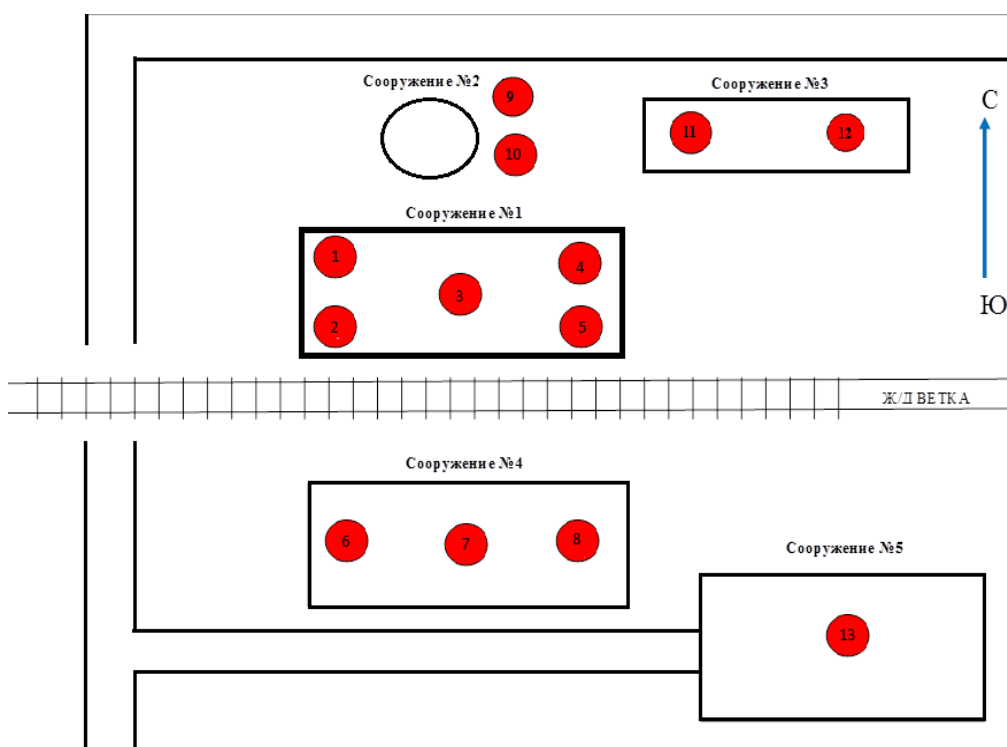


Рис. 2. Схема зоны хранения КРТ (цифрами обозначены точки отбора проб)

Fig. 2. Diagram of storage areas of KRT (the numbers marked by the sampling points)

Объединенные пробы составили путем смешивания 5 точечных проб, отобранных на одной пробной площадке. Наличие химических опасных веществ в почве определяли с помощью ВПХР. Для выявления уровня загрязнения использовали индикаторные трубки «ИТ-Г1», «ИТ-АК». В лабораторных условиях определяли численность микроорганизмов различных эколого-трофических групп [12]. Выделение микроорганизмов проводили стандартными методами рассева на поверхность агаризованной питательной среды [13]. В качестве питательных сред использовали следующие среды: для выделения аммонифицирующих бактерий – ПД-агар (пептон ферментативный, сухой для бактериологических целей – 9,0 гл, гидролизат казеина ферментативный, неглубокой степени расщепления – 8,0 гл, дрожжевой экстракт – 3,0 гл, хлорид натрия – 5,0 гл, натрий гидроортофосфат – 2,0 гл, агар микробиологический – 20 гл, pH = 7,0–7,2); для выделения гетеротрофных бактерий, усваивающих минеральный азот, – модифицированную среду Чапека (глюкоза – 20,0 гл, NH_4NO_3 – 2,0 гл, KH_2PO_4 – 0,5 гл, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,5 гл, KCl – 0,5 гл, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,01 гл, агар микробиологический – 20,0 гл, вода – 1000 мл, pH = 7,0–7,2); для выделения олиготрофных бактерий – среду для выделения олиготрофов (50 мл ПД-агара + 50 мл модифицированной среды Чапека на 1 л среды). Численность микроорганизмов определяли стандартным методом высева из серийных разведений суспензии на поверхность питательного агара [14; 15]. Численность выражали в колониеобразующих единицах (КОЕ) на вес сухой почвы. Математическую обработку результатов проводили стандартными методами с использованием пакета анализа MS Excel и StatSoft STATISTICA 6.0 [16].

Результаты исследования. По результатам исследований на изучаемой территории выделены два участка: участок № 1 слива и хранения КРТ и участок № 2 нейтрализации и очистки стоков.

На участке № 1 расположены сооружения № 1 «Хранилище НДМГ» и сооружения № 2 «Хранилище азотной кислоты», в сооружениях расположены емкости и сливно-наливные устройства. На участке № 2 расположены сооружение № 2 «Станция очистки», сооружение № 3 «Специальная лаборатория», сооружение № 5 «Станция нейтрализации». В ходе ликвидации базы хранения КРТ при сливно-наливных операциях и нейтрализации технических средств хранения, перекачки и транспортирования произошли технологические проливы топлива. На участке № 1 присутствует резкий неприятный запах, имеются видимые маслянистые пятна на поверхности почвы, которые свидетельствуют о химическом загрязнении почвы. В ходе естественной миграции последствия пролива КРТ ярко выражены вблизи сооружений № 1, 4.

По результатам проведенных анализов микробиологические показатели почвы изученной территории варьировали в широких пределах. Численность бактерий изучаемых эколого-трофических групп и размах варьирования этих численностей превышал аналогичные показатели для почв региона по данным А. В. Богородской и О. А. Сорокиной (табл. 1).

Так, в почвенных образцах, взятых с участка № 1, преобладают бактерии, усваивающие минеральный азот, их количество по сравнению с показателями почв региона превышено в 160 раз по данным О. А. Сорокиной. Также отмечено значительное превышение амонификаторов и олиготрофов. Обращает

на себя внимание существенно меньшая доля олиготрофов и аммонификаторов по отношению к бактериям, усваивающим минеральный азот.

На участке № 2 преобладают олиготрофные бактерии, и их количество превышает показатели по региону (данные О. А. Сорокиной) более чем в 100 раз. Данный вид микроорганизмов характерен для почв с бедным содержанием азота. Отмечена меньшая доля аммонификаторов и бактерий, усваивающих минеральный азот, по сравнению с олиготрофами. Повышенное содержание аммонификаторов обусловлено процессом разложения микроорганизмами азотсодержащих органических соединений.

Возможно предположить, что вблизи с хранилищем азотной кислоты имелись аварийные проливы, что способствовало притоку в почву большого количества азота и повышению численности микробиоты.

Многочисленными исследованиями доказано, что умеренное загрязнение КРТ приводит к увеличению численности и метаболической активности почвенных бактерий.

Это увеличение обусловлено способностью ряда почвенных микроорганизмов использовать азот в качестве источника энергии. Продуцируемая бактериями, усваивающими минеральный азот, биомасса в свою очередь может служить субстратом для других групп микроорганизмов.

В ходе статистической обработки результатов, полученных в эксперименте, было выявлено отсутствие значимых отличий между бактериями, усваивающими минеральный азот, и олиготрофными бактериями, $p > 0,05$. При проецировании на оси дискриминации, в свою очередь, был обнаружен общий кластер, состоящий из данных, полученных с участков под номерами 1, 2, 4, что привело к изменению группи-

ровки путем объединения микробиологических показателей данных участков в общий кластер. Таким образом, был определен общий кластер с большей статистической значимостью, при этом колонии, высеянные на среду Чапека, не являются статистически значимыми.

Для дальнейших исследований исключили эту среду из расчета. Повторно проведя дискриминантный анализ, получили статистически значимое отклонение от контрольного образца $p < 0,02$. На рис. 3 показаны проекции данных изучаемых образцов, отнесенных к различным территориальным группам, на оси дискриминации. Несмотря на отсутствие статистически значимых различий между микробными комплексами территории хранения КРТ и прилегающей территории, из проекции видно, что эти комплексы образуют два обособленных кластера.

В данном случае статистически значимые различия прослеживаются у аммонифицирующих бактерий и олиготрофных бактерий, $p < 0,05$. Отмечается повышенное количество микроорганизмов, усваивающих минеральный азот, в почвенных образцах № 5–6. Снижение численности микроорганизмов отмечены в пробах № 1, 4, 8–10.

Известно, что ракетное топливо является достаточно реакционно-способным веществом, при окислении которого образуется целый ряд веществ, оказывающих негативное влияние на биоту. Существенный разброс микробиологических показателей между разными площадками может быть связан с разным уровнем загрязнения. Максимальная антропогенная нагрузка выявлена на пробных площадках № 5, 6. Результаты измерений, полученные с помощью ВПХР, подтверждают опасные концентрации НДМГ и азотной кислоты в почве (табл. 2).

Таблица 1

Пределы варьирования состава микробных комплексов изучаемого участка в сравнении с почвенными микробными комплексами региона, тыс. КОЕ/г

Показатель	Бактерии, усваивающие минеральный азот	Аммонификаторы	Олиготрофы	Сумма
Участок слива и хранения КРТ № 1				
Минимум	1000	1000	3000	5000
Максимум	425000	112000	201000	738000
Участок нейтрализации и очистки стоков № 2				
Минимум	1000	3000	32000	36000
Максимум	22000	76000	201000	299000
Почвы сосновых лесов Средней Сибири (по данным А. В. Богородской)				
Минимум	456	300	717	1473
Максимум	8074	7227	13651	28952
Почвы красноярской лесостепи (по данным О. А. Сорокиной)				
Минимум	1714	700	1376	4304
Максимум	2643	1500	1890	5523

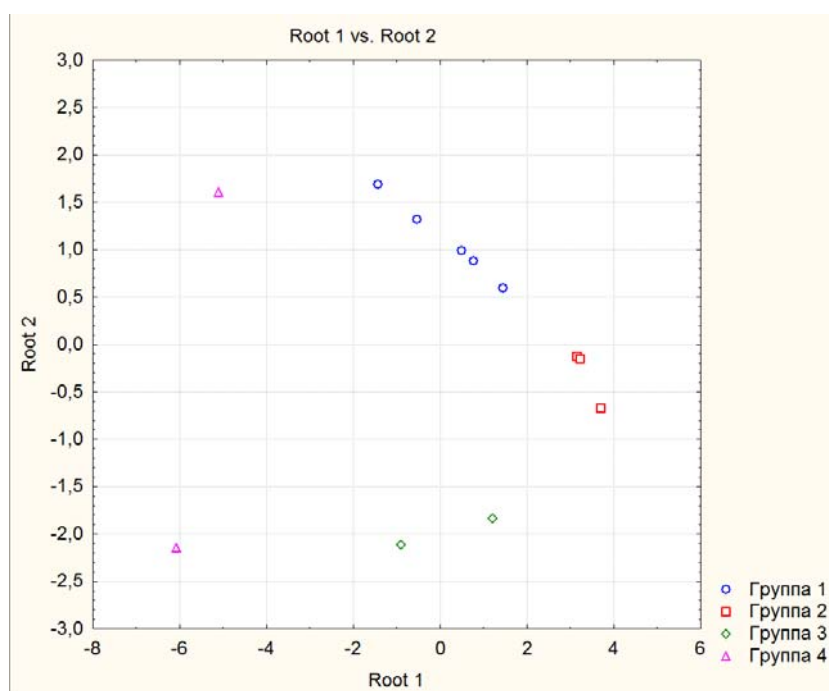


Рис. 3. Проекция данных с изучаемых участков на оси дискриминации

Fig. 3. Projections of data from the studied areas on the axis of discrimination

Таблица 2

**Результаты измерений ВПХР на наличие КРТ в почве
по окраске индикаторных трубок ИТ-Г1, ИТ-АК, мг/л**

№ точки отбора проб	Концентрация		Уровень опасности	
	НДМГ	АК	НДМГ	АК
1	0,001	0,01	Опасно	Малоопасно
2	0,0001	0,02	Малоопасно	Малоопасно
3	0,0001	0,001	Малоопасно	Малоопасно
4	0,001	0,001	Опасно	Малоопасно
5	0,0001	9	Малоопасно	Очень опасно
6	0,0001	10	Малоопасно	Очень опасно
7	0,0001	0,1	Малоопасно	Опасно
8	0,001	0,2	Опасно	Опасно
9	0,0001	0,001	Малоопасно	Малоопасно
10	0,0001	0,001	Малоопасно	Малоопасно
11	0,0001	0,001	Малоопасно	Малоопасно
12	0,0001	0,001	Малоопасно	Малоопасно
13	0,0001	0,005	Малоопасно	Малоопасно
14 контроль	Индикаторная окраска отсутствует, «Не опасно»			

Полученные результаты показали очень опасные концентрации азотной кислоты в пробах № 5, 6, взятых вблизи хранилищ НДМГ и АК. Проба № 8 содержит опасные концентрации по обоим оцениваемым параметрам, что, возможно, связано с топографическими особенностями местности.

Экспресс-анализ почвенных образцов однозначно указывает на то, что участок № 1, где непосредственно хранились КРТ, является наиболее загрязненным, с максимальным содержанием НДМГ и АК. Стоит также обратить внимание на высокие концентрации НДМГ в пробах № 1, 4.

Заключение.

1. После ликвидации специального объекта из-за попадания в почву значительного количества КРТ сложилась неблагоприятная экологическая обстановка, что нашло своё отражение в сохранении высокого уровня фитотоксичности грунта вблизи сооружений для хранения НДМГ и АК.

2. Математическая обработка показала статистически значимые отличия микробных комплексов исследуемого объекта от микробных комплексов лесов и лесостепей региона, что свидетельствует об экосистемном

нарушении почвенных микробиоценозов изучаемой территории.

3. Максимальная антропогенная нагрузка на окружающую среду отмечена на участке слива и хранения КРТ, высокие концентрации НДМГ отмечены в пробах № 1, 4, 8; азотной кислоты – в пробах № 5, 6.

4. Наименьшее загрязнение почвы отмечено на участке нейтрализации и очистки стоков, проба № 9, 10–13, по показаниям ВПХР.

5. По совокупности данных микробиологического исследования и экспресс-анализа почв выявлены конкретные участки, требующие мер усиленной рекультивации, и зоны, в принципе, способные к саморегенерации с незначительными восстановительными мероприятиями, что непосредственным образом отразится на планировании финансовых затрат при рекультивации данной территории.

Рекомендации:

1. Для ликвидации проливов КРТ рекомендуется проведение мероприятий по рекультивации объекта на основании методики рекультивации грунтов, загрязненных компонентами ракетных топлив, патент РФ № RU 2253520 С1.

2. Для проведения рекультивации рекомендуется разделить территорию на две зоны: первая зона активной рекультивации – вблизи сооружений для хранения КРТ № 1, 4; вторая зона частичной рекультивации – вблизи сооружений нейтрализации и очистки стоков № 2, 3, 5.

Библиографические ссылки

1. Охрана почв от химического загрязнения / Я. М. Аммосова [и др.]. М. : Изд-во МГУ, 1989. 174 с.
2. Асонов Н. Р. Практикум по микробиологии. М. : Агропромиздат, 1988. 155 с.
3. Большаков Г. Ф. Химия и технология компонентов жидкого ракетного топлива. Л. : Химия, 1983. 320 с.
4. Ермаков Е. И., Попова Г. Г., Петрова З. М. Влияние несимметричного диметилгидразина на состояние почвенно-растительной системы // Экологические аспекты воздействия компонентов жидких ракетных топлив на окружающую среду : Материалы науч.-практ. конф. СПб. : РНЦ Прикладная химия, 1996. С. 15–19.
5. Анализ экологической обстановки на объектах хранения ракетного топлива / М. Е. Баранов [и др.]. Вестник СибГАУ. 2016. Т. 17, № 4. С. 1044.
6. Седова Г. И., Глебова Л. Ф. К методике оценки загрязнения почвы компонентами ракетных топлив // Бюллетень токсикологии, гигиены и профпатологии ракетных топлив. 1978. № 31. С. 84.
7. Трофимов С. Я. Рекультивация и инвентаризация загрязненных земель // Экология производства. 2006. № 3. С. 56–59.
8. Сергейчик А. Растения и экология. Минск : Урожай, 1997. 224 с.
9. Захаров В. М. Здоровье среды. М. : ЦЭПР, 2000. 65 с.
10. Независимый экологический мониторинг состояния окружающей природной среды вокруг центра ликвидации межконтинентальных баллистических ракет / Занозина В. Ф. [и др.] // Экологические про-

блемы промышленных городов : сб. науч. тр. по материалам 6-й Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Саратов, 2013. С. 192–194.

11. Комплексная экологическая оценка районов падения отделяющихся частей ракет-носителей на полигоне Плесецк / А. Б. Бушмарин [и др.] // Экологические аспекты воздействия компонентов жидких ракетных топлив на окружающую среду : Материалы науч.-практ. конф. СПб. : РНЦ «Прикладная химия», 1996. С. 508.

12. Билай В. И. Методы экспериментальной микологии. Киев : Наукова думка, 1982. 550 с.

13. Павлов Н. В., Смольянов А. С., Вайс А. А. Математические методы в лесном хозяйстве / СибГТУ. Красноярск, 2005. 192 с.

14. Черненко Т. В. Методика комплексной оценки состояния лесных биогеоценозов в зоне влияния промышленных предприятий // Пограничные проблемы экологии : сб. науч. тр. Свердловск : УНЦ АНССР, 1986. С. 127.

15. Седова Г. И., Коваленко И. В. К вопросу о стабильности НДМГ в подзолистой супесчаной почве // Бюллетень токсикологии, гигиены и профпатологии ракетных топлив. 1976. № 23. С. 163.

16. Electronic textbook StatSoft [Электронный ресурс]. URL: http://statsoft.ru/resources/statistica_text_book.php (дата обращения: 10.9.2017).

References

1. Ammosova Ya. M., Orlov D. S., Sadovnikova L. K. *Okhrana pochv ot khimicheskogo zagryazneniya* [Protection of soils from chemical pollution]. Moscow, Izd-vo MGU Publ., 1989, P. 72–74.
2. Asonov N. R. *Praktikum po mikrobiologii* [Workshop on Microbiology]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1988, P. 155.
3. Bol'shakov G. F. *Khimiya i tekhnologiya komponentov zhidkogo raketnogo topliva* [Chemistry and technology of components of liquid rocket fuel]. Leningrad, Himiya Publ., 1983, P. 320.
4. Ermakov E. I., Popova G. G., Petrova Z. M. [The influence of the asymmetrical dimethylhydrazine on the condition of the soil-plant system]. *Ekologicheskie aspekty vozdeystviya komponentov zhidkikh raketnykh topliv na okruzhayushchuyu sredu. Mat. nauchno-praktich. konf.* [Ecological aspects of the impact of liquid rocket fuel components on the environment]. St. Petersburg, RNC Prikladnaya khimiya Publ., 1996, P. 15–19 (In Russ.).
5. Baranov M. E., Gerasimova L. A., Gerasimova V. E., Khizhnyak S. V. [Analysis of the ecological situation at the sites of storage of rocket fuel]. *Vestnik SibGAU*. 2016, Vol. 17, No. 4, P. 1044 (In Russ.).
6. Sedova G. I., Glebova L. F. [The methodology for the assessment of soil pollution by components of rocket fuels]. *Byulleten' toksikologii, gigeny i profpatologii raketnykh topliv*. 1978, No. 31, P. 84 (In Russ.).
7. Trofimov S. Ya. [Reclamation and inventory of contaminated land]. *Ekologiya proizvodstva*. 2006, No. 3, P. 56–59 (In Russ.).

8. Sergejchik S. A. *Rasteniya i ehkologiya* [Plants and ecology]. Minsk, Urozhay Publ., 1997, P. 224.
9. Zakharov V. M. *Zdorov'e sredy* [Health of the environment]. Moscow, TsEPR Publ., 2000, P. 65.
10. Zanozina V. F., Hmeleva M. V., Samsonova L. E., Zorin A. D., Goryacheva N. M., Markova M. L., Gareev D. R. [Independent environmental monitoring of the environment around center for the elimination of Intercontinental ballistic missiles]. *Ekologicheskie problemy promyshlennykh gorodov. Sb. nauchn. trudov* [Ecological problems of industrial cities]. Saratov, 2013, P. 192–194 (In Russ.).
11. Bushmarin A. B., Laskin B. M., Pimkin V. G., Solov'ev V. V., Careva O. A. [Integrated environmental assessment of areas separating from parts of rockets at the site "Plesetsk"]. *Materialy nauchn. prakt. konf. "Ekologicheskie aspekty vozdeystviya komponentov zhidkikh raketnykh topliv na okruzhayushchuyu sredu"* [Ecological aspects of the impact of liquid rocket fuel components on the environment]. S-Pb., Prikladnaya khimiya Publ., 1996, P. 5–8 (In Russ.).
12. Bilay V. I. *Metody eksperimental'noy mikologii* [Metody eksperimental'noy mikologii]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1982, 550 p.
13. Pavlov N. V., Smol'yanov A. S., Vays A. A. *Mathematical methods in forestry* [Mathematical Methods in Forestry]. 2005, Krasnoyarsk, SibGTU Publ., P.192.
14. Chernen'kova T. V. [The method of complex assessment of the state of forest biogeocenosis in the zone of influence of industrial enterprises]. *Pogranichnye problemy ekologii. Sb. nauchn. trudov* [Borderline problems of ecology]. Sverdlovsk, UNTs ANSSR Publ., 1986, P. 116–127 (In Russ.).
15. Sedova G. I., Kovalenko I. V. *K voprosu o stabil'nosti NDMG v podzolistoy supeschanoy pochve. Byulleten' toksikologii, gigieny i profpatologii raketnykh topliv* [Bulletin of Toxicology, Hygiene and Occupational Pathology of Missile Fuels]. 1976, No. 23, P. 163.
16. Electronic textbook StatSoft. Available at: http://statsoft.ru/resources/statistica_text_book.php (accessed 10.9.2017).

© Баранов М. Е., Герасимова Л. А., Хижняк С. В.
Дубынин П. А., Клещина И. А., 2017