

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра «Пищевые и биотехнологии»

Н.В. Науменко

УПРАВЛЯЕМАЯ БИОРЕМЕДИАЦИЯ АКВАРЕСУРСОВ

Методическое указание

для направления 19.04.01 Биотехнология
уровень Магистратура
магистерская программа Искусственный интеллект в промышленных и
экологических биотехнологиях

Челябинск
2021

Цели и задачи дисциплины

Проблема качественного истощения водных ресурсов актуальна для всего мира, в том числе и России. Наиболее приоритетным направлением в области биологической очистки водных экосистем можно выделить биоремедиацию, которая включает в себя комплекс методов очистки вод и грунтов с использованием метаболического потенциала биологических объектов, таких как микроорганизмы, растения, грибы, насекомые, черви и другие виды организмов.

Целью данного курса является формирование у студентов основных представлений о процессах биоремедиации, классификации загрязняющих веществ и способов управления процессами биоремедиации акваресурсов.

Задачи курса заключаются:

- в изучении основных законов управления процессами биоремедиации акваресурсов в природе и промышленности;
- освоение и овладение научным теоретическим знаниями в области биоремедиации акваресурсов;
- овладение практическими навыками моделирования и применения методов искусственного интеллекта в процессах фиторемедиации, использования нафтофитов, гидрофитов и др. биологических объектов для очистки акваресурсов;
- в формировании видения перспектив развития процессов биоремедиации в контексте решения экологических задач.

Краткое содержание дисциплины

При изучении дисциплины будет рассмотрена характеристика процесса биоремедиации, дана классификация загрязняющих веществ, которые могут быть биоремедиированы, представлены физико-химические условия при проведении биоремедиации. Рассмотрены основные принципы организации процессов биоремедиации, возможности использования в данном процессе методов искусственного интеллекта. Изучена биохимия биоремедиации, аэробное и анаэробное биоразложение, мультимедиа-многофазная биоремедиация. Рассмотрены особенности организации, планирования и управления процессами биоремедиации акваресурсов. Освоены основные технологии управления биоремедиацией акваресурсов, такие как методы искусственного интеллекта в фиторемедиации от загрязнителей воды, нафтофитов для ремедиации нефтепродуктов, гидрофитов для мелиорации водоемов. Описана роль водно-болотных угодий в очистке воды. Рассмотрены современные способы биоремедиация такие как, использование модифицированных микроорганизмов для повышения эффективности биоразложения конкретных загрязнителей до более простых и менее токсичных форм. Дана сравнительная характеристика процессов биоремедиации с обычными физическими и химическими технологиями восстановления акваресурсов, Изучены схемы оптимальной комплексной аттестации конечных продуктов процессов биоремедиации.

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

ПК-4 Моделировать развитие биотехнологических процессов в природе

ПК-6 Способен управлять проектами по созданию, поддержке и использованию систем, основанных на знаниях, со стороны заказчика

ПК-11 Способен руководить проектами со стороны заказчика искусственного интеллекта с применением новых методов и алгоритмов машинного обучения со стороны заказчика

Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч., 66,25 ч. контактной работы

Содержание дисциплины

Тематика лекционного материала:

1. Сущность процесса биоремедиации: данный процесс основан на внедрении в загрязненную экосистему активных микроорганизмов-деструкторов. Для биоремедиации используются биологические препараты, основу которых составляют специально подобранные микроорганизмы, ферменты и биосурфактанты (биологически активные вещества), способные ускорять процесс разложения органического загрязнения.

2. Классификация загрязняющих веществ, которые могут быть биоремедированы: в число загрязнителей, которые были биоремедированы, входят тяжелые металлы, радиоактивные вещества, токсичные органические загрязнители, взрывчатые вещества, органические соединения, полученные из нефти (полиароматические углеводороды или ГПД), фенолы и другие.

3. Физико-химические условия при проведении биоремедиации: процессы биоремедиации зависят от активности микроорганизмов и живых растений или их изолированных ферментов, необходимо поддерживать соответствующие физико-химические условия для каждого организма или ферментативной системы, чтобы оптимизировать их метаболическую активность в процессе биоремедиации.

4. Основные принципы организации процессов биоремедиации, процессы (биостимуляция, биоаугментация, компостирование, биопилы, земледелие, фиторемедиация, биореакторы, микроремедиация и др.)

5. Возможности использования методов искусственного интеллекта в процессе биоремедиации, основные факторы, которые необходимо варьировать, оптимизировать и поддерживать на протяжении всего процесса биоремедиации

6. Биоразлагаемость является потенциальным свойством материала, способного к биоразложению в заданных условиях, и характеризуется набором параметров, позволяющих материалу пройти процесс биоразложения до определенной степени в заданный промежуток времени, с применением стандартных методов испытаний и

измерений. Вещества техногенного происхождения, не поддающиеся биоразложению, попадая в почву в качестве отходов, ухудшают экологическую обстановку, поэтому ученые прилагают специальные усилия для того, чтобы придать многим синтетическим материалам свойство биоразлагаемости (биоразлагаемости) в целях уменьшения объема отходов и предупреждения или снижения загрязнения окружающей среды. Аэробное разложение (компостирование) (aerobic composting): Биологическое разложение органических веществ какого-либо материала с потреблением свободного кислорода или воздуха в процессе жизнедеятельности микроорганизмов. Анаэробное разложение (биогазификация) (anaerobic biogasification): Биологическое разложение органических веществ какого-либо материала при отсутствии потребления свободного кислорода или воздуха в процессе жизнедеятельности микроорганизмов, способных выживать за счет выделения энергии из глюкозы или других питательных веществ в отсутствие кислорода.

7. Мультимедиа-многофазная биоремедиация. Особенности организации, планирования и управления процессами биоремедиации акваресурсов.

8. Современные способы биоремедиация такие как, использование модифицированных микроорганизмов для повышения эффективности биоразложения конкретных загрязнителей до более простых и менее токсичных форм.

Тематика и краткое содержание практических занятий и семинаров

1. Классификация и характеристика наиболее распространенных контаминантов. Изучение понятия "загрязнение" и основных его видов. Загрязнение — один из видов деградации экосистемы. Загрязнение окружающей среды — это антропогенное привнесение в экосистему агентов различной природы, воздействие которых на живые организмы превышает природный уровень. В числе этих агентов могут быть как свойственные экосистеме, так и чуждые ей.

2. В соответствии с данным определением загрязнения классифицируют по виду воздействия, способу поступления действующих агентов в окружающую среду и по характеру воздействия на нее выделяют следующие виды загрязнения окружающей среды:

- 1) механическое — загрязнение окружающей среды агентами, которые оказывают механическое воздействие (например, захламление мусором разных видов);
- 2) химическое — загрязнение химическими веществами, оказывающими токсическое действие на живые организмы или вызывающими ухудшение химических свойств объектов окружающей среды;
- 3) физическое — антропогенное воздействие, вызывающее негативные изменения физических свойств окружающей среды (тепловых, световых, шумовых, электромагнитных и др.);
- 4) радиационное — антропогенное воздействие ионизирующего излучения

радиоактивных веществ, превышающее природный уровень радиоактивности;

5) биологическое загрязнение отличается большим разнообразием и включает: – привнесение в экосистему чуждых ей живых организмов (животных, растений, микроорганизмов); – поступление биогенных веществ; – привнесение организмов, вызывающих нарушение баланса популяций; – антропогенное нарушение исходного состояния присущих экосистеме живых организмов (например, массовое размножение микроорганизмов или негативное изменение их свойств).

3. Использование методов искусственного интеллекта в процессе биоремедиации, основные факторы, которые необходимо варьировать, оптимизировать и поддерживать на протяжении всего процесса биоремедиации:

- Концентрация и биодоступность загрязнителя в условиях окружающей среды;
- Влажность;
- Температура;
- Биодоступные питательные вещества;
- Кислотность или щелочность водной среды или pH;
- Доступность кислорода.

4. Нарботка навыков обучения искусственного интеллекта анализу полученных экспериментальных данных в процессе биоремедиации акваресурсов

5. Сравнительная характеристика процессов биоремедиации с обычными физическими и химическими технологиями восстановления акваресурсов, Схемы оптимальной комплексной аттестации конечных продуктов процессов биоремедиации.

Тематика и краткое содержание лабораторных работ

1. Сущность процесса биоремедиации. Биоремидиация - очищение природной среды от загрязнений при помощи биологических методов. При этом необходимо исходить из главного принципа: не нанести экосистеме больший вред, чем тот, который уже нанесен при загрязнении. Это может быть биостимуляция аборигенной микрофлоры путем внесения удобрений непосредственно в загрязненную экосистему или внесение специализированных препаратов микроорганизмов, созданных для очистки загрязненных экосистем. Использование нефтеокисляющих микроорганизмов для очистки окружающей среды является не новой, но недостаточно изученной областью исследований. Продолжается поиск новых деструкторов углеводородов нефти и выявление оптимальных условий эффективного использования имеющихся препаратов.

2. Изучение и варьирование факторов, которые необходимо оптимизировать и поддерживать на протяжении всего процесса биоремедиации:

– Концентрация и биодоступность загрязнителя в условиях окружающей среды: потому что, если он слишком высок, он может быть вредным для тех же микроорганизмов, которые способны их биотрансформировать.

– Влажность: наличие воды необходимо для живых организмов, а также для

ферментативной активности бесклеточных биологических катализаторов. Как правило, относительная влажность от 12 до 25% должна поддерживаться в почвах, подвергающихся биоремедиации.

- Температура: должна быть в диапазоне, обеспечивающем выживание применяемых организмов и / или требуемую ферментативную активность.

- Биодоступные питательные вещества: необходимы для роста и размножения представляющих интерес микроорганизмов. В основном необходимо контролировать углерод, фосфор и азот, а также некоторые важные минералы.

- Кислотность или щелочность водной среды или pH (измерение ионов H^+ в середине).

- Доступность кислорода: в большинстве методов биоремедиации используются аэробные микроорганизмы (например, в компостировании, биопиле и «Земля хозяйство»), и аэрация основания необходима. Однако анаэробные микроорганизмы могут быть использованы в процессах биоремедиации в строго контролируемых лабораторных условиях (с использованием биореакторов).

3. Основные принципы организации процессов биоремедиации (среди прикладных биоремедиационных биотехнологий наиболее актуальны следующие): Биостимуляция состоит из стимуляции на месте из тех микроорганизмов, уже присутствующих в загрязненной среде (автохтонные микроорганизмы), способных к биоремедиации загрязняющего вещества. Биостимуляция на месте это достигается путем оптимизации физико-химических условий для желаемого процесса, т.е. pH, кислород, влажность, температура, среди прочего, и добавление необходимых питательных веществ. Биоаугментация подразумевает увеличение количества представляющих интерес микроорганизмов (предпочтительно автохтонных) благодаря добавлению их инокулятов, культивируемых в лаборатории. Впоследствии, как только интересующие микроорганизмы были привиты на месте, Физико-химические условия должны быть оптимизированы (например, при биостимуляции), чтобы способствовать ухудшению активности микроорганизмов. Для применения биоаугментации следует учитывать стоимость микробной культуры в биореакторах в лаборатории. Компостирование состоит из смешивания загрязненного материала с незагрязненной почвой, дополненной растительными или животными улучшающими агентами и питательными веществами. Эта смесь образует шишки до 3 м высотой, отделенные друг от друга. Оксигенация нижних слоев колбочек должна контролироваться путем регулярного удаления из одного места в другое с помощью оборудования. Оптимальные условия влажности, температуры, pH, питательных веществ, среди прочего, также должны поддерживаться.

4. Основные принципы организации процессов биоремедиации (среди прикладных биоремедиационных биотехнологий наиболее актуальны следующие): Biocells – техника биоремедиации с биопилами такая же, как методика компостирования, описанная выше, за исключением отсутствия улучшающих агентов растительного или животного происхождения, устранения аэрации при движении из одного места в другое. При этом биопленки остаются

зафиксированными в одном и том же месте, будучи проветриваемыми в своих внутренних слоях через систему труб, затраты на монтаж, эксплуатацию и обслуживание которых должны учитываться на этапе проектирования системы. Биотехнология, называемая «земледелие» (перевод с английского: высеченный из земли), состоит из смешивания загрязненного материала (грязи или осадка) с первыми 30 см незагрязненной почвы обширной земли. В этих первых сантиметрах почвы деградация загрязняющих веществ благоприятна благодаря ее аэрации и перемешиванию. Для этой работы используется сельскохозяйственная техника, такая как тракторные плуги. Основным недостатком земледелия является то, что оно обязательно требует больших площадей земли, которые могут быть использованы для производства продуктов питания. Фиторемедиация, также называемая биоремедиацией с помощью микроорганизмов и растений, представляет собой набор биотехнологий, основанных на использовании растений и микроорганизмов для удаления, ограничения или снижения токсичности загрязняющих веществ в поверхностных или подземных водах, илах и почве. Во время фиторемедиации может происходить деградация, экстракция и / или стабилизация (снижение биодоступности) загрязнителя. Эти процессы зависят от взаимодействия растений и микроорганизмов, которые живут очень близко к своим корням, в области, называемой ризосфера. Фиторемедиация была особенно успешной в удалении тяжелых металлов и радиоактивных веществ из почвы и поверхностных или подземных вод (или ризофилтрации загрязненных вод). В этом случае растения накапливают в своих тканях металлы окружающей среды, а затем их собирают и сжигают в контролируемых условиях, так что загрязняющее вещество переходит от рассеивания в окружающей среде к концентрации в виде пепла. Полученный пепел можно обработать для извлечения металла (если это представляет экономический интерес), или его можно оставить в местах окончательной утилизации отходов. Недостатком фиторемедиации является отсутствие глубоких знаний о взаимодействиях, которые происходят между вовлеченными организмами (растениями, бактериями и, возможно, микоризными грибами). Биореакторы представляют собой контейнеры значительных размеров, которые позволяют поддерживать строго контролируемые физико-химические условия в водных культуральных средах, чтобы способствовать интересному биологическому процессу. В биореакторах бактериальные микроорганизмы и грибы можно выращивать в больших масштабах и в лаборатории, а затем применять в процессах биоаугментации на месте. Микроорганизмы могут также культивироваться в интересах получения их загрязняющих ферментов, разрушающих ферменты. Биореакторы используются в процессах биоремедиации *ex situ*, когда загрязненный субстрат смешивают с микробной культуральной средой, способствуя деградации загрязнителя. Микроорганизмы, выращенные в биореакторах, могут быть даже анаэробными, и в этом случае в водной культуральной среде не должно быть растворенного кислорода. Среди биотехнологий биоремедиации использование биореакторов относительно дорогое из-за обслуживания оборудования и требований к микробной культуре.

5. Микроремедиация – это использование грибковых микроорганизмов (микроскопических грибов) в процессах биоремедиации токсичного загрязняющего вещества. Выращивание микроскопических грибов, как правило, более сложное, чем культивирование бактерий, и, следовательно, предполагает более высокие затраты. Кроме того, грибы растут и размножаются медленнее, чем бактерии, причем биоремедиация с помощью грибов является более медленным процессом.

6. Основные технологии управления биоремедиацией акваресурсов, такие как методы искусственного интеллекта в фиторемедиации от загрязнителей воды, нафтофитов для ремедиации нефтепродуктов, гидрофитов для мелиорации водоемов. Роль водно-болотных угодий в очистке воды.

7. Экстраполяция результатов, полученных в лаборатории Из-за высокой сложности биологических систем результаты, полученные в небольших масштабах в лаборатории, не всегда можно экстраполировать на полевые процессы. Особенности каждого процесса биоремедиации. Каждый процесс биоремедиации включает в себя конкретный экспериментальный дизайн в соответствии с конкретными условиями загрязненного участка, типом загрязняющего вещества, подлежащего обработке, и организмами, подлежащими применению. Необходимо, чтобы этими процессами руководили междисциплинарные группы специалистов, среди которых биологи, химики, инженеры и другие. Поддержание физико-химических условий окружающей среды для стимулирования роста и метаболической активности, представляющей интерес, подразумевает постоянную задачу в процессе выполнения лабораторных работ.

Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Раскройте сущность процессов биоремедиации
2. Дайте характеристику биологическим препаратам, используемым для биоремедиации, основу которых составляют специально подобранные микроорганизмы, ферменты и биосурфактанты (биологически активные вещества), способные ускорять процесс разложения органического загрязнения.
3. Дайте классификацию загрязняющих веществ, которые могут быть биоремедированы.
4. Опишите физико-химические условия при проведении биоремедиации.
5. Перечислите основные принципы организации процессов биоремедиации, дайте общую характеристику каждого процесса.
6. Опишите возможности использования методов искусственного интеллекта в процессе биоремедиации,
7. Перечислите основные факторы, которые необходимо варьировать, оптимизировать и поддерживать на протяжении всего процесса биоремедиации
8. Перечислите вещества техногенного происхождения, не поддающиеся биоразложению, которые попадая в почву в качестве отходов, ухудшают экологическую обстановку

9. Дайте определение и характеристику аэробного разложения (компостирование) (aerobic composting)

10. Дайте определение и характеристику анаэробного разложения (биогазификация) (anaerobic biogasification)

11. Мультимедиа-многофазная биоремедиация. Особенности организации, планирования и управления процессами биоремедиации акваресурсов.

12. Современные способы биоремедиация такие как, использование модифицированных микроорганизмов для повышения эффективности биоразложения конкретных загрязнителей до более простых и менее токсичных форм.

13. Микроорганизмы-деструкторы в процессе восстановления нефтезагрязненных почв и водоемов. Методы ликвидации нефтезагрязнений

14. Влияние температуры на УВ-окисляющие микроорганизмы

15. Влияние кислорода на УВ-окисляющие микроорганизмы

16. Природные условия формирования почв и водоемов

17. Способы получения накопительных культур УВ-одокисляющих микроорганизмов и оценка их эффективности в условиях модельного эксперимента (положительные и отрицательные стороны процесса биоремедиации)

18. Исследование эффективности применения накопительных культур УВ-окисляющих микроорганизмов для биоремедиации нефтезагрязненных почв и вод

19. Особенности формирования размеченных данных в процессах биоремедиации акваресурсов

20. Особенности формирования системы обучения искусственного интеллекта в процессах биоремедиации акваресурсов

21. Изучение источников данных, оценка качества данных и определение процессов сбора и интеграции данных

22. Нарботка навыков обучения искусственного интеллекта анализу полученных экспериментальных данных в промышленных и экологических биотехнологиях

23. Нарботка навыков обучения искусственного интеллекта обобщению и интерпретации полученных экспериментальных данных в процессах биоремедиации акваресурсов

24. Варьирование, оптимизация и поддержание на протяжении всего процесса биоремедиации следующих параметров: концентрация и биодоступность загрязнителя в условиях окружающей среды; влажность; температура; биодоступные питательные вещества; кислотность или щелочность водной среды или pH; доступность кислорода

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Печатная учебно-методическая документация

а) основная литература:

1. Лисин, В. С. Ресурсо-экологические проблемы 21 века и металлургия. - М.: Высшая школа, 1998. - 446,[1] с. ил.
2. Степень, Р. А. Экология: Экологические проблемы товароведения [Текст] учеб. пособие для вузов по специальности "Товароведение и экспертиза товаров" Р. А. Степень, В. Н. Паршикова. - М.: Академия, 2004. - 238,[1] с. ил.
3. Практикум на ЭВМ [Текст] Ч. 1 метод. указания к лаб. работам Е. В. Аксенова, Н. С. Силкина, М. Л. Цымблер ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Систем. программирование ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательский Центр ЮУрГУ, 2009. - 70, [1] с. ил. электрон. версия
4. Костенецкий, П. С. Моделирование параллельных систем баз данных [Текст] учеб. пособие для магистрантов и аспирантов П. С. Костенецкий, Л. Б. Соколинский ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Систем. программирование ; ЮУрГУ. - Челябинск: Фотохудожник, 2012. - 78 с. ил.
5. Соколинский, Л. Б. ЮУрГУ Параллельные системы баз данных [Текст] учеб. пособие для вузов по направлениям 010400 "Приклад. математика и физика" и 010300 "Фундам. информатика и информ. технологии" Л. Б. Соколинский ; Юж.-Урал. гос. ун-т ; ЮУрГУ. - М.: Издательство Московского университета, 2013. - 182 с. ил.

б) дополнительная литература:

1. Егорова, Т. А. Основы биотехнологии [Текст] учеб. пособие для вузов по специальности "Биология" Т. А. Егорова, С. М. Клунова, Е. А. Живухина. - 4-е изд., стер. - М.: Академия, 2008. - 207, [1] с. ил.
2. Говорушко, С. М. Взаимодействие человека с окружающей средой. Влияние геологических, геоморфологических, метеорологических и гидрологических процессов на человеческую деятельность [Текст] ил. справочное пособие С. М. Говорушко ; Рос. акад. наук, Дальневосточ. отд-ние, Тихоокеан. ин-т географии. - М.: Киров: Академический проект: Константа, 2007
3. Горохов, В. Л. Экология: Экологическое законодательство Российской Федерации [Текст] учеб. пособие В. Л. Горохов, Л. М. Кузнецов, А. Ю. Шмыков. - М.; СПб.: Герда, 2005. - 683 с.
4. Григорьева, И. Ю. Основы природопользования [Текст] учеб. пособие для вузов по направлению 022000 "Экология и природопользование" И. Ю. Григорьева. - М.: ИНФРА-М, 2014. - 336, [1] с. ил.
5. Калыгин, В. Г. Промышленная экология [Текст] учеб. пособие для вузов В. Г. Калыгин. - 4-е изд., перераб. - М.: Академия, 2010. - 431, [1] с.
6. Карабасов, Ю. С. Экология и управление [Текст] учеб. для вузов по направлению "Металлургия" и " Физ. материаловедение" Ю. С. Карабасов, В. М. Чижикова ; Моск. гос. ин-т стали и сплавов (Технол. ун-т). - М.: МИСИС, 2006. -

708, [1] с. ил.

7. Маринченко, А. В. Экология [Текст] учеб. пособие для вузов по техн. направлениям и специальностям А. В. Маринченко. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Дашков и К, 2008. - 326 с. ил.

8. Никаноров, А. М. Экология [Текст] А. М. Никаноров, Т. А. Хоружая. - М.: Приор, 2001. - 302, [1] с.

9. Павлов, А. Н. Биоинформационные основы жизнедеятельности [Текст] учеб. пособие для вузов по направлению 210400 "Телекоммуникации" А. Н. Павлов. - М.: Гринлайт, 2008. - 230 с. ил. 22 см.

10. Протасов, В. Ф. Экология, здоровье и природопользование в России Под ред. В. Ф. Протасова. - М.: Финансы и статистика, 1995. - 524, [1] с. [8] л. ил.: ил.

11. Сазонов, Э. В. Экология городской среды [Текст] учеб. пособие по направлению 270100 "Строительство" Э. В. Сазонов. - СПб.: ГИОРД, 2010. - 310 с. ил.

12. Лейкин, Ю. А. Основы экологического нормирования [Текст] учеб. пособие для вузов по направлению "Энерго- и ресурсосберегающие процессы в хим. технологии, нефтехимии и биотехнологии" Ю. А. Лейкин. - М.: Форум : ИНФРА-М, 2014. - 367, [1] с. ил.

13. Толканов, О. А. Экология [Текст] курс лекций О. А. Толканов, Н. М. Танклевская ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Физ. химия ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2007. - 158, [2] с. ил.

14. Хотунцев, Ю. Л. Экология и экологическая безопасность [Текст] учеб. пособие для вузов по специальности 033300 "Безопасность жизнедеятельности" Ю. Л. Хотунцев. - 2-е изд., перераб. - М.: Academia, 2004. - 478, [1] с. ил.

15. Шилов, И. А. Экология [Текст] учеб. для студентов биол. и мед. фак. и спец. высш. учеб. заведений И. А. Шилов. - М.: Высшая школа, 1997. - 511, [1] с. ил.

16. Общая экология [Текст] учеб. для экол. специальностей вузов авт.-сост. А. С. Степановских. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. - 509, [1] с. ил.

17. Экология и право ежекв. журн. учредитель и изд. Санкт-Петербург. обществ. орг. "Экологич. правозащит. центр "Беллона" журнал. - СПб., 2002-

18. Акимова, Т. А. Экология : Человек - Экономика - Биота - Среда [Текст] учеб. для вузов Т. А. Акимова, В. В. Хаскин. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: ЮНИТИ, 2006. - 495 с. ил.

19. Брюхань, Ф. Ф. Промышленная экология [Текст] учебник по направлению 270100 "Стр-во" Ф. Ф. Брюхань, М. В. Графкина, Е. Е. Сдобнякова. - М.: Форум, 2012. - 207 с. ил.

20. Варенков, А. Н. Химическая экология и инженерная безопасность металлургических производств Учеб. пособие для вузов по специальности 330100 "Безопасность жизнедеятельности". - М.: Интернет Инжиниринг, 2000. - 382 с. ил.

21. Вронский, В. А. Экология и окружающая среда [Текст] слов.-справ. В. А. Вронский. - М.; Ростов н/Д: Март, 2008. - 428 с.

22. Гарин, В. М. Экология для технических вузов [Текст] В. М. Гарин, И. А. Кленова, В. И. Колесников; под общ. ред. В. М. Гарина. - 2-е изд., доп. и перераб. -

Ростов н/Д: Феникс, 2003. - 376,[1] с. ил.

в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

1. Экология и промышленность России
2. Нефтяное хозяйство
3. Вестник Башкирского университета
4. Водное хозяйство России
5. Вестник Казанского технологического университета

Электронная учебно-методическая документация

1. Пучкова, Т. А. Биотехнология очистки промышленных отходов : учебное пособие / Т. А. Пучкова. — Минск : БГУ, 2018. — 175 с. — ISBN 978-985-566-529-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/180422> (дата обращения: 10.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Чхенкели, В. А. Курс лекций по биотехнологии : учебное пособие / В. А. Чхенкели. — Иркутск : Иркутский ГАУ, 2013. — 371 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/143184> (дата обращения: 10.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Кузнецова, Т. А. Морфология и физиология объектов биотехнологии : учебно-методическое пособие / Т. А. Кузнецова. — Санкт-Петербург : Троицкий мост, 2020. — 206 с. — ISBN 978-5-6043433-9-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/146837> (дата обращения: 10.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Ассоциативные ризобактерии и биологизация технологий возделывания сельскохозяйственных культур в РСО–Алания : монография / А. Т. Фарниев, А. Х. Козырев, А. Р. Пухаев [и др.]. — Владикавказ : Горский ГАУ, 2017. — 280 с. — ISBN 978-5-906647-41-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/134581> (дата обращения: 10.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.