



Научная статья

05.17.06 Технология и переработка полимеров и композитов (технические науки)

05.16.09 Материаловедение (по отраслям) (технические науки)

УДК 579.6, 663.18

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.025

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА МЕХАНИЗМ БИОЗАРАЖЕНИЯ ТЕКСТОЛИТОВ В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

Лариса Анатольевна Ерофеевская¹, Анатолий Константинович Кычкин²,
Айсен Анатольевич Кычкин³, Александр Александрович Габышев⁴

^{1, 2, 3, 4} Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», Якутск, Россия

¹ Обособленное подразделение ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» Институт проблем нефти и газа СО РАН

^{2, 3, 4} Обособленное подразделение ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН

¹ lora-07.65@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6864-7984>

² kychkinplasma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5276-5713>

³ icen.kychkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1540-8140>

⁴ pilp77@mail.ru

Аннотация. Исследованы факторы окружающей среды, влияющие на механизм биозаражения полимерных композиционных материалов (стеклотекстолита, базальто-текстолита) при экспозиции в условиях открытой экосистемы. В лабораторно-полевых опытах установлена связь между влиянием различных факторов окружающей среды и микробной контаминации на характер биозаражения полимерных композитов при их экспонировании на открытом полигоне в условиях холодного климата. Показано, что окружающие факторы могут оказывать влияние на состояние и жизнедеятельность микробиоценоза, вызывающего биозаражение полимерных материалов. Показано, что циркуляция в почвенном субстрате плесневых грибов может являться причиной контаминации атмосферного воздуха и материалов, контактирующих с почвой грибными спорами, которые при благоприятных условиях могут прорасти и вызывать биоповреждения полимерных композитов, экспонируемых в условиях открытой экосистемы. Показано, что не каждый микроорганизм, попавший из почвы на поверхность полимерных композиционных материалов, может плотно прикрепляться и затем внедряться в поры или микротрещины, провоцируя их разрушение. Полученные результаты микробиологических исследований вносят вклад в научное обоснование оптимального ресурса использования ПКМ в экстремальных природно-климатических условиях Севера. Выделенные в процессе испытаний микроорганизмы могут служить основой для создания моделей микробных консорциумов, в качестве фунгицидных добавок к полимерным составам, которые могут быть использованы для разработки полимерных композитов, адаптированных к северным условиям.

Ключевые слова: микроорганизмы, полимерные композиционные материалы, биодegradация, почва, воздух, температура, биологические факторы, контаминация, экосистема.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Тема № 0297-2021-0041).

Для цитирования: Исследование влияния факторов окружающей среды на механизм биозаражения текстолитов при экспозиции в условиях открытой экосистемы / Л. А. Ерофеевская [и др.]. // Ползуновский вестник. 2021. № 3. С. 189–200. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.025.

Original article

RESEARCH OF INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON MECHANISM OF TEXTOLITHIC BIOCONTAMINATION IN CONDITIONS OF OPEN ECOSYSTEM

Larisa A. Erofeevskaya¹, Anatoly K. Kychkin², Aisen A. Kychkin³, Aleksandr A. Gabishev⁴

^{1, 2, 3, 4} Federal Research Centre "The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences"

¹ Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences.

^{2, 3, 4} V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences

¹ lora-07.65@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6864-7984>

² kychkinplasma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5276-5713>

³ icen.kychkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1540-8140>

⁴ pilp77@mail.ru

Abstract. *The environmental factors influencing the mechanism of bioinfection of polymer composite materials (fiberglass, basalt textolite) during exposure in an open ecosystem have been investigated. In laboratory and field experiments, a relationship was established between the influence of various environmental factors and microbial contamination on the nature of bioinfection of polymer composites when they are exposed in an open area in a cold climate. It is shown that environmental factors can affect the state and vital activity of the microbial community, which causes bioinfection of polymeric materials. It is shown that the circulation of molds in the soil substrate can be the cause of contamination of atmospheric air and materials in contact with the soil with fungal spores, which, under favorable conditions, can germinate and cause biodeterioration of polymer composites exposed in an open ecosystem. It was shown that not every microorganism that got from the soil to the surface of polymer composite materials can tightly attach and then penetrate into pores or microcracks, provoking their destruction. The obtained results of microbiological studies contribute to the scientific substantiation of the optimal resource for using PCM in the extreme natural and climatic conditions of the North. Microorganisms isolated in the process of testing can serve as a basis for creating models of microbial consortia, as fungicidal additives to polymer compositions, which can be used to develop polymer composites adapted to northern conditions.*

Keywords: *microorganisms, polymer composite materials, biodegradation, soil, air, temperature, biological factors, contamination, ecosystem.*

Acknowledgements: *The work was performed within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Topic No. 0297-2021-004).*

For citation: Erofeevskaya, L. A., Kychkin, A. K., Kychkin, A. A. & Gabishev, A. A. (2021). Research of influence of environmental factors on mechanism of textolithic biocontamination in conditions of open ecosystem. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 189-200. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.025.

ВВЕДЕНИЕ

Условия окружающей среды (ОС) являются определяющим фактором в микробной контаминации и механизме биодegradации полимерных композиционных материалов (ПКМ) при их эксплуатации в условиях открытой экосистемы.

Для разнообразных групп микроорганизмов оптимальные факторы (температура, pH,

условия аэрации, водообмен, солнечная радиация и т.д.), влияющие на жизнедеятельность, дифференцируются. Так, плесневые грибы предпочитают подкисленные, влажные и теплые субстраты [1]. А большинство актинобактерий, в частности *Nocardia*, хоть и кислотоустойчивы, однако лучше развиваются в щелочной среде [2]. Некоторые виды микроорганизмов могут осуществлять жизнедеятельность в присутствии токсических продуктов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА МЕХАНИЗМ БИОЗАРАЖЕНИЯ ТЕКСТОЛИТОВ В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

разложения твердых бытовых отходов [3]. В условиях токсического влияния нефтяных углеводородов могут развиваться как бактериальные, так и грибные формы, многие из которых могут осуществлять метаболизм после влияния на них экстремально низких температур ОС в течение длительного времени [4–7]. Способность некоторых штаммов рода *Vacillus* выдерживать высокие или низкие температуры и высокие или низкие значения pH сделала их важными источниками получения коммерческих препаратов [8].

Ещё недавно считалось, что биodeградация возможна только в интервале температур плюс 20–40 °С, но в реальности температура может быть гораздо ниже [9]. Само же понятие биodeградация может быть определена, как изменение химической структуры полимера вследствие действия биологических факторов, таких как почвенные бактерии, плесневые грибы, атмосферные микроорганизмы, физических – ультрафиолетовое излучение и химических – реагенты в водных средах [10].

В совокупности физические и биологические факторы активируют процессы деградации полимерных компонентов, в результате чего образуются более простые органические структуры, легко усваивающиеся микробным сообществом, адсорбированным на композициях. В идеальных условиях, в процессе метаболизма и при участии ферментного аппарата, бактерии и микромицеты могут разрушать материалы и их компоненты до углекислого газа и воды, оставляя в качестве конечных продуктов безвредную для окружающей среды микробную биомассу, которую уже утилизируют другие микроорганизмы.

Таким образом, процессы биodeградации ПКМ могут включаться в круговорот естественных природных биосистем.

Цель настоящей работы заключалась в изучении связей влияния факторов окружающей среды и микробной контаминации на характер биозаражения ПКМ при их эксплуатации в условиях открытой экосистемы. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать на микробиологические показатели объекты ОС (почву, атмосферный воздух, снежный покров) территории открытого полигона климатических испытаний в городе Якутске, где экспонируются различные опытные образцы ПКМ.

2. Провести первичный скрининг микроорганизмов-возбудителей биозаражений опытных образцов ПКМ, экспонируемых в условиях открытой экосистемы полигона.

3. Исследовать влияние выделенных

микроорганизмов на структуру и свойства ПКМ в результате естественного и искусственного биозаражения опытных образцов.

4. Установить виды микроорганизмов, способных приживаться внутри опытных образцов ПКМ; изучить характер биозаражения ПКМ под влиянием микроорганизмов и различных факторов ОС.

МЕТОДЫ

Материалом для исследований служили опытные образцы биоповрежденных и неповрежденных ПКМ, экспонируемых на открытом полигоне климатических испытаний в городе Якутск. Для изучения влияния факторов ОС на процессы контаминации и биозаражения ПКМ исследованы образцы почвы, снежного покрова и атмосферного воздуха, отобранные с территории полигона. Всего на микробиологические показатели отобраны 24 образца пластин базальтотекстолита и стеклотекстолита, 41 смыв с фрагментов опытных образцов ПКМ, экспонируемых на открытом полигоне, 5 проб почвы, 5 проб атмосферного воздуха, 5 проб снежного покрова.

Отбор почвенных образцов проводили методом конверта по общепринятым методикам с соблюдением условий стерильности (ГОСТ 17.4.3.01-2017; ГОСТ 17.4.4.02-2017).

Снежный покров отбирали с соблюдением асептических условий подобно отбору почвенных проб методом конверта с поверхностного слоя 0–5 см и ближе к приземному слою 20–25 см.

При взятии проб атмосферного воздуха использован седиментационный метод. Для этого чашки Петри располагали на уровне около 1–1,5 м от поверхности почвы. Каждая проба отбиралась в трехкратной повторности на агаризованные питательные среды Чапека, Сабуро и мясо-пептонный агар (МПА). В лабораторных условиях чашки инкубировали при температуре +10 °С и +25 °С. Выбор данных температур инкубации был обусловлен целенаправленностью исследования микроорганизмов, в том числе, микроскопических грибов, относящихся к мезофилам и психротрофам.

Методы лабораторных исследований микроорганизмов включали: выделение в культуру, идентификация и исследование чистых культур микроорганизмов биохимическим методом, микроскопию.

В качестве основных параметров изучали интегральные показатели численности и биомассы микроорганизмов; индексы разнообра-

зия микробных сообществ; морфолого-культуральные признаки колоний.

Для исследования ростовых характеристик использовали классические методы культивирования: изучение скорости роста на элективных и дифференциально-диагностических питательных средах.

Идентификацию бактерий и микроскопических грибов осуществляли по общепринятым в микробиологии методам [11–14].

Грибостойкость ПКМ определяли в соответствии с общепринятыми методами [15, 16].

В работе использован лабораторный поляризованный микроскоп Axiolab Pol, производства фирмы "Карл Цейсс" Германия, объектив N-Achromat 5x/0,13 (цветовой код – красный, свободное рабочее расстояние (FOD) – 11,2 мм). Числовая апертура $\times 1000$. Максимальное полезное увеличение микроскопа – 130000 и биологический микроскоп «Biomed-3» с увеличением от 40 до 1000 крат.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Краткая физико-географическая характеристика места проведения исследований.

Город Якутск расположен в Центральной части Республики Саха (Якутия), в долине Туймаада, на левом берегу реки Лены, в среднем её течении, несколько севернее параллели 62 градуса северной широты (координаты: 62°01'38" с.ш. 129°43'55" в.д. (G) (O) (Я)), вследствие чего в летнее время наблюдается длительный период «белых ночей», а зимой (в декабре) – светлое время суток длится всего 3–4 часа.

Климат Якутска резко континентальный, с небольшим количеством осадков. Годовая амплитуда Якутска – одна из наибольших на планете, примерно равна годовой амплитуде «полюсов холода» – Оймякона и Верхоянска, и превышает 100 °С (102,8 °С).

Максимальное количество осадков приходится на летний сезон (июнь–август) – 35–39 мм.

Средняя максимально низкая температура почвы для города Якутска характерна до минус 41,5 °С в январе месяце. Средняя максимально высокая температура почвы – в июле плюс 25,5 °С. Глубина сезонно-талого слоя до 3 м, а температура на глубине 10 м колеблется в пределах –2... –8 °С. С увеличением плотности грунтов, увеличивается не только теплопроводность, но и их теплоемкость, что приводит к уменьшению глубины промерзания пород. Глубина сезонного промерзания различных типов почв составляет 1,2–3,5 м.

Максимальное количество осадков приходится на летний сезон (июнь–август) от 35 до 39 мм в месяц.

Средняя максимально низкая температура почвы для города Якутска характерна до минус 41,5 °С в январе месяце. Средняя максимально высокая температура почвы – в июле плюс 25,5 °С. Глубина сезонно-талого слоя до 3 м, а температура на глубине 10 м колеблется в пределах –2... –8 °С. С увеличением плотности грунтов, увеличивается не только теплопроводность, но и их теплоемкость, что приводит к уменьшению глубины промерзания пород. Глубина сезонного промерзания различных типов почв составляет 1,2–3,5 м. Несмотря на сравнительно тёплое лето, не все почвенные микроорганизмы успевают выйти из анабиоза и полноценно включиться в природный круговорот. Это объясняется близким залеганием мерзлоты к верхнему почвенному профилю, коротким вегетационным периодом, который условно определяется временем между переходом среднесуточной температуры весной и осенью через плюс 5 °С. Для почв Якутска этот период характерен, примерно, с первой декады мая до второй декады сентября месяца.

Наряду с климатическими факторами, усилить неблагоприятное воздействие на микрофлору природных сред могут оказать токсики антропогенного и техногенного воздействий, к ним относятся химические элементы и их соединения.

Ранее выполненные исследования показали, что почвы городской среды наиболее подвержены загрязнению тяжелыми металлами в сравнении с сельской местностью, что объясняется наличием в городе промышленных объектов и повсеместной эксплуатацией автомобильного транспорта, выхлопы которых загрязняют атмосферный воздух, природные водоемы, почву [17, 18].

Среди группы тяжелых металлов, выбрасываемых автомобилями, наиболее значимыми поллютантами являются свинец, цинк, медь, причем, чем выше скорость автомобиля, тем большее количество вредных веществ он выделяет [19].

Наиболее загрязненными медью почвы (28–50 мг/кг) отмечаются в почвах г. Якутска, чем в сельской местности.

Установлено, что интенсивное накопление меди происходит в районах поселка Геологов, ул. Хабарова, центральной части города, где максимальные концентрации достигают 50 мг/кг. Максимальное повышение концентраций в почвах г. Якутска характерно для свинца. На отдельных участках содержание

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА МЕХАНИЗМ БИОЗАРАЖЕНИЯ ТЕКСТОЛИТОВ В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

свинца достигает 150–200 мг/кг (7–10 ПДК). К зонам наиболее интенсивного накопления свинца в почвах относятся магистральные улицы Хабарова, 50 лет Советской Армии, Богдана Чижика, Лермонтова, центральная часть города, район ГРЭС [20].

Таким образом, климатические факторы, антропогенное и техногенное воздействия, могут оказывать как прямое, так и косвенное влияние на состояние биологической активности объектов ОС.

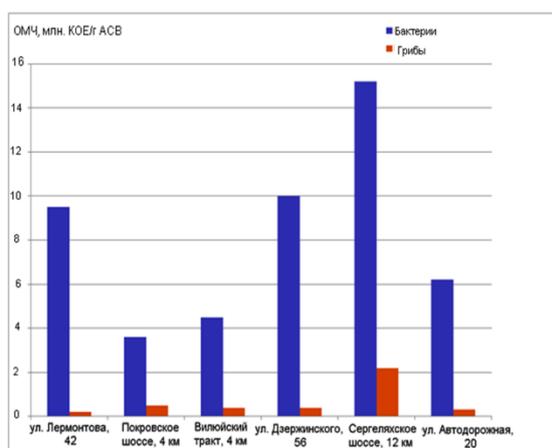


Рисунок 1 – Общая численность основных групп почвенных микроорганизмов (Якутск, 11.09.2020)

Figure 1 – The total number of the main groups of soil microorganisms (Yakutsk, 09/11/2020)

На первом этапе работ на микробиологические показатели исследованы почвы городской экосистемы. Анализ структуры микробных сообществ, исследованных в сентябре 2020 г. показал, что в урбанизированных почвах городской среды Якутска доминируют бактериальные формы над грибными (рисунок 1), что согласуется с результатами ранее выполненных микробиологических исследований [21].

Доминирование в почвенных образцах бактерий, вероятнее всего, обусловлено условиями окружающей среды, поскольку грибные формы микроорганизмов лучше развиваются в теплых, сырых субстратах с влажностью более 70 % и предпочитают подкисленную среду с рН около 3,0–5,5 условных единиц (усл.ед.), в то время как исследованные нами почвы характеризовались слабо-щелочной реакцией среды и недостаточной увлажненностью, что также подтверждают результаты исследований почвенных образцов, отобранных с мониторинговых точек полигона климатических испытаний в городе Якутске в 2018–2020 гг. (таблица 1).

Сравнительный анализ результатов исследования почвенных образцов, отобранных в 2018–2020 гг. показал, что пейзаж почвенных микроорганизмов за три года претерпел не существенные изменения.

В почвах преобладали спорообразующие формы бактерий рода *Bacillus*, неферментирующие бактерии рода *Pseudomonas*; энтеробактерии рода *Proteus*.

Таблица 1 – Характеристика почв полигона климатических испытаний (Якутск), 2018–2020 гг.

Table 1 – Characteristics of the soils of the climatic test site (Yakutsk), 2018–2020

№ пробы по каталогу	Актуальные показатели					
	рН, усл.ед.			Влажность, %		
	11.09.2018	11.09.2019	06.10.2020	11.09.2018	11.09.2019	06.10.2020
ПКИ-1	8,0	7,7	7,8	11,7	13,3	15,2
ПКИ-2	8,1	7,8	7,4	11,1	13,2	12,5
ПКИ-3	8,0	7,6	7,4	11,2	13,4	14,9
ПКИ-4	8,0	7,6	7,6	8,5	13,2	15,4
ПКИ-5	8,1	7,7	7,2	10,6	13,2	13,5
Фон	7,6	7,5	7,6	13,1	13,4	13,5

Из микроорганизмов актинобактериальной линии доминировали *Rhodococcus*, *Streptomyces*, *Nocardia*. Из микроскопических грибов выделены грибы родов *Penicillium*, *Rhizopus*, *Fuzarium*, *Aspergillus* (рисунки 2–4). По общей численности микроорганизмов, использующих различные формы азота почвы исследуемого участка, оцениваются, как обогащенные. Активность азотфиксаторов в исследуе-

мых образцах связана преимущественно с деятельностью бактерий рода *Clostridium*, в то время как для окультуренных почв характерно высокое содержание в почвах азотфиксирующих бактерий родов *Azotobacter*, *Rhizobium* и др.

Минерализация органических веществ в почве полигона проходит за счет активности плесневых грибов и гнилостных бактерий рода *Proteus* и *Pseudomonas*.



Рисунок 2 – Плесневые грибы, выделенные из почв полигона 11.09.2018 г.

Figure 2 – Molds isolated from the soils of the landfill on September 11, 2018



Рисунок 3 – Плесневые грибы, выделенные из почв полигона 11.09.2019 г.

Figure 3 – Molds isolated from the soils of the landfill on September 11, 2019

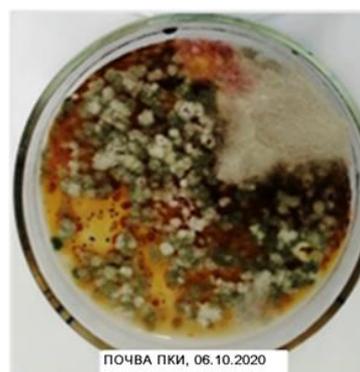


Рисунок 4 – Плесневые грибы, выделенные из почв полигона 06.10.2020 г.

Figure 4 – Molds isolated from the soils of the landfill on October 6, 2020

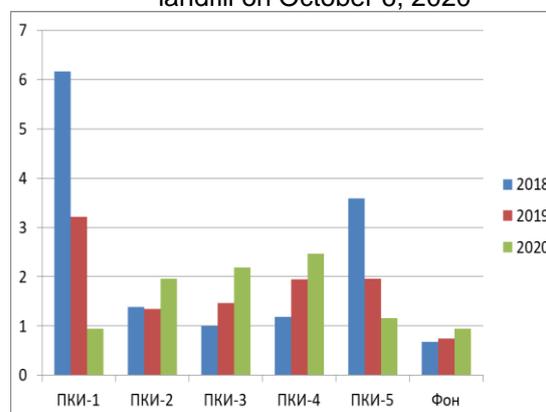


Рисунок 5 – Коэффициент минерализации органических веществ в почве полигона климатических испытаний (Якутск), %

Figure 5 – Coefficient of mineralization of organic matter in the soil of the climatic test site (Yakutsk), %

Таблица 2 – Результаты санитарно-бактериологической оценки почв, 06.10.2020

Table 2 – Results of sanitary and bacteriological assessment of soils on October 6, 2020

№ пробы по каталогу	Патогенные, в т.ч. <i>Salmonella</i>	Индекс, в 1,0 г		
		БГКП	<i>Enterococcus</i>	<i>Clostridium perfringens</i>
ПКИ-1	Не выделены	1,0	1,0	1,0
ПКИ-2	Не выделены	1,0	0,0	0,0
ПКИ-3	Не выделены	1,0	0,0	1,0
ПКИ-4	Не выделены	0,0	0,0	0,0
ПКИ-5	Не выделены	0,0	0,0	0,0
Фон	Не выделены	1,0	0,0	1,0

Коэффициент минерализации здесь выше, чем в фоновом образце (рисунок 5).

Активность процессов гетеротрофной нитрификации и денитрификации в почвах не высокая и связано это с уплотненностью по-

верхностного слоя почвы, нарушением аэрации, недостатком почвенной влаги, вследствие этого, затруднен окислительно-восстановительный потенциал, что провоцирует накопление и переизбыток азота в почве.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА МЕХАНИЗМ БИОЗАРАЖЕНИЯ ТЕКСТОЛИТОВ В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

По санитарно-бактериологическим показателям исследуемые образцы почвы оцениваются, как умеренно загрязненные (таблица 2).

Таким образом, по результатам микробиологических исследований можно сделать вывод, о том, что биологическая активность почв полигона климатических испытаний в городе Якутске в течение трех лет (2018–2020 гг.) была снижена, а наличие в почвенном субстрате плесневых грибов различных уровней патогенности может являться причиной контаминации атмосферного воздуха и материалов, контактирующих с почвой грибными спорами, которые при благоприятных условиях могут прорасти и вызывать биоповреждения образцов полимерных композитов, экспонируемых на полигоне.

Результаты исследования микробной обсемененности атмосферного воздуха на территории полигона климатических испытаний.

В атмосферном воздухе повсеместно циркулируют споры различных плесневых грибов, многие из которых являются звеном в цепочке оппортунистических инфекций человека и животных или вызывают процессы биозаражений объектов ОС. Тем не менее, в настоящее время нормативы по санитарно-микробиологической оценке атмосферного воздуха отсутствуют.

На следующем этапе работ с целью изучения влияния экологических факторов на активацию биозаражения ПКМ экспонируемых на открытом полигоне климатических испытаний выполнены микробиологические исследования качественного состава резидентной (автохтонной) микрофлоры атмосферного воздуха, которая формируется в основном за счет почвенных микроорганизмов.

Исследованиями установлено, что в приземном слое воздуха, на уровне 0,5–1,5 м от земли, в период с 2018 по 2020 гг. циркулировали плесневые грибы родов: *Penicillium*, *Alternaria*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Acremonium* и *Aspergillus*. Из бактериальной группы выделены спорообразующие бактерии рода *Bacillus*. Микрококки рода *Kocuria* и неферментирующие бактерии рода *Chryseobacterium* (рисунки 6–8).

Температура воздуха в Якутске, по данным *Gismeteo*, в течение вегетационного периода (май–сентябрь), когда почвенная микрофлора более интенсивно принимает участие в природном круговороте, составила в 2018 г. плюс 18,8 °С; в 2019 г. плюс 18,3 °С; в 2020 г. плюс 19,9 °С (рисунок 9), что недостаточно для развития мезофильных микроорганизмов, но благоприятна для психротолерантной микрофлоры.

На микробиологические показатели выполнены исследования снежного покрова, отобранного с территории полигона в декабре месяце. Из образцов снега выделены актинобактерии рода *Nocardia* (рисунки 10, 11).

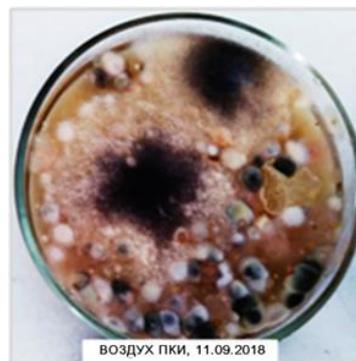


Рисунок 6 – Плесневые грибы, выделенные из атмосферного воздуха, 11.09.2018 г.

Figure 6 – Molds isolated from the atmospheric air, 09/11/2018



Рисунок 7 – Плесневые грибы, выделенные из атмосферного воздуха, 11.09.2019 г.

Figure 7 – Molds isolated from the atmospheric air, 09/11/2019



Рисунок 8 – Плесневые грибы, выделенные из атмосферного воздуха, 06.10.2020 г.

Figure 8 – Molds isolated from the atmospheric air, 06/10/2020

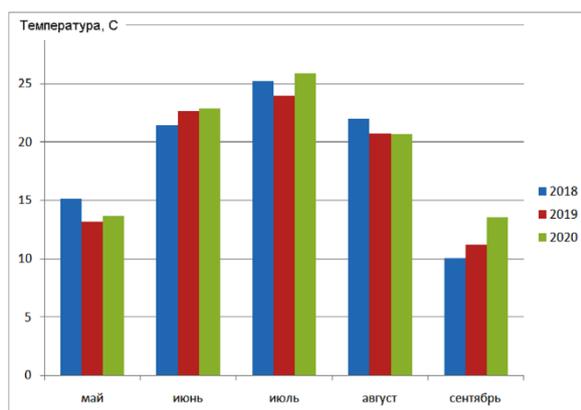


Рисунок 9 – Среднемесячные показатели температуры воздуха за 2018–2020 гг.

Figure 9 – Average monthly air temperature values for 2018–2020

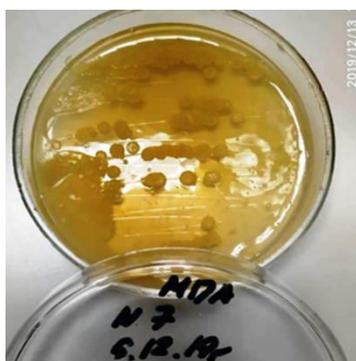


Рисунок 10 – Колонии *Nocardia*, выделенные из снежного покрова полигона, проба № 7, 06.12.2019 г.

Figure 10 – Colonies of *Nocardia* isolated from the snow cover of the landfill, sample No. 7, 06/12/2019



Рисунок 11 – Колонии *Nocardia*, выделенные из снежного покрова полигона, проба № 8, 06.12.2019 г.

Figure 11 – Colonies of *Nocardia* isolated from the snow cover of the landfill, sample No. 8, 06/12/2019

Таким образом, по результатам микробиологических исследований можно сделать вывод, о том, что почва, атмосферный воздух, снежный покров на территории полигона климатических испытаний содержат различные группы микроорганизмов, что может стать причиной биозаражения экспериментальных образцов ПКМ, экспонируемых на данной территории.

Вследствие этого, изучение воздействия условий ОС на способность микроорганизмов к биозаражению и биоповреждению ПКМ и специфику метаболизма микрофлоры природных сообществ в условиях северных широт является актуальной темой.

Результаты микробиологического исследования микроорганизмов, контаминирующих опытные образцы полимерных композитов при экспонировании в условиях открытого полигона.

В рамках настоящей работы выполнен анализ смывов, отобранных в декабре и октябре месяцах с поверхностной опытных образцов ПКМ. В результате выполненного анализа выделено большое разнообразие бактерий и микроскопических грибов. Для дальнейших исследований отселектированы доминантные культуры психрофильных плесневых грибов родов *Penicillium* и *Aspergillus* (рисунки 12–13), перспективные для биотехнологического применения в экологических и промышленных целях.

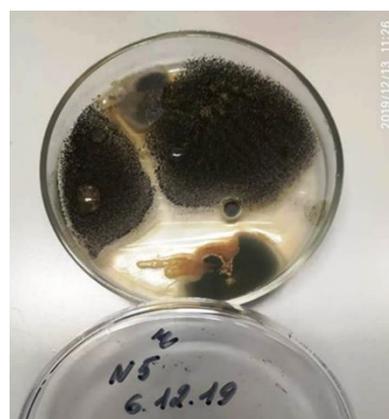


Рисунок 12 – Рост колоний плесневых грибов, выделенных из смывов с поверхности опытного образца стеклотекстолита на среде Чапека

Figure 12 – Growth of colonies of mold fungi isolated from washes from the surface of a prototype fiberglass on Czapek's medium

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА МЕХАНИЗМ
БИОЗАРАЖЕНИЯ ТЕКСТОЛИТОВ В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

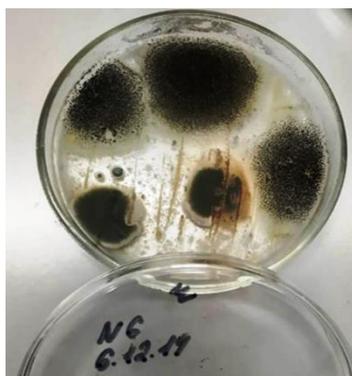


Рисунок 13 – Рост колоний плесневых грибов, выделенных из смывов с поверхности опытного образца углепластика на среде Чапека

Figure 13 – Growth of colonies of mold fungi isolated from washes from the surface of a test sample of carbon fiber on Czapek's medium

На микробную контаминацию исследованы образцы базальтотекстолита и стеклотекстолита после климатических исследований. Исследования проведены методом нативного наложения опытных образцов на поверхности агаризированных питательных сред. Инкубацию проводили в стационарных условиях при температуре плюс 22 °С. Уже через 3–5 суток на чашках с опытными образцами зафиксирован рост колоний бациллярной группы бактерий и плесневых грибов, что свидетельствует о том, что опытные образцы контаминированы микрофлорой (рисунки 14–15).



Рисунок 14 – Обрастание опытного образца стеклотекстолита колониями микроорганизмов

Figure 14 – Fouling of a prototype fiberglass laminate by colonies of microorganisms

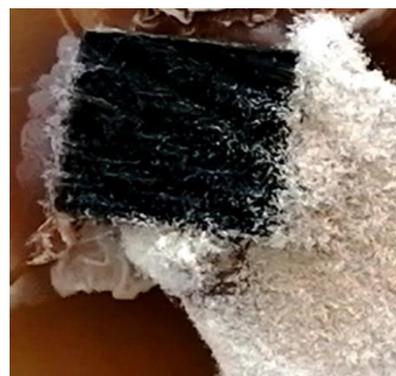


Рисунок 15 – Обрастание опытного образца базальтотекстолита колониями микроорганизмов

Figure 15 – Fouling of a prototype basalt textolite with colonies of microorganisms

Микроскопическим методом зафиксировано проникновение клеток бактерий, грибного мицелия и спор в структуру опытных образцов базальтотекстолита и стеклотекстолита (рисунки 16–17).

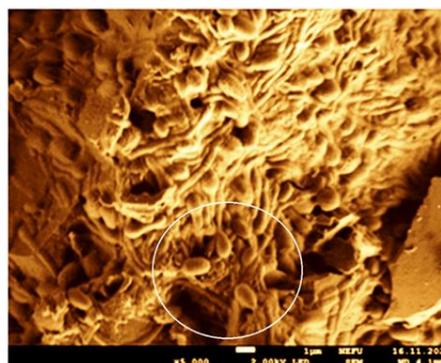


Рисунок 16 – Мицелий и споры плесневых грибов в структуре стеклотекстолита

Figure 16 – Mycelium and mold spores in the structure of fiberglass

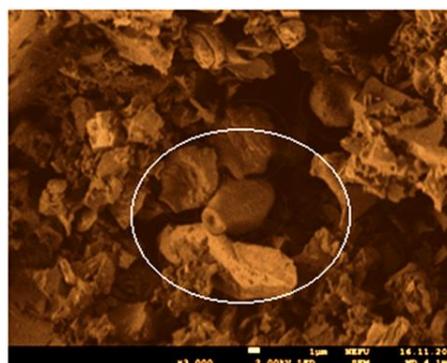


Рисунок 17 – Споры плесневых грибов в структуре базальтотекстолита

Figure 17 – Mold spores in the structure of basalt textolite

ЗАКЛЮЧЕНИЕ / ВЫВОДЫ

В результате исследований показано, что циркуляция микроорганизмов в различных объектах ОС служит фактором биозаражения полимерных композитов, экспонируемых в условиях открытой экосистемы.

Установлено, что не каждый микроорганизм, попавший из ОС на поверхность ПКМ, может плотно прикрепляться и затем внедряться в поры или микротрещины материалов, провоцируя их разрушение.

Выделенные в процессе испытаний микроорганизмы могут служить основой для создания моделей микробных консорциумов, в качестве фунгицидных добавок к полимерным составам, которые могут быть использованы для разработки полимерных композитов, адаптированных к северным условиям.

В целом, результаты микробиологических исследований могут быть использованы в качестве дополнительного материала для разработки методики проведения комплексных климатических испытаний композитных материалов не только в территориальной зоне Республики Саха (Якутия), а также в других регионах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Study of microorganisms on polymer composite materials in frigid climate conditions / A.A. Kychkin [и др.]. // *Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST)*. 2019. V.1. P. 219–223. <https://doi.org/10.2991/isees-19.2019.43>.

2. Erofeevskaya L.A., Aleksandrov A.R., Kychkin A.K. Prospects for the Use of Spore-forming Bacteria to Combat the Destruction of Polymeric Composite Materials // *International science and technology conference "FarEastCon-2019" IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 753 (2020) 052010 IOP Publishing*. 2020. P. 1–5. doi:10.1088/1757-899X/753/5/052010

3. Микробиоты почвы полигона твердых бытовых отходов «Игумново» / Е.Н. Григорьева [и др.] // *Микология и фитопатология*. 2015. № 49(5). С. 286–292.

4. Ерофеевская Л.А. Пейзаж микрофлоры мерзлотных нефтезагрязненных почв территории Нижнеколымского района Республики Саха (Якутия) // *Инновационные подходы в современной науке: сб. ст. по материалам XLVIII Международной научно-практической конференции «Инновационные подходы в современной науке»*. Москва. 2019. № 12(48). С. 23–28.

5. Ерофеевская Л.А. Изучение биологической деградации нефтезагрязнений в почвах под влиянием психрофильных микроорганизмов в условиях криолитозоны // *Материалы международного конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития»*. Москва. 2019. С. 599–600.

6. Ерофеевская Л.А. Микробиологический мо-

нитинг нефтезагрязненных почв в районе аварийного разлива нефти на участке временного нефтепровода «Талакан-Витим» (Юго-Западная Якутия) // *Инновационные подходы в современной науке: сб. ст. по материалам XLVIII Международной научно-практической конференции «Инновационные подходы в современной науке»*. Москва. 2019. № 12(48). С. 29–35.

7. Ерофеевская Л.А. Результаты исследований биологической активности нефтезагрязненного многолетнемерзлого грунта в процессе очистки от нефтезагрязнения // *Сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса «Исследователь года 2019»*. Петрозаводск. 2019. С. 17–27.

8. Садунова А.В. Общая характеристика бактерий рода *Bacillus* // *Материалы VI Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум»*. URL: <https://scienceforum.ru/2014/article/2014001198>.

9. Миндубаев А.З. Микроорганизмы деструкторы и их роль в очистке природных сред (обзор) // *Живые и биокостные системы*. 2020. № 31. URL: <https://jbks.ru/archive/issue-31/article-7>.

10. Даутова А.Н., Янов В.В., Алексеев Е.И., Зенитова Л.А. Биодegradирующие полимерные композиционные материалы с использованием натурального каучука // *Бутлеровские сообщения*. Казань. 2017. Т. 52. №10. С. 56-72. [Идентификатор ссылки на объект – ROI: [jbc-01/17-52-10-56](https://doi.org/10.26907/17-52-10-56)].

11. Vos P., Garrity G., Jones D., Krieg N., Ludwig W., Rai F. *Bergeys Manual of Systematic Bacteriology* // Springer. 2009. Vol. 3. 1450 p.

12. Чубенко, Г.И. Методы идентификации бактерий: учеб. пособие. Благовещенск: ФГБОУ ВО Амурская ГМА, 2018. 44 с.

13. Казаков, В.С. Решение на базе MALDI-TOF масс-спектрометрии для экспресс-идентификации микроорганизмов. 2017. С. 2.

14. Хаффарессас, Ясин. Современные методы идентификации микроорганизмов // *Новый взгляд. Международный научный вестник. Сборник научных трудов. Новосибирск: Изд-во ООО «Центр развития научного сотрудничества» (Новосибирск)*, 2017. С. 6–14.

15. ГОСТ 17.4.3.01-2017. Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к отбору проб. Москва: ФГУП «Стандартинформ», 2018. 8 с.

16. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – Москва: ФГУП «Стандартинформ», 2018. 10 с.

17. Ерофеевская Л.А., Шадринова О.В., Миронова С.И. Изучение влияния хозяйственной деятельности на характер взаимодействия почвенных микроорганизмов с высшими растениями (на примере долины Туймаада) // *Сборник научных трудов XXII международного междисциплинарного форума молодых ученых «Наука, управление, технологии: новые исследования и разработки»*. Санкт-Петербург, 2018. С. 38–44.

18. Erofeevskaya L.A. Study of Biological degradation of oil pollutants in soils under the influence of

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА МЕХАНИЗМ БИОЗАРАЖЕНИЯ ТЕКСТОЛИТОВ В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

psychrophilic microorganisms in permafrost // The proceedings of International congress «Biotechnology: state of the art and perspectives». Moscow : Copyright © LLC "RED GROUP", 2019. P. 599–600.

19. Содержание тяжелых металлов в придорожной зоне автомобильных трасс / Т.В. Леонидова [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 1. С. 146–149.

20. Новгородов А.А., Евдохарова К.И., Пухова С.П. Общая характеристика экологического состояния почв Якутии // Материалы XII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». URL : <https://scienceforum.ru/2020/article/2018023300>.

21. Исследование влияния микроорганизмов на структуру и свойства полимерных композиционных материалов в условиях холодного климата / Л.А. Ерофеевская [и др.] // Научные разработки : Евразийский регион: материалы международной научной конференции теоретических и прикладных разработок. Москва : Изд-во Инфинити, 2018. С. 84–86.

Информация об авторах

Л. А. Ерофеевская – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Обособленного подразделения ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» Институт проблем нефти и газа СО РАН.

А. К. Кычкин – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Обособленного подразделения ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН.

А. К. Кычкин – научный сотрудник ФИЦ «ЯНЦ СО РАН».

А. А. Гыбышев – ведущий инженер Обособленного подразделения ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН.

REFERENCES

1. Kychkin, A.A., Lebedev, M.P., Erofeevskaya, L.A. & Neustroeva, N.I. (2019). Study of microorganisms on polymer composite materials in frigid climate conditions. "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019), Groznyj. D.K. Bataev (Ed.) <https://doi.org/10.2991/isees-19.2019.43>.

2. Erofeevskaya, L. A., Aleksandrov, A. R., Kychkin, A. K. (2019). Prospects for the Use of Spore-forming Bacteria to Combat the Destruction of Polymeric Composite Materials. *International science and technology conference "FarEastCon-2019"*. D.B. Solovov and oth.(Ed.) doi:10.1088/1757-899X/753/5/052010

3. Grigorieva, E.N., Smirnova, O.N., Smirnov, V.F., Kryajev, D.V. & Anikina, N.A. (2015). Soil micro-mycetes of the Igumnovo solid waste landfill. *Mikology and phytopathology*. № 49(5). С. 286-292. (In Russ.).

4. Erofeevskaya, L.A. (2019). Landscape of microflora of permafrost oil-contaminated soils in the territory of the Nizhnekolymsk region of the Republic of Sakha (Yakutia). *Innovative approaches in modern science: collection of articles. Art. based on the materials of the XLVIII International Scientific and Practical Conference "Innovative Approaches in Modern Science"*. 12(48). С. 23-28. (In Russ.).

5. Erofeevskaya, L.A. (2019). Study of biological degradation of oil pollution in soils under the influence of psychrophilic microorganisms in permafrost conditions. *Materials of the international congress "Biotechnology: state and development prospects"*. Moscow. (In Russ.).

6. Erofeevskaya, L.A. (2019). Microbiological monitoring of oil-contaminated soils in the area of an emergency oil spill at the site of the temporary oil pipeline "Talakan-Vitim" (South-West Yakutia). *Innovative approaches in modern science: collection of articles. Art. based on the materials of the XLVIII International Scientific and Practical Conference "Innovative Approaches in Modern Science"*. - Moscow. (In Russ.).

7. Erofeevskaya, L.A. (2019). The results of studies of the biological activity of oil-contaminated permafrost soil in the process of cleaning from oil pollution ". *Collection of articles of the International research competition "Researcher of the Year 2019"*. Petrozavodsk.. (In Russ.).

8. Sadunova, A. V. (2014). General characteristics of bacteria of the genus Bacillus. *Materials of the VI International Student Scientific Conference "Student Scientific Forum"* Retrieved from: <https://scienceforum.ru/2014/article/2014001198>. (In Russ.).

9. Mindubaev, A.Z. (2020). Microorganisms destructors and their role in the purification of natural environments (review). *Living and Biocoste. Systems*. Retrieved from: <https://jbks.ru/archive/issue-31/article-7> (In Russ.).

10. Dautova, A.N., Yanov, V.V., Alekseev, E.I. & Zenitova, L.A. (2017). Biodegradable polymer composite materials using natural rubber. *Butlerov Communications*. Kazan. 52(10). S. 56-72. [Object link identifier - ROI: jbc-01 / 17-52-10-56]. (In Russ.).

11. Vos, P., Garrity, G., Jones, D., Krieg, N., Ludwig, W. & Rai, F. (2009) Bergeys Manual of Systematic Bacteriology. *Springer*. (3). 1450 P. (In Russ.).

12. Chubenko, G.I. (2018). *Methods for identification of bacteria: textbook*. Blagoveshchensk: Amur State Medical Academy. (In Russ.).

13. Kazakov, V.S. (2017). *Solution based on MALDI-TOF mass spectrometry for express identification of microorganisms*. (In Russ.).

14. Haffaressas, Yassin. (2017). *Modern methods of identification of microorganisms*. Collection of scientific papers. Novosibirsk: LLC "Center for the Development of Scientific Cooperation". (In Russ.).

15. Nature Conservation (SSOP). Soils. General requirements for sampling. (2017). HOST 17.4.3.01-2017. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

16. Nature Conservation (SSOP). Soils. Methods of sampling and preparation of samples for chemical, bacteriological, helminthological analysis (2018). HOST 17.4.3.01-2017. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

17. Erofeevskaya, L.A., Shadrinova, O.V. & Mironova, S.I. (2018). Study of the influence of economic activity on the nature of the interaction of soil microorganisms with higher plants (on the example of the Tuymaada valley). *Collection of scientific papers of the XXII international interdisciplinary forum of young scientists "Science, management, technologies: new research and development."* St. Petersburg. (In Russ.)

18. Erofeevskaia, L.A. (2019). Study of Biological degradation of oil pollutants in soils under the influence of psychrophilic microorganisms in permafrost. *The proceedings of International congress «Biotechnology: state of the art and perspectives».* Moscow. (In Russ.)

19. Leonidova, T.V., Sidorenkova, N.K., Blokhina, N.A. & Kharitonov, I.D. (2019). The content of heavy metals in the roadside area of highways. *International Journal of Applied and Fundamental Research.*(1), 146-149. (In Russ.)

20. Novgorodov, A.A., Evdokharova, K.I., Pukhova, S.P. (2020). General characteristics of the ecological state of soils in Yakutia. *Materials of the XII International Student Scientific Conference "Student Scientific."* Retrieved from: <https://scienceforum.ru/2020/article/2018023300> (In Russ.)

21. Erofeevskaya, L.A., Neustroeva, N.I., Kychkin, A.K. & Kychkin, A.A. (2018). Investigation of the influence of microorganisms on the structure and properties of polymer composite materials in a cold climate.

Scientific developments: Eurasian region: materials of the international scientific conference of theoretical and applied developments. Moscow. (In Russ.)

Information about the authors

L. A. Erofeevskaya – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences.

A. K. Kychkin – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of the V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences.

A. A. Kychkin – Researcher, Federal Research Centre "The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences".

A. A. Gabyshev – Leading Engineer of the Separate Subdivision of the V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 26.07.2021; одобрена после рецензирования 16.09.2021; принята к публикации 21.09.2021.

The article was received by the editorial board on 26 July 21; approved after editing on 16 Sep 21; accepted for publication on 21 Sep 21.