

УДК 504.05

DOI: 10.52531/1682-1696-2025-25-3-53-59

Научная статья

EDN: GTIYRI

ИННОВАЦИОННАЯ ПРИРОДОПОДОБНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АКТИВАЦИИ САМОЗАРАСТАНИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

**С.В. Остакх, О.С. Остакх,
А.В. Головенко, А.А. Смирнова**
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ИМЕНИ И.М. ГУБКИНА, МОСКВА,
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

Целью настоящей работы является исследование природоподобной технологии активации самозарастания нефтезагрязненных земель с использованием утилизируемого бурового шлама в качестве компонента почвоподобных смесей для проведения рекультивационных работ. Понимание механизмов и специфики процесса самозарастания даст возможность разработать меры по его ускорению и таким образом сократить или исключить запланированный комплекс мероприятий по рекультивации земель. Реализация рассмотренной природоподобной технологии совместно с методом гидропосева показывает, что адаптированные под почвенно-климатические особенности применения фитосмеси способны обеспечивать зарастание на нефтезагрязненных территориях, в том числе на откосах с углом до 45°.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: буровой шлам, почвоподобная смесь, природоподобная технология, рекультивация, самозарастание

ВВЕДЕНИЕ

Природные системы обладают потенциалом для самозарастания и восстановления загрязненных территорий. Феномен самозарастания основан на естественных процессах почвообразования, в которых биологические, химические и физические процессы взаимодействуют с образованием новых слоев почвы с течением времени [2].

Интенсивность развития негативного воздействия техногенного нефтяного загрязнения на геологическую среду не спадает и обуславливается спецификой территориальных природно-экономических систем [9]. Так, при разработке нефтяных и газовых месторождений образуется буровой шлам (основной вид

Original article

INNOVATIVE NATURE-LIKE TECHNOLOGY FOR ACTIVATING SELF-OVERGROWING OF OIL-CONTAMINATED LANDS

**S.V. OSTAKH, O.S. OSTAKH,
A.V. GOLOVENKO, A.A. SMIRNOVA**
NATIONAL UNIVERSITY OF OIL AND GAS
“GUBKIN UNIVERSITY”, MOSCOW, RUSSIAN
FEDERATION

The purpose of this work is to study a nature-like technology for activating self-overgrowing of oil-contaminated lands using recyclable drilling sludge as a component of soil-like mixtures for reclamation work. Understanding the mechanisms and specifics of the self-overgrowing process will make it possible to develop measures to accelerate it and thus reduce or eliminate the planned set of measures for land reclamation. The implementation of the considered nature-like technology in conjunction with the hydraulic seeding method shows that phytomixtures adapted to the soil and climatic features of the application are capable of overgrowing in oil-contaminated areas, including on slopes with an angle of up to 45°.

KEYWORDS: drill sludge, soil-like compound, nature-like technology, recultivation, self-overgrowing

нефте содержащих отходов бурения) и загрязняется прилегающая территория. Появляется необходимость развития подходов по утилизации нефтесодержащего бурового шлама и технологий рекультивации в результате нефтегазодобычи нарушенных земель.

Технология подготовки и использования материалов для рекультивации указанных земель включает утилизацию бурового шлама, состоящего из выбуренной горной породы и отработанного бурового раствора, в технологический грунт («техногрунт»), который представляет собой искусственно созданные смеси, используемые в строительстве, формировании искусственных геохимических барьеров и рекультивации земель [1, 3, 7] или искусственный плодородный грунт («экогрунт») [4].

Экогрунт, состоящий из органических и минеральных компонентов, применим в качестве почвоподоб-

ной смеси для биологического этапа рекультивации и ландшафтного дизайна для улучшения качества почвы.

Комбинированное использование экогрунта и техногрунта для рекультивации нарушенных земель и активации самозарастания может быть стимулировано применением технологии гидропосева для улучшения свойств почвы и повышения возможной всхожести семян.

Целью настоящей работы является исследование природоподобной технологии активации самозарастания нефтезагрязненных земель с использованием утилизируемого бурового шлама в качестве почвоподобных смесей при проведении рекультивационных работ.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На первом этапе экспериментальных исследований проводился подбор наиболее эффективного состава грунтовой смеси для прорастания растений специальной фитосмеси.

Отличие между экогрунтом и техногрунтом состоит в том, что в техногрунте не используется торф, а песок увлажняется раствором гуминового компонента «Био-ГМК» [8].

Для экогрунта и техногрунта было подготовлено семь вариантов смесей (табл. 1, 2), в которые были посажены по десять семян овса (*Avena sativa*) для проведения контактного фитотестирования.

Полив смесей экогрунта и техногрунта проводился 0,1% раствором гуминового компонента. Содержание

бурового шлама принималось одинаковое в формируемых грунтовых смесях. На 6 и 10 день оценивалась всхожесть семян и выражали их содержание в процентном соотношении через специализированный показатель – «энергия прорастания» (рис. 1).

Фитотестирование основано на способности семян адекватно реагировать на экзогенное химическое воздействие путем изменения интенсивности прорастания корней, что позволяет длину последних принять за показатель тест-функции.

Принцип оценки степени опасности и уровня безвредности отхода базируется на экспериментально установленной зависимости величины фитотоксического эффекта от разведения водного экстракта.

Определение параметров фитотоксичности (LimR и ER_{50}), осуществляется с использованием статистической модели [5] по формуле 1:

$$\log R = -mE_T + b, \quad (1)$$

где: E_T – фитоэффект, установленный в эксперименте; R – разведение экстракта отхода; m – коэффициент соответствующий каждому значению фитоэффекта; b – коэффициент регрессии.

Наиболее эффективные составы смесей представлены в таблицах (табл. 3, табл. 4).

Данные смеси – экогрунт Э3 и техногрунт Т7 – использованы при реализации стендового варианта экспериментальных исследований с использованием «Фитоблока».

ТАБЛИЦА 1.

Состав смесей экогрунта

Компоненты, %об.	Смеси экогрунта						
	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Э6	Э7
Бентонит	1	2	3	4	5	6	7
Диатомит	7	6	5	4	3	2	1
Глауконит	10	10	10	10	10	10	10
Торф	20	20	20	20	20	20	20
Песок речной	31	31	31	31	31	31	31
Буровой шлам	31	31	31	31	31	31	31

ТАБЛИЦА 2.

Состав смесей техногрунта

Компоненты, %об.	Смеси техногрунта						
	Т1	Т2	Т3	Т4	Т5	Т6	Т7
Бентонит	1	2	3	4	2	3	4
Диатомит	4	3	2	1	4	3	2
Глауконит	10	10	10	10	10	10	10
Песок речной	42,5	42,5	42,5	42,5	42	42	42
Буровой шлам	42,5	42,5	42,5	42,5	42	42	42

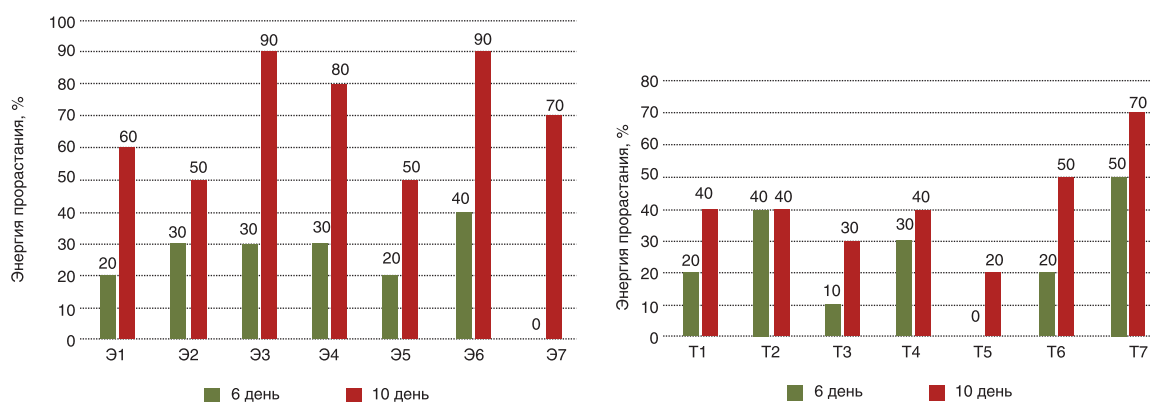


РИС. 1.

Оценка энергии прорастания овса в смесях экогрунта и техногрунта на 6 и 10 день

ТАБЛИЦА 3.

Состав смеси экогрунта

Экогрунт (Э3), компоненты, %об.					
Торф	Буровой шлам	Бентонит	Глауконит	Диатомит	Песок
20	31	3	10	5	31

ТАБЛИЦА 4.

Состав смеси техногрунта

Техногрунт (Т7), компоненты, %об.				
Буровой шлам	Бентонит	Глауконит	Диатомит	Песок
42	4	10	2	42

На втором этапе экспериментальных исследований была апробирована технология самозарастания нарушенных территорий с использованием стенда «Фитоблок», в котором совмещаются методы и технологии почвообразования и гидропосева.

Слой техногрунта, состоящего из бурового шлама, представляет собой вязкую смесь, что способствует благоприятному росту корней растений [6].

Для выявления конкурентоспособности и применимости технологии рекультивации методом послойного наложения техногрунта в качестве подложки и экогрунта, имеющих в своем составе буровой шлам, проводились параллельные серии испытаний по самозарастанию с использованием почвоподобной смеси и с использованием грунтовой смеси усредненного состава используемых компонентов (состав приведен в таблице 5).

Для улучшения свойств почв и способности к самозарастанию при наличии загрязнений техногенного характера, обусловленного размещением бурового шлама, была применена технология гидропосева.

Исследовались следующие два варианта наполнения (задействия) «Фитоблока»:

1) использование техногрунта Т7, экогрунта Э3, гидропосева раствором Г1 и травосмеси;

2) использование техногрунта Т7, грунтовой смеси, гидропосева раствором В1 и травосмеси.

По характеристике «Энергия прорастания» показательные результаты на 10 день проведения эксперимента. Среди тестируемых смесей экогрунта лучшими показателями энергии прорастания обладают смеси Э3, Э4 и Э6.

Среди смесей техногрунта лучшие показатели энергии прорастания встречаются у смесей Т6 и Т7.

Энергию прорастания больше 50% смог достичь лишь техногрунт Т7.

ТАБЛИЦА 5.

Состав грунтовой смеси

Компоненты	Содержание в грунтовой смеси, %об.
Глауконит	10
Торф	10
Песок	20
Грунт	60

Проведено контактное фитотестирование овса в смесях экогрунта и техногрунта на 10 и 15 день. Отбиралось по два растения овса из каждого стенда, измерялись такие показатели, как: длина и масса стебля, длина корня и общая фитомасса. На 10 день были выявлены наилучшие смеси экогрунта и техногрунта по следующим показателям: энергия прорастания, средняя длина стебля, общая фитомасса (рис. 2–5).

К отобранным смесям экогрунта относятся: Э3, Э4, Э6. Техногрунты Т4, Т7 также получили сопоставимые хорошие результаты. Далее на 15 день в грунтовых смесях проводилось контактное фитотестирование. В результате обнаружены смеси экогрунта и техногрунта, которые показали наилучшие результаты фитотестирования. В предварительных испытаниях по самозаращению в техногрунте с использованием вышеуказанных растворов для гидропосева были зафиксированы положительные результаты по самозаращению территории и определены оптимальные составы растворов В1 и Г1 (табл. 6).

На рисунке 6 изображен «Фитоблок» в стендовом исполнении с использованием грунтовой смеси и раствора В1 для гидропосева. На рисунке 7 изображен «Фитоблок» в стендовом исполнении с использова-

нием почвоподобной смеси из бурового шлама и раствора Г1 для гидропосева. Индексами «в», «ср», «н» обозначены верхний, средний и нижний слой грунта, соответственно. Алгоритм проведения стендового варианта «Фитоблок» состоит в следующем:

- укладывание песчаный подстилающий слой (ППС);
- укладывание щебеночно-песчаной смеси (ЩПС);
- покрытие песчаным подстилающим слоем щебеночно-песчаную смесь;
- формирование слоя техногрунта Т7 (Т);
- 1) укладывание слоя экогрунта Э3 (Э(в), Э(ср), Э(н)). Слой Э(ср) формирует откос под углом 45°; 2) укладывание слоя грунтовой смеси (Гр(в), Гр(ср), Гр(н)). Слой Гр (ср) формирует откос под углом 45°.

Проведение гидропосева раствором Г1 на слое Э(ср); раствор В1 наносится на слой Гр(ср); также проводится посев травосмеси на слои: (Э(в), Э(н), Гр(в), Гр(н)).

Полив «Фитоблока» осуществлялся 0,1% раствором «Био-ГМК». Для стимулирования активного роста побегов травосмеси использовалась филаментная лампа с физиологически активной радиацией, в спек-

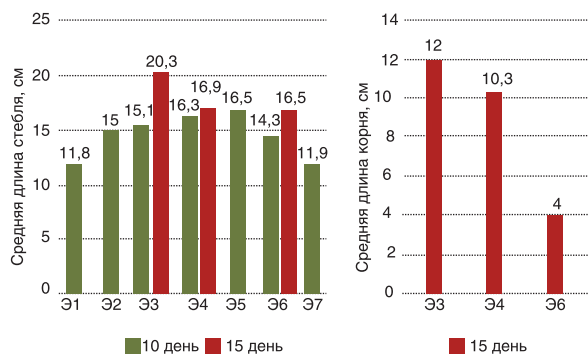


Рис. 2.

Средняя длина стебля и корня овса в смесях экогрунта на 10 и 15 день

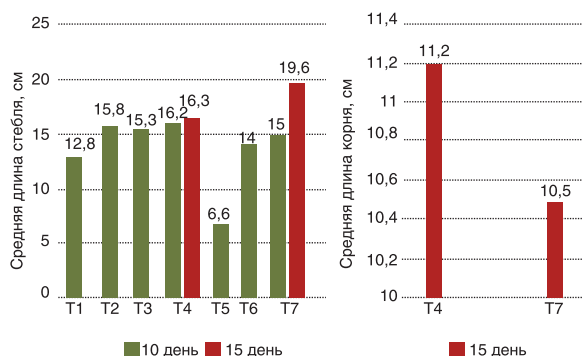


Рис. 4.

Средняя длина стебля и корня овса в смесях техногрунта на 10 и 15 день

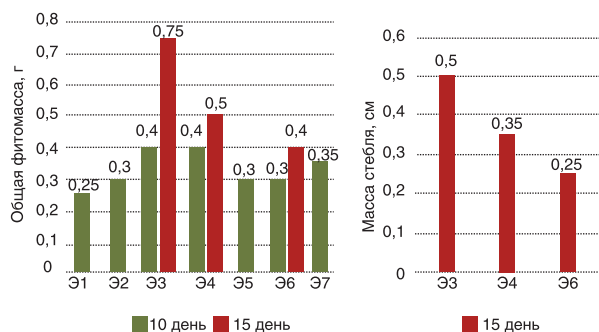


Рис. 3.

Общая фитомасса и масса стебля овса в смесях экогрунта на 10 и 15 день

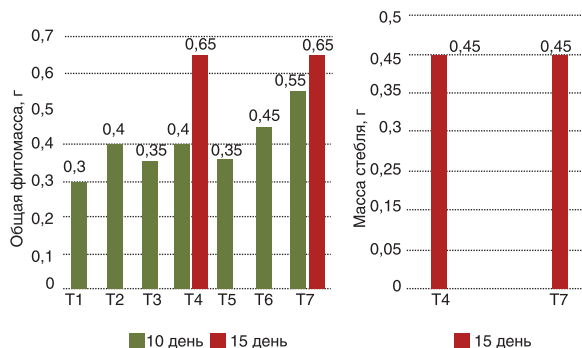


Рис. 5.

Общая фитомасса и масса стебля овса в смесях техногрунта на 10 и 15 день

ТАБЛИЦА 6.

Состав растворов для гидропосева –В1 и Г1

Компоненты, %масс.						
Бентонит	1% р-р «Био-ГМК»	Гуаровая камедь	Травосмесь	Глауконит	Вода	Мульчирующий материал
Раствор В1						
7,92	9,90	0,59	1,19	0,99	79,41	–
Раствор Г1						
0,43	0,87	0,09	2,16	1,3	86,5	8,65

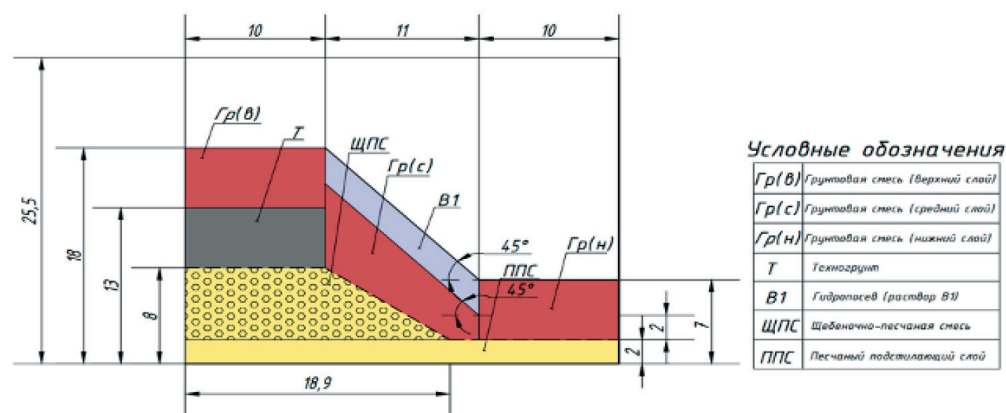


РИС. 6.

Стенд «Фитоблок» с использованием грунтовой смеси и раствора В1

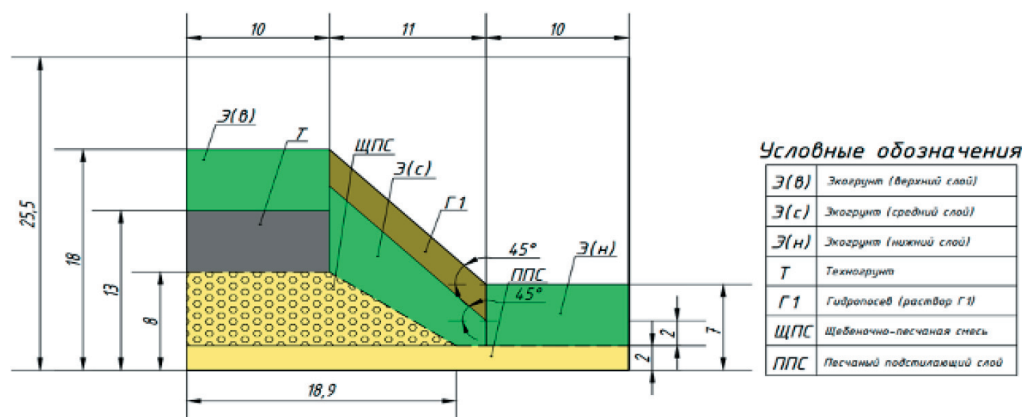


РИС. 7.

Стенд «Фитоблок» с использованием почвоподобной смеси из бурового шлама и раствора Г1

тре которой доминируют синие и красные оттенки (380–800 нм).

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Общий вид «Фитоблока» в первый день экспериментальных исследований представлен на рисунке 8.

В стендовом варианте «Фитоблока» на 10 день на наиболее характерных участках для проведения кон-

тактного фитотестирования отбиралась травосмесь из слоев: экогрунта (Э(в), Э(н)), грунтовой смеси (Гр(в), Гр(н)). Также отбиралась травосмесь для реализации метода гидропосева из слоя откоса:

- экогрунта Э(ср) с использованием раствора Г1;
- грунтовой смеси Гр(ср) с использованием раствора В1.

Результаты фитотестирования представлены (рис. 9, рис. 10, рис. 11).

На нижнем слое экогрунта и верхнем слое грунтовой смеси травосмесь дала всходы сравнительно одинакового качества.

Послойное использование экогрунта показало результаты лучше по средней длине стебля, общей фитомассе и массе стебля (7,5 см; 1,1 г; 0,9 см) в отличие от грунтовой смеси (7,4 см; 1,05 г; 0,7 см). Однако средняя длина корня в слое экогрунта составила 1,8 см по сравнению с грунтовой смесью 3,1 см.

Результаты фитотестирования показали, что для всхожести на верхнем слое экогрунта не хватало вла-



Рис. 8.

Общий вид фитоблока в исходном состоянии

С.В. ОСТАХ, О.С. ОСТАХ,
А.В. ГОЛОВЕНКО, А.А. СМЕРНОВА
ИННОВАЦИОННАЯ ПРИРОДОПОДОБНАЯ
ТЕХНОЛОГИЯ АКТИВАЦИИ САМОЗАРАСТАНИЯ
НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

ги, а на нижнем слое грунтовой смеси, наоборот, влага была в избытке.

При использовании метода гидропосева травосмесь наносилась на откосы под углом 45°.

На откосе с экогрунтом, где использовался раствор для гидропосева Г1, травосмесь показала результаты лучше по средней длине стебля и общей фитомассе (8,6 см; 1,1 г;) в отличие от откоса с грунтовой смесью, где использовался раствор для гидропосева В1 (6,8 см; 0,95 г). Однако средняя длина корня на среднем слое откоса с грунтовой смесью (Г(ср)) составила 2,8 см по сравнению средним слоем экогрунта (Э(ср)) – 3,6 см.

Установлено, что средняя длина стебля и общая фитомасса выше у травосмеси, проросшей на экогрунте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение последовательного послойного размещения техногрунта и экогрунта с содержанием утилизируемого нефтесодержащего бурового шлама более 30% эффективно для восстановления нарушенных земель.

Фитотестирование с использованием семян овса в стендовом варианте «Фитоблока» позволила показать сравнительно прорастание семян на экогрунте и на стандартной грунтовой смеси.

Реализация рассмотренной природоподобной технологии совместно с методом гидропосева показывает, что адаптированные под почвенно-климатические

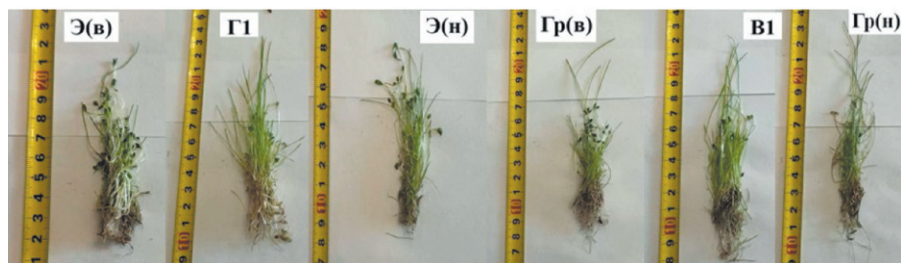


Рис. 9.

Проведение замеров длины стебля и корня травосмеси «Фитоблока» на 10 день

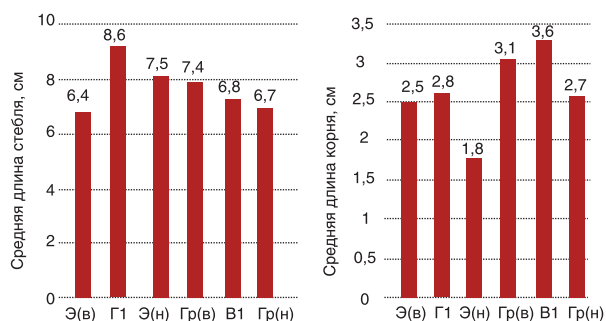


Рис. 10.

Средняя длина стебля и корня травосмеси в «Фитоблоке» на 10 день

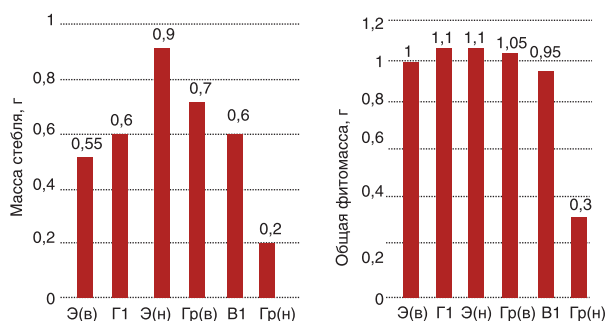


Рис. 11.

Общая фитомасса и масса стебля травосмеси в «Фитоблоке» на 10 день

особенности применения фитосмеси способны обеспечивать зарастание на нефтезагрязненных территориях, в том числе на откосах с углом до 45°.

Полученная почвоподобная смесь применима для рекультивации земель различных типов: техногенных участков с поврежденным почвенно-растительным покровом, нефтезагрязненных территорий, а также участков, занятых кустовыми площадками, амбарами и прилегающих к ним территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Воронкевич С.Д.** Техническая мелиорация грунтов. М.: Академическая наука, 2015. 244 с.
2. **Голеусов П.В.** Формирование почв в условиях самозарастания отвалов вскрышных горных пород // Успехи современного естествознания. 2004. № 11. С. 40–41.
3. **Забелина А.В., Молодкина Н.Р., Сергиенко О.И.** Особенности применения технологического грунта, полученного методом компостирования твердых компостирования твердых коммунальных отходов // Московский экономический журнал. 2022. №6. С. 293–301.
4. **Кузнецова Л.М., Михайлов А.В., Селеннов В.Г.** Искусственные почвенные грунты // Вестник ТГПУ. 2009. №3. С. 145–149.
5. МР 2.1.7.2297-07. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности. 2007. 30 с.
6. **Остах О.С.** Эколого-экономический потенциал технологий утилизации буровых шламов. дис. канд. техн. наук: 03.02.08. М.: ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина». 2021. 184 с.
7. **Папини М.П., Остах С.В., Остах О.С., Кушелева В.С.** Научно-техническая база восстановления нефтезагрязненных почв и прилегающей геолого-технологической системы нефтегазодобычи // Вестник РАЕН. 2017. Т. 17. № 5. С. 61–65.
8. **Саргин Б.В., Остах С.В., Батарагин В.М., Шурьгина Е.Г., Деньгаев А.В.** Патент № 2763428 С1 Российская Федерация, МПК B09C 1/10, C02F 3/34, C12N 1/20. Препарат для биодegradации нефти и нефтепродуктов (Нефтедеструктор): № 2021115256; заявл. 27.05.2021; опубл. 29.12.2021. Заявитель ООО «Научно-производственное объединение «Волга-Экология».
9. **Степанько Н.Г.** Анализ ресурсных возможностей и экологически ограничений развития различных территориальных природно-экономических систем // Успехи современного естествознания. 2016. № 9. С. 178–184.

REFERENCES

1. **VORONKEVICH S.D.** Technical melioration of soils. Moscow: Akademicheskaya nauka. 2015:244. (In Russian).
2. **GOLEUSOV P.V.** Soil formation in the conditions of self-overgrowth of overburden dumps. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2004;(11):40–41. (In Russian).
3. **ZABELINA, A.V., MOLODKINA N.R., SERGIENKO O.I.** Features of application of technological soil obtained by composting solid municipal waste. *Moskovskij ekonomicheskij zhurnal*. 2022;(6):293–301. (In Russian).
4. **KUZNETSOVA L.M., MIKHAILOV A.V., SELENNOV V.G.** Artificial soil grounds. *Vestnik TGPU*. 2009;(3):145–149. (In Russian).
5. МР 2.1.7.2297-07. Justification of hazard class of production and consumption wastes by phytotoxicity. 2007:30. (In Russian).
6. **OSTAKH O.S.** Ecological and economic potential of technologies of drilling cuttings utilisation dis. PhD in Engineering: 03.02.08. FGAOU VO 'Gubkin University'. Moscow. 2021:184. (In Russian).
7. **PAPINI M.P., OSTAKH S.V., OSTAKH O.S., KUSHEEVA V.S.** The scientific and technical basis for development of recovery strategy for oil-polluted soils and adjacent geology-technological system in oil and gas production. *Vestnik RAEN*. 2017;(17),5:61–65. (In Russian).
8. **SARGIN B.V., OSTAKH S.V., BATARAGIN V.M., SHURYGINA E.G., DENGAEV A.V.** Patent №. 2763428 C1 Russian Federation, MPK B09C 1/10, C02F 3/34, C12N 1/20. Preparation for biodegradation of oil and oil products (Neftedestruktor): № 2021115256; appl. 05.27.2021; publ. 12.29.2021. Applicant LLC Scientific and Production Association 'Volga-Ecology'. (In Russian).
9. **STEPANKO N.G.** Analysis of resource opportunities and environmental constraints of development of various territorial natural-economic systems. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2016;(9):178–184. (In Russian).

Остах Сергей Владимирович,

к.т.н., доцент кафедры промышленной экологии Российского государственного университета нефти и газа (национального исследовательского университета) имени И.М. Губкина

Остах Оксана Сергеевна,

к.т.н., доцент кафедры промышленной экологии Российского государственного университета нефти и газа (национального исследовательского университета) имени И.М. Губкина

Головенко Андрей Витальевич,

студент Российского государственного университета нефти и газа (национального исследовательского университета) имени И.М. Губкина

✉ e-mail: andreigo1ovenko@yandex.ru
тел.: +7(915) 082-88-86

Смирнова Анастасия Алексеевна,

студент Российского государственного университета нефти и газа (национального исследовательского университета) имени И.М. Губкина

✉ 119991, г. Москва, проспект Ленинский, д. 65, корп. 1,
119991, Moscow, Leninsky Ave., 65-1