

УДК 632.122.2:631.46:581.52

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОГОРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ГРУНТОВ

Тотубаева Н.Э., Жумабаева М.Б., Кожобаев К.А.

Кыргызско-Турецкий Университет Манас, Бишкек, e-mail: nurzat.totubaeva@manas.edu.kg,
zhumabaeva.94@list.ru, kanatbek.kojobaev@manas.edu.kg

В работе представлены результаты экспериментов фиторемедиации нефтезагрязненной почвы полигона опасных отходов рудника Кумтор. Целью настоящей работы был подбор высокогорных растений, произрастающих в суровых условиях высокогорья рудника Кумтор на высоте более 3600 м над уровнем моря, для фиторемедиации грунтов, загрязненных нефтепродуктами. Были отобраны 2 вида местных растений: овсяница луговая (*Festuca pratensis*) и плевел многолетний (*Lolium perenne*). Изучались такие параметры тест-культур, как всхожесть, энергия прорастания, длина подземной и надземной частей. Отмечено, что умеренное нефтезагрязнение грунтов оказывает ростстимулирующее действие на всхожесть и токсическое действие на рост и развитие растений на более поздних сроках. К 20-м суткам произрастания отмечалось ростстимулирующее действие, а к 40-м суткам роста усиливалось токсическое воздействие. К 40-м суткам эксперимента длина корня у плевела многолетнего (*Lolium perenne*) была длиннее в 2,4 раза, а длина стебля – в 8,1 раза, чем у овсяницы луговой (*Festuca pratensis*). Рост тест-культур на фоновом образце к 40-м суткам преобладал над испытываемыми вариантами, и длина корня в фоновом образце была в 9,8 раза длиннее по сравнению с плевелом многолетним (*Lolium perenne*). Но, несмотря на эти факты, испытываемые растения были устойчивы и проявляли способность произрастать на нефтезагрязненной почве. Возможно, что они, произрастая в суровых климатических зонах высокогорья, уже выработали стрессоустойчивые способности, которые успешно могут быть использованы в фиторемедиации нефтезагрязненных почв на завершающем этапе очистных работ.

Ключевые слова: нефтезагрязненная почва, фиторемедиация, фитотоксичность, растения, высокогорье, Кумтор

POSSIBILITIES OF USING ALPINE PLANTS FOR PHYTOREMEDIATION OF OIL-CONTAMINATED SOILS

Totubaeva N.E., Zhumabaeva M.B., Kojobaev K.A.

Kyrgyz-Turkish Manas University, Bishkek, e-mail: nurzat.totubaeva@manas.edu.kg,
zhumabaeva.94@list.ru, kanatbek.kojobaev@manas.edu.kg

The paper presents the results of experiments on phytoremediation of oil-contaminated soil at the Kumtor mine hazardous waste landfill. The aim of this work was the selection of plants growing in the harsh conditions of the highlands of the Kumtor mine at an altitude of more than 3600 – 4200 m. for phytoremediation of soils contaminated with oil products. 2 species of local plants were selected: meadow fescue (*Festuca pratensis*) and perennial chaff (*Lolium perenne*). We studied such parameters of test cultures as germination, germination energy, the length of the underground and aboveground parts. It was noted that moderate oil pollution of the soil has a growth-promoting effect on germination, and a toxic effect on the growth and development of plants at a later date. By the 40th day of the experiment, the root length of the chaff perennial (*Lolium perenne*) was 2.4 times longer, and the stem length was 8.1 times that of meadow fescue (*Festuca pratensis*). By the 40th day, the growth of test cultures on the background sample prevailed over the test variants, and the root length in the background sample was 9.8 times longer compared to the perennial chaff (*Lolium perenne*). But, despite these facts, the test plants were stable and showed the ability to grow on oil-contaminated soil, it is possible that they, already growing in the harsh climatic zones of the highlands, have developed stress-resistant abilities that can be successfully used in phytoremediation of oil-contaminated soils at the final stage of treatment work.

Keywords: oil-contaminated soil, phytoremediation, phytotoxicity, plants, highlands, Kumtor

Нефть и нефтепродукты сопровождаются сильным негативным воздействием на состояние почв, они способны привести к изменениям в их структуре, составе и свойствах, что отрицательно сказывается на их плодородии [1]. Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами оказывает негативное воздействие на растения, главным образом из-за изменения их физико-химических свойств и торможения интенсивности биологических процессов [2]. Естественные процессы самоочищения и восстановления почв, загрязненных нефтью, протекают достаточно медленно, особенно при

высоких уровнях загрязнения и в условиях высокогорья, где биологические процессы замедлены природными лимитирующими факторами.

Рудник Кумтор является одним из немногих по труднодоступности высокогорных рудников мира. Золоторудное месторождение Кумтор расположено на северо-западном склоне хребта Ак-Шийрак Тянь-Шаньских гор, в северо-восточной части Кыргызской Республики, примерно в 60 км к югу от озера Иссык-Куль и в 60 км к северо-западу от границы с КНР. Рудник и его вспомогательные объекты расположе-

ны на высоте от 3600 до 4400 м над уровнем моря. Район месторождения характеризуется суровыми климатическими условиями (среднегодовая температура равна $-7,8^{\circ}\text{C}$, снег круглый год, активные ледники и вечная мерзлота, простирающаяся на глубину до двух-трех сотен метров). В результате крупномасштабной деятельности предприятия Кумтор, в 2015 был введен в эксплуатацию полигон опасных отходов, где также накапливаются грунты, загрязненные нефтепродуктами. Одним из приоритетов компании «Кумтор Голд Компани» является снижение отрицательного воздействия на окружающую среду и эффективное использование земельных ресурсов усовершенствованием стратегии по управлению отходами. Имеется опыт успешной реабилитации таких грунтов с применением биологических методов [3; 4]. С целью завершения реабилитации грунтов, загрязненных нефтепродуктами, были продолжены работы по восстановлению максимально первоначальной структуры изучаемых грунтов. Одним из эффективных приемов реабилитации таких почв признаны методы фиторемедиации [5]. При высеве растений, обладающих устойчивостью к росту на грунтах, загрязненных нефтепродуктами, они используют углеводороды нефти в качестве дополнительного питания, при этом они содействуют улучшению газовой среды нефтесодержащей почвы, обогащая ее при этом различными активными соединениями, в итоге стимулируя рост числа микроорганизмов и ускоряя разложение нефти и нефтепродуктов [6].

Существенным недостатком реабилитации загрязненных почв при помощи растений является их уязвимость при высоких концентрациях нефтепродуктов, что ограничивает их применение. Поэтому приемы фиторемедиации целесообразно применять в качестве завершающего этапа реабилитационных мероприятий. Применение метода фиторемедиации при реабилитации нефтесодержащих грунтов в условиях высокогорья, на высоте более чем 3000 м н.у.м. также сопредельно с лимитирующими факторами природной среды, такими как тепло, свет. Однако подбор и оптимизация метода фиторемедиации грунтов, загрязненных нефтепродуктами, актуальны при завершении реабилитационных мероприятий и имеют большое практическое и экологическое значение, так как позволяют изымать из тела полигона и возвращать

загрязненные нефтепродуктами грунты для их последующего использования, тем самым внося вклад в рациональное использование природных ресурсов высокогорья. Таким образом, данный подход улучшит самоочищающую способность загрязненных грунтов, позволит использовать очищенные экологически безвредными способами грунты, которые могут быть возвращены на место выемки или использоваться в качестве изолирующего и рекультивационного материала, а также позволит уменьшить объем полигонов опасных отходов рудника Кумтор изъятием из его тела очищенных грунтов.

Целью нашей работы был подбор местных видов высокогорных растений для фиторемедиации грунтов, загрязненных нефтепродуктами, предварительно очищенных методом биоремедиации.

Материалы и методы исследования

Отбор проб был произведен из полигона опасных отходов рудника Кумтор, располагающегося на абсолютной высоте 3665 м н.у.м. Почвенные образцы отбирались из верхнего слоя (0–15 см) методом «конверта», с пробной площадки размером 1x1 м путем составления объединенной пробы массой 400–500 г. Фоновый образец почвы был взят на расстоянии 2000 м от полигона. Отбор почвенных проб проводился в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-2017 и ГОСТ 28168-89. Определение концентрации нефтепродуктов проводилось гравиметрическим методом (методическое указание по определению НП. РД 52.18. 647 – 2003), в аккредитованной лаборатории ГАООСЛХ КР. рН почвы измеряли калибровочным Horiba portable pH meter, В-213, в соотношении почвы и дистиллированной воды 1:2,5 [4]. Для проведения фиторемедиационных работ были взяты образцы почв после биоремедиации, где содержание нефтепродуктов составляло 980 мг/кг, а в фоновом образце – 100 мг/кг. В качестве тест-культур были взяты семена двух растений, произрастающих в природно-климатических условиях рудника Кумтор: овсяница луговая (*Festuca pratensis*), плевел многолетний (*Lolium perenne*).

Семена используемых растений предварительно калибровали, выбрав семена одного размера и визуально здоровые. В качестве вегетационных сосудов использовали пластиковые емкости. С равномерным распределением по поверхности в каждый из сосудов производили посадку

семян тест-культур. В пластиковые контейнеры высевались с 3-кратной повторностью по 15 семян каждого растения. Тест-объекты выращивались при одинаковых внешних факторах воздействия: освещенность, приближенная к реальным условиям; влажность почвы, поддерживаемая на уровне 60% полной влагоемкости; температура, поддерживаемая на уровне 18–25 °С. Полив производился в одинаковое время и с одинаковым объемом.

Исследовались такие параметры тест-культур, как всхожесть (%), длина роста и корня (мм), которые выращивались на протяжении 40 суток. Тест-откликом служила всхожесть семян, изменения надземной и подземной части семян в сравнении с фоном. Всхожесть семян была рассчитана как число проросших семян, выраженное в процентах от общего количества высеянных семян.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью пакета Microsoft Excel, рассчитывали средние арифметические значения и стандартные отклонения признаков.

Результаты исследований и их обсуждение

Первый этап исследований, проведенный нами в 2018–2019 гг., включал в себя изучение биоразнообразия аборигенных штаммов микроорганизмов, выделенных из нефтезагрязненных грунтов, и изучение их биотехнологического потенциала [3]. Содержание нефтепродуктов в полевых условиях при проведенных биоремедиационных работах снизилось с 2320 до 980 мг/кг. Применение метода биоремедиации, значительно снизившего содержание нефтепродуктов в изучаемых пробах, позволило перейти к следующему этапу реабилитации изучаемых грунтов

методом фиторемедиации. Основной задачей фиторемедиации является подбор растений, обладающих способностью давать всходы и произрастать при заданных условиях [6; 7]. Лабораторные эксперименты показали, что при высоких концентрациях нефтепродукты оказывают токсическое действие на рост и развитие растений и, наоборот, обладают легким стимулирующим рост свойством – при низких концентрациях. Анализ всхожести семян показал, что при различных концентрациях нефтепродуктов в почве они оказывают как токсическое действие, так обладают и стимулирующим свойством, что было подтверждено и другими исследователями [8; 9].

На втором этапе исследований определялись всхожесть, энергию прорастания изучаемых растений, при выращивании на образцах почв, после проведения биоремедиационных работ, с концентрацией нефтепродуктов 980 мг/кг и на фоновой, не загрязненной нефтепродуктами почве.

Результаты изучения влияния нефтепродуктов на дальнейший рост и развитие проростков приведены в таблице.

Высокая всхожесть прорастания была отмечена у плевела многолетнего (*Lolium perenne*), в исследуемой почве его всхожесть составила 86,7%, а на фоновой почве – 70%.

У овсяницы луговой (*Festuca pratensis*) всхожесть в загрязненном грунте составила 73,3%, в то время как на фоновом образце – 60%.

Таким образом, плевел многолетний (*Lolium perenne*) показал высокую способность произрастать и давать высокую всхожесть при загрязнении почв нефтепродуктами, где всхожесть составила 86,7%, при 70% всхожести в фоновом варианте.

Параметры семян овсяницы луговой и плевела многолетнего

Тест-культуры	Длина корня, см		Длина стебля, см	
	Фон	№ 2	Фон	№ 2
20-е сутки				
Овсяница луговая (<i>Festuca pratensis</i>)	1,1 ± 0,05	1,7 ± 0,05	3,0 ± 0,05	4,4 ± 0,05
Плевел многолетний (<i>Lolium perenne</i>)	3,7 ± 0,05	2,4 ± 0,1	8,9 ± 0,05	8,8 ± 0,05
30-е сутки				
Овсяница луговая (<i>Festuca pratensis</i>)	2,3 ± 0,05	2,9 ± 0,05	3,8 ± 0,05	4,3 ± 0,05
Плевел многолетний (<i>Lolium perenne</i>)	6,3 ± 0,05	3,2 ± 0,1	10,8 ± 0,1	9,6 ± 0,05
40-е сутки				
Овсяница луговая (<i>Festuca pratensis</i>)	1,9 ± 0,05	1,1 ± 0,05	4,5 ± 0,05	4,6 ± 0,05
Плевел многолетний (<i>Lolium perenne</i>)	13,3 ± 0,15	3,5 ± 0,1	13,5 ± 0,05	12,7 ± 0,1

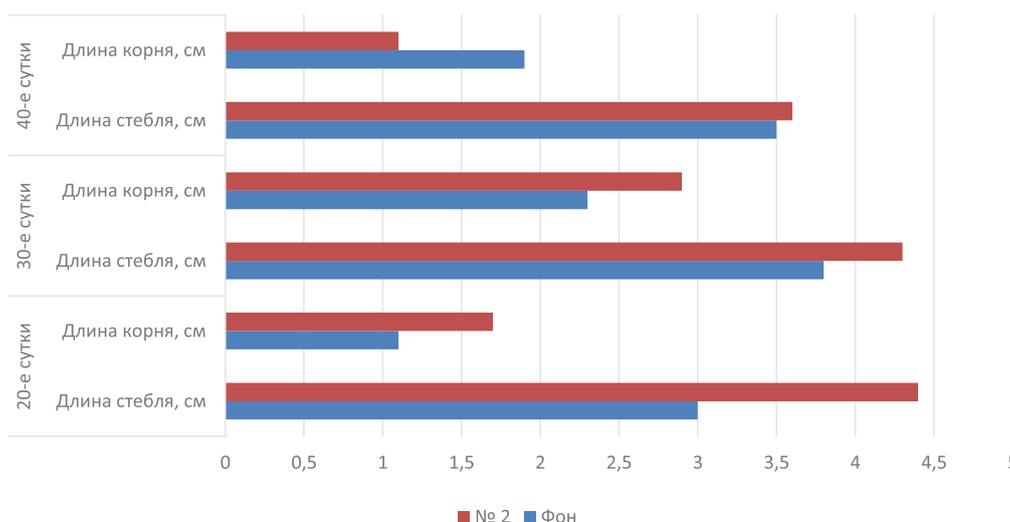


Рис. 1. Динамика роста овсяницы луговой, среднее отношение длины корня к длине побега

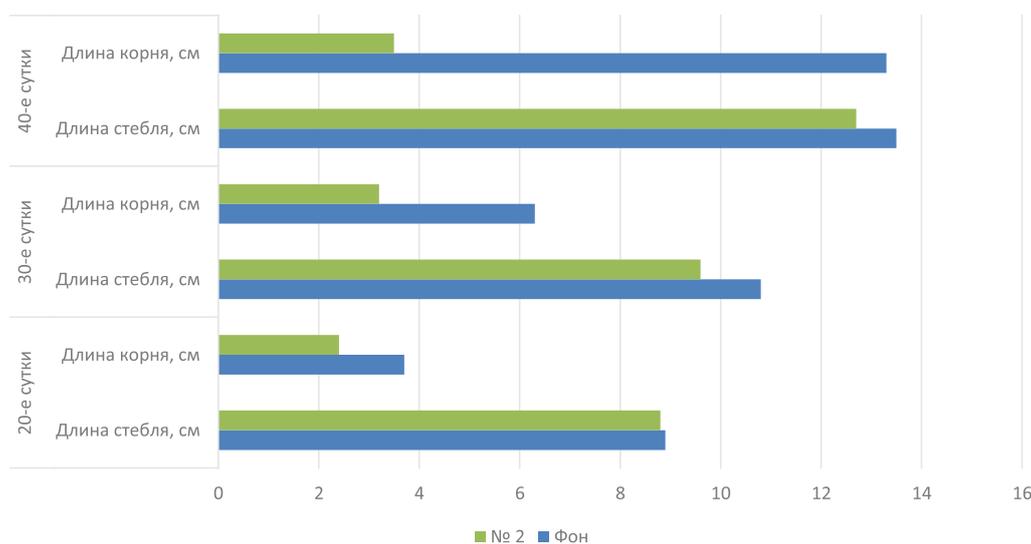


Рис. 2. Динамика роста плевела многолетнего, среднее отношение длины корня к длине побега

Проведенные исследования также показали, что при высокой всхожести семян корневая система плевела многолетнего (*Lolium perenne*) наиболее чувствительна к нефтяному загрязнению почв. В нефтезагрязненной почве длина корня плевела многолетнего (*Lolium perenne*) к 40-м суткам произрастания в нефтезагрязненной почве составила $3,5 \pm 0,1$ см, в то время как в фоновой почве его длина составила $13,3 \pm 0,15$ см, что короче в 9,8 раза по сравнению с фоновым вариантом.

Отмечен стимулирующий эффект нефтяного загрязнения почв на рост надземной части овсяницы луговой, длина кото-

рого на 20-е сутки составила $4,4 \pm 0,05$ см, однако на 40-е сутки длина фоновой образца сравнялась и составила $4,6 \pm 0,05$ см, при $4,5 \pm 0,05$ см в фоновом образце (таблица). Для визуализации данные таблицы приведены в виде диаграмм (рис. 1, 2).

Несмотря на стимулирующий эффект образцов с нефтяным загрязнением на всхожесть плевела многолетнего (*Lolium perenne*) на раннем этапе, к 40-м суткам преобладало его токсическое действие на рост корневой системы (рис. 2).

Так, на 40-е сутки эксперимента длина корня у плевела многолетнего (*Lolium perenne*) была длиннее в 2,4 раза, а длина

стебля – в 8,1 раза, чем у овсяницы луговой (*Festuca pratensis*).

Однако на 40-е сутки рост фоновых растений по всем параметрам преобладал над ростом растений в загрязненных почвах, что подтверждает фитотоксическое действие нефтепродуктов. Но, несмотря на то что длина корня в фоновом образце была в 9,8 раза длиннее по сравнению с изучаемым вариантом, испытываемые растения и на нефтезагрязненной почве были устойчивы и проявляли способность произрастать. Возможно, испытываемые растения, уже произрастая в суровых климатических зонах высокогорья, выработали стрессоустойчивые способности, которые успешно могут быть использованы в фиторемедиации нефтезагрязненных грунтов.

Выводы

Организация мероприятий по реабилитации грунтов, загрязненных нефтепродуктами в высокогорных золотодобывающих предприятиях, позволяет снизить объемы полигона опасных отходов – изъятием из него в определенной степени очищенных нефтезагрязненных грунтов, что может внести существенный вклад в устойчивое развитие высокогорного региона. Использование метода фиторемедиации на завершающем этапе очистки загрязненных нефтепродуктами грунтов в условиях высокогорья, на высотах более 3500 м н.у.м., актуально как с экологической, так и с экономической точек зрения. В целом установлено фитотоксическое действие нефтяного загрязнения почв на рост и произрастание растений. Однако к 20-м суткам произрастания отмечался стимулирующий эффект нефтяного загрязнения на рост корня и стебля растений, но на 40-е сутки оно все же оказывало угнетающее действие, в то время как фоновые образцы продолжали расти. Несмотря на выраженное фитотоксическое действие, высокогорные растения, такие как овсяница луговая (*Festuca pratensis*) и плевел многолетний (*Lolium perenne*), проявляли способность произрастать на загрязненном нефтепродуктами грунте, что важно для улучшения газовоздушного режима нефтезагрязненного грунта и улучшения его самоочищающей способности. Таким образом, метод фиторемедиации с использованием плевела многолетнего (*Lolium perenne*), типичного представителя высокогорья, способного произрастать на высоте 3000-4200 м н.у.м. и проявившего способность устойчиво произрастать при опре-

деленном уровне нефтяного загрязнения, может быть использован для реабилитации нефтезагрязненных грунтов на завершающем этапе их очистки. Эти исследования требуют продолжения – для изучения изменения физиологических свойств высокогорных растений, способных произрастать при высоких концентрациях нефтяного загрязнения грунтов высокогорья.

Список литературы / References

1. Королев В.А. Очистка грунтов от загрязнений. М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 365 с.
2. Talaibekova G.T., Kojobaev K.A., Tokpaeva Zh.K., Esenzhanova G.K., Totubaeva N.E. Фитотестирование нефтезагрязненных почв с помощью фитотолерантных растений // Проблемы региональной экологии. 2019. № 2. С. 20–24. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-12020.
3. Totubaeva N., Tokpaeva Z., Akjigit Uulu A., Kojobaev K. Microbiological Diversity and Biotechnological Potential of the Soil Ecosystem of a High-Mountainous Landfill. Polish Journal of Environmental Studies. 2019. № 28 (6). P. 4429–4435. DOI:10.15244/pjoes/99904.
4. Tokpaeva Zh.K., Akjigit U.A., Totubaeva N.E. Микробиологическое разнообразие почвы полигона опасных отходов рудника Кумтор // Наука, новые технологии и инновации. 2018. № 1. С. 31–34.
5. Tokpaeva Zh.K., Akjigit W.A., Totubaeva N.E. Microbiological diversity of the soil of the Kumtor mine hazardous waste landfill // Nauka, novyye tekhnologii i innovatsii. 2018. № 1. P. 31–34 (in Russian).
6. Anil K. G., Yunus M., Pandey P. K. Bioremediation: ecotechnology for the present century. International Society of Environmental Botanists. 2003. V. 9. № 2. P. 2–8.
7. Назаров А. В. Использование микробно-растительных ассоциаций для очистки почвы от нефтяного загрязнения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3-5. С. 1673–1675.
8. Nazarov A.V. The use of microbial-plant associations for cleaning the soil from oil pollution // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. 2013. V. 15. № 3-5. P. 1673–1675 (in Russian).
9. Гаврилин И.И., Шигапов А.М. Некоторые особенности биологических методов очистки почвогрунтов от загрязнения нефтепродуктами // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. № 3–1 (22). С. 43–46.
10. Gavrilin I.I., Shigapov A.M. Some features of biological methods of biological methods of purification of soil from oil pollution // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. 2014. № 3–1 (22). P. 43–46 (in Russian).
11. Гаврилин И.И., Шигапов А.М. Перспективы использования аборигенной микрофлоры для борьбы с нефтяным загрязнением // IV Информационной школы молодого ученого: сборник научных трудов. Екатеринбург: ЦНБ УрО РАН, 2014. С. 326–332.
12. Gavrilin I.I., Shigapov A.M. Prospects for the use of indigenous microflora to combat with oil pollution // IV Informatsionnoy shkoly mladogo uchenogo: sbornik nauchnykh trudov. Yekaterinburg: TSNB UrO RAN, 2014. P. 326–332 (in Russian).
13. Назаров А.В. Влияние нефтяного загрязнения почвы на растения // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2007. № 5. С. 134–141.
14. Nazarov A.V. Influence of oil pollution of the soil on plants // Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Biologiya. 2007. № 5. P. 134–141 (in Russian).