

DOI 10.25689/NP.2019.1.238-250

УДК 504.4.054:622.32(045)

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПРУДОВ-ШЛАМОНАКОПИТЕЛЕЙ

Борисова Е.А., Красноперова С.А.

Удмуртский Государственный Университет

THE DEVELOPMENT OF THE RECULTIVATION'S METHOD OF PONDS SLUDGE COLLECTORS

Borisova E.A., Krasnoperova S.A.

Udmurt state University

E-mail: e_borisova75@mail.ru, krasnoperova_sve@mail.ru

Аннотация. Переработка отходов нефтеперерабатывающих предприятий и нефтехимических производств является на данный момент одной из актуальных экологических проблем в России. Одним из наиболее опасных загрязнителей практически всех компонентов природной среды являются нефтесодержащие отходы - нефтяные шламы. В настоящее время разрабатываются принципиально новые технические решения по рекультивации прудов-шламонакопителей и процессы получения химических продуктов в результате утилизации накопленных в них отходов. По результатам исследований разработан метод рекультивации прудов-шламонакопителей, представляющий собой двухстадийный процесс. На первой стадии производится биологическое разложение нефтяных отходов с использованием микроорганизмов, что позволяет решить задачу последующей их утилизации. На второй стадии методом фиторемедиации восстанавливается плодородие нарушенных земель. Метод заключается в посадке травянистой растительности и саженцев деревьев на всей площади рекультивируемых участков земли. Реализация данного метода рекультивации прудов-шламонакопителей позволит снизить затраты на оплату услуг сторонним компаниям по утилизации нефтешламов.

Ключевые слова: нефтешлам, пруд-шламонакопитель, биоремедиация, фиторемедиация, рекультивация нефтезагрязненных земель, биологическая рекультивация.

Abstract. Waste processing of oil refineries and petrochemical industries is currently one of the pressing environmental problems in Russia. One of the most dangerous pollutants of almost all components of the natural environment are oily waste - oil sludge. At present,

fundamentally new technical solutions are being developed for the remediation of sludge storage ponds and the processes of obtaining chemical products as a result of the utilization of waste accumulated in them. According to the research results, a method of remediation of sludge storage ponds, which is a two-stage process, has been developed. At the first stage, biological decomposition of oil waste is carried out using microorganisms, which allows to solve the problem of their subsequent disposal. At the second stage, the fertility of disturbed lands is restored by phytoremediation. The method consists in planting herbaceous vegetation and tree seedlings over the entire area of recultivated land. The implementation of this method of remediation of sludge ponds will reduce the cost of services to third-party companies for the disposal of oil sludge.

Key words: *oil sludge, sludge pond, bioremediation, phytoremediation, remediation of oil-contaminated lands, biological remediation.*

В настоящее время непрерывное развитие темпов научно-технического прогресса приводит к усилению техногенной нагрузки на окружающую природную среду, в результате чего происходит накапливание все больше и больше несвойственных ей (порой сильно ядовитых) токсикантов. В первой половине XX века токсичное воздействие поллютантов на биосферу во многих регионах мира сглаживалось происходящими в ней естественными процессами. В последующие годы масштабы антропогенной нагрузки привели биосферу на грань экологической катастрофы [1].

К наиболее опасным поллютантам большинства компонентов природной среды можно отнести нефтесодержащие отходы – нефтешламы.

Нефтешламы представляют собой сложные многокомпонентные дисперсные системы, основную часть которых составляют тяжелые ароматические и парафинонафтеновые углеводороды (31-83 %), смолы (4-10 %) и асфальтены (4-14 %). Процессы «старения» данных эмульсий могут происходить за счет внешних факторов окружающей среды: окисление и осмоление нефти под действием атмосферного воздуха; уплотнение и упрочнение бронирующих оболочек на каплях воды; испарение легких фракций; формирование коллоидно-мицелярных конгломератов; проникновение дополнительных мехпримесей

неорганического происхождения. Указанные процессы приводят к повышенной устойчивости нефтешламов к разрушению, следовательно, их обработка и утилизация представляет одну из сложнейших задач в настоящее время [2]. Сбор и хранение последних обычно производится в прудах-шламонакопителях, в которых нефтешламы подразделяются на три слоя: верхний – трудноразделимая эмульсия, средний – загрязненная вода, донный – осадок с большим содержанием механических примесей. Нужно отметить, что под шламовые хранилища отводятся огромные площади земельных угодий, изъятые полностью из сельскохозяйственного оборота [3].

В последнее время большое внимание уделяется биологическим методам по утилизации нефтешламов, суть которых заключается в разложении последних в результате активной жизнедеятельности «отдельных» почвенных микроорганизмов.

Таким образом, каждый вид нефтяного шлама требует индивидуального подхода при решении вопросов о технологической схеме их переработки.

Территория, подлежащая рекультивации, представляет собой земельные участки, на которых расположены два пруда площадью 2496 м² и 1777 м², глубиной от 2,5 до 3 м с изношенной и неэксплуатируемой канализационной инфраструктурой. Дно, как правило, образовано глинистыми субстратами, загрязненными нефтепродуктами. Во время обследования территории определено состояние. Во время обследования территории проведены оценка состояния природной среды и ландшафтно-индикационные исследования, в процессе которых были выявлены антропогенно измененные участки ландшафта. На исследуемых прудах, на поверхности воды (накапливаемой в прудах в результате стоков талой и дождевой воды) присутствует нефтяная пленка и нефтезагрязненный поверхностный слой дна и обвалований прудов.

Для проведения исследований было отобрано десять проб почв и две пробы воды для лабораторных исследований на содержание нефтепродуктов. Загрязнение почв и воды исследуемых прудов подтверждается данными количественного химического анализа отобранных проб.

Рекультивация почв, на которых расположен пруд - шламонакопитель, и пруд дополнительного отстоя, направлена на восстановление земель до лесохозяйственных целей. Необходимый объем и перечень работ, предусмотренный рекультивацией, приведён в табл. 1.

Таблица 1

Перечень и объем работ предусмотренные рекультивацией

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения	Количество
1	Вырубка древесной и кустарниковой растительности	м ³	20
2	Сбор, транспортирование и размещение древесно-кустарниковой растительности на ОРО.	м ³	20
3	Корчевание, сбор, транспортирование и обезвреживание пней.	м ³	30
4	Демонтаж элементов системы канализации	тн.	3,7
6	Сбор, транспортирование и утилизация нефтезагрязненной воды	м ³	694,3
7	Обустройство специальной площадки для обезвреживания загрязненного нефтепродуктами грунта	м ²	5 260
8	Обезвреживание грунта загрязненного нефтепродуктами	м ³	1 580
9	Перемещение обезвреженного грунта в пруды	м ³	1 580
10	Планировка прудов	м ²	4 273
11	Посев травянистой растительности	м ²	4 273
12	Посадка лесных культур	м ²	4 273
13	Мониторинг	м ²	4 273

В настоящее время наиболее эффективным и экономически целесообразным методом рекультивации нефтезагрязненных земель является метод биоремедиации, основанный на применении биопрепаратов. Предлагаемый способ отличается высокой степенью очистки, экономичностью, простотой, надежностью и экологичностью.

Данная технология применима даже на болотистых почвах и водных объектах при очистке нефтяных загрязнений. Ликвидация указанных загрязнений при использовании исключительно механических и физико-химических методов не всегда приводит к должному эффекту, так как зачастую возникает проблема утилизации отходов, образующихся после очистки. Применение биопрепаратов гарантирует максимальное извлечение нефтепродуктов из загрязненных почв. При этом не образуются промежуточные и конечные токсичные продукты [4]. Основные компоненты биопрепаратов – это экологически безопасные бактериальные биомассы природных сапрофитных штаммов (продуцентов): *Acinetobacter bicocum*, *Acinetobacter valentis*, *Arthrobacter sp.*, *Rhodococcus sp.*, а также их различные сочетания. Данные штаммы бактерий выделяют из активного ила нефтеперерабатывающего завода и загрязненных нефтепродуктами образцов почвы, что необходимо при адаптации микроорганизмов к реальным условиям загрязнения.

Все указанные штаммы микроорганизмов, использованные для создания биологических препаратов, непатогенны, нетоксичны и не оказывают влияния на ход естественных природных процессов. Они участвуют в процессе разложения нефтепродуктов в период от нескольких дней или недель до нескольких месяцев в зависимости от уровня загрязнения объекта, химического состава поллютанта, климатических, геологических и физико-химических параметров среды [5]. Биопрепараты выпускаются специализированными биохимическими лабораториями в виде порошка или суспензии живых бактерий, что дает возможность перевозить их на любые расстояния любым видом транспорта.

Результатом процесса биоремедиации является постепенное исчезновение старых органических и образование новых минеральных соединений, включающихся в биологический круговорот. Далее идет процесс гумификации, который завершается консервацией органических веществ в новообразованных, устойчивых к разложению продуктах –

гумусовых соединениях [6-7].

Анализ основных марок биопрепаратов приведен в табл. 2.

Таблица 2

Основные марки биопрепаратов

Наименование препарата	Разлагаемые субстраты	Диапазон температур, °С	Диапазон pH	Титр живых клеток, кл./г
Валентис	Сырая нефть, мазут, моторное масла, бензин	10-50	3,0-8,0	10^{10}
Дестройл	Сырая нефть, нефтешламы, мазут, дизельное топливо, бензин, керосин	10-42	4,5-8,5	10^9
Аллегро	Сырая нефть, бензин, дизельное топливо, тяжелые парафины, ароматические углеводороды, фенолы,	15-45	1,0-5,0	10^9
Петро трит	Сырая нефть, нефтепродукты: бензин, дизельное топливо, мазут, моторные масла	10-40	4-10	10^{10}

На основании приведенного анализа основных характеристик биопрепаратов, а также невысокой стоимости препарата, «Дестройл» был выбран для проведения рекультивации исследованной территории.

Для оценки эффективности биопрепарата «Дестройл» в рамках разработки проекта рекультивации почв в районе Предприятия был заложен полевой опыт.

Агрегатный состав нефтепродуктов в почве изменялся от вязкой жидкости до легко распадающихся твердых частиц с запахом гнили во влажном состоянии. Кусочки грунта с остатками разложившихся нефтепродуктов не горючи.

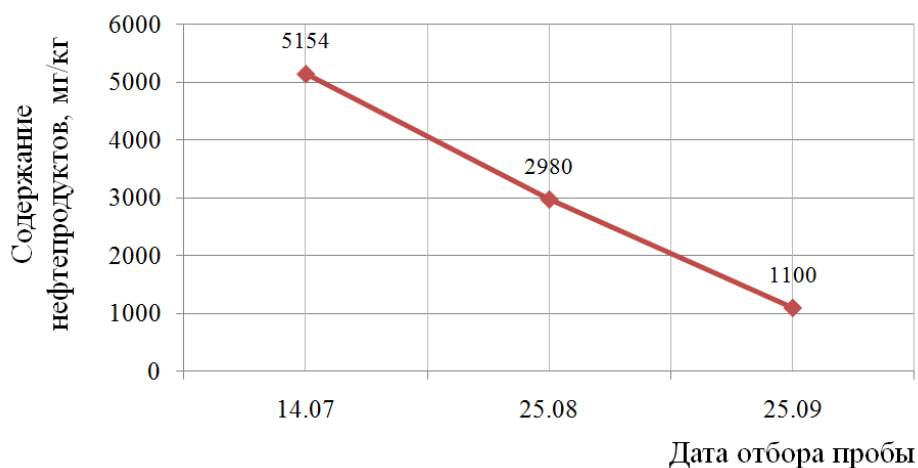
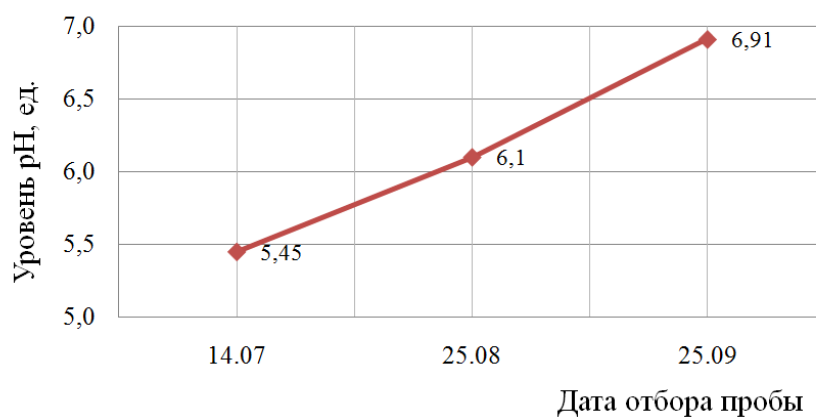
Эффективность действия биологического препарата «Дестройл» доказана на основании методов химического анализа, а именно: количественного содержания нефтепродуктов в почве на участке рекультивации и изменения уровня pH. Результаты химического анализа отобранных проб приведены в табл. 3.

Таблица 3

Химический анализ проб почвы участка рекультивации

Место и дата отбора проб		Результат анализа	
		Водородный показатель, ед. pH	Нефтепродукты мг / кг
Участок пробной рекультивации нефтезагрязненной территории.	14.07	5,45	5 154
	25.08	6,10	2 980
	25.09	6,91	1 100

На графиках (Рис. 1 и 2) представлены результаты анализов проб грунта.

**Рис.1. Динамика изменения содержания нефтепродуктов в грунте****Рис.2. Изменение уровня pH в исследуемых образцах проб грунта**

Оценка эффективности применения препарата проведена по формуле:

$$\mathcal{E} = (C_0 - C_i) / C_0 \times 100 \%, \quad \text{где}$$

C_i – концентрация i -ого загрязняющего вещества, мг/кг;

C_0 – начальная концентрация i -ого загрязняющего вещества, мг/кг.

Таким образом, на основании расчетов эффективность действия после первого месяца обработки препаратом составила:

$$\mathcal{E} = (52\,154 - 36\,980) / (52\,154) \times 100 \% = 30,0 \%$$

Эффективность после второго месяца обработки препаратом составила:

$$\mathcal{E} = (52\,154 - 8\,500) / (52\,154) \times 100 \% = 84,0 \%$$

После биоремедиации начинается биологический этап рекультивации, который заключается в посадке травянистой растительности и саженцев деревьев на всей площади рекультивируемых участков земли.

Биологический этап включает две стадии:

- 1) Пробный посев трав злаковых растений. Злаковые культуры высевают в гумусированную глинистую почву. Посев и уход за посевами осуществляют по технологии, принятой для данной почвенно-климатической зоны.
- 2) Фитомелиорация. Внесение минеральных удобрений и посев устойчивых к загрязнению многолетних трав. Если пробный посев трав дал всходы не менее, чем на 75% площади, спустя 1,5 — 2,5 года после загрязнения, высевают многолетние травы.

При выборе фиторемедиантов рекультивируемых прудов рассматриваются растения с мощной мочковатой корневой системой, которые обладают большой корнеобитаемой зоной, где могут интенсивно протекать процессы деградации. Кроме того, некоторые растения обладают дополнительными свойствами, способствующими восстановлению почвы:

- 1) кострец безостый является засухоустойчивым, холодостойким многолетним злаком, способным произрастать в условиях умеренного климата с морозными зимами;

- 2) бархатцы в своем метаболизме используют серу, синтезируя тиофены и обладают устойчивостью к присутствию этого элемента, концентрация которого увеличивается в почве при загрязнении нефтью;
- 3) люцерна посевная за счет симбионтных микроорганизмов-азотфиксаторов обогащает почву азотом, нормализуя баланс углерода и азота, сдвинутого в сторону углерода, при попадании поллютанта в экосистему.

Для сравнения влияния посевов различных фиторемедиантов в качестве примера выберем наиболее чувствительный показатель (активность каталазы) и показатель, проявляющий устойчивость к действию нефти (численность углеводородокисляющих микроорганизмов – УОМ). Для возможности адекватного сравнения параметров использовался относительный показатель, который характеризовал процентное отношение значения показателя в опыте к контрольному. Такая необходимость диктовалась тем условием, что модельные опыты проводились не одновременно и активность контрольных образцов отличалась в разных вариантах эксперимента.

На основании опытов, проведенных в условиях Башкирского Государственного Университета выявлено, что каталазная активность почв под посевами бархатцев (на 30 и 60 суток), люцерны посевной (на 30 суток), пшеницы яровой (на 30 суток) была снижена. Под посевами костреца безостого (на 30 и 60 суток), люцерны посевной (на 60 суток) активность фермента увеличивалась, это свидетельствует о том, что микробиота продуцирующая этот фермент проявила устойчивость к загрязнению.

Внесение углеводов в почву приводило к росту специфической группы микроорганизмов, отвечающей за деструкцию поллютанта. Соответственно, с увеличением концентрации загрязнения в почве увеличивалась и численность УОМ.

В почве под посевами всех четырёх растений-фиторемедиантов относительный показатель численности углеводородсодержащих микроорганизмов превышал значения показателя в контрольном варианте опыта (100%). По относительному показателю можно выделить бархатцы, люцерну посевную, пшеницу яровую, однако по абсолютному же показателю бархатцы уступают другим растениям.

Одним из главных показателей, по которым определяется степень эффективности проведения фиторемедиационных работ, является содержание остаточных нефтяных углеводородов под посевами растений. На 60 сутки самый низкий процент концентрации остаточных углеводородов отмечался под посевами люцерны посевной, который составил 37,5%.

В целом, опираясь на данный параметр по эффективности, растения расположились в убывающем порядке: люцерна посевная → пшеница яровая, кострец безостый → бархатцы прямостоячие.

Для общей оценки биологической активности рекультивируемой почвы использовался интегральный показатель биологической активности. Для его расчета использовали как биохимические, так и микробиологические показатели.

Эколого-биологический интегральный показатель состояния почвы под посевами костреца безостого через 30 и 60 суток после загрязнения был выше показателей других растений-фиторемедиантов, что говорит о максимальном положительном влиянии данного растения на восстановление биологической активности почвы (Рис. 3). Усиление микробиологической активности также свидетельствует об активно протекающих процессах деградации поллютанта [8].

Биологический показатель под посевами бархатцев прямостоячих и пшеницы яровой был ниже на 50%, т.е. активность почвы под посевами была в два раза ниже, чем в контрольном образце. Для люцерны посевной

интегральный показатель состояния почвы превысил 50% барьер, что говорит о более интенсивном протекании процессов очистки и детоксикации.

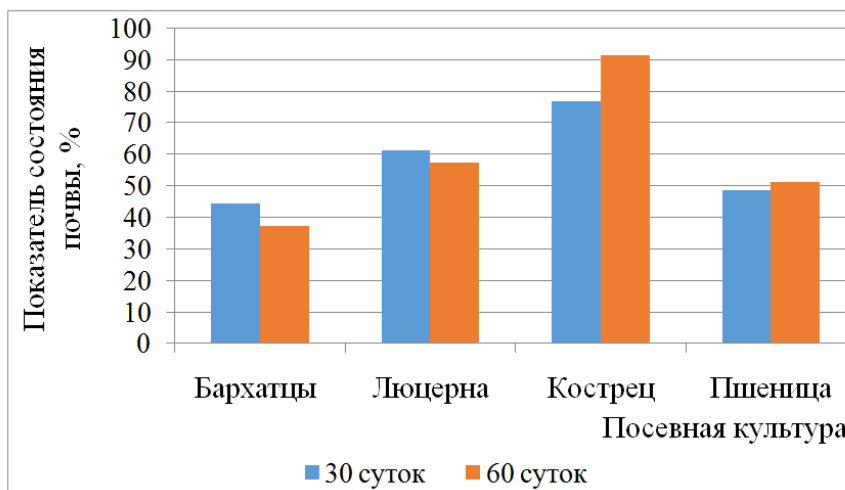


Рис.3. Эколого-биологический интегральный показатель состояния почвы.

Таким образом, наиболее эффективными фиторемедиантами для очистки и детоксикации нефтезагрязненной почвы оказались люцерна посевная и кострец безостый.

Биопрепараты проявляют универсальные свойства при разложении нефтепродуктов, однако их специфичность, проявляющаяся в повышенной активности, зависит от определенных условий.

Оптимизация условий применения биопрепаратов в процессе очистки определяется, исходя из загрязненного объекта природной среды, количества загрязнителя, гидрометеорологической обстановки на месте работ, наличия технических средств и возможности их оперативной доставки.

Проведенное исследование показало, что только комплексная оценка с учетом нескольких параметров, в том числе биохимических, может позволить выявить наиболее эффективные методы биоремедиации, т.к. в первую очередь все мероприятия направлены на восстановление ее биологических свойств.

Список литературы

1. Ананьева Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука, 2001. – 226 с.
2. Конопелько Л.А., Бегак О.Ю., Окрепилов М.В. Экологические проблемы нефтедобычи // Экологические системы и приборы. – 2012. № 2. – С. 30 – 35
3. Туманян А.Ф. Экологические последствия загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами при аварийных ситуациях и способы рекультивации земель М.: Изд.-во «Техника», 2004. – С. 3 – 6
4. Гаврилин И.И., Шигапов А.М. Некоторые особенности биологических методов очистки почвогрунтов от загрязнения нефтепродуктами // Междунар. науч.-исслед. журн. 2014. № 3. (22). – С. 43-46.
5. Сметанин В.И. Рекультивация и обустройство нарушенных земель: учебник. М.: Колос, 2000. – 96 с.
6. Хаустов А.П., Редина М.М. Охрана окружающей среды при добыче нефти. М.: Дело, 2006. – 552 с.
7. Борисова Е.А. Разработка предложений по рекультивации прудов-шламонакопителей на примере предприятий нефтегазовой отрасли удмуртской республики // Управление техносферой: электрон. журнал. – 2018. Т.1. Вып. 3. – С. 339-349. URL: <http://f-ing.udsu.ru/technosphere>
8. Чернавская Н.М. [и др.]. Нефть – природный ресурс как фактор техногенного и экологического риска // Экономика природопользования. – 2007. – № 6. – С. 78 - 96.

References

1. Ananyeva N.D. *Mikrobiologicheskie aspekty samoochisleniya i ustoychivosti pochv* [Microbial aspects of soil self-purification and resistivity]. Moscow: Nauka Publ., 2001, 226 p. (in Russian)
2. Konopel'ko L.A., Begak O.Yu., Okrepilov M.V. *Ecologicheskie problemy neftedobychi* [Ecological issues of oil production] *Ecologicheskie sistemy i pribory*, 2012, No. 2, pp. 30 – 35. (in Russian)
3. Tumanyan A.F. *Ecologicheskie posledstviya zagryazneniya pochv نفت'yu i nefteproduktami pri avariynnykh situatsiyakh i sposoby rekul'tivatsii zemel'* [Environmental implications of soil contamination with oil and oil products in emergency situations and soil remediation methods]. Moscow: Tekhnika Publ., 2004, pp. 3-6 (in Russian)
4. Gavrilin I.I., Shigapov A.M. *Nekotorye osobennosti biologicheskikh metodov ochistki pochvogruntov ot zagryazneniya nefteproduktami* [Some peculiar aspects of biological methods of remediation of petroleum contaminated soil]. *Mezhdunarodny nauchno-issledovatel'sky zhurnal*, 2014, No 3. (22), pp. 43-46. (in Russian)
5. Smetanin V.I. *Rekultivatsiya i obustroystvo naryshennykh zemel'* [Remediation and rehabilitation of disturbed soil]. Moscow: Kolos Publ., 2000, 96 p. (in Russian)
6. Khaustov A.P., Redina M.M. *Okhrana okruzhayushey sredy pri dobyche nefti* [Environmental protection during oil production]. Moscow: Delo Publ., 2006, 552 p. (in Russian)
7. Borisova E.A. *Razrabotka predlozheniy po rekul'tivatsii prudov-shlamonakopiteley ne primere predpriyatiy neftegazovoy otrasli udmurtskoy respubliky* [Working out proposals for rehabilitation of settling lagoons as illustrated by the example of oil and gas enterprises of the Udmurt Republic]. *Upravlenie tekhnosferoy*, 2018. Vol.1. No. 3, pp. 339-349. (in Russian) Available at: <http://f-ing.udsu.ru/technosphere>
8. Chernavskaya N.M. et al. *Neft' – prirodnnyy resurs kak faktor technogennoy i ekologicheskogo riska* [Oil – natural resource as factor of man-induced and ecological risk]. *Ekonomika nedropol'zovaniya*, 2007, No. 6., pp. 78 - 96.

Сведения об авторах

Борисова Елена Анатольевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры, Институт Гражданской защиты, Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Республика Удмуртия, Российская Федерация
E-mail: e_borisova75@mail.ru

Красноперова Светлана Анатольевна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры геологии нефти и газа, Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Республика Удмуртия, Российская Федерация
E-mail: krasnoperova_sve@mail.ru

Authors

Borisova E.A., PhD, Assistant Professor, Institute of Civil Defense, Udmurt State University, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation
E-mail: e_borisova75@mail.ru

Krasnoperova S.A., PhD, Assistant Professor of Oil and Gas Geology Chair, Udmurt State University, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation
E-mail: krasnoperova_sve@mail.ru

Борисова Елена Анатольевна
426034, Российская Федерация
Ижевск, ул. Университетская, 1/4
Тел. 8 912 468 37 66
E-mail: e_borisova75@mail.ru