

**Еликбаев Б.К.<sup>1</sup>, Мусина У.Ш.<sup>2</sup>, Джамалова Г.А.<sup>3</sup>, Мусина Г.Ш.<sup>4</sup>,  
Тоганбай А.Н.<sup>5</sup>, Курбанова Л.С.<sup>6</sup>, Сарсенбаев С.О.<sup>7</sup>, Сыбанбаева М.А.<sup>8</sup>**

<sup>1</sup>доктор биологических наук, доцент, e-mail: bek29@outlook.com

<sup>8</sup>кандидат биологических наук, доцент, e-mail: sybanbayeva@mail.ru  
Казахский национальный аграрный университет, Казахстан, г. Алматы

<sup>2</sup>кандидат технических наук, доцент, e-mail: 07061960@mail.ru

<sup>3</sup>кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ассоциированный профессор, e-mail: j.ga@bk.ru

<sup>4</sup>кандидат ветеринарных наук, генеральный директор, e-mail: gmussina@aeg-lab.kz

ТОО «Научно-диагностический центр А-ExpertGroup», Казахстан, г. Алматы,

<sup>5</sup>студентка бакалавриата, e-mail: alinatoganbai@mail.ru

<sup>6</sup>кандидат технических наук, сеньор лектор, e-mail: k\_lau@mail.ru

<sup>7</sup>лектор, e-mail: fyrca@mail.ru

Satbaev University, Казахстан, г. Алматы

**БИОРЕМЕДИАЦИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ  
НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО И  
ТЕХНОГЕННОГО УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩЕГО  
БИОАКТИВАТОРА – КОКСУСКОГО ШУНГИТА**

Восстановление нефтезагрязненных почв является актуальной задачей, особенно для нефтедобывающих предприятий, имеющих риск загрязнения окружающей среды в результате санкционированного и несанкционированного размещения нефтеотходов, нефтеразливов и других нештатных ситуаций. Среди методов снижения и ликвидации загрязнения почв и техногенных грунтов нефтью и нефтепродуктами наиболее эффективными являются микробиологические, агро-фито-мелиоративные и другие методы очистки почв с использованием качественных сорбентов нефти. Перспективным нетрадиционным мелиорантом нефтезагрязненных почв могут стать бурые угли и шунгиты, которые являются одновременно эффективными сорбентами токсикантов и углегуминовыми удобрениями почв – биоактиваторами. Целью исследования являлось изучение процесса биоремедиации нефтезагрязненных почв на основе природного и техногенного углеродсодержащего биоактиватора – коксуского шунгита. Впервые проведены научные исследования влияния природного биоактиватора (коксуский шунгит, представляющий собой мусковит-кварц-углеродистый сланец) и техногенного биоактиватора (термоактивированной механической смеси коксуского шунгита и нефти) на процесс очистки почв от сырой нефти, отобранной из нефтяного месторождения «Елемес Южный» Мангистауского региона, а также выявлены факторы, влияющие на процесс очистки почвы от углеводородов нефти. Были изучены физико-химические характеристики нефти и микробиоценоз отобранных для эксперимента почв. Экспериментальные образцы почвы были загрязнены нефтью до экологически бедственного состояния с превышением допустимых норм 88,1 ПДК. Проведен модельный эксперимент, состоящий из двух вариантов опыта: в первом варианте опыта был использован природный биоактиватор – минерал (сланцевый шунгит), во втором варианте опыта – техногенный биоактиватор (термоактивированная при температуре 600 °С механическая смесь коксуского шунгита и нефти). Применение шунгита и термофильный режим благоприятно влияют на процесс биоремедиации почв от нефтезагрязнений, т.к. достигается высокий процент очистки – 97,3 %. Результаты исследований позволили разработать способ биоремедиации нефтезагрязненных почв конкретного нефтяного месторождения «Елемес Южный» Мангистауского региона с использованием биоактиватора – коксуского шунгита, являющегося товарным продуктом горно-рудной компании «Коксу» – единственного промышленно-освоенного месторождения Казахстана.

**Ключевые слова:** биоремедиация, нефть, углеродсодержащий композит, почва, микробиоценоз, коксуский шунгит, биоактиватор.

Yelikbayev B.K.<sup>1</sup>, Mussina U.Sh.<sup>2</sup>, Jamalova G.A.<sup>3</sup>, Mussina G.Sh.<sup>4</sup>,  
Toganbai A.N.<sup>5</sup>, Kurbanova L.S.<sup>6</sup>, Sarsenbaev S.O.<sup>7</sup>, Sybanbayeva M.A.<sup>8</sup>

<sup>1</sup>doctor of biological sciences, associate professor, e-mail: bek29@outlook.com

<sup>8</sup>candidate of biological sciences, associate professor, e-mail: sybanbayeva@mail.ru  
Kazakh National Agrarian University, Kazakhstan, Almaty

<sup>2</sup>candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: 07061960@mail.ru

<sup>3</sup>candidate of agricultural sciences, associate professor, e-mail: j.ga@bk.ru

<sup>4</sup>candidate of veterinary sciences, e-mail: gmussina@aeg-lab.kz

LLP «Scientific and Diagnostic Center A-ExpertGroup», Kazakhstan, Almaty

<sup>5</sup>bachelor-student, e-mail: alinatoganbai@mail.ru

<sup>6</sup>candidate of technical sciences, senior lecturer, e-mail: k\_lau@mail.ru

<sup>7</sup>lecturer, e-mail: fyrca@mail.ru

Satbaev University, Kazakhstan, Almaty

### **Bioremediation of oil-polluted soils based on natural and technogenic carbon-containing bioactivator – koku shungite**

Restoration of oil-contaminated soils is an urgent task especially for oil-producing enterprises that are at risk of environmental pollution as a result of authorized and unauthorized disposal of oil spills, oil spills and other contingencies. Among the methods for reducing and eliminating soils and technogenic soils contamination with oil and oil products, microbiological, agro-phyto-meliorative and other methods of soil purification using high-quality oil sorbents are most effective. A promising unconventional ameliorant for oil-contaminated soils can be brown coals and shungites, which are both effective sorbents of toxicants and coal-humic fertilizers of soils – bioactivators. The purpose of the study was to study the process of bioremediation of oil contaminated soils on the basis of a natural and man-made carbonaceous bioactivator, the koku shungite. For the first time, scientific research has been carried out on the effect of a natural bioactivator (koku shungite, which is a muscovite-quartz-carbonaceous shale) and a technogenic bioactivator (a thermoactivated mechanical mixture of koku shungite and oil) on the process of soil purification from crude oil extracted from the oil deposit «Elmes South» of the Mangistau region, as well as factors influencing the process of soil purification from petroleum hydrocarbons were revealed. The physicochemical characteristics of the oil and the microbiocenosis of the soils selected for the experiment were studied. The experimental soil samples were contaminated with oil to an environmentally hazardous state with an excess of permissible norms of 88.1 MPC. A model experiment consisting of two variants of the experiment was carried out: in the first variant of the experiment, a natural bioactivator was used – a mineral (shale shungite), in the second variant of the experiment – a technogenic bioactivator (thermoactivated at 600 °C mechanical mixture of koku shungite and oil). The use of shungite and the thermophilic regime favorably influence the process of bioremediation of soils from oil contamination, a high purification percentage is achieved – 97.3%. The results of the research made it possible to develop a method for bioremediation of oil-contaminated soils of a particular oil field «Elmes Southern» in the Mangistau region using a bioactivator – a koku shungite, which is a commodity product of the mining company «Koku», the only industrial-developed deposit in Kazakhstan.

**Key words:** bioremediation, oil, carbon-containing composite, soil, microbiocenosis, koku shungite, bioactivator.

Еликбаев Б.К.<sup>1</sup>, Мусина У.Ш.<sup>2</sup>, Джамалова Г.А.<sup>3</sup>, Мусина Г.Ш.<sup>4</sup>,  
Тоғанбай А.Н.<sup>5</sup>, Курбанова Л.С.<sup>6</sup>, Сарсенбаев С.О.<sup>7</sup>, Сыбанбаева М.А.<sup>8</sup>

<sup>1</sup>биология ғылымдарының докторы, доцент, e-mail: bek29@outlook.com

<sup>8</sup>биология ғылымдарының докторы, доцент, e-mail: sybanbayeva@mail.ru

Қазақ ұлттық аграрлық университеті, Қазақстан, Алматы қ.

<sup>2</sup>техникалық ғылымдарының кандидаты, e-mail: 07061960@mail.ru

<sup>3</sup>ауыл-шаруашылық ғылымдарының кандидаты, доцент, e-mail: j.ga@bk.ru

<sup>4</sup>ветеринария ғылымдарының кандидаты, e-mail: gmussina@aeg-lab.kz

«А-ExpertGroup» ғылыми-диагностикалық орталығы» ЖШС, Қазақстан, Алматы қ.

<sup>5</sup>бакалавриат студенті, e-mail: alinatoganbai@mail.ru

<sup>6</sup>техникалық ғылымдарының кандидаты, сеньор лекторы, e-mail: k\_lau@mail.ru

<sup>7</sup>оқытушы, e-mail: fyrca@mail.ru

Satbaev University, Қазақстан, Алматы қ.

### **Құрамында көміртегі бар табиғи және техногенді биоактиватор – коксу шунгиті негізінде мұнаймен ластанған торпырақтың биоремедиациясы**

Мұнай төгінділерін, мұнай қалдықтарын және басқа да төтенше жағдайларда рұқсатты және рұқсатсыз орналастыру нәтижесінде, қоршаған ортаны ластау қаупі бар мұнай өндіретін кәсіпорындар үшін мұнаймен ластанған топырақты қалпына келтіру өзекті мәселе болып табылады. Топырақ және техногенді топырақтың мұнай және мұнай өнімдерімен ластануын төмендету және

жою әдістерінің қатарында микробиологиялық, агрофио-мелиоративті және басқа да жоғары сапалы мұнай сорбенттерімен топырақты тазалау әдістері ең тиімдісі болып келеді. Мұнаймен ластанған топыраққа арналған перспективалық дәстүрлі мелиоранттар – қоңыр көмір мен шунгит болуы мүмкін, олар бір мезетте токсиканттардың тиімді сорбенттері және топырақтың көмір-гуминді тыңайтқыштары – биоактиваторлар болып табылады. Зерттеудің негізгі мақсаты мұнаймен ластанған топырақты құрамында табиғи және техногенді көміртегі бар биоактиватор – көксу шунгиті негізінде биоремедиациялау процесін зерттеу. Алғаш рет Маңғыстау аймағындағы «Оңтүстік Елемес» мұнай кен орнынан алынған топырақты мұнай шикізатынан тазарту процесіне табиғи биоактиватордың (мусковит-кварц-көміртекті сланеці болып табылатын кокс шунгиті) және техногендік биоактиватордың (коксты шунгит және мұнайдың термомоторлы механикалық қоспасы) әсеріне ғылыми зерттеулер жүргізілді, сонымен қатар мұнай көмірсутектерінен топырақты тазалау процесіне әсер ететін факторлар анықталды. Экспериментке іріктеп алынған топырақ үшін микробиоценоз және мұнайдың физика-химиялық сипаттамалары зерттелді. Эксперименттік топырақ үлгілері рұқсат етілген нормативтен шамадан тыс жоғары мөлшерде, ШРК 88.1, қауіпті экологиялық күйде мұнаймен ластанған. Екі нұсқалы тәжірибеден тұратын моделді эксперимент жүргізілді: тәжірибенің бірінші нұсқасында табиғи биоактиватор – минерал (сланецті шунгит), тәжірибенің екінші нұсқасында – техногендік биоактиватор (600 оС градусқа дейін кокс шунгитімен және мұнайдың механикалық қоспасымен термоактивтелген) пайдаланылды. Мұнаймен ластанған топырақтың биоремедиациясы процесіне шунгит пен термофилді режимді қолдану оң әсер етеді, яғни жоғары тазарту пайызына қол жеткізілді – 97,3%. Зерттеудің нәтижелері Маңғыстау облысындағы «Елемес Оңтүстік» мұнай кен орнындағы мұнаймен ластанған топырақты биоремедиациялау әдісін Қазақстандағы жалғыз өндірістік игерілген кен орны – «Көксу» тау-кен-рудалық компаниясының тауарлық өнімі болып табылатын, кокс шунгитінің көмегімен биоактиваторды пайдалану әдісін әзірлеуге мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** биоремедиация, мұнай, құрамында көміртегі бар композит, топырақ, микробиоценоз, көксу шунгиті, биоактиватор.

## Введение

Земли Казахстана на 60 % подвержены деградации в разной степени (Пачикин, 2011: 10). Причина этому кроется в географических особенностях (расположен в засушливой зоне) и усиленным давлением демографического (рост населения) и антропогенного (развитие индустрии, урбанизация) фактора. При этом наибольший вклад в загрязнение и нарушение земель вносит добыча полезных ископаемых, в частности, нефтедобыча (Голицын, 2010, С.28: 3).

Наряду с фитомелиорацией и микробиологическими методами очистки нефтезагрязненных почв на предприятиях нефтедобычи разрабатываются и внедряются естественные и искусственные сорбенты нефти. Для сорбирования нефти широко используются синтетические поглотители типа активированного угля, пенопласта, вспученный перлит, гелеобразователи и различные отвердители и др. (Bento, 2005: 19; Цомбуева, 2017: 15; Гуславский, 2011: 4). Однако перспективными являются шунгиты, которые одновременно являются эффективными сорбентами токсикантов, углеуミノвыми удобрениями почв, биоактиваторами (Мусина, 2014: 7).

*Цель исследования:* изучение процесса биоремедиации нефтезагрязненных почв на основе

природного и техногенного углеродсодержащего биоактиватора – коксуского шунгита.

*Задачи исследования:* 1) изучение влияния природного (коксуский сланцевый шунгит) биоактиватора на процесс очистки почв от сырой нефти, отобранной из нефтяного месторождения Елемес Южный Мангистауского региона; 2) изучение влияния техногенного биоактиватора (термоактивированная при температуре 600 °С механическая смесь коксуского шунгита и нефти) на процесс очистки почв от сырой нефти, отобранной из нефтяного месторождения Елемес Южный Мангистауского региона; 3) разработка способа биоремедиации нефтезагрязненных почв на основе природного и техногенного углеродсодержащего биоактиватора – коксуского шунгита.

## Материалы и методы исследования

*Объекты исследования:* сырая нефть – тяжелая и относится к типу 3, смолистая, сернистая, парафиновая, отобранная с нефтяного месторождения Елемес Южный на юге Прикаспийской впадины Мангистауского региона; темно-каштановые почвы, отобранные для проведения модельного эксперимента с экологически чистого Талгарского района Алматинской области; природный коксуский сланцевый шунгит-биоак-

тиватор крупностью 5 мм; техногенный биоактиватор (термоактивированная при температуре 600 °С механическая смесь коксуского шунгита и нефти).

*Методы исследования:* Исследования основывались на применении следующих ГОСТов и методических указаний (МУ):

– отбор проб нефти и нефтепродуктов: ГОСТ Р 52659-2006; ГОСТ 2517-2012);

– отбор проб почв (ГОСТ 28168-89; ГОСТ 53123-2008 (ИСО 10381-5:2005);

– постановка модельного лабораторного эксперимента (ГОСТ 12.4.113-82; ГОСТ ISO 9000-2011; ГОСТ ISO 9001-2011; ГОСТ 1.5-2001; ГОСТ Р 8.563-2009);

– физико-химическая характеристика нефти (ГОСТ 3900-85; ASTM D 445-2011; ГОСТ 20287-91; ГОСТ 5985-79; ГОСТ 19932-99; ГОСТ 11851-85; ASTM D 4294-11; ГОСТ 2477-65; ГОСТ 6370-83; ГОСТ 21534-76; М-049-П/10);

– химические методы исследования почв: МУ 03-03-97;

– микробиологические исследования: ГОСТ ISO 7218-2015, (Eldor A. Paul, 2015: 21);

– аналитические исследования (Jain, 2011:25).

Рентгенографические исследования сланцевого коксуского шунгита выполнялись на рентгеновском дифрактометре X'PertPRO фирмы Phillips (Голландия). В качестве образцов для исследований использовались порошки, которые устанавливались в держатель дифрактометра для плоских образцов. Рентгенограммы полного спектра в интервале углов  $2\theta = 5 \div 120^\circ$  снимались с использованием медной рентгеновской трубки при напряжении на ней 30 kV и токе 10 mA. Шаг сканирования – 0,02 градуса, время измерения интенсивности дифрагированного излучения при этом шаге – 1.0 секунда. Расшифровка рентгенограмм осуществлялась в полуавтоматическом режиме с помощью программного обеспечения X'PertQuantify и выбором кандидатов из базы данных вручную, прилагаемой к дифрактометру.

Модельный эксперимент. В день отбора проб почв был поставлен эксперимент по разработке технологии биоремедиации нефтезагрязненных почв в модельном эксперименте по схеме, представленной на рисунке 1.

Модельный эксперимент состоял из двух идентичных по условиям вариантов, за исключением температурного режима: первый вариант эксперимента проходил в условиях термостата ТС-1/80 СПУ (РФ) при температуре 23 °С, второй – при 50 °С. Условия первого варианта

соответствовали комнатной температуре, условия второго варианта приближены к температуре почвы, прогреваемой в самый жаркий месяц. Опыт имел две повторности. В каждом опыте количество испытуемой почвы составило 200 г. Влажность почвы 40 %, влажность 46 %, освещение отсутствовало.

Каждый эксперимент, в свою очередь, состоял из контрольной (почва + сырая нефть (88,1 г/кг)) и опытной группы, при этом опыт состоял из трех подгрупп:

– опыт № 1: Почва + сырая нефть (88,1 г/кг) + техногенный биоактиватор (80 г/кг),

– опыт № 2: Почва + сырая нефть (88,1 г/кг) + природный биоактиватор (80 г/кг),

– опыт № 3: Почва + сырая нефть (88,1 г/кг) + техногенный биоактиватор (40 г/л) + природный биоактиватор (40 г/кг).

Эксперимент занял семь дней (168 часов). По истечении 168 часов исследованные пробы почв были подвергнуты химическому и микробиологическому анализу.

Такой короткий срок дополнительно исходил из следующих суждений: в производственных условиях нефтедобывающей промышленности будут успешно практиковаться только те биоремедиационные технологии, которые, во-первых, по продолжительности будут занимать короткое время, во-вторых, будут просты в эксплуатации и, в-третьих, по себестоимости не будут дорогими. Поэтому, разрабатывая новый подход в биоремедиации нефтезагрязненных почв, мы исходили из этих трех ключевых аспектов в целях успешного продвижения нашей разработки в производство.

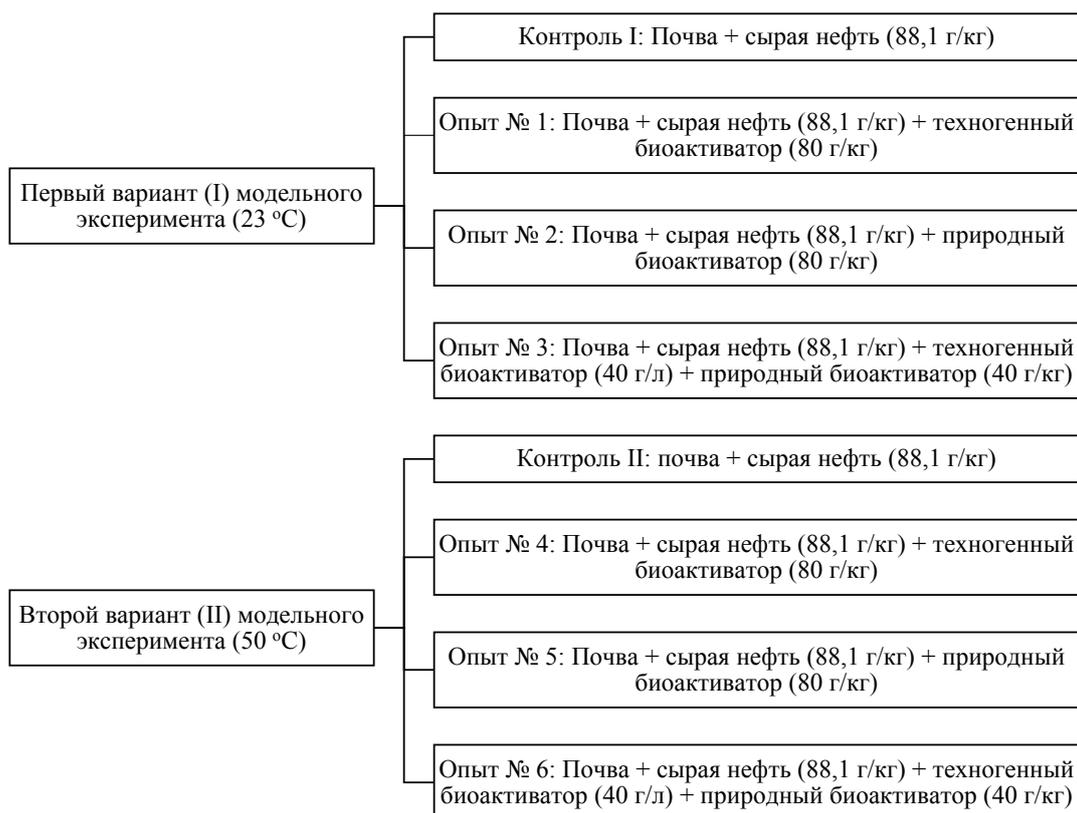
## Результаты исследования и их обсуждение

*Физико-химическая характеристика нефти,* отобранная из скважины месторождения Елемес Южный (интервал перфорации – 1985-1994 м.; 1998-2015 м.; 2221-2227,8 м согласно паспортов бурения) представлена в таблицах 1 и 2.

Исследованные пробы нефти, как это видно из таблицы 1 и 2, по плотности равной 0,8888-0,8898 г/см<sup>3</sup>, характеризуются как тяжелые и относятся к типу 3 (СТ РК 1347-2005).

Кинематическая вязкость, определенная при 20°C, варьирует от 21,74 до 24,84 мм<sup>2</sup>/с.

Пробы нефти по обнаруженному массовому содержанию силикагелевых смол (17,06-17,27%) относят к смолистым, серы (1,31-1,39%) – к сернистым, парафинов (2,45-2,52%) – к парафиновым.



**Рисунок 1** – Схема модельного эксперимента по разработке технологии биоремедиации нефтезагрязненных почв

**Таблица 1** – Физико-химическая характеристика нефти, отобранной на месторождении «Елемес Южный» на юге Прикаспийской впадины Мангистауского региона

Показатель	Ед. изм.	Значение	Методика
Плотность	при 20°C, г/см <sup>3</sup>	0,8888	ГОСТ 3900-85
Вязкость кинематическая	при 20°C, мм <sup>2</sup> /с	21,74	ASTM D 445-2011
Температура застывания нефти	°C	-21	ГОСТ 20287-91
Кислотное число	мг. КОН/г.	0,04	ГОСТ 5985-79
Коксуемость	% масс.	3,92	ГОСТ 19932-99

**Таблица 2** – Химическая характеристика нефти, отобранной на месторождении «Елемес Южный» на юге Прикаспийской впадины Мангистауского региона

Показатель	Ед. изм.	Значение	Методика
Силикагелевые смолы	% масс.	17,06	ГОСТ 11851-85
Асфальтены	% масс.	2,29	ГОСТ 11851-85
Сера	% масс.	1,39	ASTM D 4294-11
Парафин	% масс.	2,52	ГОСТ 11851-85
Вода	% масс.	0,03	ГОСТ 2477-65
Механические примеси	% масс.	0,0530	ГОСТ 6370-83
Хлористые соли	% масс.	208,70	ГОСТ 21534-76

Показатель	Ед. изм.	Значение	Методика
Свинец	ppm	0,74223	М-049-П/10
Цинк	ppm	0,93668	
Железо	ppm	3,3905	
Ванадий	ppm	24,834	
Марганец	ppm	0,66386	
Никель	ppm	6,2682	

Температура застывания колеблется от  $-12^{\circ}\text{C}$  до  $-21^{\circ}\text{C}$ ; температура вспышки, определенная в закрытом тигле от  $-2^{\circ}\text{C}$  до  $-5^{\circ}\text{C}$ . Коксуемость обнаружена в количестве от 3,92 до 4,33% масс. Массовое содержание воды определено от 0,03 до 9,6%, концентрация хлористых солей от 208,70 до 42939,56 мг/л соответственно. Механические примеси содержатся в незначительном количестве от 0,0530 до 0,0582% масс. Сероводород, метил и этилмеркаптаны не обнаружены.

Выход светлых фракций, выкипающих до  $300^{\circ}\text{C}$  от 36,0 до 40,0% объемных, в том числе бензиновых фракций, выкипающих до  $200^{\circ}\text{C}$  – 17,0% объемных.

Отобранные для модельного эксперимента пробы почв были подвергнуты химическому и микробиологическому анализу.

Согласно результатам химического анализа, проведенного по МУ 03-03-97, содержание нефтепродуктов в отобранных для модельного эксперимента почвах, обнаружено не было.

*Природный биоактиватор* – сланцевый коксуский шунгит содержит, %: С – 6;  $\text{SiO}_2$  – 70;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 8; CaO – 6;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 4; Ti – 0,5;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,5;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,5; Mn – 0,1; Ba – 0,06; Zr – 0,05; Sr – 0,04; V – 0,015; B – 0,01. Микропримеси, ppm: Zn – 60; Ni – 50; Y – 50; Sc – 50; P – 40; Cr – 40; Co – 25; Mo – 20; Li – 20; Pb – 15; Cu – 10; Nb – 8; Ga – 8; Sn – 4; Be – 3; W – 3; Bi – 1; As – 1.

Результаты расшифровки дифрактограммы мусковит-кварц-углеродистого сланца: muskovite-2T:  $\text{Al}_3\text{Si}_3\text{K}(\text{OH})_2\text{O}_{10}$  – 21%; muskovite-2M1:  $(\text{K}_{0,82}\text{Na}_{0,18})(\text{Fe}_{0,03}\text{Al}_{1,97})(\text{AlSi}_3\text{O}_3)_2(\text{OH})_2$  – 21%; quartz, syn:  $\text{SiO}_2$  – 16%; Getit: FeOOH – 1%; Graphite-2H: C – 17%; прочие: энстатит –  $\text{MgSiO}_3$  (7%) и др. – 24%.

На основании комплекса исследований установлено, что шунгитовые породы Коксуского месторождения представляют собой природный композит, состоящий из двух макрокомпонентов – углеродистого вещества, минералогически

близкого к графиту, и микрокристаллического кремнезёма. Силикатная матрица коксуского шунгита заполнена кристаллами минералов. Эти минералы, принадлежащие к алюмосиликатному ряду, наполняют силикатную матрицу данной каменной породы равномерно. Размер кристаллов алюмосиликатных минералов не превышает 1 мкм. Более половины состава камня приходится на силикаты – кремнезем и сложные силикаты (слюды).

Углеродистое вещество относится к антрацит-шунгитовой разности и графиту. Минеральная основа коксуских пород – кремнистая, породы можно отнести к среднеуглеродистым шунгитистым, т.к. содержание углерода в среднем находится в пределах 5–25 % С.

*Техногенный биоактиватор* – термоактивированная при температуре  $600^{\circ}\text{C}$  механическая смесь коксуского шунгита и нефти, представляющая собой более рыхлую массу по сравнению с исходным образцом шунгита, использованным в виде зерен крупностью 5 мм. Для активации материал был термообработан в муфельной печи при температуре  $600^{\circ}\text{C}$  в течение 30 минут.

*Микробиоценоз почв.* Количественный учет микроорганизмов, проведенный согласно методикам, изложенным в ГОСТ ISO 7218-2015 и в работе (Eldor A. Paul, 2015: 21) представлен в таблице 3.

Как видно из таблицы 3, рост колоний на плотном агаре показал, что общая обсемененность гетеротрофными микроорганизмами в отобранной для исследования почве было на уровне пятого разведения, обсемененность же микромицетами и актиномицетами не превышал второго уровня разведения. Особо следует отметить, что не был зафиксирован рост колоний на плотном питательном агаре по коллиморфным бактериям, что свидетельствует о санитарном благополучии отобранной для работы почвы.

**Таблица 3** – Микробиоценоз почв, отобранных для эксперимента

Показатель	Физиологические группы микроорганизмов			
	ОМЧ	Колиформные бактерии	Актиномицеты	Микромицеты
$\bar{X} \pm m_{\bar{x}}$ , КОЕ/г	$(2,9 \pm 0,1) \times 10^5$	-	$(0,5 \pm 0,01) \times 10^2$	$(1,0 \pm 0,01) \times 10^2$
$C_v$ , %	4,7	-	140	0

Если же судить об изменчивости по обсеменности почв, то наибольшая вариация принадлежит актиномицетам (140 %), а меньшая (4,7 %) – ОМЧ, тогда как по микромицетам изменчивость отсутствовала. Поэтому можно заключить, что по актиномицетам отмечен относительно высокий разброс и минимальная по обсеменности выравненность исследуемых показателей. В дополнение следует отметить, что полученные по обсеменности результаты достоверны по ОМЧ ( $P=0,99$ ), тогда как по актиномицетам – не достоверны.

Согласно данным, полученные в исследованиях В.П. Коваленко (Коваленко, 1990: 6), при биоремедиации нефтезагрязненных почв, наибольший процент утилизации нефти и нефтепродуктов происходит на 2-5 сутки. В связи с этим, наша экспериментальная часть заняла семь дней (168 часов), по истечении которого пробы почв были подвергнуты химическому и микробиологическому анализу.

Комплексный анализ по полученным результатам проводили в сравнительном аспекте: между опытной группой и контрольной, между опытами с одинаковыми ситуациями при разных вариантах эксперимента.

Известно, что нефтезагрязненные почвы по уровню разведения делят на пять категорий (Порядок определения размеров ущерба, 1993: 13): допустимый (<1000 мг/кг); низкий (1000-

2000 мг/кг); средний (2000-3000 мг/кг); высокий (3000-5000 мг/кг); очень высокий (>5000 мг/кг).

Если превышение нефти в почве достигает до 10 ПДК, то по критериям физической деградации, такие почвы считаются по экологической ситуации относительно удовлетворительными, при 10-25 ПДК – чрезвычайными и при более 25 ПДК – бедственными (ГН к безопасности ОС, 2015: 2).

Отобранные для эксперимента почвы были загрязнены нефтью до экологически бедственного состояния с превышением допустимых норм 88,1 ПДК.

В таблицах 4 и 5 представлены результаты, полученные при химическом и микробиологическом исследовании почв при проведении модельного эксперимента.

Как видно из таблицы 4, применение биоактиваторов при очистке почв от сырой нефти и термофильный режим благоприятно влияют на процесс биоремедиации:

В первом варианте эксперимента (23°C): в первой контрольной группе «Почва + сырая нефть (88,1 г/кг)» содержание нефти снизилось незначительно, всего на 38,9 %, тогда как в группах опыта снижение было значительным благодаря используемому в комплексе биоактиваторов техногенного и природного происхождения – на 95,5 % (опыт 1), 95,9 % (опыт 2) и 96,7 % (опыт 3).

**Таблица 4** – Содержания нефти (мг/кг) в почве при проведении модельного эксперимента

Эксперимент I (23 °C)			Эксперимент II (50 °C)		
Вариант	0 часов	168 часов	Вариант	0 часов	168 часов
Контроль I	88 100	53 800 ± 23	Контроль II	88 100	46 508 ± 26
Опыт № 1	88 100	3 936 ± 9	Опыт № 4	88 100	2 417 ± 21
Опыт № 2	88 100	3 600 ± 14	Опыт № 5	88 100	2 338 ± 11
Опыт № 3	88 100	2 921 ± 5	Опыт № 6	88 100	3 110 ± 17

Во втором варианте эксперимента (50 °С): содержание нефти снизилось незначительно (на 47,2 %) в контрольной группе № 2 «Почва + сырая нефть (88,1 г/кг)», а в группах опыта наблюдали ощутимое снижение благодаря используемому техногенному биоактиватору – на 96,5 % (опыт 6) и 97,3 % (опыты 4, 5).

Используемые для очистки почв от нефти и нефтепродуктов сорбенты условно делятся на четыре группы:

1) природные, декларируемая сорбционная емкость: 5-12 г/г нефти (Цыганова, 2014: 16): торф, лузга подсолнечника, шелуха риса, скорлупа грецкого ореха и др. отходы растительного происхождения (Annunciado, 2005: 18; Щепакин, 2001: 17); диатомит, доломит и др. (Breck, 1974: 20);

2) биосорбенты с сорбционной емкостью 1:7 и 1:8: микроорганизмы активного ила, карбоксиметилированные дрожжи, высшие жирные кислоты, искусственно созданные – расплав полимеров с добавлением активированного угля (Gertler, 2009: 24; Патент № 2023685, 1991: 9; Евдокимова, 2000: 5);

3) наносорбенты, производимые на основе графита, сорбционная емкость 40-80 г/г (Мусина, 2014: 7);

4) сорбенты из техногенной органики с декларируемой сорбционной емкостью 5-34 г/г – это полипропилен, поропласт и т.д. (Попов, 2011а: 11; Попов, 2011б: 12; Germida, 2002: 23).

В исследованиях, проведенных Т.И. Бурмистровой (Бурмистрова и др., 2003: 1) было выявлено, что степень очистки объекта зависит от уровня загрязнения почв нефтепродуктами. В статье показано, что степень очистки при использовании активированного торфа варьирует в пределах от 4 до 89 %. При этом следует отметить, что сорбционная емкость 1 г абсолютно сухого вещества торфа составляет 6-10 г нефти (Бурмистрова и др., 2003: 1). При использовании в качестве сорбента биомассы, например, суспензии штамма *Bacillus subtilis*, процент очистки почв от нефти достигал 99,53 % (Неустроев, 2015: 8). Автор исследования показывает, что при сочетании данного бактериологического препарата с навозом и пометом повышается эффективность самоочистения почв от углеводородов нефти за счет того, что почва вместе с органикой обогащается углеродом, энергией и микрофлорой.

В наших исследованиях наилучший результат (97,3 % очистки почв от сырой нефти) был получен в опытах, когда природный (коксуский

шунгит; опыт 4) и техногенный (опыт 5) биоактиватор был использован по отдельности при температуре 50°С. Можно предположить, что используемые биоактиваторы, с одной стороны сорбируют весомый объем нефти (40-80 г/г нефти), с другой – вносят в почву ценные минеральные компоненты (коксуский шунгит), углерод и энергию (термоактивированная при температуре 600 °С механическая смесь коксуского шунгита и нефти), активизирующие ферментативные процессы очистки почв от нефтяных загрязнений. Интенсификацию микробиологических процессов очистки почв от нефтяных загрязнений можно объяснить феноменом кометаболизма (Тихонович, 2007: 14).

Количественный учет микроорганизмов в почвах (таблица 5) показал, что применение биоактиваторов активизирует процесс ферментативной биоремедиации нефтезагрязненных почв. Так, при сравнении результатов, полученных при исследовании отобранных экологически чистых почв (таблица 3) с модельно загрязненными почвами по истечении эксперимента (таблица 5) видно, что рост колоний на плотном питательном агаре по ОМЧ снизился на один (опыт 1) и два (контроль 1, опыты 2,3) уровня разведения. По колиморфным бактериям достаточно сравнить результаты, которые были получены до (таблица 3) и после проведения модельного эксперимента (таблица 5), т.к. после проведения опытов во всех вариантах рост колоний на плотном питательном агаре был отмечен на втором уровне разведения, тогда как до постановки эксперимента по исследуемой почве роста колоний на плотном питательном агаре обнаружено не было, следовательно, можно предполагать согласно ранее проведенным исследованиям (Turkayeva, 2017: 30; Joо, 2007: 26), что при модельном загрязнении почв сырой нефтью было место вторичное загрязнение, т.к. пробы сырой нефти были отобраны с открытого техногенного накопителя. По актиномицетам и микромицетам особых изменений по обсемененности зафиксировано не было, т.к. по всем исследуемым почвам эксперимента рост колоний на плотном питательном агаре был зафиксирован на втором уровне разведения.

Объяснение относительно высокому разбросу (16-140 %) и минимальному по обсемененности выравниванию роста колоний на плотном питательном агаре можно дать на основе модели ингибирования (последовательность видов в сукцессии определяется их жизненными стратегиями): в нефтезагрязненных исследуемых почвах в присутствии биостимуляторов и при 168

ч часовом лимите количественные и качественные преобразования на уровне консорциума микроорганизмов не успевают завершиться от чего и зафиксирован высокий разброс почти по всем исследуемым таксонам (Schaefer, 2007: 29). Дополнительно необходимо отметить, что сорбция микроорганизмов зависит от особенностей сорбента и от подвижности микроорганизмов (Margesin, 2001: 27). Физико-химические свой-

ства субстрата определяют отбор микроорганизмов по трофическим потребностям, наличие органического углерода способствует колонизации микроорганизмов. Из приведенных данных таблицы 5 очевидно значение вносимых вместе с биоактиваторами минеральных веществ, углерода и энергии для активизации микробиологических процессов по очистке почв от нефтезагрязнений.

**Таблица 5** – Микробиологические показатели содержания нефти в почве при проведении модельного эксперимента

Таксон	Эксперимент I (23 °C)			Эксперимент II (50 °C)		
	Вариант	$\bar{X} \pm m_x$ , КОЕ/г	$C_p$ , %	Вариант	$\bar{X} \pm m_x$ , КОЕ/г	$C_p$ , %
ОМЧ	Контроль I	$(8,0 \pm 0,4) \times 10^4$	124	Контроль II	$(2,5 \pm 0,5) \times 10^4$	32
	Опыт № 1	$(1,5 \pm 0,1) \times 10^5$	47	Опыт № 4	$(1,5 \pm 0,1) \times 10^4$	140
	Опыт № 2	$(3,5 \pm 0,1) \times 10^4$	20	Опыт № 5	$(6,5 \pm 0,4) \times 10^4$	88
	Опыт № 3	$(2,5 \pm 0,2) \times 10^4$	84	Опыт № 6	$(0,5 \pm 0,1) \times 10^4$	38
Колиморфные бактерии	Контроль I	$(1,0 \pm 0,1) \times 10^2$	43	Контроль II	$(2,1 \pm 0,1) \times 10^3$	17
	Опыт № 1	$(4,4 \pm 0,4) \times 10^2$	55	Опыт № 4	$(2,2 \pm 0,1) \times 10^3$	39
	Опыт № 2	$(4,9 \pm 0,3) \times 10^3$	27	Опыт № 5	$(1,3 \pm 0,2) \times 10^2$	98
	Опыт № 3	$(4,0 \pm 0,1) \times 10^2$	18	Опыт № 6	$(2,6 \pm 0,8) \times 10^2$	14
Актиномицеты	Контроль I	$(1,5 \pm 0,04) \times 10^2$	70	Контроль II	$(3,5 \pm 0,1) \times 10^2$	20
	Опыт № 1	$(2,0 \pm 0,04) \times 10^2$	47	Опыт № 4	$(5,5 \pm 0,1) \times 10^2$	38
	Опыт № 2	$(2,5 \pm 0,1) \times 10^2$	84	Опыт № 5	$(3,0 \pm 0,8) \times 10^2$	93
	Опыт № 3	$(2,0 \pm 0,04) \times 10^2$	47	Опыт № 6	$(1,2 \pm 0,1) \times 10^2$	12
Микромицеты	Контроль I	$(2,0 \pm 0,04) \times 10^2$	70	Контроль II	$(1,5 \pm 0,7) \times 10^2$	47
	Опыт № 1	$(1,5 \pm 0,1) \times 10^2$	47	Опыт № 4	$(2,0 \pm 0,4) \times 10^2$	70
	Опыт № 2	$(4,0 \pm 0,4) \times 10^2$	35	Опыт № 5	$(2,5 \pm 0,2) \times 10^2$	84
	Опыт № 3	$(4,5 \pm 0,1) \times 10^2$	16	Опыт № 6	$(1,5 \pm 0,7) \times 10^2$	47

Результаты микробиологических исследований показали (таблица 5), что при загрязнении почвы нефтью происходят существенные преобразования не только на уровне общего микробиоценоза (общая обсемененность гетеротрофными микроорганизмами снизилось по сравнению с почвами, исследованные до загрязнения нефтью на два уровня, т.е. с шестого снизилось до четвертого уровня разведения), но и по санитарным показателям почвы, о чем свидетельствует рост колоний колиморфных микроорганизмов на плотном питательном агаре на втором уровне разведения (при 23°C – третий уровень разведения в опыте № 2), тогда как в чистых почвах (таблица 3) рост колоний на плотном питательном агаре зафиксирован по колиморфным бактери-

ям не был. Для актиномицетов и микромицетов особых изменений обнаружено не было по сравнению с результатами, которые были получены при исследовании чистых от нефти почв.

### Выводы

Резюмируя данные, полученные при проведении модельного эксперимента можно заключить:

В экспериментах при температуре 23°C наилучший результат был получен в модельном опыте № 3, когда для очистки нефтезагрязненных почв был использован комплекс, состоящий из биоактиваторов природного и техногенного происхождения, при этом процент очистки почв

от нефтезагрязнений составил 96,3 %, в опыте № 2 – 95,9 % и в опыте № 1 – 95,5 %, тогда как в контрольной группе – всего 38,9 %.

При температуре 50°C наилучший результат был получен в модельном опыте № 4 и № 5, когда для очистки нефтезагрязненных почв был использован биоактиватор техногенного и природного происхождения по отдельности; процент очистки почв от нефтезагрязнений в опытах № 4 и № 5 составил 97,3 %, в опыте № 6 – 96,5 %, тогда как в контрольной группе – всего 47,2 %.

Таким образом, целесообразно для улучшения эффекта очистки почв от нефтезагрязнений, применять биоактиваторы природного и техногенного происхождения в комплексе при температуре 23°C и, по отдельности, при температуре 50°C, т.к. в этих случаях в опытах был

получен наибольший, по сравнению с другими вариантами опыта, процент очистки от нефтезагрязнений – 96,3 % и 97,3 %, соответственно. Применение биоактиватора при термофильном режиме позволяет достичь более высокого процента очистки почв от загрязнения сырой нефтью. Это объясняется тем, что использованные в опыте биоактиваторы природного и техногенного происхождения ускоряют процесс биоремедиации почв: способствуют иммобилизации микроорганизмов на своей развитой поверхности; являются, в случае с природным биоактиватором, поставщиком микроэлементов, многие из которых улучшают плодородие почв; обладают сорбционными и коагуляционными свойствами; участвуют в связывании тяжелых металлов в неподвижные комплексы (Gertler, 2009: 24; Millioli, 2009: 28; Joo, 2007: 26; El-Nemr, 2006: 22).

### Литература

- 1 Пачикин К.М., Ерохина О.Г. Географо-генетические исследования за годы независимости Казахстана // Почвоведение и агрохимия. – 2011. - № 4, С. 14-29.
- 2 Голицын А.Н. Промышленная экология и мониторинг загрязнения природной среды - М.: Оникс. - 2010. - 336 с.
- 3 Bento F.M., Camargo F.A., Okeke B.C., Frankenberger W.T. Comparative bioremediation of soils contaminated with diesel oil by natural attenuation, biostimulation and bioaugmentation. *Bioresource Technology*. - 2005; №96(9). – P.1049–1055.
- 4 Цомбуева Б. В., Горяшкиева З. В., Щербакоева Л. Ф. Метод очистки почвы от нефтяного загрязнения с помощью природных сорбентов // Вестник ВолГУ. - 2017. - Серия 11. Естественные науки. №2. - С. 19-25.
- 5 Гуславский А. И., Канарская З. А. Перспективные технологии очистки воды и почвы от нефти и нефтепродуктов // Вестник Казанского технологического университета. - 2011. - №20. – С.191-199.
- 6 Мусина У.Ш. Коксуские шунгитистые породы в процессах обеспечения экологического равновесия. Журнал «Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)». - Спб, - 2014, - № 23 (49), - С.79–82.
- 7 Eldor A. Paul. *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*. Academic Press is an imprint of Elsevier. - 2015. - 535 p.
- 8 Коваленко В.П., Турчанинов В.Е. Очистка нефтепродуктов от загрязнения – М.: Недра, - 1990. -141с.
- 9 Цыганова С.И., Веприкова Е.В., Терещенко Е.А., Фетисова О.Ю. Синтез магнитных нефтесобирателей на основе модифицированных опилок древесины // Экология и промышленность России. - 2014. – С.18-21.
- 10 Annunciado T.R., Sydenstricker T.H.D., Amico S.C. Experimental investigation of various vegetable fibers as sorbent materials for oil spills / *Marine Pollution Bulletin*. – 2005. -№50. P. 1340–1346.
- 11 Щепакин М.Б., Мишулин Г.М. Гафаров И.Г. и др. Экосорбент как продукт управления ресурсами региона // Экология и промышленность России. – 2001. - №12. – С. 20-25.
- 12 Gertler C., Gerdt G., Timmis K. N., Yakimov M. M., Golyshin P. N. Pollutions of heavy fuel oil-degrading marine microbial community in presence of oil sorbent materials // *Journal of Applied Microbiology*. – 2009. – 107. –P. 590–605.
- 13 Патент №. 2023685 Российская Федерация, МКИ C02F3/34. Способ биологической очистки сточных вод от органических загрязнений / Олешкевич Е.А., Макарова Н.А., Сагдиева Л.В. и др. - №4954561/26; заявл. 11.06.1991. Опубл. 30.11.1994. - Бюл. №22.
- 14 Евдокимова А.Ю., Фукс И.Г., Шабалина Т.Н., Багдасаров Л.Н. Смазочные материалы и проблемы экологии. М.: ГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. - 2000. – 424 с.
- 15 Попов С.Н., Морозова Л.Я., Герасимов А.И. Ликвидация аварийных разливов нефти со дна водоемов в условиях низких температур Якутии // Нефтяное, газовое, энергетическое и автотранспортное машиностроение. - 2011. - С. 463-466.
- 16 Попов С.Н., Морозова Л.Я., Ефимов С.Е., Герасимов А.И. Способы и средства нейтрализации аварийных разливов нефти в условиях низких температур Якутии // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2011. - №2. – С. 184-191.
- 17 Germida J.J., Frick R. C.M., Farrell E. Phytoremediation of oil-contaminated soils // *Developments in Soil Science*. – 2002. - Volume 28, Part 2. - P. 169-186.
- 18 Бурмистрова Т.И., Алексеева Т.П., В.Д. Перфильева, Терещенко Н.Н., Стахина Л.Д. Биодegradация нефти и нефтепродуктов в почве с использованием мелиорантов на основе активированного торфа // Химия растительного сырья. - 2003. - №3. - С. 69–72.

- 19 Неустроев М.М. Экологическая оценка нефтезагрязненных мерзлотных почв и разработка способов их биоремедиации. Дисс.на соиск. уч.ст. к.б.н., Якутск, - 2015. – 129 с.
- 20 Тихонович, И.А. Кооперация растений и микроорганизмов: новые подходы к конструированию экологически устойчивых агросистем //И.А. Тихонович, Н.А. Проворов // Успехи современной биологии. – 2007. – Т. 127, - № 4. – С. 339-357.
- 21 Turkayeva A., Jamalova G., Mussina U., Oshakbayev M., Timma L., Pubule Je., Blumberga D. Chemical and Microbiological Nature of Produced Water Treatment Biotechnology // International Scientific Conference “Environmental and Climate Technologies”, CONECT 2016, 12-14 October 2016, Riga, Latvia. Energy Procedia 113, - P. 116-120.
- 22 Joo H.S., Shoda M., Phae C.G. Degradation of diesel oil in soil using a food waste composting process. Biodegradation. – 2007. - 18(5). –P. 597–605.
- 23 Schaefer M., Juliane F. The influence of earthworms and organic additives on the biodegradation of oil contaminated soil // Applied Soil Ecology. – 2007. - 36(1). –P. 53–62.
- 24 Margesin R., Schinner F. Bioremediation (Natural Attenuation and Biostimulation) of diesel-oil-contaminated soil in an alpine glacier skiing area // Applied and Environmental Microbiology. – 2001. - 67(7). –P. 3127–3133.
- 25 Millioli V.S., Servulo E-L.C., Sobral L.G.S., Carvalho D.D. Bioremediation of crude oil-bearing soil: evaluating the effect of rhamnolipid addition to soil toxicity and to crude oil biodegradation efficiency // Global Nest Journal. – 2009. - 11(2). –P.181–188.
- 26 El-Nemr A. Petroleum Contamination in Warm and Cold Marine Environments. Front Cover. Nova Publishers, - 2006. Science - 140 p.
- 27 ПН к безопасности окружающей среды (почве). Приказ Министра национальной экономики Республики Казахстан от 25 июня 2015 года - № 452.
- 28 Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами (утв. Роскомземом 10 ноября 1993 г. и Минприроды РФ 18 ноября 1993 г.).
- 29 Breck D.W. Zeolites molecular sieves, Structure, Chemistry and Use// New York, Wiley. – 1974. – P.771.
- 30 Jain A.K., Ross A.A., Nandakumar K. Introduction to Biometrics. Springer Publishing Company, Incorporated. – 2011. – 326 p.

#### References

- 1 Annunciado T.R., Sydenstricker T.H.D., Amico S.C. (2005) Experimental investigation of various vegetable fibers as sorbent materials for oil spills. Marine Pollution Bulletin, №50. pp. 1340–1346.
- 2 Bento F.M., Camargo F.A., Okeke B.C., Frankenberger W.T. (2005) Comparative bioremediation of soils contaminated with diesel oil by natural attenuation, biostimulation and bioaugmentation. Bioresource Technology, №96(9). pp. 1049–1055.
- 3 Breck D.W. (1974) Zeolites molecular sieves, Structure, Chemistry and Use. New York, Wiley. 771p.
- 4 Burmistrova T.I., Alekseeva T.P., V.D. Perfileva, Tereshchenko N.N., Stahina L.D. (2003) Biodegradaciya nefiti i nefteproduktov v pochve s ispol'zovaniem meliorantov na osnove aktivirovannogo torfa [Biodegradation of oil and oil products in soil using meliorants based on activated peat] Himiya rastitel'nogo syr'ya. №3. pp. 69–72.
- 5 Combueva B.V., Goryashkiewa Z.V., Sherbakova L.F. (2017) Metod ochistki pochvy ot neftyanogo zagryazneniya s pomoshch'yu prirodnyh sorbentov [Synthesis of magnetic oil samplers based on modified sawdust of wood] Vestnik VolGU, Seriya 11. Estestvennye nauki. №2. pp. 19-25.
- 6 Cyganova S.I., Veprikova E.V., Tereshchenko E.A., Fetisova O.Yu. (2014) Sintez magnitnyh neftesobiratelej na osnove modifirovannyh opilok drevesiny [Synthesis of magnetic oil samplers based on modified sawdust of wood] Ekologiya i promyshlennost' Rossii, pp.18-21.
- 7 Eldor A. Paul. (2015) Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry. Academic Press is an imprint of Elsevier. 535 p.
- 8 El-Nemr A. (2006) Petroleum Contamination in Warm and Cold Marine Environments. Front Cover. Nova Publishers, Science. 140 p.
- 9 Evdokimova A.Yu., Fuks I.G., SHabalina T.N., Bagdasarov L.N. (2000) Smazochnye materialy i problemy ehkologii [Lubricants and environmental problems]. M.: GUP Izdatel'stvo «Nef't i gaz» RGU nef'ti i gaza imeni I.M. Gubkina.424 p.
- 10 Germida J.J., Frick R. C.M., Farrell E. (2002) Phytoremediation of oil-contaminated soils. Developments in Soil Science, vol.28, Part 2. pp. 169-186.
- 11 Gertler C., Gerdts G., Timmis K. N., Yakimov M. M., Golyshin P. N. (2009) Pollutions of heavy fuel oil-degrading marine microbial community in presence of oil sorbent materials. Journal of Applied Microbiology, 107. pp. 590–605.
- 12 ПН к безопасности окружающей среды (почве) [GNs to environmental safety (soil)]. (2015) Приказ Министра национальной экономики Республики Казахстан от 25 июня 2015 года. № 452.
- 13 Golitsyn A.N. (2010) Promyshlennaya ehkologiya i monitoring zagryazneniya prirodnoj sredy [Industrial ecology and monitoring of environmental pollution] - M.: Oniks. -336 p.
- 14 Guslavskij A. I., Kanarskaya Z. A. (2011) Perspektivnyye tekhnologii ochistki vody i pochvy ot nef'ti i nefteproduktov [Perspective technologies of water and soil purification from oil and oil products] Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. №20. pp.191-199.
- 15 Jain A.K., Ross A.A., Nandakumar K. (2011) Introduction to Biometrics. Springer Publishing Company, Incorporated. 326 p.
- 16 Joo H.S., Shoda M., Phae C.G. (2007) Degradation of diesel oil in soil using a food waste composting process. Biodegradation, 18(5). pp. 597–605.

- 17 Kovalenko V.P., Turchaninov V.E. (1990) Ochistka nefteproduktov ot zagryazneniya [Cleaning of petroleum products from pollution] – M.: Nedra, 141 p.
- 18 Margesin R., Schinner F. (2001) Bioremediation (Natural Attenuation and Biostimulation) of diesel-oil-contaminated soil in an alpine glacier skiing area. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(7). pp. 3127–3133.
- 19 Millioli V.S., Servulo E-L.C., Sobral L.G.S., Carvalho D.D. (2009) Bioremediation of crude oil-bearing soil: evaluating the effect of rhamnolipid addition to soil toxicity and to crude oil biodegradation efficiency. *Global Nest Journal*, 11(2). pp.181–188.
- 20 Musina U.Sh. (2014) Koksuskie shungitistye porody v processah obespecheniya ehkologicheskogo ravnovesiya [Koksu shungitic rocks in the processes of ensuring ecological balance]. *Zhurnal Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)*, Spb, № 23 (49), pp.79–82.
- 21 Neustroev M.M. (2015) Ekologicheskaya ocenka neftezagryaznennykh merzlotnykh pochv i razrabotka sposobov ih bioremediacii [Ecological assessment of oil-contaminated permafrost soils and development of methods for their bioremediation]. *Diss.na soisk. uch.st. k.b.n., Yakutsk*, 129 p.
- 22 Pachikin K.M., Erohina O.G. (2011) Geografo-geneticheskie issledovaniya za gody nezavisimosti Kazakhstana [Geographical and genetic studies over the years of independence of Kazakhstan] *Pochvovedenie i agrohimiya*, № 4, pp.14-29.
- 23 Patent №. 2023685 Rossijskaya Federaciya, MKI C02F3/34. Sposob biologicheskoy ochistki stochnykh vod ot organicheskikh zagryaznenij [The method of biological treatment of sewage from organic pollutants] / Oleshkevich E.A., Makarova N.A., Sagadieva L.V. i dr. - №4954561/26; zayavl. 11.06.1991. Opubl. 30.11.1994. - Byul. №22.
- 24 Popov S.N., Morozova L.YA., Efimov S.E., Gerasimov A.I. (2011) Sposoby i sredstva nejtralizacii avarijnykh razlivov nefiti v usloviyah nizkikh temperatur Yakutii [Methods and means of neutralizing oil spills in conditions of low temperatures in Yakutia] *Elektronnyj nauchnyj zhurnal «Neftegazovoe delo*, №2. pp. 184-191.
- 25 Popov S.N., Morozova L.Ya., Gerasimov A.I. (2011) Likvidaciya avarijnykh razlivov nefiti so dna vodoemov v usloviyah nizkikh temperatur Yakutii [Liquidation of emergency oil spills from the bottom of water bodies in the conditions of low temperatures of Yakutia] *Neftyanoe, gazovoe, ehnergeticheskoe i avtotransportnoe mashinostroenie*, pp. 463-466.
- 26 Poryadok opredeleniya razmerov ushcherba ot zagryazneniya zemel' himicheskimi veshchestvami [Cooperation of plants and microorganisms: new approaches to the design of environmentally sustainable agro-systems] (utv. Roskomzemom 10 noyabrya 1993 g. i Minprirody RF 18 noyabrya 1993 g.).
- 27 Schaefer M., Juliane F. (2007) The influence of earthworms and organic additives on the biodegradation of oil contaminated soil. *Applied Soil Ecology*, 36(1). pp. 53–62.
- 28 Shepakin M.B., Mishulin G.M. Gafarov I.G. etc. (2001) Ekosorbent kak produkt upravleniya resursami regiona [Ecosorbent as a product of regional resource management] *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, №12. pp. 20-25.
- 29 Tihonovich, I.A. (2007) Kooperaciya rastenij i mikroorganizmov: novye podhody k konstruirovaniyu ekologicheski us-tojchivyh agrosistem [Method of soil purification from oil pollution with the help of natural sorbents] *Uspekhi sovremennoj biologii*, T. 127, № 4. pp. 339-357.
- 30 Turkayeva A., Jamalova G., Mussina U., Oshakbayev M., Timma L., Pubule Je., Blumberga D. (2016) Chemical and Microbiological Nature of Produced Water Treatment Biotechnology. International Scientific Conference “Environmental and Climate Technologies”, CONECT, 12-14 October 2016, Riga, Latvia. *Energy Procedia* 113, pp. 116-120.