

В. А. Мязин

## **Динамика содержания органического углерода и водорастворимых фосфатов в почве при очистке и восстановлении нефтезагрязненных территорий**

В модельном полевом эксперименте показана возможность использования методов биоремедиации территорий, загрязненных нефтепродуктами, в сложных природно-климатических условиях горной тундры на Кольском Севере. Работы проводились на участке, загрязненном дизельным топливом 15–20 лет назад, в результате чего произошла гибель растительного покрова и деградация органогенного горизонта почв. Тип почвы, на которой выполнялись исследования, – подбур оподзоленный (Entic Podzol). В ходе проведения восстановительных работ методами биоремедиации получены новые данные по изменению содержания органического углерода и подвижных фосфатов в почве. Внесение минеральных и органических удобрений привело к увеличению доли органического вещества гумуса в 1,6–2,1 раза и снижению доли углерода нефтепродуктов в 3,3–4,8 раза. В то же время количество водорастворимого углерода гумуса снизилось в 1,6–2 раза. Во всех вариантах опыта использование удобрений при проведении биоремедиации привело к увеличению содержания подвижных фосфатов в 4,3–6,6 раз до фоновых значений незагрязненных почв. Показано положительное влияние органических удобрений, препятствующих вымыванию вносимых биогенных элементов на участках, расположенных на склонах. Установление благоприятного трофического режима и снижение содержания углеводов положительно влияет на рост растений (*Festuca pratensis* Huds.) на экспериментальных участках. Снижение фитотоксичности почвы позволяет проводить этап фиторекультивации, а также способствует самозарастанию участков местными видами растений. Результаты данного исследования могут быть использованы для разработки теоретических основ повышения эффективности биоремедиации почв в районах Крайнего Севера, а также при планировании и проведении работ по восстановлению загрязненных и нарушенных территорий, расположенных на склонах.

**Ключевые слова:** Кольский Север, горная тундра, нефтезагрязненные почвы, биоремедиация, биогенные элементы почв

**Информация о статье:** поступила в редакцию 09.10.2018; получена после доработки 24.01.2019

### **Введение**

Нефть и продукты ее переработки являются одними из приоритетных загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду. Известно, что общими изменениями для большинства типов почв после загрязнения нефтью и нефтепродуктами (НП) является увеличение содержания органического углерода, расширение отношения C : N, уменьшение содержания подвижного калия, фосфора и азота [1–4], изменение соотношения макро- и микроэлементов [5]. В результате загрязнения почв нефтепродуктами происходит нарушение функциональной активности микробиоты, изменение ее состава [6–8].

На сегодняшний день одним из перспективных способов очистки почв от НП является метод биологической рекультивации, в основе которого лежит способность почвенных микроорганизмов окислять углеводороды [9; 10]. Основными направлениями работ при таком подходе являются биоаугментация – внесение культур нефтеокисляющих микроорганизмов или биостимуляция – улучшение водно-воздушного и питательного режима почвы для стимуляции аборигенной нефтеокисляющей микробиоты; на заключительном этапе восстановления возможно применение методов фиторекультивации [11; 12]. В связи с нарушением баланса элементов минерального питания в почве при ее очистке и восстановлении необходимо внесение минеральных удобрений. Для почв легкого гранулометрического состава необходимо применение также органических удобрений [13]. Однако внесение дополнительных биогенных элементов в почвы, расположенные на склонах, может оказаться малоэффективным в результате смыва вносимых веществ вниз по склону. Данная проблема является актуальной и для территории Кольского полуострова, имеющей сложный рельеф. Нерешенность данной проблемы определила цель проводимых исследований – оценить динамику содержания органического углерода и подвижных фосфатов при внесении минеральных и органических удобрений в почвы антропогенно нарушенных участков, расположенных на склоне горы.

### **Материалы и методы**

#### *Объекты исследования*

Исследования проводили в Печенгском районе на северо-западе Мурманской области на горе Каскама (69°16' N, 29°28' E, 320 м н.у.м.) (рис. 1).

Согласно климатическому районированию [14] данная территория расположена в пределах субарктического климатического пояса и атлантико-арктической зоны умеренного пояса. Формирование климатических условий в значительной степени определяется близостью вод Северного Ледовитого океана,

что характеризует погодно-климатические условия как типично морские с характерной сменой движения воздушных масс по сезонам года.

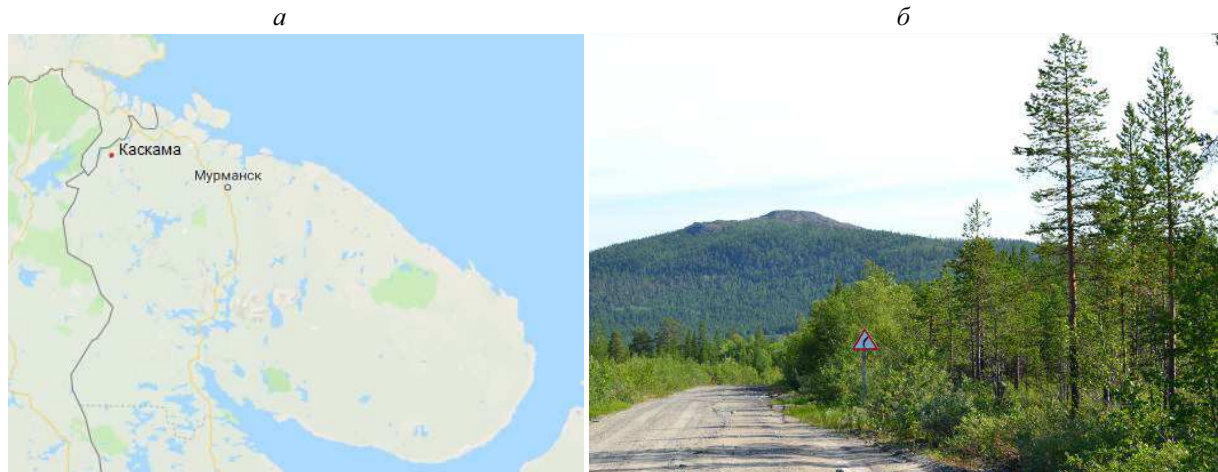


Рис. 1. Географическое положение (а) и общий вид (б) г. Каскама  
Fig. 1. Geographical position (a) and general view (b) of Kaskama Mountain

Регион исследования расположен в пределах Балтийского кристаллического щита, на западных структурах Кольского мегаблока и восточной части блока Инари, сложенных комплексом архейских и протерозойских пород осадочно-вулканогенного и метаморфического происхождения. Четвертичные отложения представлены в значительной степени мореными толщами последнего оледенения, отличающимися грубым механическим и пестрым минералого-петрографическим составом. На возвышенных участках развиты криогенно-денудационные процессы, преобладают элювиально-коллювиальные отложения [15].

По ландшафтному районированию участок находится в пределах денудационного рельефа, представленного плосковерхими горными массивами, холмогорьями, невысокими грядами и плато. Плоскоравнинные участки с абсолютными высотами от 20 до 60 м перемежаются с крупными массивами, достигающими высот 400–600 м над уровнем моря<sup>1</sup>.

Исследуемая территория располагается в пределах северо-западного флористического района и согласно современному ландшафтному делению относится к бореально-субарктической лесотундровой зоне. Основной тип естественного растительного покрова – сосновые леса со значительным участием березы в древостое. На склонах крупных возвышенностей, главным образом южной и западной экспозиций, развита высотная поясность. Горные тундры формируются с отметки 300 м и представлены кустарничково-лишайниковыми растительными сообществами со скальными обнажениями и каменисто-щебнистыми пятнами пучения. Встречаются участки с кустарничково-травяными и травяными сообществами. Общее проективное покрытие кустарничков и трав составляет 15–65 %, лишайников – 10–80 % [16].

Почвообразующие породы на вершине горы – элювий коренных пород, покрывающий сглаженную ледником поверхность коренных пород. Скопления каменистого элювия занимают обычно неглубокие (до 30–40 см) депрессии. На нем сформировались тундровые подбуры – почвы с недифференцированным бурым профилем. Минеральный профиль отличается тиксотропностью, вызванной его переувлажнением, которое связано с микрорельефом. В верхней части минерального профиля почв видны признаки оподзоливания, что дает основания диагностировать описанную почву как подбур оподзоленный (Entic Podzol).

В тундровом поясе также встречаются пятна, лишённые растительности, образование которых связано с проявлением сезонных криогенных процессов – замораживания и размораживания минеральной массы, изливающейся на поверхность в виде криогенного пятна. Диаметр таких пятен небольшой – примерно 0,5 м. Профиль почвы-криозема не дифференцирован на генетические горизонты, он сложен криотурбированным слоем тиксотропного мелкозема с большим количеством дресвянистого и обломочного материала.

Наиболее распространенным типом почв на склонах возвышенностей являются гумусово-железистые подзолы (Folic Albic Podzol), характеризующиеся легким механическим составом, малой мощностью (до 40–60 см), хорошей дифференциацией на генетические горизонты, заторфованностью органических горизонтов, отсутствием оглеения и малым содержанием илестых частиц [17; 18].

Территория на г. Каскама была подвержена загрязнению нефтепродуктами (дизельное топливо) 15–20 лет назад. В результате антропогенного воздействия произошло обнажение материнской породы,

<sup>1</sup> Атлас Мурманской области. М. : Главное управление геодезии и картографии при Совете министров СССР, 1971. 33 с.

гибель растительного покрова и разрушение органогенного горизонта почв на вершине и участках различной площади на западном и юго-восточном склонах горы (рис. 2).



Рис. 2. Загрязненные участки на юго-восточном (а) и западном (б) склонах г. Каскама  
 Fig. 2. Contaminated areas in the southeast (a) and western (b) slopes of Kaskama Mountain

*Материалы и методы исследования*

Для изучения динамики содержания углерода и водорастворимых фосфатов в почве были заложены экспериментальные площадки на г. Каскама. Почва на территории экспериментальных площадок – подбур оподзоленный. В качестве мелиорантов использовали минеральное удобрение Азофоска (NPK – 16 : 16 : 16), органическое удобрение Бамил и биоудобрение Омуг (таблица). Органическое удобрение Бамил получают из продуктов аэробной переработки сточных вод свинокомплексов: активного ила и осадка сточных вод. Биоудобрение Омуг получают путем аэробной ферментации подстилочного птичьего помета [19]. Удобрения вносили дважды в год – в начале лета (июнь) и осенью (сентябрь) в следующих количествах: Бамил – 100 г/м<sup>2</sup>, Омуг – 200 г/м<sup>2</sup>, NPK – 60 г/м<sup>2</sup>. Удобрения вносили ежегодно в течение 4 лет. Во всех вариантах опыта после внесения удобрений верхний слой почвы рыхлили на глубину до 5 см. Через год после начала работ на всех опытных площадках была посеяна *Festuca pratensis* (овсяница луговая) (посевной материал предоставлен Полярной опытной станцией (ПОСВИР), г. Апатиты). В качестве контроля был взят участок без признаков загрязнения нефтепродуктами на г. Каскама.

Таблица. Способы биоремедиации загрязненных участков  
 Table. Methods of bioremediation of contaminated sites

Вариант опыта	Способ биоремедиации почв
1	Рыхление верхнего слоя (0–5 см), без мелиорантов
2	Рыхление верхнего слоя (0–5 см) + NPK (60 г/м <sup>2</sup> )
3	Рыхление верхнего слоя (0–5 см) + Бамил (100 г/м <sup>2</sup> ) + NPK (60 г/м <sup>2</sup> )
4	Рыхление верхнего слоя (0–5 см) + Омуг (200 г/м <sup>2</sup> ) + NPK (60 г/м <sup>2</sup> )

Содержание углеводов в почве определяли методом ИК-спектрии на анализаторе нефтепродуктов АН-2<sup>2</sup>, содержание органического углерода – по методу Тюрина в модификации Никитина с колориметрическим окончанием по Орлову – Гриндель<sup>3</sup>, подвижных форм фосфора – по методу Кирсанова<sup>4</sup>.

Математическая обработка результатов осуществлялась с применением стандартных пакетов программ для статистических вычислений (Microsoft Office Excel 2007). Достоверность различий между выборками оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента.

**Результаты и обсуждение**

*Динамика содержания органического углерода*

Исходное содержание нефтяных углеводов в загрязненной почве экспериментальных участков изменялось в диапазоне от 59,3 до 81,02 г/кг, что составляло 53–58 % от общего содержания органического углерода. В то же время концентрация органических веществ, определяемых как нефтепродукты, в почве без видимых признаков загрязнения составляла 0,10–0,16 г/кг и не превышала 0,2 %.

<sup>2</sup> ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в почвах и донных отложениях методом ИК-спектрии. М., 1998. 15 с.

<sup>3</sup> Практикум по агрохимии / под ред. Минеева В. Г. М. : Изд-во Моск. ун-та, 2001. 689 с.

<sup>4</sup> ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова. М., 2013. 11 с.

Содержание органического углерода в верхнем слое почвы (0–7 см) на загрязненных участках в среднем составляло  $13,06 \pm 0,56$  %, содержание углерода в органогенном горизонте чистой почвы –  $26,32 \pm 4,35$  %. Внесение минеральных удобрений, а также биоудобрения Омуг достоверно не повлияло на содержание органического углерода. При этом применение органического удобрения Бамил привело к достоверному ( $t = 3,08–6,69$ , при  $p = 0,05$  и  $df = 4$ ) увеличению содержания углерода в почве (рис. 3). Эффект от органического удобрения наиболее ярко проявился в первые два года после его внесения в почву, а на третий год содержание углерода снизилось, что может быть связано с активизацией микробиоты, активно участвующей в трансформации органических соединений.

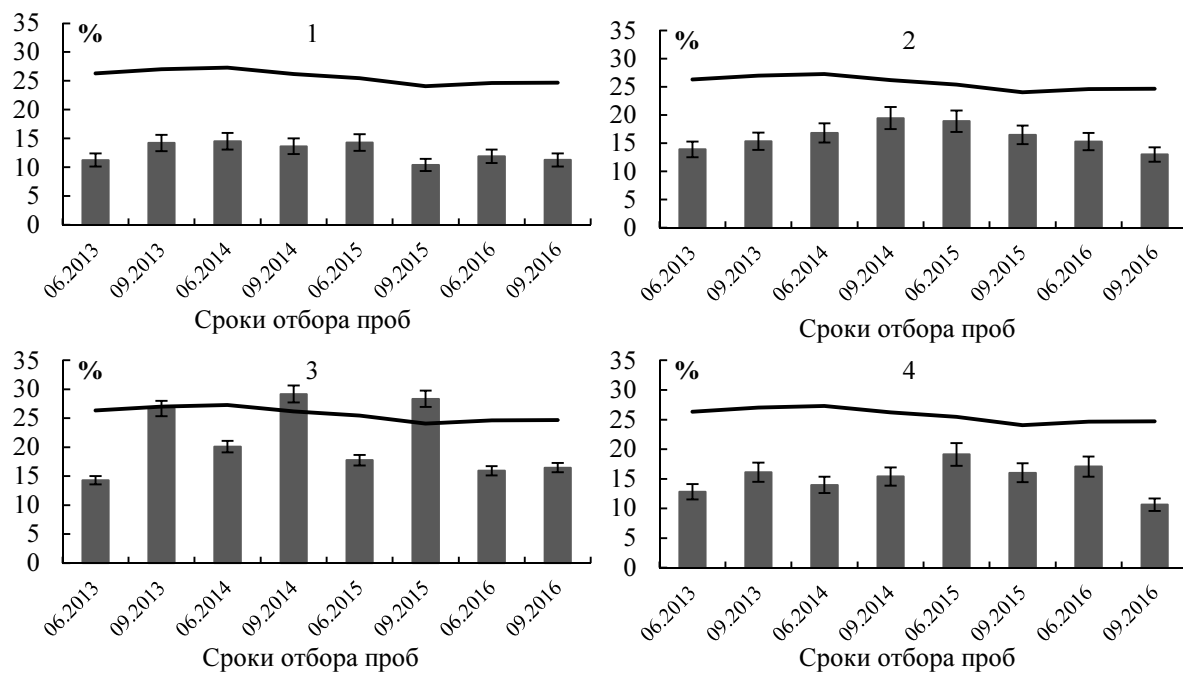


Рис. 3. Содержание органического углерода (%) в почвах экспериментальных участков г. Каскама. Способы рекультивации: 1 – рыхление; 2 – NPK; 3 – NPK + Бамил; 4 – NPK + Омуг.

Линией показано содержание органического углерода в чистой почве.

Здесь и далее планки погрешности отображают величину стандартной ошибки

Fig. 3. The content of organic carbon in contaminated soil in the experimental sites of Kaskama Mountain.

Methods of remediation: 1 – loosening; 2 – NPK; 3 – NPK + Bamil; 4 – NPK + Omug.

The line shows the organic carbon content in the clean soil.

Hereinafter, the error bars show the magnitude of the standard errors

Как известно, одним из показателей загрязнения почв нефтепродуктами является соотношение углерода нефтепродуктов и органического вещества гумуса [20]. Проведенные результаты показали, что использование различных приемов биоремедиации привело к изменению данного показателя: доля углерода нефтепродуктов снизилась, а доля органического вещества гумуса увеличилась. При этом отмечали, что эти изменения носили устойчивый характер на протяжении всего периода наблюдений (рис. 4).

Через 3 месяца после начала проведения эксперимента доля органического углерода НП снизилась до 21–27 %, а через 4 вегетационных периода составляла 14–19 %. В то же время содержание органического вещества гумуса в изучаемой почве увеличилось до 81–86 %, что, несомненно, является положительным моментом при восстановлении плодородия почвы. Стоит отметить, что одно лишь улучшение водно-воздушных условий почвы путем рыхления привело к устойчивым положительным результатам, в то время как содержание органического углерода в данном варианте было на 25 % ниже, чем при внесении удобрений.

Известно, что углерод гумуса почв по степени подвижности или доступности для микроорганизмов можно разделить на две составляющие. Первая – это консервативная, стабильная часть, которая прочно связана с твердой фазой почвы. Она медленно минерализуется, поэтому практически не участвует в питании биоты. Вторая – это подвижная часть, представлена продуктами разложения растительных остатков и новообразованными гумусовыми веществами, которые легко переходят в растворимую форму [21]. Именно углерод второй части использует микробиота для своих конструктивных и энергетических целей.

Основным источником поступления растворимого органического углерода в почву является опад растений, а также корневой опад [22]. Результаты показали, что на фоне вносимых удобрений происходит изменение содержания растворимого органического углерода: прослеживается общая тенденция постепенного снижения его доли в органическом веществе гумуса (рис. 5).

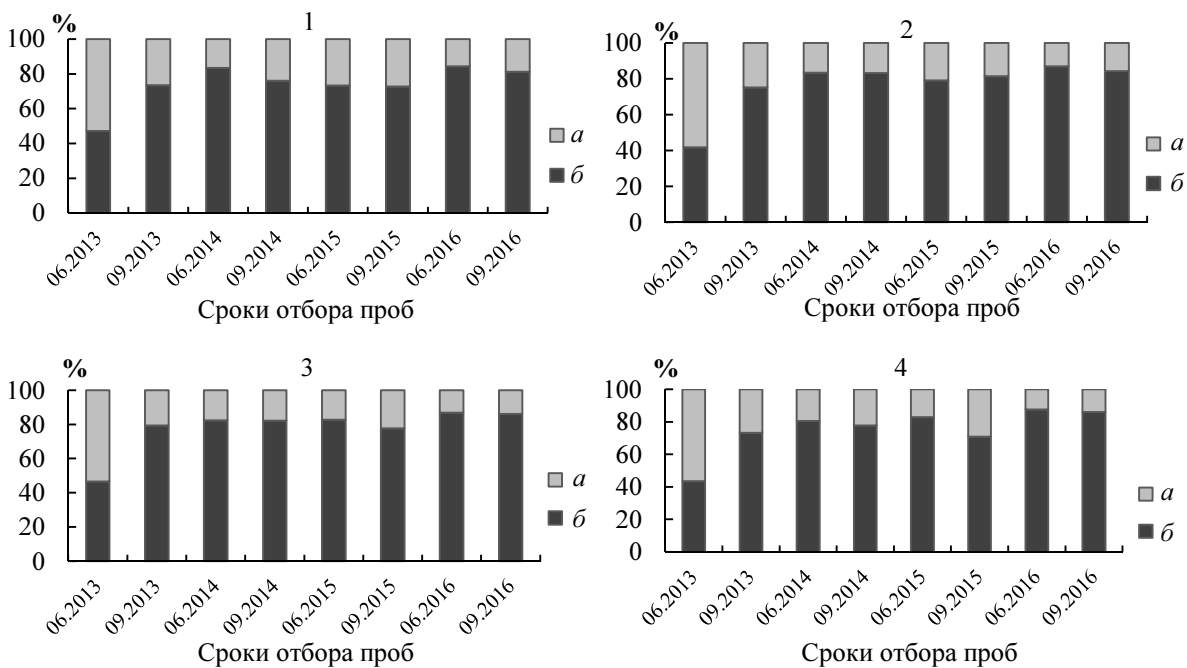


Рис. 4. Доля углерода нефтепродуктов (*a*) и гумуса (*б*) в загрязненной почве на экспериментальных участках г. Каскама.  
 Способы рекультивации: 1 – рыхление; 2 – NPK; 3 – NPK + Бамил; 4 – NPK + Омуг  
 Fig. 4. The proportion of oil products (*a*) and humus (*б*) in contaminated soil in the experimental sites of Kaskama Mountain.  
 Methods of remediation: 1 – loosening; 2 – NPK; 3 – NPK + Bamil; 4 – NPK + Omug

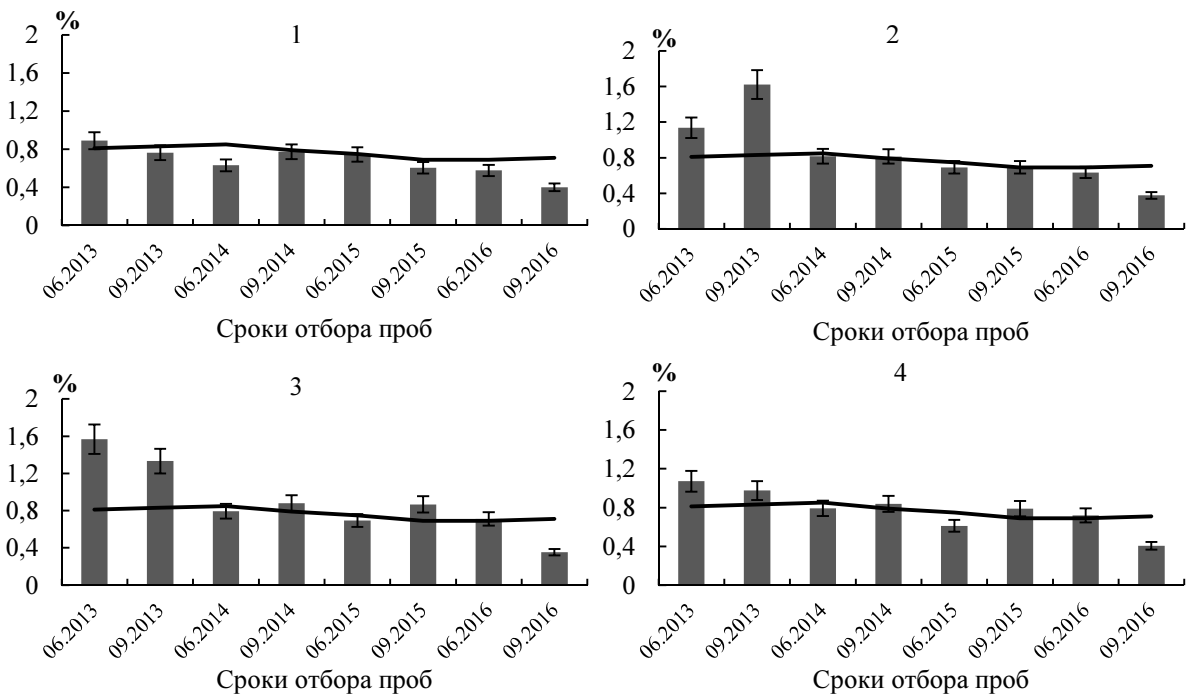


Рис. 5. Содержание водорастворимого органического углерода (% от органического вещества гумуса) в загрязненной почве на экспериментальных участках г. Каскама.  
 Способы рекультивации: 1 – рыхление; 2 – NPK; 3 – NPK + Бамил; 4 – NPK + Омуг.  
 Линией показано содержание водорастворимого углерода в чистой почве  
 Fig. 5. The content of water-soluble organic carbon (% of the organic matter of humus) in contaminated soil in the experimental sites of Kaskama Mountain.  
 Methods of remediation: 1 – loosening; 2 – NPK; 3 – NPK + Bamil; 4 – NPK + Omug.  
 The line shows the water-soluble organic carbon content in the clean soil

Снижение содержания водорастворимого углерода, вероятно, происходило в результате его активной утилизации микробиотой, численность которой многократно увеличивалась в процессе биорекультивации почв [23].

#### Динамика содержания водорастворимых фосфатов

Одним из основных биогенных элементов почвы, жизненно необходимым для растений и микроорганизмов, является фосфор. В почвах легкого гранулометрического состава, к которым относятся подзолы Кольского полуострова, он присутствует в небольших количествах. Содержание подвижных фосфатов в органогенном горизонте чистой почвы составляет  $10,12 \pm 1,61$  мг/100 г, данный показатель на загрязненных участках –  $2,60 \pm 0,19$  мг/100 г. Проведение биорекультивации почв привело к достоверному ( $t = 6,19-18,96$ , при  $p = 0,05$  и  $df = 4$ ) увеличению содержания фосфатов в почве до  $11,54-15,36$  мг/100 г (рис. 6).

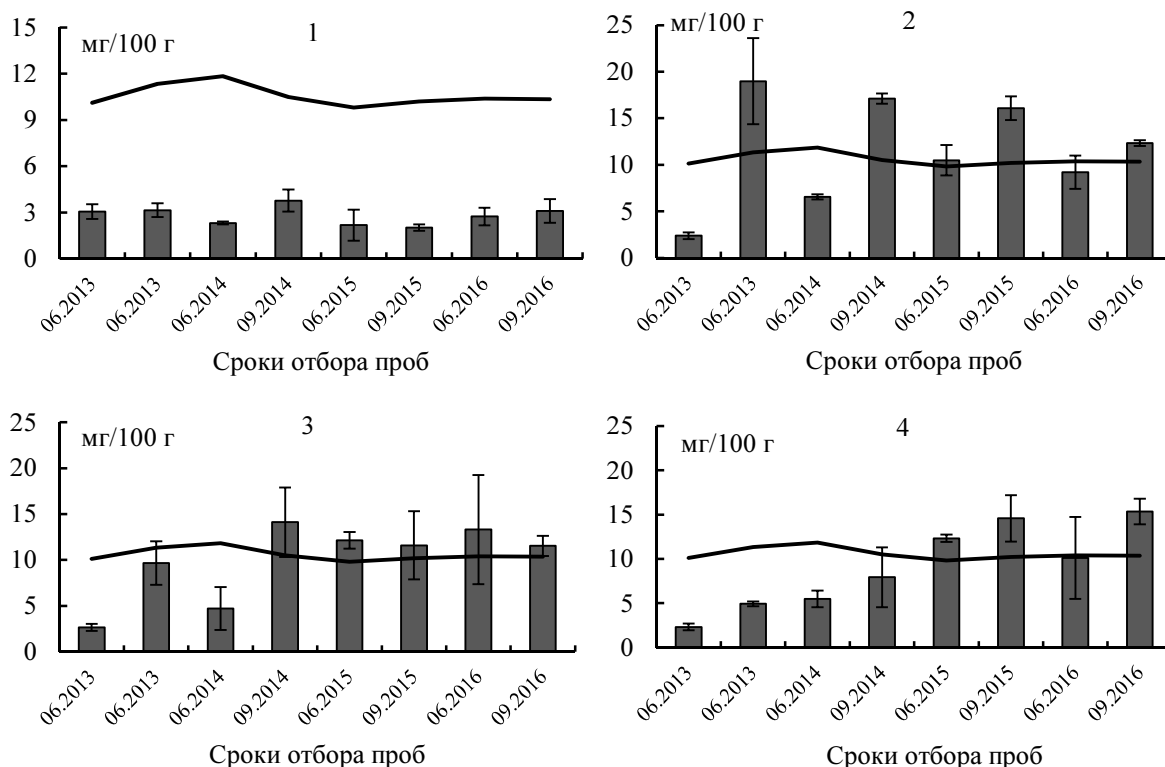


Рис. 6. Содержание подвижных фосфатов (мг/100 г) в загрязненной почве на экспериментальных участках г. Каскама. Способы рекультивации: 1 – рыхление; 2 – NPK; 3 – NPK + Бамил; 4 – NPK + Омуг. Линией показано содержание подвижных фосфатов в чистой почве  
Fig. 6. The content of mobile phosphates (mg/100g) in contaminated soil in the experimental sites of Kaskama Mountain. Methods of bioremediation: 1 – loosening; 2 – NPK; 3 – NPK + Bamil; 4 – NPK + Omug. The line shows the mobile phosphates content in the clean soil

Внесение в почву минеральных удобрений вызывает резкое увеличение содержания фосфатов в течение первого вегетационного периода. На следующий сезон содержание подвижных фосфатов снижается. При совместном внесении минеральных и органических удобрений резкого увеличения содержания фосфатов не происходит, что может свидетельствовать о его активном вовлечении в круговорот элементов-биофилов и участии в почвообразовательных процессах. Таким образом, использование органических удобрений позволяет предотвратить вынос водорастворимых фосфатов из почвы, обеспечить микроорганизмы и растения доступными элементами питания в сбалансированном режиме.

#### Состояние *Festuca pratensis* на экспериментальных участках

Наблюдения, проведенные в конце первого вегетационного сезона после посева растений, показали, что растения были в угнетенном состоянии, рост заторможен, высота составляла не более 5 см, цвет изменялся от бледно-зеленого до желтого (рис. 7, а). Угнетение роста и развития растения проявлялось



на протяжении следующих 2-х сезонов как в вариантах с внесением удобрений, так и без них. Через 3 сезона состояние травостоя на экспериментальных участках с использованием органических удобрений было значительно лучше, чем в варианте с внесением только минеральных удобрений. На участке без проведения биоремедиации вследствие неблагоприятных эдафических условий все растения овсяницы погибли (рис. 7, б).



Рис. 7. Состояние посевов *Festuca pratensis* на экспериментальных участках г. Каскама через 3 месяца (а) и 3 года (б) после начала работ.

Способы рекультивации: 1 – рыхление; 2 – NPK; 3 – NPK + Омуг; 4 – NPK + Бамил  
Fig. 7. The condition of *Festuca pratensis* in the experimental sites of Kaskama Mountain in 3 months (a) and 3 years (b) after the start of work.

Methods of remediation: 1 – loosening; 2 – NPK; 3 – NPK + Omug; 4 – NPK + Bamil

### Заключение

Исследование различных методов биорекультивации антропогенно нарушенных почв, расположенных на склонах г. Каскама, показало, что в условиях высокой степени деградации органогенного горизонта наиболее хорошие результаты дает использование органических удобрений. Данный прием позволяет частично предотвратить вынос биогенных элементов, в частности фосфора, который наблюдается при использовании только минеральных удобрений, и сбалансировать питательный режим почв.

На основании результатов исследований выявлено, что при восстановлении почвы методами биорекультивации увеличивается содержание органического углерода гумуса и подвижных фосфатов в почве. В то же время вследствие активной деятельности микроорганизмов снижается содержание водорастворимого углерода.

В результате проводимых мероприятий изменяются эдафические условия, которые оказывают положительное влияние на микробиоту, осуществляющую трансформацию органического вещества, в том числе и углеводородов нефтепродуктов. Улучшение трофического режима почв и снижение фитотоксичности также позволяет проводить на загрязненных участках работы по фиторекультивации. Таким образом, методом биорекультивации удалось добиться снижения концентрации углеводородов на отдельных участках на 60 % от исходного уровня.

Проведенные исследования показали, что несмотря на сложные условия выполнения работ (природно-климатические условия района, расположение загрязненных территорий на склонах горы, высокая степень деградации почвы), возможно восстановление почв антропогенно нарушенных территорий с использованием приемов биорекультивации.

### Благодарности

Автор выражает благодарность сотрудникам лаборатории экологии микроорганизмов Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН Корнейковой М. В., Фокиной Н. В. и Редькиной В. В., а также директору Государственного природного заповедника "Пасвик" Чижову В. Е. и замдиректора Поликарповой Н. В. за помощь в проведении данных исследований.

Исследования выполнены в рамках темы НИР "Физиолого-биохимические особенности и разнообразие микробиоты арктических природных сред и их биоремедиация при загрязнении" (№ гос. рег.: АААА-А18-118021490073-6).

### Библиографический список

1. Гилязов М. Ю. Изменение некоторых агрохимических свойств выщелоченного чернозема при загрязнении его нефтью // *Агрохимия*. 1980. № 12. С. 72–75.
2. Солнцева Н. П. Общие закономерности трансформации почв в районах добычи нефти (формы проявления, основные процессы, модели) // *Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем* : сб. науч. тр. / отв. ред. М. А. Глазовская. М. : Наука, 1988. С. 23–42.
3. Габбасова И. М., Абдрахманов Р. Ф., Хабиров И. К., Хазиев Ф. Х. Изменение свойств почв и состава грунтовых вод при загрязнении нефтью и нефтепромысловыми сточными водами в Башкирии // *Почвоведение*. 1997. № 11. С. 1362–1372.
4. Просянкин Е. В., Смольский Е. В., Гуца А. С. Влияние загрязнения нефтью на почвы Юго-запада Нечерноземной зоны России // *Агрохимия*. 2012. № 7. С. 74–86.
5. Булуктаев А. А., Сангаджиева Л. Х., Даваева Ц. Д. Изменение химических свойств почв Калмыкии при нефтяном загрязнении в модельном эксперименте // *Полевые исследования*. 2017. Т. 4, № 4 (4). С. 126–137.
6. Назаров А. В., Ананьина Л. Н., Ястребова О. В., Плотникова Е. Г. Влияние нефтяного загрязнения на бактерии дерново-подзолистой почвы // *Почвоведение*. 2010. № 12. С. 1489–1493.
7. Корнейкова М. В., Евдокимова Г. А., Лебедева Е. В. Комплексы микроскопических грибов в загрязненных нефтепродуктами агроземах на севере Кольского полуострова // *Микология и фитопатология*. 2011. Т. 45, № 3. С. 249–256.
8. Хабибуллина Ф. М., Ибатуллина И. З. Трансформация сообщества микромицетов в торфяно-глебовых почвах Крайнего Севера при нефтяном загрязнении // *Теоретическая и прикладная экология*. 2011. № 3. С. 76–85.
9. Koronelli T. V. Principles and methods for raising the efficiency of biological degradation of hydrocarbons in the environment: Review // *Applied Biochemistry and Microbiology*. 1996. V. 32, N 6. P. 519–525.
10. Das N., Chandran P. Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview // *Biotechnology Research International*. 2011. V. 2011. Article ID 941810. DOI: <http://dx.doi.org/10.4061/2011/941810>.
11. Adams G. O., Fufeyin P. T., Okoro S. E., Ehinomen I. Bioremediation, biostimulation and bioaugmentation: a review // *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*. 2015. V. 3, Iss. 1. P. 28–39.
12. Логинов О. Н., Силищев Н. Н., Бойко Т. Ф., Галимзянова Н. Ф. Биорекультивация: микробиологические технологии очистки нефтезагрязненных почв и техногенных отходов / отв. ред. И. Н. Гоголов. М. : Наука, 2009. 112 с.
13. Воронкова Н. А., Храмов И. Ф., Мирошниченко А. А. Рекультивация техногенно нарушенных ландшафтов Крайнего Севера // *Экология и промышленность России*. 2018. Т. 22, № 8. С. 19–23.
14. Алисов Б. П. *Климат СССР*. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1956. 127 с.
15. Лаврова М. А. Четвертичная геология Кольского полуострова. М. ; Л. : Изд-во Акад. наук СССР [Ленингр. отд-ние], 1960. 234 с.
16. *Летопись природы заповедника "Пасвик"* : [сборник]. Кн. 15 (2008) / [сост. и отв. ред. Н. В. Поликарпова]. Рязань : Изд-во Рязан. обл. ин-та развития образования, 2011. 314 с.
17. Горячкин С. В. Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, эволюция) = *Soil cover of the North (patterns, genesis, ecology, evolution)*. М. : ГЕОС, 2010. 414 с.
18. Перевезев В. Н. Почвы тундр Северной Фенноскандии = *Tundra soils of Northern Fennoscandia Peninsula* / под ред. Г. А. Евдокимовой. Апатиты : КНЦ РАН, 2001. 127 с.
19. Архипченко И. А. Биоудобрения из отходов животноводства – перспективный субстрат для рекультивации нефтезагрязненных и нарушенных земель // *мат. докладов VI съезда Общества почвоведов им. В. В. Докучаева. Всерос. с междунар. участием науч. конф. "Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования"*, Петрозаводск ; Москва, 13–18 августа 2012 г. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2012. Кн. 3. С. 520.
20. Солнцева Н. П. *Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов*. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1998. 369 с.
21. Власенко О. А. Содержание и запасы углерода органического вещества в агроценозах многолетних трав Красноярской лесостепи // *Проблемы современной аграрной науки* : мат. междунар. заочной науч. конф. Красноярск, 15 окт. 2015 г. Красноярск : Изд-во КГАУ, 2015. С. 6–9.
22. Прокушкин А. С., Гавриленко И. В., Прокушкин С. Г., Абаймов А. П. Поступление растворенного органического углерода в почву лиственничников в условиях сплошной мерзлоты Средней Сибири // *Лесоведение*. 2005. № 5. С. 41–48.
23. Мязин В. А., Фокина Н. В., Корнейкова М. В. Биологическая активность как показатель эффективности восстановления нефтезагрязненных почв // *Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем* : мат. XIV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Киров, 5–8 дек. 2016 г. Киров : ВятГУ, 2016. Кн. 1. С. 190–195.



## References

1. Gilyazov M. Yu. Izmeneniye nekotorykh agrokhimicheskikh svoystv vyshchelochennogo chernozema pri zagryaznenii yego neft'yu [Changes in some agrochemical properties of leached chernozem when its oil polluted] // *Agrokimiya*. 1980. N 12. P. 72–75.
2. Solntseva N. P. Obshchiye zakonomernosti transformatsii pochv v rayonakh dobychi nefi (formy proyavleniya, osnovnyye protsessy, modeli) [General laws of soil transformation in oil production areas (Forms of manifestation, main processes and models)] // *Vosstanovleniye neftezagryaznennykh pochvennykh ekosistem* : sb. nauch. tr. / otv. red. M. A. Glazovskaya. M. : Nauka, 1988. P. 23–42.
3. Gabbasova I. M., Abdrakhmanov R. F., Khabirov I. K., Khaziyev F. KH. Izmeneniye svoystv pochv i sostava gruntovykh vod pri zagryaznenii neft'yu i neftepromyslovymi stochnymi vodami v Bashkirii [Change of soil properties and groundwater composition polluted by oil and oil wastewater in Bashkiria] // *Pochvovedeniye*. 1997. N 11. P. 1362–1372.
4. Prosyannikov Ye. V., Smol'skiy Ye. V., Gushcha A. S. Vliyaniye zagryazneniya neft'yu na pochvy Yugo-zapada Nechernozemnoy zony Rossii [The effect of oil pollution on the soil of the South-West of the Nonchernozem Zone of Russia] // *Agrokimiya*. 2012. N 7. P. 74–86.
5. Buluktayev A. A., Sangadzhiev L. Kh., Davayeva Ts. D. Izmeneniye khimicheskikh svoystv pochv Kalmykii pri neftyanom zagryaznenii v model'nom eksperimente [Change of the chemical properties of soils in Kalmykia during oil pollution in a model experiment] // *Polevyie issledovaniya*. 2017. V. 4, N 4 (4). P. 126–137.
6. Nazarov A. V., Anan'ina L. N., Yastrebova O. V., Plotnikova Ye. G. Vliyaniye neftyanogo zagryazneniya na bakterii dernovo-podzolistoy pochvy [Influence of oil pollution on bacteria of sod-podzolic soil] // *Pochvovedeniye*. 2010. N 12. P. 1489–1493.
7. Korneykova M. V., Yevdokimova G. A., Lebedeva Ye. V. Kompleksy mikroskopicheskikh gribov v zagryaznennykh nefteproduktami agrozemakh na severe Kol'skogo poluostrova [Complexes of microscopic fungi in petroleum-contaminated agrozems under the Kola North conditions] // *Mikologiya i fitopatologiya*. 2011. V. 45, N 3. P. 249–256.
8. Khabibullina F. M., Ibatullina I. Z. Transformatsiya soobshchestva mikromitsetov v torfyano-gleyevykh pochvakh Kraynego Severa pri neftyanom zagryaznenii [Transformation of the micromycetes community in peat-gley soils of the Far North with oil pollution] // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2011. N 3. P. 76–85.
9. Koronelli T. V. Principles and methods for raising the efficiency of biological degradation of hydrocarbons in the environment: Review // *Applied Biochemistry and Microbiology*. 1996. V. 32, N 6. P. 519–525.
10. Das N., Chandran P. Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview // *Biotechnology Research International*. 2011. V. 2011. Article ID 941810. DOI: <http://dx.doi.org/10.4061/2011/941810>.
11. Adams G. O., Fufeyin P. T., Okoro S. E., Ehinomen I. Bioremediation, biostimulation and bioaugmentation: a review // *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*. 2015. V. 3, Iss. 1. P. 28–39.
12. Loginov O. N., Silishchev N. N., Boyko T. F., Galimzyanova N. F. Biorekul'tivatsiya: mikrobiologicheskiye tekhnologii oчитki neftezagryaznennykh pochv i tekhnogennykh otkhodov [Bioremediation: microbiological technologies for cleaning oil-contaminated soils and industrial wastes] / otv. red. I. N. Gogotov. M. : Nauka, 2009. 112 p.
13. Voronkova N. A., Khramtsov I. F., Miroshnichenko A. A. Rekul'tivatsiya tekhnogenno narushennykh landshaftov Kraynego Severa [Recultivation of technologically disturbed landscapes of the Far North] // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2018. V. 22, N 8. P. 19–23.
14. Alisov B. P. *Klimat SSSR* [The climate of the USSR]. M. : Izd-vo Mosk. un-ta, 1956. 127 p.
15. Lavrova M. A. *Chetvertichnaya geologiya Kol'skogo poluostrova* [Quaternary Geology of the Kola Peninsula]. M. ; L. : Izd-vo Akad. nauk SSSR [Leningr. otd-niye], 1960. 234 p.
16. *Letopis' prirody zapovednika "Pasvik"* [Chronicle of Pasvik nature reserve]: [sbornik]. Kn. 15 (2008) / [sost. i otv. red. N. V. Polikarpova]. Ryazan' : Izd-vo Ryazan. obl. in-ta razvitiya obrazovaniya, 2011. 314 p.
17. Goryachkin S. V. *Pochvennyy pokrov Severa (struktura, genezis, ekologiya, evolyutsiya)* [Soil cover of the North (patterns, genesis, ecology, evolution)]. M. : GEOS, 2010. 414 p.
18. *Pereverzev V. N. Pochvy tundr Severnoy Fennoskandii* [Tundra soils of Northern Fennoscandia Peninsula] / pod red. G. A. Yevdokimovoy. Apatity : KNTS RAN, 2001. 127 p.
19. Arkhipchenko I. A. Bioudobreniya iz otkhodov zhivotnovodstva – perspektivnyy substrat dlya rekul'tivatsii neftezagryaznennykh i narushennykh zemel' [Bio-fertilizers from livestock waste - a promising substrate for the remediation of oil-contaminated and disturbed lands] // *mat. dokladov VI s"yezda Obshchestva pochvedov im. V. V. Dokuchayeva. Vseros. s mezhdunar. uchastiyem nauch. konf. "Pochvy Rossii: sovremennoye sostoyaniye, perspektivy izucheniya i ispol'zovaniya"*, Petrozavodsk ; Moskva, 13–18 avgusta 2012 g. Petrozavodsk : KarNTS RAN, 2012. Kn. 3. P. 520.
20. Solntseva N. P. *Dobycha nefi i geokhimiya prirodnykh landshaftov* [Petroleum production and geochemistry of natural landscapes]. M. : Izd-vo Mosk. un-ta, 1998. 369 p.

21. Vlasenko O. A. Soderzhaniye i zapasy ugleroda organicheskogo veshchestva v agrotsenozakh mnogoletnikh trav Krasnoyarskoy lesostepi [Content and carbon stocks of organic matter in the agrocenoses of perennial grasses of the Krasnoyarsk forest-steppe] // Problemy sovremennoy agrarnoy nauki : mat. mezhdunar. zaochnoy nauch. konf. Krasnoyarsk, 15 okt. 2015 g. Krasnoyarsk : Izd-vo KGAU, 2015. P. 6–9.

22. Prokushkin A. S., Gavrilenko I. V., Prokushkin S. G., Abaimov A. P. Postupleniye rastvorennoho organicheskogo ugleroda v pochvu listvennichnikov v usloviyakh sploshnoy merzloty Sredney Sibiri [Introduction of dissolved organic carbon in the soil of larch forests under the continuous permafrost of Central Siberia] // Lesovedeniye. 2005. N 5. P. 41–48.

23. Myazin V. A., Fokina N. V., Korneykova M. V. Biologicheskaya aktivnost' kak pokazatel' effektivnosti vosstanovleniya neftezagryaznennykh pochv [Biological activity as an indicator of the effectiveness of the oil-polluted soils recovery] // Biodiagnostika sostoyaniya prirodnykh i prirodno-tekhnogennykh sistem : mat. XIV Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem, Kirov, 5–8 dek. 2016 g. Kirov : VyatGU, 2016. Kn. 1. P. 190–195.

#### **Сведения об авторе**

**Мязин Владимир Александрович** – мкр Академгородок, 14а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: myazinv@mail.ru;

ул. Корпусная, 18, г. Санкт-Петербург, Россия, 197110; Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, ст. науч. сотрудник

**Myazin V. A.** – 14a, Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Cand. of Biol. Sci., Senior Researcher; e-mail: myazinv@mail.ru; 18, Korpusnaya Str., Saint-Petersburg, Russia, 197110; Saint-Petersburg Scientific-Research Centre of Ecological Safety RAS, Cand. of Biol. Sci., Senior Researcher

V. A. Myazin

## **The dynamic of some biogenic elements content in the soil during remediation of oil contaminated sites**

The possibility of bioremediation of territories polluted with oil products in the difficult natural and climatic conditions of the Kola North has been shown. The work has been carried out in the mountain tundra in the north-west of the Murmansk Region. On the site contaminated with diesel fuel 15–20 years ago, the vegetation cover and the organic soil horizon were destroyed. The type of soil on which the research has been carried out is Entic Podzol. During the restoration work, bioremediation methods have been used, and the data about the change of the organic carbon and mobile phosphates content have been obtained. The use of mineral and organic fertilizers increased the carbon of organic humus matter in 1.6–2.1 times and decreased the carbon of petroleum products in 3.3–4.8 times in the soil. At the same time, the fraction of water-soluble carbon of humus decreased in 1.6–2.0 times. The use of fertilizers during bioremediation increased the content of mobile phosphates in 4.3–6.6 times to the values of pure areas. The use of organic fertilizers prevents the leaching of introduced biogenic elements from the sites located on the slopes. The setting of a favorable nutrient condition and decrease of hydrocarbons content have a positive effect on the growth of plants (*Festuca pratensis* Huds.) in experimental plots. Reducing phytotoxicity of the soil allows for phytorecultivation and the self-overgrowing of plots by native plant species. The results of this study can be used to develop the theoretical basis for improving the efficiency of bioremediation in areas of the Far North, as well as when planning and carrying out work to restore polluted and disturbed areas located on slopes.

**Key words:** Kola North, mountain tundra, oil-contaminated soils, bioremediation, biogenic elements of soils

**Article info:** received 09.10.2018; received in revised 24.01.2019