

Микробиологическая диагностика биозаражений текстолитов, экспонируемых в природно-климатических условиях Якутии

Кычкин Анатолий Константинович,
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН», kychkinplasma@mail.ru

Ерофеевская Лариса Анатольевна,
кандидат биологических наук, научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН», lora-07.65@mail.ru

Кычкин Айсен Анатольевич,
научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», icen.kychkin@mail.ru

Методом накопительных культур из образцов текстолитов, экспонируемых на полигоне климатических испытаний в городе Якутске в течение нескольких лет, выделены 38 микробных штаммов различных таксономических принадлежностей. Установлено доминирование плесневых грибов над группами бактерий и актинобактерий. Показано, что микроскопические грибы наиболее устойчивы к воздействию экстремально низких температур и их перепадам, характерным для климатических условий Якутии. К группе психрофильных микроорганизмов, выделенных из опытных образцов отнесены актинобактерии рода *Nocardia*; плесневые грибы рода *Aspergillus* и *Penicillium*; спорообразующие бактерии рода *Bacillus*. В качестве факторов, стимулирующих биозаражение текстолитов исследованы природно-климатические условия городской среды и качественный состав микрофлоры почвы, атмосферного воздуха и снежного покрова с территории полигона. Показано, что циркулирующие в окружающей среде микроорганизмы могут служить агентами биозаражения опытных образцов.

Ключевые слова: текстолит, полимерные композиционные материалы, бактерии, микрофлора, биозаражение.

Актуальность. В настоящее время диагностика биологического воздействия на полимерные композиционные материалы (ПКМ) является одним из актуальных направлений не только в области микробиологической науки, а также ряда других научно-прикладных дисциплин, занимающихся изучением свойств материалов и технологий их получения.

Всё больше появляется сведений о микробной контаминации и влиянии этого процесса на разрушение ПКМ.

Поражаемость микроорганизмами наиболее значительна в географических зонах с относительно высокой температурой воздуха, повышенной влажностью, обилием органической пыли (тропики и субтропики) [1, С. 112-119].

Остается малоизученным вопрос о роли контаминации материалов криофильными микроорганизмами и изменении свойств ПКМ под влиянием биологического воздействия при их эксплуатации в природно-климатических условиях Крайнего Севера.

Наиболее агрессивными факторами, оказывающими влияние на долговечность композитов при эксплуатации в северных условиях являются: длительное воздействие на них экстремально низких температур окружающей среды и перепады температур, с многократным переходом через точку замерзания воды и оттаивания льда, что нередко является пусковым этапом для потери эластичности и образования микротрещин в материалах. Относительно же биостойкости материалов к воздействию микробного фактора в условиях холодного климата можно отметить, что в природе нет ни одного вещества или материала, которое не подвергалось бы в той или иной мере воздействию микроорганизмов. В северных условиях, это могут быть ассоциативные взаимодействия криофильных групп, которые способны переносить длительное воздействие экстремально низких температур окружающей среды и их перепады.

Способность микроорганизмов адсорбироваться из внешней среды на ПКМ зависит от адгезивных свойств микробных клеток. Адгезивные свойства характерны для многих криофильных, психрофильных и психротолерантных бактериальных ассоциаций и мицелий-образующей микрофлоры, способных к росту при температурах плюс 4-5 °С.

Очень часто для микроорганизмов свойство адгезии служит пусковой системой в образовании биопленок. На первых этапах эти конгломераты микроорганизмов дислоцируются на поверхности материала, плотно прилепляясь друг к другу. В процессе метаболизма они продуцируют слизь и погружаются в матрикс, состоящий из выделяемого ими внеклеточного полимерного вещества.

Работа выполнена по бюджетной программе ФНИ проекта № 297-2020-0011.

У многих криофилов резистентность к замерзанию реализуется через накопление защитных органических веществ (глицерина, сорбита, маннита и др.), которые препятствуют кристаллизации внутриклеточных растворов (образование льда происходит во внеклеточных жидкостях) и позволяют переживать критические морозные периоды в состоянии оцепенения [2, С. 4-23].

При благоприятных условиях (температура, влажность, pH и др.) процессы адгезии сменяются процессом проникновения микроорганизмов в микротрещины, где они накапливают свою биомассу, в результате чего происходит расширение и разветвление трещин, механические разрушения и, как следствие, ухудшение эксплуатационных свойств ПКМ. Действие микроорганизмов на полимерные образцы вызывает их биодegradацию в разной степени, это обусловлено как составом полимерных материалов, так и различной активностью разных видов микроорганизмов с высокоактивными внеклеточными гидролазами, фосфатазами и другими ферментами, прежде всего это грибы из родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Cladosporium*, *Fusarium* и бактерии родов *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, разрушающие полимерные соединения в окислительных условиях [3, С. 68-75; 4, С. 97-102; 5, С. 1-5; 6, С. 15-22; 7, С. 202-207; 8, С. 24-31; 9, С. 219-223]. И это лишь незначительная часть изученных биодеструкторов.

В лабораторных условиях, клетки, которые могут расти в культуре, составляют менее 1% от общего мерзлотного сообщества микробов. Для большинства жизнеспособных клеток режимы культивирования до сих пор не найдены, и их изучают с применением культурально-независимых методов [10, 448 с.].

Выяснение видового состава микробных сообществ, осуществляющих процесс биодegradации, взаимосвязей в нем, а также изучение механизмов преобразования чужеродных веществ позволит понять и стимулировать процессы самоочищения в природных местообитаниях, создать эффективные системы микробной переработки промышленных и бытовых отходов и, в конечном счете, позволит снизить антропогенное давление на природу [11, 268 с.].

В области биодegradации проводится достаточно исследований, и, учитывая огромный метаболический потенциал микроорганизмов, ожидается, что разработка рентабельных и жизнеспособных процессов биодegradации – это вопрос времени [12, С. 100-107].

Целью исследований в рамках настоящей работы является микробиологическая диагностика биозаражения текстолитов, экспонируемых в природно-климатических условиях Якутии, основанная на сравнительной оценке биоповреждения материалов в исходном состоянии и после взаимодействия на них искусственно созданных микробных консорциумов.

Основные задачи исследований:

- Анализ критериев и подходов к микробиологической оценке биозаражений и биоповреждений текстолитов;
- Исследование влияния климатических факторов на контаминацию текстолитов микробными ассоциациями и изучение процессов их биозаражения в природно-климатических условиях Якутии;
- Установление видов микроорганизмов-контаминантов текстолитов;
- Формирование рабочей коллекции микроорганизмов-биодеструкторов ПКМ, перспективных для дальнейшего микробиологического и биотехнологического применения.

Материалы и методы исследований.

Материалом для исследований служили образцы текстолитов, **экспонируемых** на территории полигона климатических испытаний (г. Якутск, ул. Автодорожная, 20).

Отбор проб проводили дважды в сентябре и декабре месяцах, согласно общепринятым методическим рекомендациям [13, 47 с.; 14-20; 21, 131 с.].

Микроорганизмы из исследуемых образцов выделяли методом накопительных культур [22, 394 с.; 23].

Идентификацию культур проводили на основе комплексного изучения свойств микроорганизмов, используя определители бактерий [24, 224 с.; 25, 799 с.; 26, 408 с.].

В работе использован лабораторный поляризованный микроскоп Axiolab Pol, производство фирма "Карл Цейсс" Германия, объектив N-Achomat 5×/0.13 (цветовой код – красный, свободное рабочее расстояние (FOD) – 11,2 мм). Числовая апертура × 1000. Максимальное полезное увеличение микроскопа – 130000 и биологический микроскоп «Biomed-3» с увеличением от 40 до 1000 крат.

Результаты исследований.

Микробиологическими исследованиями установлено доминирование в образцах текстолитов плесневых грибов над бактериальной группой микроорганизмов и актинобактериями (класс прокариотических грибоподобных организмов, схожих по строению и функциям с бактериями и плесневыми грибами).

Таблица 1

Микроорганизмы, выделенные из образцов текстолитов и в декабре 2019 г.

№ пробы	Наименование пробы	Название штамма
1.	Стеклотекстолит бежевый лицевая сторона (образец ВИАМ, срок экспозиции 8 лет)	<i>Nocardia asteroides</i>
2.	Стеклотекстолит бежевый обратная сторона (образец ВИАМ, срок экспозиции 8 лет)	<i>Nocardia asteroides</i>
3.	Стеклотекстолит желтый лицевая часть	<i>Nocardia asteroides</i> , <i>Candida</i> sp., <i>Penicillium chrysogenum</i>
4.	Базальтостеклотекстолит нижняя часть	<i>Aspergillus niger</i>
5.	Базальтостеклотекстолит лицевая сторона	<i>Aspergillus niger</i>
6.	Рамка для установки базальтостеклотекстолита	<i>Aspergillus niger</i>
7.	Углестеклотекстолит ВКУ-39	<i>Nocardia asteroides</i> , <i>Bacillus atrophaeus</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium notatum</i>
8.	Углепластик КМКУ- 3.50.Э01, срок экспозиции с 2007 года	<i>Nocardia asteroides</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i>
9.	Стеклотекстолит ВПС 48/7781	<i>Nocardia asteroides</i>
10.	Стеклотекстолит КМКС – 2М120Т10, срок экспозиции с 2007 года	<i>Nocardia asteroides</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i>
11.	Снежный покров	<i>Nocardia asteroides</i>

Из опытных образцов в декабре месяце выделено значительное количество культур актинобактерий рода *Nocardia*, отсутствующих в сентябре месяце, это вероятно обусловлено заражением текстолитов из снежного

покрова, что подтверждено микробиологическим исследованием образцов снега, отобранного с территории полигона климатических испытаний (таблица 1).

В отношении микроскопических грибов можно отметить, что в качестве доминирующих выделены *Aspergillus niger* и *Penicillium chrysogenum* (таблицы 1, 2), это свидетельствует об их устойчивости к воздействию экстремально низких температур окружающей среды.

Таблица 2

Микроорганизмы, выделенные из образцов текстолитов и объектов окружающей среды полигона климатических испытаний в сентябре месяце.

№ пробы	Наименование пробы	Название штамма
1.	Стеклотекстолит бежевый, лицевая сторона (образец ВИАМ, срок экспозиции 8 лет)	<i>Fusarium culmorum</i> , <i>Aspergillus flavus</i> , <i>Streptomyces albus</i> , <i>Rhizopus</i> sp.
2.	Стеклотекстолит бежевый, обратная сторона (образец ВИАМ, срок экспозиции 8 лет)	<i>Bacillus atropheus</i> , <i>Bacillus subtilis</i>
3.	Стеклотекстолит желтый, лицевая часть	<i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Candida</i> sp.
4.	Базальтостеклотекстолит, нижняя часть	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i>
5.	Базальтостеклотекстолит, лицевая сторона	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i>
6.	Рамка для установки базальтостеклотекстолита	<i>Penicillium ochrochloron</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>Aspergillus niger</i>
7.	Углестеклотекстолит ВКУ-39	<i>Bacillus atropheus</i> , <i>Streptomyces albus</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Penicillium notatum</i>
8.	Углестеклотекстолит КМУ-11з (срок экспозиции с 01.09.2003)	<i>Fusarium roseum</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i>
9.	Почва	<i>Proteus vulgaris</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Kocuria rosea</i> , <i>Rhodococcus</i> sp., <i>Streptomyces albus</i> , <i>Enterococcus faecium</i> , <i>Ulocladium</i> sp., <i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus 146umigates</i> , <i>Aspergillus flavus</i>

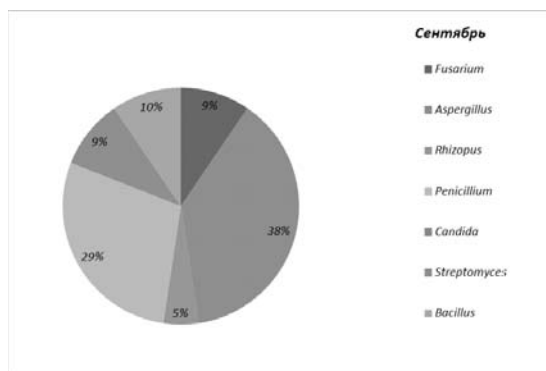


Рисунок 1. Пейзаж выделенных микробных культур в сентябре.

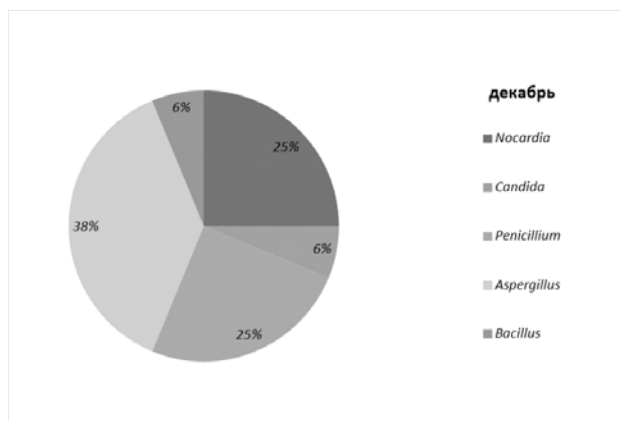


Рисунок 2. Пейзаж выделенных микробных культур в декабре.

По родовому составу, как в сентябре, так и в декабре доминировали плесневые грибы родов *Penicillium* и *Aspergillus* (рисунки 1, 2).

В качестве факторов, стимулирующих биозаражение и биоповреждение текстолитов исследованы природно-климатические условия городской среды; микробный состав почвы, атмосферного воздуха и снежного покрова, территории полигона климатических испытаний.

Краткая физико-географическая характеристика района 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. Площадь - 122 км². Город Якутск расположен в зоне распространения вечной мерзлоты с мощностью от 200-1500 м. В районе города мощность многолетнемерзлых пород составляет 200-250 м, сезонно-талого слоя 2,5-3 м, а температура на глубине 10 м колеблется в пределах -2... -8 °С. Климат резко континентальный, с небольшим годовым 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).

Основным фактором контаминирования материалов, находящихся в открытой экосистеме, являются микроорганизмы, оседающие на поверхность изделий и материалов из атмосферного воздуха и при контакте с почвой. Зимой фактором загрязнения может служить снежный покров.

Результаты исследований физиологических групп микроорганизмов в почвенных образцах, отобранных с территории полигона климатических испытаний свидетельствуют о доминировании в почвах бактериальных форм микроорганизмов, над микроскопическими грибами и актинобактериями.

Грибная микрофлора почвы представлена преимущественно родами: *Ulocladium*, *Penicillium* и *Aspergillus* (таблица 2).

Из снежного покрова, отобранного с территории полигона климатических испытаний выделены психрофильные формы плесневых грибов родов: *Penicillium*, *Aspergillus* и актинобактерии рода *Nocardium* (таблица 1).

Микроорганизмы культивировали в стационарных условиях при температурах +4 и +24±1°C

Заключение.

Микробиологическими исследованиями установлена контаминация опытных образцов текстолитов микроорганизмами различных таксономических принадлежностей. Наиболее устойчивыми к условиям экстремально низких температур окружающей среды оказались актинобактерии рода *Nocardia*; бактерии рода *Bacillus*; плесневые грибы родов *Aspergillus* и *Penicillium*.

В пейзаже микроорганизмов, выделенных в сентябре месяце, на долю микроскопических грибов пришлось 91%; на долю бактерий и актинобактерий по 4,5%.

В декабре месяце – выделенная микрофлора распределена следующим образом: микроскопические грибы – 71%; актинобактерии – 29%; бактерии – 6%, что свидетельствует о более высокой приспособляемости к субстрату и условиям окружающей среды микроскопических грибов в сравнении с бактериальными формами микроорганизмов.

Выделенные из опытных образцов текстолитов плесневые грибы могут быть использованы в дальнейшем в качестве тест-культур для определения грибоустойчивости полимерных композитов в условиях холодного климата.

Показано, что циркулирующие в окружающей среде микроорганизмы могут служить не только агентами биозаражения полимерных композиционных материалов, а также формировать эпидемиологическую обстановку северного мегаполиса о чем свидетельствуют результаты микробиологических исследований в ходе которых из снежного покрова выделены условно-патогенные микроорганизмы.

Литература

1. Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф., Лазарев А.В., Богатов А.Д., Казначеев С.В., Родин А.И., Смирнова О.Н., Смирнов И.В. Биологическая и климатическая стойкость полимерных композитов // Academia. Архитектура и строительство. – 2017. – С. 112-119.
2. Звягинцев Д.Г., Зенова Г.М., Грачева Т.А., Курапова А.И., Дубова М.С. Разнообразие почвенных актиномицетных комплексов, обусловленное температурными адаптациями мицелиальных актинобактерий // Теоретическая и прикладная экология. – № 1. – 2011. – С. 4-23.
3. Сакаева Э.Х., Куликова Ю.В., Рудакова Л.В. Биодеструкция полимерных композиционных материалов микроскопическими грибами // Теоретическая и прикладная экология. – № 4. – 2018. – С. 68-75.
4. Сакаева Э.Х., Мехоношина А.В. Исследование биодеструкции отходов полимерных материалов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология, № 1. – 2017. – С. 97-102.
5. 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 – Pp. 1-5. doi:10.1088/1757-899X/753/5/052010.
6. Ерофеевская Л.А. Результаты исследований полимерных композиционных материалов на биозараженность / Л.А. Ерофеевская // Инновационные подходы в современной науке: сб. ст. по материалам XLVIII Международной научно-практической конференции «Инновационные подходы в современной науке». – № 12(48). – М., Изд. «Интернаука», 2019. – С. 15-22.
7. Ерофеевская Л.А., Кычкин А.К., Кычкин А.А. Прогнозирование биодegradации полимерных композиционных материалов в климатических условиях Якутии // Журнал "Инновации и инвестиции", №6, 2019. – С. 202-207.
8. Кычкин А.А., Ерофеевская Л.А., Кычкин А.К. Исследование выделенных микроорганизмов на полимерных композиционных материалах в условиях холодного климата // Естественные и технические науки. 2019. № 5 (131). – Изд-во: Спутник+, 2019. – С. 24-31.
9. Кычкин А.А., Ерофеевская Л.А., Лебедев М.П., Неустроева Н.И. Исследование выделенных микроорганизмов на полимерных композиционных материалах в условиях холодного климата // II Международный симпозиум «Инженерные науки и науки о Земле: прикладные и фундаментальные исследования», посвященный 85-летию профессора Ибрагимова Хамзата Исмаиловича., Грозный, 2019. – С. 219-223.
10. Крыленков В.А. Микробиота земной криосферы / В.А. Крыленков, А.Е. Гончаров. – СПб.: Фолиант, 2019. – 448 с.
11. Нетрусов А.И. Экология микроорганизмов: учебник для бакалавров. М.: Юрайт, 2013. – 268 с.
12. Лаптев А.Б., Голубев А.В., Киреев Д.М., Николаев Е.В. К вопросу биодеструкции полимерных материалов в природных средах (обзор) // Труды ВИАМ, №9 (81), 2019. – С. 100-107. DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-9-100-107.
13. Возняковская Ю.М. // Основные микробиологические и биохимические методы исследования почвы: методические рекомендации. Л., 1987. – 47с.
14. ГОСТ 17.4.3.01-83 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб.
15. ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализов.
16. ГОСТ 17.4.3.03-85 Охрана природы. Почвы. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ.
17. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими элементами №4266-87, МЗСССР
18. Методические указания №ФЦ/4022-2004. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Методы микробиологического контроля почвы.
19. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы.
20. ГОСТ Р 51426-99 (ИСО 6887-83) Микробиология. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Общее руководство по приготовлению разведений для микробиологических исследований.
21. Градова, Н. Б. Лабораторный практикум по общей микробиологии / Н. Б. Градова, Е. С. Бабусенко, И. Б. Горнова, Н. А. Гусарова. - М.: ДеЛи принт., 2001. – 131 с.
22. Лабинская, А. С. Микробиология с техникой микробиологических исследований / А. С. Лабинская. - Издание 4-е, переработ. и дополн. - М.: Медицина, 1978. – 394 с.
23. Справочник по микробиологическим и вирусологическим методам исследования / под ред. М. О. Биргера. - 3-е издание перераб. и дополненное. - М.: Медицина, 1982. – 464 с.

24. Руководство к практическим занятиям по микробиологии: учебное пособие / под ред. Н. С. Егорова. - 3-е изд., перераб. и дополн. - М.: Изд-во МГУ, 1995. - 224 с.

25. Определитель бактерий Берджи / под ред. Холта Дж. [и др.] - 9-е изд. - М.: Мир, 1997. - 799 с.

26. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology Book Review // Int. J. of Syst. Bact. - July, 1985. - 408 p.

Microbiological diagnostics of text bioinfection in exposed natural and climatic conditions of Yakutia

Kychkin A.K., Erofeevskaya L.A., Kychkin A.A.

Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

Thirty eight microbial strains differences in taxonomic attributes were identified using the method of accumulative cultures from samples of lithexposed at the climate testing site in Yakutsk for several years. The dominance of mold fungi over groups of Bacteria and Actinobacteria was established. It is shown that microscopic Fungi are most resistant to the effects of extremely low temperatures and their difference characteristic of the climatic conditions of Yakutia. The group of psychrophilic microorganisms isolated from experimental samples includes Actinobacteria of the genus *Nocardia*, mold Fungi of the genus *Aspergillus* and *Penicillium*, sporeforming Bacteria of the genus *Bacillus*. Natural and climatic conditions of the urban environment, qualitative composition, microflora of the soil, atmospheric air and snow cover of the territory of the landfill were studied as factors that stimulate the development of lith without contamination. It is shown that microorganisms circulating in the environment can serve as agents of bioinfection of experimental materials.

Key words: textolite, polymer composite materials, bacteria, microflora, bioinfection.

References

- Erofeev V. T., Smirnov V. F., Lazarev A.V., Bogatov A.D., Kaznacheev S. V., Rodin A. I., Smirnova O. N., Smirnov I. V. Biological and climatic stability of polymer composites // Academia. Architecture and construction, 2017. - Pp. 112-119.
- Zvyagintsev D. G., Zenova G. M., Gracheva T. A., Kurapova A. I., Dubova M. S. Diversity of soil actinomycete complexes due to temperature adaptations of mycelial actinobacteria // Theoretical and applied ecology, No. 1, 2011. - Pp. 4-23.
- Sakaeva E. Kh., Kulikova Yu. V., Rudakova L. V. Biodestruction of polymer composite materials by microscopic fungi // Theoretical and applied ecology, No. 4, 2018. - Pp. 68-75.
- Sakaeva E. Kh., Mekhonoshina A.V. Investigation of biodegradation of polymer materials waste // Transport. Transport construction. Ecology, No. 1, 2017. - Pp. 97-102.
- 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 - Pp. 1-5. doi:10.1088/1757-899X/753/5/052010.
- Erofeevskaya L. A. Results of research of polymer composite materials on bio-contamination / L. A. Erofeevskaya // Innovative approaches in modern science: collection of articles based on the materials of the XLVIII International scientific and practical conference "Innovative approaches in modern science". - No. 12 (48). - M., Ed. "Internauka", 2019. - Pp. 15-22.
- Erofeev, L. A., Kychkin A. K., Kychkin A. A. Prediction of biodegradation of polymeric composite materials in the climatic conditions of Yakutia // Journal "Innovations and investments", №6, 2019. - P. 202-207.
- Kichkin A. A., Erofeev A. L., Kychkin A. K. Investigation of selected microorganisms on polymer composite materials in cold climates // Natural and technical Sciences. 2019. No. 5 (131). - publishing house: Sputnik+, 2019. - Pp. 24-31.
- Kychkin A. A., Erofeevskaya L. A., Lebedev M. P., Neustroeva N. I. Research of isolated microorganisms on polymer composite materials in cold climate conditions / / II international Symposium "Engineering Sciences and Earth Sciences: applied and fundamental research", dedicated to the 85th anniversary of Professor Ibragimov Khamzat Ismailovich, Grozny, 2019. - Pp. 219-223.
- Krylenkov V. A. Microbiota of the earth's cryosphere / V. A. Krylenkov, A. E. Goncharov. Saint Petersburg: Folio, 2019. - 448 p.
- Netrusov A. I. Ecology of microorganisms: textbook for bachelors, Moscow: yurayt, 2013. - 268 p.
- Laptev A. B., Golubev A.V., Kireev D. M., Nikolaev E. V. On the issue of biodegradation of polymer materials in natural environments (review) // Proceedings of VIAM, №9 (81), 2019. - Pp. 100-107. DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-9-100-107.
- Voznyakovskaya Yu. M. // Basic microbiological and biochemical methods of soil research: methodological recommendations. L., 1987. - 47 p.
- GOST 17.4.3.01-83 nature Protection. Soils. General requirements for sampling.
- GOST 17.4.4.02-84 nature Protection. Soils. Methods of sampling and preparation of samples for chemical, bacteriological, helminthological analyses.
- GOST 17.4.3.03-85 nature Protection. Soils. General requirements for methods of determination of pollutants.
- Guidelines for the assessment of the degree of danger of soil contamination chemical elements No. 4266-87, SSSR.
- Guidelines no. FZ/4022-2004. Control method. Biological and microbiological factors. Methods of soil microbiological control.
- SanPiN 2.1.7.1287-03. Sanitary and epidemiological requirements for soil quality.
- GOST R 51426-99 (ISO 6887-83) Microbiology. Feed, mixed feed, feed raw materials. General guide to preparing dilutions for microbiological research.
- Gradova, N. B. Laboratory workshop on General Microbiology / N. B. Gradova, E. S. Babusenko, I. B. Gornova, N. A. Gusarova. - M.: Delhi print., 2001. - 131 p.
- Labinskaya, A. S. Microbiology with the technique of microbiological research / A. S. Labinskaya. - 4th edition, reprint. Moscow: Meditsina, 1978. - 394 p.
- Handbook of microbiological and virological research methods / ed. by M. O. Birger. - 3rd edition reprint. and augmented. - M.: Medicine, 1982. - 464 p.
- A guide to practical exercises in Microbiology: textbook / ed. S. Egorova. - 3rd ed., reprint. Moscow: MSU publishing House, 1995. - 224 p.
- Determinant of bacteria Bergey / ed. Holt George. [et al.] - 9th ed. - Moscow: Mir, 1997. - 799 p.
- Bergey's Manual of Systematic Bacteriology Book Review // Int. J. of Syst. Bact. - July, 1985. - 408 p.