

Министерство просвещения Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный педагогический университет»

Л. Г. ТАРШИС, Е. Л. БАРЫШНИКОВА

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

**Часть 1. Теория и классические
практические работы для организации
учебно-исследовательской деятельности
со школьниками**

Учебное пособие

Екатеринбург 2023

УДК 372.850.4(075.8)
ББК 4426.20
Т22

Рекомендовано Ученым советом федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Уральский государственный педагогический университет»
в качестве *учебного* издания (Решение № 47 от 24.04.2023)

Рецензенты:

Филинкова Татьяна Николаевна, канд. биол. наук, доцент, Уральский государственный педагогический университет (г. Екатеринбург)
Данилов Алексей Николаевич, канд. биол. наук, доцент, Уральский государственный педагогический университет (г. Екатеринбург)

Таршис, Л. Г.

Т22 Теория и практика экологического мониторинга. Часть 1. Теория и классические практические работы для организации учебно-исследовательской деятельности со школьниками : учебное пособие / Л. Г. Таршис, Е. Л. Барышникова ; Уральский государственный педагогический университет. — Екатеринбург : УрГПУ, 2023. — 1 CD-ROM. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-7186-2133-4 (ч. 1)
ISBN 978-5-7186-2132-7

Учебное пособие «Теория и практика экологического мониторинга» подготовлено на кафедре биологии, химии, экологии и методик их преподавания Института естествознания, физической культуры и туризма Уральского государственного педагогического университета. Пособие состоит из двух частей. Первая часть представляет собой материалы курса лекций (теория), читаемых студентам при подготовке бакалавров по специальности «Биология, химия», направления «Педагогическое образование» по дисциплине «Мониторинг окружающей среды». В книгу включены и классические работы по мониторингу отдельных объектов, популяций и экосистем при организации проектной (учебно-исследовательской) деятельности учащихся. В задачи учебного пособия входит знакомство с основными научными направлениями и методами мониторинговых исследований, осуществляемых в пределах Уральского региона; изучение доступных для учащихся современных измерительных приборов и особенностей работы с ними; знакомство с ведущими принципами исследований, с правилами и условиями выполнения работ; самостоятельное определение состояния объектов природной среды при помощи наиболее доступных физико-химических и биологических методов исследования. Книга адресована студентам вузов, старшеклассникам, педагогам естественно-научных дисциплин и всем интересующимся вопросами охраны окружающей среды.

УДК 372.850.4(075.8)
ББК 4426.20

ISBN 978-5-7186-2133-4 (ч. 1)
ISBN 978-5-7186-2132-7

© Таршис Л. Г., Барышникова Е. Л., 2023
© ФГБОУ ВО «УрГПУ», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Глава 1. Общая теория и история мониторинга.....	6
Глава 2. Исследования в области мониторинга в ИЭРиЖ УрО РАН.....	18
Глава 3. Методические основы мониторинга	31
Глава 4. Практические основы мониторинга	53
Заключение	77
Список рекомендуемой литературы	78

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие «Теория и практика экологического мониторинга» подготовлено на кафедре биологии, химии, экологии и методик их преподавания Института естествознания, физической культуры и туризма Уральского государственного педагогического университета (УрГПУ). Пособие состоит из двух частей. Одна из которых по существу является материалами курса лекций (теория), читаемых студентам при подготовке бакалавров по специальности «Биология, химия», направления «Педагогическое образование» по дисциплине «Мониторинг окружающей среды». Сюда же входят классические работы по мониторингу за отдельными объектами, популяциями и экосистемами при организации проектной (учебно-исследовательской) деятельности учащихся. Вторая часть — это два самостоятельных раздела (практические работы), посвященные описанию заданий по характеристике мониторинговых исследований на пришкольной территории (2 раздел) и внутри школы (3 раздел). Следует отметить, что 2 и 3 разделы из Части 2 данного пособия — это задания для учащихся общеобразовательной школы, реализуемые студентами во время их педагогической практики. Практические задания этих разделов были составлены студентами 3 и 4 курсов на основе анализа литературной базы и интернет-источников. Большинство заданий студенты авторски доработали, и внедрили в образовательный процесс, в том числе во внеклассную деятельность по экологии в нескольких базовых школах г. Екатеринбурга.

Целью использования методов экологического мониторинга в школе является знакомство обучающихся с принципами контроля за состоянием окружающей среды и отдельных природных объектов; изучение приборов экологического контроля; последствий негативного антропогенного воздействия; экологических нормативов и особенностей организации здоровой и комфортной среды проживания. Школьный экологический мониторинг — это одна из наиболее эффективных форм организации учебно-исследовательской деятельности, с одной стороны, способная заинтересовать школьников своей региональной

составляющей, поскольку всегда интересно, что происходит в том месте, где ты живешь, с другой — позволяющая воспитать настоящих патриотов и людей с активной жизненной позицией, желающих минимизировать как антропогенное, так и техногенное воздействие на природу для того, чтобы жить в здоровой и экологически безопасной среде.

Поскольку данное издание включает теоретические и практические вопросы, в его задачи входит знакомство с основными научными направлениями и методами мониторинговых исследований, осуществляемых в пределах Уральского региона; изучение доступных для учащихся современных измерительных приборов и особенностей работы с ними; знакомство с ведущими принципами исследований, с правилами и условиями выполнения работ; самостоятельное определение состояния объектов природной среды при помощи наиболее доступных физико-химических и биологических методов исследования.

Таким образом, учебное пособие «Теория и практика экологического мониторинга» содержит сведения, необходимые для решения проблем, связанных с проведением мониторинга и оценкой состояния окружающей природной среды, и отдельных природных объектов. Пособие способствует формированию активной жизненной позиции молодежи, интересующейся как организацией, так и участием в учебно-исследовательской деятельности по наблюдению за состоянием окружающей среды.

Книга будет полезна студентам вузов, старшеклассникам, педагогам естественно-научных дисциплин и всем интересующимся вопросами охраны окружающей среды.

ГЛАВА 1

Общая теория и история мониторинга

В 1972 году на конференции в Стокгольме канадский профессор климатолог Роберт Эдвард Манн (1919—2013) предложил термин «мониторинг». Слово «мониторинг» происходит от латинского «монитор», т. е. «напоминающий», «предупреждающий». В нашей стране разработкой вопросов мониторинга одним из первых стал заниматься выдающийся географ академик И. П. Герасимов (1905—1985).



Рис. 1. Фото И.П. Герасимова

Одна из его статей «Научные основы современного мониторинга окружающей среды», опубликованная в 1975 году, содержала ссылки на информацию о внедряемой в тот момент на международном уровне, глобальной системе мониторинга окружающей среды. В этой же ста-

тье И. П. Герасимов полагал, что мониторингом должны заниматься национальные службы экологического контроля. Под мониторингом академик видел систему наблюдений и контроля за состоянием окружающей среды с целью рационального использования природных ресурсов, охраны природы и обеспечения стабильного функционирования геосистем различного хозяйственного назначения [3]. И. П. Герасимов в зависимости от масштаба и задач выделял три уровня мониторинга: 1. Биоэкологический (санитарно-гигиенический), который необходимо осуществлять в местах большого скопления населения, и который предполагает контроль связей человека с окружающей его природной средой; 2. Геосистемный — мониторинг позволяющий выявлять антропогенные изменения в среде (т.е. загрязнения); и 3. Биосферный — мониторинг крупных природных компонентов (атмосферы, гидросферы, почвы, биоты) на глобальном уровне. За год до появления в печати статьи И.П. Герасимова, в 1974 году, в Программе ЮНЕСКО, также было дано определение мониторинга, который на то время, понимали как «систему регулярных, длительных наблюдений, измерений и оценки состояния окружающей среды в соответствии с заранее подготовленной и научно обоснованной программой, позволяющей прогнозировать на будущее изменение ее параметров, имеющих особенное значение для человечества» (приведено по Трифонова Т.А., Селиванова Н. В., Мищенко Н. В. Прикладная экология, 2005, с. 200) [14]. Понятно, что наблюдения за состоянием окружающей среды появились задолго до 80-х годов XX века. За отдельными объектами природы (птицами, деревьями, некоторыми животными) систематические наблюдения велись еще с XIII века, о чем свидетельствуют древние летописи. Известно, что календарь погоды на Руси ежегодно стали составлять, начиная с распоряжения царя Алексея Михайловича (отца Петра I). Но целенаправленно на глобальном уровне этой проблемой не занимались до последней четверти прошлого века. Лишь с начала XX века министерство внутренних дел США стало осуществлять химический контроль за составом питьевой воды.

В книге Р. Н. Апкина и Е. А. Минаковой (2015) отмечается, что на территории России впервые контроль за состоянием природной среды стал осуществляться в 30-е гг. прошлого столетия на нескольких

водных объектах, где определялось минимальное число поллютантов (главные ионы и биогенные элементы) [1]. Далее авторы пишут, что в 50-х гг. были начаты работы по наблюдению за радиоактивным загрязнением природной среды, а с 1963 г. за состоянием атмосферного воздуха и водных объектов. Уже с 1963 года можно говорить об организационном становлении первого этапа комплексных наблюдений за загрязнением природной среды. В 1972 году на базе органов Гидрометслужбы, Минздрава и Минсельхоза и некоторых других структур, была организована общегосударственная служба наблюдения и контроля загрязнения природной среды (ОГСНК) [1].

На Урале мониторингом (а по сути фенологическими наблюдениями) начал заниматься краевед В. А. Батманов (1900—1980).

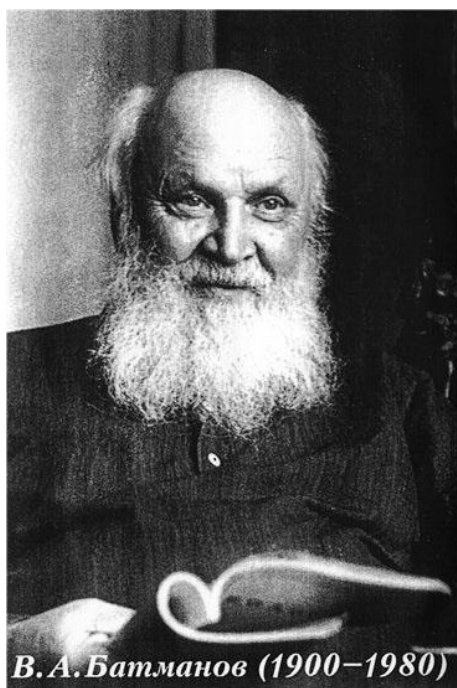


Рис. 2. Фото В.А. Батманова

Еще в конце 20-х годов вместе с группой энтузиастов он создал сеть корреспондентов-фенологов, что позволило ему в 1934 году сделать биоклиматическую карту «Весеннее развитие растительности» для Уральской области (Свердловская, Пермская, Челябинская, Тюменская, Башкортостан) [7].

Объектами мониторинга сегодня считают природные, антропогенные или природно-антропогенные экосистемы. В зависимости от масштаба территории, которую охватывает мониторинг его подразделяют на: глобальный, национальный, региональный и локальный (биоэкологический). Последний призван оценивать качество среды в населенных пунктах, промышленных центрах, непосредственно на предприятии. В зависимости от объекта наблюдения различают мониторинг фоновый и импактный. Фоновый мониторинг проводится на условно чистых территориях, например, на территории ООПТ (как правило в биосферных заповедниках), а к импактному мониторингу прибегают в районах антропогенного или техногенного воздействия, например около предприятия, выбрасывающего в окружающую среду какие-либо загрязняющие вещества. Мониторинг может быть дистанционным (авиационным и космическим) и наземным. Наземный мониторинг по используемым методам подразделяется на биологический, геофизический, геохимический и др. Мониторинговые исследования осуществляют за состоянием атмосферного воздуха, за почвой, поверхностными и подземными водами, за растительными ресурсами и животным миром. Также проводят мониторинг за антропогенной, рекреационной и техногенной нагрузкой. Отдельно выделяют медико-демографический мониторинг.

Определение экологического мониторинга возникло позже и давалось неоднократно. Согласно Трифоновой Т. А., Селивановой Н. В., Мищенко Н. В. (с. 200), под экологическим мониторингом понимают разнообразные системы наблюдений за изменениями состояния окружающей среды в пространстве и во времени, вызванные антропогенными причинами, и позволяющие оценивать и прогнозировать развитие этих изменений [14]. Классическим определением экологического мониторинга, приведенного в книге российского ученого Ю. А. Израэля «Экология и контроль состояния природной среды» (1984) можно

считать следующее: «Экологический мониторинг — это система наблюдений, оценки и прогнозирования состояния окружающей природной среды и экологической обстановки на основе инструментальных и иных измерений показателей состояния выделенных с этой целью объектов экологического мониторинга» [5].



Рис. 3. Фото Ю. А. Израэля

Еще одно определение экологического мониторинга присутствует в книге под редакцией Т. Я. Ашихминой (1999, с.15): «Мониторинг окружающей природной среды представляет собой комплексную систему долгосрочных наблюдений с целью оценки и прогноза изменений состояния биосферы или ее отдельных компонентов под влиянием антропогенных воздействий, предупреждения о создающихся критических ситуациях, вредных или опасных для здоровья людей, других живых организмов и их сообществ» [17]. Нам импонирует определение экологического мониторинга, данное М. Г. Головатиным и К. И. Бердюгиным, сотрудниками Института экологии растений и животных УрО РАН (г. Екатеринбург), долгие годы занимающихся ком-

плексным экологическим мониторингом за состоянием природной среды на территории Свердловской области: «экологический мониторинг — это система наблюдения, оценки и прогноза состояния природной среды под влиянием естественных или антропогенных факторов» [4]. В целом, все авторы сходятся в одном: экологический мониторинг — это система наблюдений с помощью биологических объектов, предполагающая оценку их изменений и последующее прогнозирование состояния окружающей природной среды. Целью экологического мониторинга является сбор информации, позволяющей диагностировать изменения в экосистемах, для определения приближения критического уровня в их функционировании. Задачами мониторинга в этом случае можно считать отслеживание динамики состояния сообществ; биологическую индикацию состояния природной среды данной территории и оценку характера изменения биоразнообразия [4]. Ряд ученых к этим задачам добавляет наблюдение за источниками и факторами антропогенного воздействия; наблюдение за изменениями в окружающей среде под влиянием антропогенного воздействия; наблюдение, анализ, оценку и прогноз за состоянием здоровья населения, проживающего в зонах влияния техногенных факторов; и т.д. [4]. Отдельный интерес представляет мониторинг на особо охраняемых природных территориях [10]. В сборнике «Экологический мониторинг состояния природных комплексов на территории Свердловской области» (с.3) отмечается, что основной целью на территориях ООПТ можно считать оценку рекреационной нагрузки в местах осуществления туристической деятельности с учетом естественной многолетней динамики природных комплексов охраняемых территорий [18]. Мониторинг предполагает ежегодный контроль биоиндикаторов на постоянных пробных и контрольных площадках. В качестве индикаторов выступают растительные сообщества, водные и наземные беспозвоночные, птицы и сообщества дереворазрушающих грибов. Сравнение материалов, собранных в условно ненарушенных и подверженных активной рекреационной нагрузке участках позволяет адекватно оценивать уровень антропогенной нагрузки. Программа комплексного экологического контроля природной среды на территории ООПТ разработана сотрудниками ИЭРиЖ УрО РАН в природных парках «Оленьи

ручьи», «Река Чусовая», «Бажовские места», в Висимском государственном заповеднике и в природно-минералогическом заказнике «Режевской». Осуществление наблюдений за оценкой состояния природных комплексов происходит в рамках реализации областной программы комплексного экологического мониторинга состояния природной среды ООПТ Свердловской области с 2012 года (Постановление правительства Свердловской области от 03.08.2007 за № 751-ПП «О порядке ведения мониторинга ООПТ областного значения).

Следует также отметить, что в 1974 году на уровне международного сообщества в рамках Программы ООН по окружающей среде была создана Единая глобальная система мониторинга окружающей среды — ГСМОС. Произошло это событие в Кении (Найроби) на 1 совещании по мониторингу окружающей среды.

Согласно информации, приведенной в статье Снытко В.А. и Собисевич А.В. (с.12) в 1974 году на межправительственном совещании, созванном организацией по программе окружающей среды (ЮНЕП) при ООН, рассматривались вопросы мировой системы мониторинга окружающей среды. Тогда же новым главой гидрометеорологической службы СССР стал член-корреспондент АН СССР Ю.А. Израэль, который после своего назначения опубликовал статью «Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка изменения окружающей природной среды. Основы мониторинга». В этой работе, впервые тогда еще в СССР, было дано определение экологическому мониторингу как «системе наблюдений, позволяющей выделить изменения состояния биосферы под влиянием человеческой деятельности». Этот подход академик И.П. Герасимов предложил называть «антропогенным мониторингом», так как предлагалось оценивать именно негативное и стрессовое воздействие на биосферу, имеющее преимущественно искусственный (антропогенный) характер [12].

Во многих странах мира сегодня есть наблюдательные посты, на которых отслеживают уровни содержания особо опасных токсикантов в атмосферном воздухе, в водных объектах, в почве, лесных биоценозах, и т.д. Среди приоритетных загрязнителей: диоксид серы, радионуклиды, хлорорганические соединения, нитраты, нитриты, оксиды азота, ртуть, свинец, диоксид углерода, углеводороды, фториды, ас-

бест, мышьяк, отдельные микроорганизмы. В 1993 году Правительством РФ была создана Единая государственная система экологического мониторинга (ЕГСЭМ). В России имеется несколько ведомственных систем мониторинга. Слежение за качеством атмосферного воздуха, поверхностных вод, почв, пищевых продуктов осуществляется Росгидрометом, Госсанэпиднадзором, Минсельхозпромом, Рослесхозом и т.д. Кроме государственного мониторинга есть еще производственный и общественный. Обычно мониторинг проводят на постах: стационарных, передвижных (разовые наблюдения в конкретной точке, которая может перемещаться), и маршрутных.



*Рис. 4. Стационарный пост мониторинговых исследований
(фото из Интернета)



Рис. 5. Автолаборатория (фото из Интернета).



Рис. 6. Оборудование в автолаборатории (фото из Интернета).

Общественный мониторинг сегодня становится общедоступным, в первую очередь благодаря появлению достаточно большого количества доступных бытовых измерительных приборов. Один из них, позволяющий делать экспресс оценку содержания нитратов в овощах, плодах и ягодах; а также осуществлять замеры жесткости воды; магнитное поле от бытовых приборов и уровень радиоактивности окружающей среды, это — Эковизор.

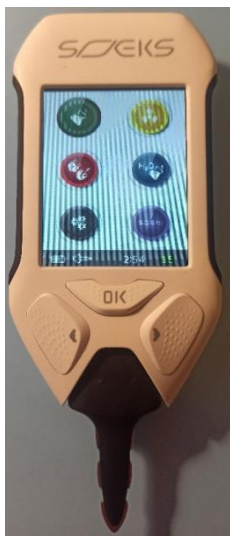


Рис. 7. Эковизор (СОЭК 4 поколения)

По объектам наблюдения различают: атмосферный, водный, почвенный, климатический мониторинг, мониторинг растительности, животного мира, здоровья населения [15].

Экологический мониторинг как основа при организации учебно-исследовательской деятельности учащихся реализуется в школах Уральского региона с 90-х годов прошлого века. Как правило он построен на использовании физико-химических и биологических методов. Из физико-химических методов самыми востребованными в школе являются: качественный анализ (реакции на катионы и анионы) и группа количественных методов (гравиметрический, титриметрический и метод визуальной колориметрии). Биологические методы значительно более разнообразны. Экологический мониторинг можно проводить внутри школьного помещения, на пришкольной территории и во время экскурсионной деятельности на территориях расположенных недалеко от школы. Как правило, последние — это типичные фитоценозы (лесные или луговые). На их базе можно осуществлять как общий мониторинг биоты, так и наблюдения за конкретными биологическими объектами.

Общий мониторинг биоты должен включать 3 основных блока: продуцентов, консументов и редуцентов. Однако, в каждом блоке содержится огромное количество видов, поэтому из них выбирают «ключевые» организмы, — наиболее показательные виды-индикаторы. В книге «Комплексный экологический мониторинг состояния природной среды особо охраняемых природных территорий Свердловской области» М.Г. Головатин и К.И. Бердюгин (с.10) отмечают, что виды-индикаторы, как объекты мониторинга, должны отвечать следующим требованиям:

1. Ежегодные колебания их численности не должны быть очень значительными.
2. Вид должен быть достаточно распространенным, не требующим больших затрат при его поиске и учете.
3. Вид должен существовать на той же территории, что и производимое антропогенное или техногенное воздействие [4].

Очень важной особенностью экологического мониторинга является также его регулярность. Оценка биоты предполагает учет следующих показателей: 1. Количество особей одного (индикаторного) вида на единицу площади; 2. Соотношение числа особей индикаторного вида к общей численности видов данной биоты (в %); 3. Выявление видов доминантов с максимальной продуктивностью. В процессе исследований проводят наблюдения за габитусом растений. Отмечают несвойственные им особенности (усыхание листьев и хвои, махровость околоцветников, пигментные пятна, повышенную ветвистость и т. п.). У животных также отмечают наличие форм с отклонениями от стандарта.

Выделяют два основных метода биологического мониторинга: биоиндикация и биотестирование. Биоиндикация предполагает исследование свободноживущих организмов на предмет наличия у них каких-либо повреждений или отклонений от нормы, которые предположительно вызываются антропогенным или техногенным воздействием. Оценка биоиндикаторов проводят по качественным или количественным признакам. Биотестирование предполагает использование в импактной и фоновой зонах биологических объектов, специально отобранных для выявления и оценки действия какого-либо токсичного

фактора, имеющегося в данной среде, и действующего на части организма, на организм в целом, или на какие-то особенности его функционирования. Используя методы биоиндикации и биотестирования можно выявить присутствие в среде того или иного загрязнителя. Поэтому в качестве тест-объектов отбирают виды наиболее чувствительные к тем или иным загрязнителям. Для целей биомониторинга можно использовать нарушения: хромосом, клеточных органелл, отдельных ферментов; анатомические и морфологические нарушения; изменения в биогеоценозе и в целом ландшафте. В качестве биоиндикаторов используют высшие растения (хвойные — ель, сосна; лиственные — береза, липа, сирень, малина и т. д.). Растения реагируют на загрязнения через засыхание хвои или ее части, некрозы, хлорозы, махровость околоцветников, нетипичную пятнистость листьев, искривление стеблей. Часто в качестве индикаторов воздуха используют лишайники. Особенно эффективно использование лишайников при загрязнении местности тяжелыми металлами, которые они хорошо накапливают (эпифитные лишайники). Данный метод получил название лишайноиндикации. При оценке качества воды, в свою очередь, используют фитопланктон (в основном, сине-зеленые водоросли). Загрязнение почв оценивают по состоянию почвенной биоты (грибов, беспозвоночных, водорослей, бактерий). Даже здоровье человека может оцениваться по медико-санитарным параметрам (например, по содержанию определенных видов бактерий в желудочно-кишечном тракте).

ГЛАВА 2

Исследования в области мониторинга в ИЭРиЖ УрО РАН

В ИЭРиЖ УрО РАН в ходе долгосрочных исследований были сформированы следующие направления мониторинговых исследований (приведено по книге Комплексный экологический мониторинг состояния природной среды особо охраняемых природных территорий Свердловской области, 2008) [6]:

1. Мониторинг глобального радиоактивного загрязнения среды

Радиоэкологический мониторинг актуален для такого промышленного региона как Урал. Исследования проводятся одновременно вблизи предприятий и на фоновых (незагрязненных) территориях. К последним относятся различные ООПТ. Радионуклиды могут накапливаться в живых организмах в концентрациях, превышающих их содержание в окружающей среде. Поэтому чаще всего для контроля за загрязнением используют растения-биоиндикаторы. Главным образом это мхи и лишайники. И у тех, и у других высокая аккумуляционная способность. Отбор проб для анализа осуществляется раз в 5 лет, на площадках 50х50 м. С каждой площадки берут 3 пробы мохово-лишайникового покрова. В качестве материала отбираются подушки мха и куртины напочвенных или эпифитных лишайников. При сборе эпифитов следует брать также небольшое количество коры — до 200 г, либо валежника, — на котором находились образцы. Делать это лучше после дождя. Общая масса каждой пробы должна быть не менее 500 г. Собранные образцы хранят в открытых полиэтиленовых пакетах. После сбора материала и определения его видовой принадлежности проводятся спектрометрические и радиохимические анализы на содержание искусственных долгоживущих радионуклидов стронция-90 и цезия-137.

2. Мониторинг регионального атмосферного загрязнения

В ИЭРиЖ УрО РАН оценка атмосферного загрязнения осуществлялась неоднократно. Самые интересные работы были связаны с оценкой атмосферного загрязнения во время экологического сопровождения падения фрагментов отделяющихся частей вторых ступеней ракет-носителей «Союз» на границе Свердловской области и Пермского края и на границе Свердловской области и ХМАО. Взрыв конструкции обычно происходит на высоте 25-30 км, при этом она как правило разрушается. Однако, в некоторых случаях возможно неполное разрушение и соответственно падение на землю. Отбирают химические пробы снега (до 5 см) или грунта в постоянных мониторинговых точках и в местах обнаружения фрагментов. Самым показательным является снежный покров. В конце зимы снег отбирали в 3-х точках на расстоянии в 100 м одна от другой, при помощи мерной трубы диаметром 10 см. Затем каждая проба помещалась в полиэтиленовый пакет. После, в лабораторных условиях, снег растапливали в стеклянных сосудах и измеряли объем талой воды. В конце концов, пробы объединяли и в течение суток измеряли содержание нефтепродуктов. При контроле воздушного бассейна фиксируется уровень загрязнения растительности поллютантами. Для этого на исследуемых территориях, в период цветения, отбираются пробы по 500 г сырой массы произвольно взятых травянистых растений и кустарничков. Затем пробы высушивают и передаются в лабораторию для химического анализа. При оценке аэротехногенного загрязнения на хвойные растения в конце августа осуществляют сбор хвои. Из верхней, средней и нижней частей кроны (ель, пихта, лиственница, сосна) методом случайного отбора берется по 3 ветви, с каждой из которых снимается по 100 хвоинок. Далее в лаборатории измеряют длину каждой хвоинки, меряют длину поврежденной части и в завершении вычисляют процент поражения.

Атмосферное загрязнение оценивается по уровню содержания нефтепродуктов, Al, Mg, Ni, Cd, Li, Fe, Mn. При этом главное внимание уделяют тяжелым металлам: Mn, Fe, Ni, Cd. Эти металлы в микродозах необходимы всем живым организмам, однако их избыток вызывает различные заболевания. Количественный анализ был проведен в

специальной лаборатории Института промышленной экологии УрО РАН. Все полученные в ходе мониторинговых исследований данные колебались в пределах нормы. Показано отсутствие при падении фрагментов негативного воздействия на среду и биоту. Подтверждено то, что содержание нефтепродуктов не превышает ПДК.

3. Мониторинг состояния почв

Мониторинг почв проводят для обнаружения неблагоприятных изменений свойств почв при различных видах их использования. Главным образом мониторинг почв осуществляют на землях сельскохозяйственного назначения. В процессе мониторинга контролируются физические, химические и биологические свойства почвы, которые обеспечивают ее плодородие. Почва аккумулирует различные токсичные вещества. Выделяют четыре типа миграции веществ: механический, физико-химический, биогенный и техногенный. Концентрация веществ как правило происходит на границах между почвенными горизонтами (геохимическими барьерами). В почвах химические вещества могут находиться в растворенной форме или в виде нерастворимых соединений. Почвы весьма разнообразны даже в пределах одной природной зоны. При мониторинге нужно учитывать не только особенности почвенных горизонтов, но и специфику растительного покрова, рельеф, экспозицию склона и т.д. Локальный мониторинг почв связан с оценкой почвы в связи с деятельностью населения данной местности или конкретного предприятия. Оценивают уровень загрязнения почвы и ее безопасность в гигиеническом и эпидемическом отношении. Последствием мониторинга на локальном уровне является серия работ по рекультивации почв. Фоновый мониторинг также осуществляется на типичных для региона землях, в пределах ООПТ. На ненарушенных территориях определяют уровень кислотности почв; содержание Са, Mg, K, Na, присутствие соединений Al, Fe; запасы гумуса; плотность и структуру почвы. Смотрят также на загрязнения атмосферными эмиссиями и на непосредственно антропогенную нагрузку (вытаптывание). На нарушенных землях принято учитывать содержание загрязняющих веществ; состояние гумуса; параметры окислительно-восстановительных свойств почвы. В лабораторных условиях оценивают pH (по-

тенциометрически) в водной и солевой вытяжке; Са и Mg в вытяжках из почв; К и Na — пламенно-фотометрическим методом; содержание гумуса и органических веществ; дыхание почв (по выделению CO₂; тяжелые металлы — атомно-абсорбционным методом, и т.д.). Обычно, в каждом типе биогеоценоза закладывают по 1-3 разрезам до материнской породы (в лесном биогеоценозе можно делать прикопки в углах квадратов 10x10 м). Далее берут образцы со дна и зачищают переднюю стенку разреза, — после чего выполняют подробное почвенное описание. Характеризуют: влажность, окраску, гранулометрический состав, структуру, степень оглеения, новообразования, включения, распределение корней, почвенную фауну. Отбор проб производят по горизонтам в полиэтиленовые мешочки. Дальнейшие исследования проводят в лаборатории.

4. Дендрохронологические исследования как основа климатических реконструкций

Дендроклиматический анализ основан на использовании климатической составляющей в древесно-кольцевых хронологиях. Он отражает как аномальные природные процессы, происходящие в прошлом, так и развитие, и формирование древостоя. Результаты анализа радиального прироста деревьев (сосны, ели, лиственницы, кедра и пихты) дают возможность определить температурные условия в период формирования годичного слоя древесины; заморозки; количество осадков в течение вегетационного периода; повторяющиеся засухи; колебания уровня грунтовых вод; интенсивность семеношения; вспышки вредителей леса; природные катастрофы (пожары); загрязнения воздуха и почвы. На территории Свердловской области фоновыми участками (где никогда не было рубок) являются небольшие остатки лесных массивов в Висимском заповеднике и в заповеднике «Денежкин Камень». Для отбора проб используют возрастной бур для взятия образцов древесины, и стамеску — для взятия высечек.



Рис. 8. Дендрохронологический бур (фото из Интернета)

Методом случайной выборки выделяют 20 деревьев (ель, сосна, лиственница, пихта). Образцы древесины берут возрастным буром на высоте в 1 м по произвольно взятому радиусу. В ходе камеральной обработки используют микроскоп МБС 2 или 10 для подсчета и измерения ширины годичных колец в образцах древесины модельных деревьев. Мониторинг включает следующие исследования:

1. Сезонные наблюдения (4—5 раз за вегетационный период) — смотрят за разворачиванием почек, ростом побегов и хвои, началом осеннего расцветивания хвои, изменением хвои под влиянием антропогенного воздействия, и т.д.;
2. Разногодичные наблюдения (1 раз в 3—5 лет) — фиксируются изменения ширины годичных колец в ответ на погодные воздействия;
3. Многолетние наблюдения (10-20 лет) — отслеживаются направления в изменениях прироста, обусловленные деятельностью природных или антропогенных факторов.

5. Мониторинг за состоянием флоры и растительности (фитомониторинг)

Объектами фитомониторинга могут быть популяции и целые растительные сообщества; структура растительного покрова и качество растительных ресурсов. Фитомониторинг непосредственно представляет из себя систему контроля состояния и динамики растительного покрова. В ходе накопления информации за состоянием растительного покрова можно оценивать уровень накопления загрязнителей в воздушном и водном бассейнах. Фитомониторинг осуществляют на разных уровнях: глобальном, региональном и локальном. На локальном уровне рассматривается структура и естественная динамика растительного покрова на модельных участках фоновых и нарушенных территорий; оценивается биоразнообразие и состояние охраняемых видов; контролируется динамика запасов; выявляется содержание поллютантов в растениях; учитывается изменение структуры растительных сообществ в связи с загрязнениями. Мониторинг строится на теории «биоиндикаторов». Под биоиндикатором можно понимать, как отдельные организмы, так и целые фитоценозы или их части (например, синузию лишайников). Ухудшение условий среды приводит к изменению видового состава, смене доминантов, к снижению жизнеспособности ряда организмов, к морфологическим изменениям, и к накоплению некоторых химических элементов в органах и тканях. Показателями загрязнения может быть изменение продуктивности растительного сообщества. Обычно при биоиндикации лесных сообществ визуально определяют наличие болезней растений; эффективность роста древостоя; лабораторно выявляют концентрацию N, P, K, Ca, Mg в листьях; раз в 5-10 лет по почвенным образцам отслеживают кислотность, влажность и содержание в почве N, P, C, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Na, Al. Для сравнения с нарушенными участками подбирают так называемые ключевые территории, которые представлены стабильными фитоценозами, отражающими структуру растительного покрова в данном ландшафте.

Для характеристики антропогенной нагрузки используют индикаторные виды космополиты: клевер ползучий, мятлик однолетний, горец птичий, подорожник большой, марь белую, лебеду. При встреча-

емости этих растений, у них учитывают число особей, а на стационарных площадках — общее проективное покрытие и обилие по шкале Друде.

6. Мониторинг беспозвоночных

Беспозвоночные доминируют по численности среди остальных представителей фауны любого естественного биоценоза. Беспозвоночные быстро реагируют на изменения среды и поэтому являются одним из постоянных и долгосрочных объектов мониторинга. Одним из самых легкодоступных объектов могут считаться насекомые. Но главными недостатками этой группы является ее неоднородность и недостаточно высокий уровень инвентаризации на той или иной территории. Модельными видами среди беспозвоночных можно считать: герпетобионтов (напочвенных беспозвоночных); рыжих лесных муравьев и их муравейники; кровососущих клещей. В качестве основных методик сотрудники ИЭРиЖ используют:

- 1) почвенные ловушки с фиксирующей жидкостью;
- 2) маршрутный учет и измерение надземных гнезд рыжих лесных муравьев;
- 3) маршрутный учет имаго и нимф иксодовых клещей при помощи флага (куска белого полотна на палке).



Рис. 9. Сбор клещей на флаг (фото из Интернета)

При проведении учетов фиксируют численность, плотность насекомых, а также параметры их состояния в разных средах. Так, например, для учета напочвенных беспозвоночных используют напочвенные ловушки с фиксирующей жидкостью. Обычно это небольшие стеклянные стаканы или пол-литровые банки. В качестве фиксатора можно взять 70% спирт. Необходима также пластиковая воронка, марлевые платки и пинцет. На учетной площадке, летом, в линию, вкапывают до 15 банок (или стаканов до горлышка), так чтобы край находился вровень с поверхностью, и на одну треть объема наливают в них фиксатор. Ловушки надо проверять каждые 5 дней. Содержимое каждой банки процеживают через марлю, расположенную в воронке. Затем в отдельной таре, также содержащей фиксатор, все марлевые мешочки передаются специалистам для определения видового состава и индикаторных видов. Пробы хранятся до 3-х месяцев. Для учета муравьев достаточно построить маршрут 2-3 км (например, вдоль просеки), и на нем сделать промеры 10 первых учетных муравейников. Измеряют диаметр и высоту всего гнезда, и отдельно его купола. Делать это надо в августе — сентябре. В отдельные стеклянные пузырьки можно отобрать несколько муравьев, — для определения их видовой принадлежности. Отловленных искоковых клещей учетчик снимает с флага, каждые 20 метров. Клещей помещают в пузырьки с 70% этиловым спиртом. За один раз учетчик проходит до 500 м, делая в общем до 100 взмахов. Учеты принято проводить в конце весны — начале лета (до 3 раз). Все данные учетов, заносятся в тетрадь и обрабатываются согласно принятым статистическим методикам.

7. Мониторинг пресноводных экосистем

Во-первых, на любом водном объекте изначально должны осуществляться наблюдения за гидрологическим и гидрохимическим режимом. Во-вторых, за биотой (т.е. за целым сообществом, или за отдельными популяциями, или за модельным видом). Уже давно проводится мониторинг за краснокнижными видами гидробионтов. Среди них осетровые в дельте Волги, лососи на Дальнем Востоке, ракообразные, и т. д. Как правило, при протяженности реки в 100-200 км, на ней имеется 1 постоянный и 1—3 дополнительных поста наблюдений. Ес-

ли речь идет о водохранилище, то контроль должен осуществляться в приплотинной зоне. Отбор данных обычно приурочен к паводкам, межени, т. е. осуществляется 3-4 раза за вегетационный сезон. Как отмечают сотрудники ИЭРиЖ, максимальное развитие гидробионтов в реках Свердловской области наблюдается в июле. Модельными объектами в пресноводных системах служат: зообентос, зоопланктон, макрофиты, фитопланктон, перифитон и микрофлора. Состав донного населения в водоемах как правило постоянен, но при условии загрязнений из него выпадают не только отдельные виды, но и целые группы беспозвоночных. Меняется видовой состав. Гидробиологи в качестве оборудования используют дночерпатели и скребки. Отлов рыб осуществляют стандартными сетями с разным размером ячеи, а также небольшими неводами, позволяющими сохранить рыбу живой и вернуть ее обратно в водоем (невод 30 м закидной с ячейей 8—12 мм).

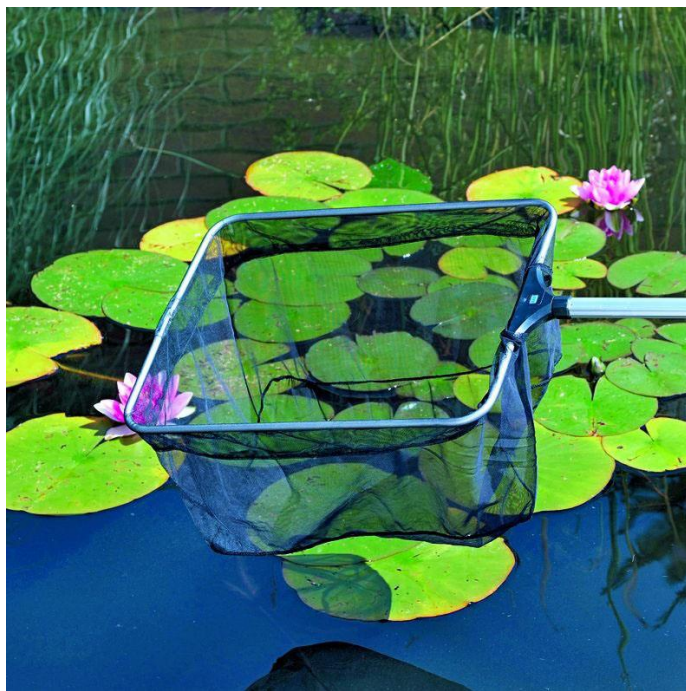


Рис. 10. Сачок для сбора гидробионтов (фото с Интернета)

Наблюдения ведутся не только за взрослой рыбой, но и за мальками. Периодичность сбора 2—3 раза в год с июля по сентябрь. Часто в работе используются обычные визуальные наблюдения. В качестве вида индикатора в горных реках Свердловской области используют хариуса. В остальных реках Уральского региона индикаторами являются: тугун, елец, пескарь, окунь, плотва, ёрш. При контрольных уловах подсчитывают процентную долю видов-индикаторов. В лабораторных условиях рыба взвешивается, замеряется от начала головы до конца чешуйного покрова, определяются пол и возраст рыб (по чешуе). Для получения репрезентативной выборки необходимо проанализировать от 50 до 100 рыбок. Донных беспозвоночных отбирают для оценки качества воды. Для этого используют корзину кубической формы из нержавейки, со стороной до 20 см и размером ячеей 11 мм. Её заполняют округлой речной галькой и устанавливают в реке так, чтобы одна сторона была расположена перпендикулярно направлению течения. Через месяц корзину извлекают и промывают содержимое в тазике с водой. Весь улов помещают в пол-литровые банки с фиксатором — 96% этиловым спиртом. За летний сезон мониторинговые исследования проводят ежемесячно (3 раза).

8. Мониторинг состояния и состава орнитокомплексов

Птицы давно используются как объект мониторинга. Среди особенностей птиц — возможность летать, преодолевая большие расстояния, кормиться по пути, посещая разные территории, в том числе и с техногенными загрязнениями. И в тоже время птицы давно и хорошо изучены, их инвентаризация не представляет большого труда. Загрязнения среды можно оценивать по перьям и внутренним тканям птиц; по численности и иным демографическим показателям в местах гнездования; по характеру распределения и по поведению. Основным показателем, хорошо поддающимся учету при мониторинговых исследованиях можно считать численное соотношение различных видов птиц в орнитокомплексах. Учет проводится при помощи биноклей, компаса, GPS, дронов, визуально по внешнему виду, или на слух — по голосам птиц. Учитывают вид и число встреченных птиц. На Урале учет осуществляется в период активности птиц: в утренние и вечерние часы, в

мае — июне. Как отмечают сотрудники ИЭРиЖ сегодня учет ведется: на площадках и на маршрутах. Его суть заключается в подсчитывании на маршруте (трансекте) всех встреченных птиц. Длина маршрута составляет в типичном биотопе вида не менее 30 км. Проводится точечный учет и учет путем мечения с повторным отловом. При точечном методе наблюдатель останавливается в конкретной точке и регистрирует всех птиц, которых он видит или слышит в течение фиксированного периода времени. Учет на площадках заключается в подсчитывании птиц на выбранной территории, когда группа учетчиков разреженным строем прочесывает площадку. Среднестатистические размеры площадок обычно составляют как минимум 5 км, маршруты не менее 25 км, а точечный учет охватывает более 160 точек. Учетная площадка может быть одна большая или несколько маленьких. Главное, чтобы учеты проводились в одно фенологическое время, и тогда, когда птицы наиболее заметны. Например, за воробьиными лучше наблюдать утром и вечером, за совами — ночью, а вот за дневными хищниками — днем. Наиболее распространенным методом учета считается маршрутный. Объектами мониторинга на Урале можно назвать: чернозобую гагару и поганку (учет ведется на водохранилищах и озерах); большую выпь (по болотам); серую цаплю (учет идет по окрестностям крупных водоемов); серую куропатку (учет идет зимой или весной по пустошам и залежам); перепела, белую куропатку, рябчика (весной); глухаря, тетерева (на токах, весной); хищных птиц, в основном канюка, коршуна, пустельгу; крикву и других уток (в летнее время по числу выводков); куликов (в весенне-летнее время, вдоль берега реки); чибисов и кроншнепа; бекаса; крачек (по количеству гнезд); серого журавля, коростель; голубей (чаще на чердаках с фонариком ночью); дятлов, сов, кукушек, дроздов, стрижей, скворцов, поползней; ласточек (по гнездам); и врановых (грачей, сорок, ворона и ворону). У последних учет проводится подсчетом всех гнезд.

9. Мониторинг популяции мелких млекопитающих

Млекопитающие являются одним из самых распространенных объектов мониторинга. Их учет осуществляется визуально или по следам и остаткам жизнедеятельности два раза в год (в мае — июне и в

августе — сентябре). Ученые установили закономерность, в соответствии с которой многочисленные виды с низким миграционным и соответственно восстановительным потенциалом могут быть использованы как индикаторы пороговых изменений экосистем, а виды способные менять характер функционирования популяций в ответ на воздействие извне — более подходят в качестве индикаторов уровня антропогенных нагрузок (с.89) [6]. К животным, которых используют в качестве индикаторов при химическом загрязнении среды предъявляют ряд требований: высокая численность, высокая чувствительность к изучаемому агенту, интенсивный обмен веществ, относительно большая продолжительность жизни, оседлость, сравнительно небольшая занимаемая территория, относительно крупные размеры и высокая интенсивность размножения. Этим качествам великолепно отвечают насекомоядные и грызуны. Их отлавливают на исследуемой территории с помощью ловушек-давилок или в ловчие канавки конусами и цилиндрами. На дно ловушки кладется кубик хлеба 1 см, смоченный нерафинированным подсолнечным маслом. Отлов и учет осуществляют на протяжении 4-5 дней. За это время на 100 ловушек попадает в среднем до 20 зверьков. Данные обо всех пойманных животных заносятся в журнал. Имеющиеся отклонения во внешнем виде фиксируются. Образцы тканей и органов животного могут быть зафиксированы в 70%-ном спирте. Отдельно сохраняются черепа, по которым определяется видовая принадлежность животного.

10. Мониторинг крупных млекопитающих

Основные методы учета — мечение и повторный отлов, либо данные о добыче. Для мониторинга за состоянием биоты на Урале могут быть использованы любые крупные млекопитающие. К способам учета относят: зимний маршрутный учет численности животных. На учетных площадках должно быть представлено большинство типов местообитаний животного (лес, поле, болото). На Урале осуществляют учет численности копытных, как правило по экскрементам во второй половине апреля. Учет численности лося может проводиться путем анкетного опроса сотрудников заповедников. Карточки встреч живот-

ных и следов их жизнедеятельности являются традиционным способом сбора информации.



Рис. 11. Наследы лося (фото из Интернета)

В карточки вносят также задиры и берлоги медведя, логовища волка, норы лисицы, барсука и енотовидной собаки. На встречу каждого следа также заполняется карточка, куда вносят размеры и направление следа. В карточки вносят следы кабана и северного оленя. В начале зимы по мелкому снегу проводят учет выдры и норки. Учет барсука, лисицы и енотовидной собаки осуществляется по обнаруженным норам. Принадлежность норы определяют по форме и величине выходного отверстия, а также по характеру выброса (шерсть, экскременты, остатки пищи). Учет проводят в начале июня. Особый вид, учитываемый на Урале — это бобер. Учет его численности проводят дважды в год, в марте — апреле и в сентябре. Для определения численности животных на единицу исследованной площади определяют два показателя: среднее число пересечений суточных следов на единицу длины маршрута, и коэффициент, связанный с длиной суточного хода животных.

ГЛАВА 3

Методические основы мониторинга

Обычно процесс мониторинга состоит из четырех этапов:

1. Наблюдение за объектом мониторинга.
2. Оценка фактического состояния объекта мониторинга.
3. Прогноз возможных изменений состояния объекта мониторинга.
4. Оценка прогнозируемого состояния объекта.

Выделяют два основных метода биомониторинга: пассивный (биоиндикация) и активный (биотестирование). **Биоиндикация** представляет из себя исследование свободноживущих организмов (биоиндикаторов) на предмет наличия у них повреждений и отклонений от нормы. Биоиндикаторы, это организмы, присутствие, количество или особенности развития которых служат показателями естественных процессов, условий или антропогенных изменений среды обитания. В книге «Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование» (2007) авторы отмечают (с. 14), что существует две формы отклика организмов, используемых в целях биоиндикации, — специфическая и неспецифическая [2]. В первом случае изменения связаны с действием одного фактора. Во втором случае различные антропогенные факторы вызывают у особей вида одинаковые реакции. Биоиндикаторы подразделяют на *чувствительные и кумулятивные*. Чувствительные реагируют на стресс значительным отклонением от жизненных норм, а кумулятивные накапливают антропогенное воздействие, превышающее нормальный уровень в природе, без видимых изменений. Далее авторы продолжают: идеальный биоиндикатор должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Быть типичным для данных условий.
2. Иметь высокую численность в исследуемом экотопе.
3. Обитать в данном месте в течение ряда лет (чтобы проследить динамику загрязнения).
4. Находиться в условиях, удобных для отбора проб, и т. д. (с. 14).

Биотестирование — это использование в контролируемых условиях биологических объектов (тест-объектов) для выявления и оценки действия факторов окружающей среды (в том числе и неблагоприятных или токсических) на организм, его отдельную функцию или даже на систему организмов. Тест-объект — организм, используемый при оценке токсичности химических веществ, природных и сточных вод, почв, донных отложений, и т.д. Методами биоиндикации и биотестирования определяется присутствие в окружающей среде того или иного загрязнителя по наличию или состоянию определенных организмов, наиболее чувствительных к изменению экологической обстановки, т.е. осуществляется обнаружение и определение биологически значимых антропогенных нагрузок на основе реакции на них живых организмов и целых экосистем. Методом биоиндикации может осуществляться качественная и количественная оценка эффекта антропогенного влияния на окружающую среду. Биотестирование и биоиндикация как методы существуют параллельно, а по мере необходимости дополняют друг друга и являются основными элементами биологического мониторинга состояния окружающей среды. В книге Р. Н. Апкина и Г. А. Минаковой (2015) приводится классификация объектов экологического мониторинга (по Бумблис В.И., 1993) [1]. Авторы отмечают, что именно **Высшие растения** — широко используются для биоиндикации загрязнения атмосферы. К категории очень чувствительных растений относятся хвойные (кедр, ель, сосна) и береза бородавчатая, к чувствительным — липа и малина. Средней чувствительностью к загрязнению воздуха обладают сирень и можжевельник, а очень устойчивыми являются бересклет, бирючина, клен ясенелистный, большинство крестоцветных, зонтичных, сложноцветных, вересковых растений. Изменения у растений проявляются через опадание листьев, цветов и плодов, свертывание листьев, искривление стеблей. Подобные реакции наблюдаются при кратковременном воздействии на растение большой дозы загрязняющего вещества. При длительном воздействии малых доз загрязнителя наблюдаются замедление или прекращение роста растения. **Лишайники** также являются надежными индикаторами загрязнения воздуха. Они способны более активно чем растения накапливать тяжелые металлы. Наиболее чувствительны к

внешним воздействиям эпифитные лишайники (растущие на стволах деревьев). Средняя чувствительность у листоватых лишайников, низкая — у накипных. Процесс использования лишайников для наблюдения за состоянием окружающей среды называется лихеноиндикацией.

Фитопланктон (в основном — сине-зеленые водоросли) используется при оценке качества воды в водоемах и водотоках. Пробу воды объемом от 0,5 до 1 л зачерпывают с поверхности водного объекта, далее фитопланктон фильтруют через мелкопористые мембранные фильтры, исследуют его видовое разнообразие и подсчитывают биомассу. **Почвенная биота** (беспозвоночные, сине-зеленые водоросли, грибы, бактерии и др.) используется при оценке характера и интенсивности загрязнения почв. Если почва загрязнена малотоксичными органическими веществами, то в ней интенсивно развиваются и функционируют микроорганизмы — редуценты. А в почвах, загрязненных токсичными неорганическими веществами (в особенности — тяжелыми металлами и хлорорганическими соединениями, биологическая активность микроорганизмов резко снижена [1].

Объектами мониторинга могут быть биологические и социальные системы а также факторы, воздействующие на них в разных средах:

1. **Атмосфера** (наземно-воздушная среда). Отслеживаются метеорологические процессы и климат; пограничные процессы в приземном слое и на границе «океан-атмосфера»; естественные и техногенные загрязнения воздушного бассейна и их перенос.
2. **Гидросфера** (поверхностные воды и водные объекты). Мониторинг осуществляется за: грунтовыми и подземными водами; гидрохимией и динамикой водных масс; за источниками питьевой и промышленной воды; за системами сточной и ливневой канализации; за очистными системами и сооружениями; за гидротехническими и мелиорационными системами; за загрязнением водных объектов, особенно источников питьевой воды; за переносом загрязняющих веществ в водных средах.
3. **Литосфера** — мониторят геологические и геоморфологические характеристики территорий; геологические природные комплексы; разработку природных ископаемых; общие вопро-

сы землепользования; состояние ресурсов (нефть, газ) и их разработку.

4. **Педосфера** (почвенная среда) — наблюдают за культивацией и рекультивацией земель; за водной и ветровой эрозией почв; за пестицидным загрязнением почв и разрушением почв под воздействием внесения минеральных удобрений и водных мелиораций; отдельно проводят мониторинг за почвами селитебных территорий.
5. **Биота** — контроль и слежение осуществляют за растительностью, животным миром, обитателями водоемов; особый контроль проводится за лесным хозяйством, лесозащитными насаждениями, особо охраняемыми природными территориями; за природно-территориальными комплексами и ландшафтами.
6. **Селитебные территории и урбоэкосистемы** также являются объектами мониторинга. Мониторинг проводят в городах, поселках, деревнях. Длительные наблюдения с последующим прогнозированием развития ситуации затрагивают промышленные объекты и зоны добычи ископаемых ресурсов; объекты сельскохозяйственного производства (фермы, технические станции, гидромелиоративные системы, системы орошения, предприятия по переработке продукции, зернохранилища, предприятия по хранилищу кормов, системы утилизации отходов производства); объекты инфраструктуры (автомобильные, водные и воздушные); электрические энергосистемы и тепловые сети; продуктопроводы, системы связи, гидротехнические и гидроэнергетические системы, инженерные системы и сооружения; социально-экономические факторы (жилищные условия, занятость и условия труда, отдыха и досуга, образование, дошкольные учреждения, спортивно-оздоровительная система, культурно-просветительская система, законодательное и нормативное обеспечение, система правовой и экономической защиты); охрана здоровья (санитария и гигиена, охрана труда, санитарно-эпидемиологический контроль, восстановление трудоспособности, неотлож-

ная, скорая и экстренная медицинская помощь, медикаментозное обеспечение, санаторно-курортные учреждения, профилактории и реабилитационные центры).

Работы по экологическому мониторингу, рекомендуемые для осуществления в школе

Работы, приведенные ниже являются компиляцией самых распространенных заданий по мониторингу для осуществления его в ходе учебно-исследовательской деятельности в общеобразовательных учреждениях. Часть из них была описана ранее, в том числе в сборнике УрГУ, под редакцией Т.А. Радченко [9]; некоторые работы взяты из Практикума по региональной экологии [11]; другие методические разработки с описанием хода работы приведены по книге Таршис Л.Г., Таршис Г.И. [13], а также присутствуют работы опубликованные в сборнике Комплексный экологический мониторинг состояния природной среды...[6].

Мониторинг за погодными условиями и растениями, которые на них реагируют мы начинаем осуществлять с детского сада, заполняя календарь природы. Данная методика разработана достаточно давно и кажется наиболее простой в сложной системе наблюдений за состоянием природной среды и ее отдельных объектов. Еще в 2000 году для организации фенологического мониторинга во внеклассной работе М.К. Куприяновой, Ю.И. Новоженовым и З.Д. Щенниковой было опубликовано пособие «Фенологические наблюдения во внеклассной краеведческой работе» [8]. Двое из авторов этого пособия являются ученицами выдающегося фенолога краеведа В.А. Батманова.

Работа 1. Фенологические наблюдения за природными объектами и явлениями

Цель работы — научиться проводить визуальные наблюдения за фенологическим состоянием объекта; освоить требования к регистрации даты ожидаемых сезонных явлений.

Методика работы. Площадка для проведения мониторинга может находиться на территории городского парка или лесопарка, около реки, в типичном лесном или луговой сообществе, — лучше недалеко от местожительства наблюдателя. Весной наблюдения проводят 1 раз в 2—3 дня. Летом 1 раз в 5—7 дней. Осенью 1 раз в 3—5 дней. Лучше проводить наблюдения с утра. При этом надо придерживаться правила «двойной записи», т.е. фиксировать не только дату, когда явление наблюдается впервые, но и отмечать последнюю дату, когда оно еще не наблюдалось!

При мониторинге за *гидрометеорологическими явлениями* отмечают:

1. «Последний весенний заморозок» — день после которого заморозки не наблюдались (устанавливается задним числом).
2. «Первый осенний заморозок» — первый иней.
3. «Летний заморозок».
4. «Первый снегопад» — день, когда впервые выпал снег (возможно с дождем), — независимо от того, стоял он или нет.
5. «Образование первого снежного покрова».
6. «Появление первых проталин» — день, когда стали видны отдельные пятна обнаженной почвы.
7. «Разрушение снежного покрова» — день, когда согласно замерной съемке, больше половины обозреваемой площади открытого пространства освободилось от снега.

Погодные явления — температура, облачность, осадки, ветер — отмечаются ежедневно!

При мониторинге *гидрологических явлений* отмечают явления, характеризующие процессы образования и разрушения ледового покрова на реках и озерах. Участки для наблюдения должны быть по протяженности от 1 до 2 км. Периодичность наблюдений каждые 1—2 дня, в момент ледостава или схода льда:

1. «Первое «сало»» — кристаллы льда в виде тонких игл или пластинок, сбитых в рыхлые комки. Наблюдаются поздней осенью и в самом начале зимы.
2. «Образование заберегов» — полос неподвижного, тонкого льда у берега реки.

3. «Появление шуги» — плывущей массы губчатого рыхлого кашицеобразного непрозрачного льда, образовавшегося за счет всплывания донного льда, сала.
4. «Начало осеннего ледохода» — день появления редких, плывущих льдин и ледовых полей.
5. «Ледостав» — образование сплошного покрова неподвижного льда.
6. «Начало весеннего ледохода» — день, когда по фарватеру реки сплавляются разной величины льдины.
7. «Наивысший весенний уровень воды» — день, когда подъем воды достиг самой большой отметки во время паводка.
8. Следует также отмечать летнюю межень — самый низкий уровень воды в реке.

При фенологических наблюдениях за *отдельными растениями* можно использовать как древесные, так и травянистые растения. Главное при отборе объектов, чтобы они были здоровыми, вступившими в генеративную фазу развития. Для отслеживания явления обычно используют несколько близкорасположенных особей, приблизительно одного возраста. Отмечают:

1. «Сокодвижение» — весенний плач — выход древесных растений из состояния зимне-весеннего покоя. Началом сокодвижения считается день, когда из заранее сделанного на высоте 1,3 м прокола (с южной стороны дерева) появляются капли папки. Прокол делается до древесины.
2. «Распускание почек». Явление характеризуется тем, что из набухших почек появляются края зеленых листочков.
3. «Развертывание листьев (зеленение)» — начало облиствения (появляются первые листочки).
4. «Полное облиствение».
5. «Начало цветения» — первые цветки в кроне, или начало процесса пыления у ветроопыляемых растений.
6. «Массовое цветение» — зацвело не менее 50% растений.
7. «Первые зрелые плоды и семена».
8. «Массовое созревание плодов» — не менее чем у 50% особей наблюдаемого вида.

9. «Начало осеннего расцвечивания листьев» — день появления в кроне целиком окрашенных листьев».
10. «Полное расцвечивание листьев»;
11. «Массовый листопад» — резкое поредение листвы в кронах большинства растений данного вида;
12. «Окончание листопада» — когда деревья полностью освободились от листьев.

Фенологи Урала в качестве объектов мониторинга предлагают не так много растений. Среди деревьев это: береза, черёмуха, и рябина. Из кустарников: шиповник и малина. Кустарничек — черника. Травянистые многолетники: мать-и-мачеха, медунца неясная, купальница европейская, майник двулистный, прострел желтеющий, земляника лесная, кипрей узколистный и таволга вязолистная.

Работа 2. Усыхание хвои в районах с загрязненным воздухом

Цель работы — оценить зависимость степени повреждения хвои (некрозы, усыхание) от степени загрязнения воздуха в разных районах произрастания сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

В большинстве городских районов преобладают антропогенные источники загрязнения воздуха, образующиеся при сгорании ископаемых видов топлива, в состав которого входит сера (тепловые электростанции, мусоросжигательные заводы, коммунальные котельные, металлургическая промышленность). Кроме того, при работе дизельных двигателей внутреннего сгорания в выхлопных газах содержатся такие вредные вещества, как соединения свинца, оксиды азота, а также диоксид серы. Особенно опасен диоксид серы. Устойчивость растений к диоксиду серы различна. Из высших растений повышенную чувствительность к этому газу имеют представители семейства хвойных, такие как ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) Karst.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), сосна сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour) и др. Хвойные удобны тем, что могут служить биоиндикаторами круглогодично. Чаще всего в качестве биоиндикатора выбирают сосну обыкновенную, поскольку вид чувствителен к загрязнению воздуха и произ-

растает повсеместно. **Ход работы.** 1. Для анализа выбирают участки сосновых насаждений, располагающиеся по градиенту загрязнения от источника выбросов в атмосферу в импактной, буферной и фоновой (контроль) зонах. На открытом месте подбирают не менее 10 молодых сосен (возраст 10—15 лет), отстоящих друг от друга на 20—25 м. Хвою отбирают с побегов 2- или 3-летнего возраста с южной стороны дерева (каждый прирост — год жизни дерева). Для получения достоверных результатов берут по 20—30 хвоинок с каждого дерева, т. е. 200—300 хвоинок. 2. В камеральных условиях собранный материал анализируется. Хвою раскладывают на пять групп по видам повреждения и усыхания. Все хвоинки делятся на группы в соответствии с классами усыхания и повреждения: КП — класс повреждения (некрозы); КУ — класс усыхания хвои [17]. При оценке степени повреждения хвои более светлая окраска самого кончика хвоинки не учитывается.

Виды повреждения и усыхания хвои: а — хвоя без пятен (КП-1), нет сухих участков (КУ-1); б — хвоя с небольшим числом мелких пятен (КП-2), нет сухих участков (КУ-1); в — хвоя с большим числом черных и желтых пятен (КП-3), усох кончик 2—5 мм (КУ-2); г — усохла треть хвои (КУ-3); д — усохло более половины длины хвои (КУ-4); е — вся хвоя желтая и сухая (КУ-4).



Рис. 12. Повреждения хвои (фото из Интернета)

Проводят подсчет количества хвои в каждой группе, определяют долю групп по видам повреждения и усыхания, полученные данные заносят в таблицу.

Примечание. I — воздух идеально чистый, II — чистый, III — относительно чистый («норма»), IV — заметно загрязненный («тревога»), V — грязный («опасно»), VI — очень грязный («вредно»).

Представление результатов. Отчет с перечнем всех типов повреждений хвои, расчеты и таблицы. По результатам всех измерений дают экспресс-оценку качества воздуха на территории исследуемого участка. Полученные результаты из районов загрязнения сравнивают с данными контрольного участка.

Работа 3. Флуктуирующая асимметрия листовой пластинки

Цель работы — экспресс-оценка качества среды по флуктуирующей асимметрии листовой пластинки древесных и травянистых растений

Для оценки качества среды по флуктуирующей асимметрии листовой пластинки могут использоваться только те виды растений, которые имеют четко выраженную двустороннюю симметрию, что является главным требованием при использовании данного метода. Наиболее удобными для целей биоиндикации являются следующие виды растений: травянистые — сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria* L.), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara* L.); древесные — береза бородавчатая (*Betula pendula* Roth), тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), клены остролистный (*Acer platanoides* L.) и ясенелистный (*A. negundo* L.). Все перечисленные виды имеют четко выраженную двустороннюю симметрию. Кроме указанных растений часто для отслеживания стабильности развития используют подорожник большой (*Plantago maior* L.), землянику лесную (*Fragaria vesca* L.), манжетку обыкновенную (*Alchemilla vulgaris* L.), клевер гибридный (*Amoria hybrida* (L.) C. Presl), клевер ползучий (*Amoria repens* (L.) C. Presl) и некоторые другие растения. Береза бородавчатая и близкий к

ней вид береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.) способны скрещиваться между собой, образуя межвидовые гибриды, которые обладают признаками обоих видов. Во избежание ошибок следует выбирать деревья с четко выраженными признаками одного вида. Например, можно оценить загрязнения воздушной среды по флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой. Метод основан на выявлении нарушений симметрии развития листовой пластины древесных и травянистых форм растений под действием антропогенных факторов.

Ход работы. Сбор материала необходимо проводить после завершения интенсивного роста листьев, в условиях Урала с конца мая — начала июня и до их опадания осенью. Выборки должны производиться с растений, находящихся в сходных экологических условиях по уровню освещенности, влажности и т. д. Листья березы повислой собирают с 4—5 близко растущих средневозрастных деревьев из нижней части кроны, на уровне поднятой руки, с максимального количества доступных веток, по 25—50 листьев среднего размера с укороченных побегов с каждого дерева. Выборка составляет 100—200 листьев с участка. Каждый отобранный лист измеряется по следующим параметрам: 1 — ширина половинки листа; 2 — длина второй жилки от основания листа; 3 — расстояние между основаниями первой и второй жилок; 4 — расстояние между концами этих жилок; 5 — угол между главной и второй от основания жилками. Жилки измеряются курвиметром или линейкой с точностью до 1 мм. Интерес представляют не размеры жилок, а разница их длины справа и слева. Данные измерений заносят в таблицу. Величину флуктуирующей асимметрии оценивают с помощью интегрального показателя — величины среднего относительного различия по признакам (среднее арифметическое отношение разности к сумме промеров листа справа и слева, отнесенное к числу признаков).

Методика измерения

- 1 – ширина левой и правой половинок листа;
- 2 – расстояние от основания до конца жилки второго порядка, второй от основания листа;
- 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка;
- 4 – расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка;
- 5 – угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка.

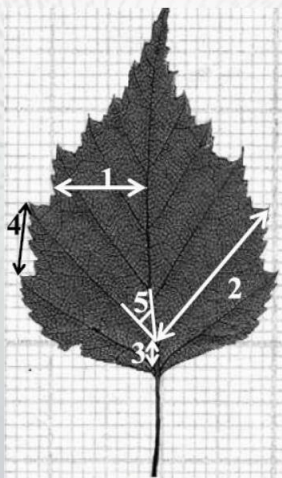


Рис. 13. Методика измерений листьев при исследованиях на флуктуирующую асимметрию листовой пластинки

Работа 4. Биотестирование образцов природных сред с использованием редиса

Цель работы — оценить токсичность образцов воды методом биотестирования с использованием семян редиса.

Тест-объектом служат семена редиса, характеризующиеся высокой отзывчивостью на токсические вещества снижением длины корней проростков. Этот метод определения загрязнения по задержке роста корня широко используется в экологическом контроле.



*Рис. 14. Проросшие в чашках Петри семена редиса
(фото из Интернета)*

Методы работы. Токсичность среды устанавливается по снижению длины корней проростков редиса в исследуемых пробах (растворах или вытяжках) по сравнению с контролем.

Реактивы. Отстоянная в течение трех суток водопроводная вода, служащая контролем. Оборудование. 1. Климакамера (можно обойтись без неё). 2. Стаканы химические. 3. Чашки Петри (12 шт.). 4. Маркер по стеклу. 5. Фильтровальная бумага. 6. Мерный цилиндр.

Ход работы. 1. В четыре стеклянных стаканчика объемом 50—100 мл помещают по 100 тщательно отобранных семян, подписывают их (три исследуемые пробы и 1 контрольная). 2. Мерным цилиндром отмеряют 10 мл анализируемых растворов и заливают семена редиса в стаканчике. В один стаканчик с семенами (контроль) приливают 10 мл отстоянной в течение трех суток водопроводной воды. 3. Через сутки (20—24 ч) семена раскладываются из стаканчиков в чашки Петри. Чашки Петри должны быть подготовлены следующим образом: 1) на боку чашки (не крышки, чтобы надпись не мешала прохождению света!) маркером подписывается ее номер (к-1, к-2, к-3, 1-1, 1-2, 1-3, 2-1 и т. д.); 2) на дно каждой чашки укладывается вырезанный из фильтро-

вальной бумаги круг, соответствующий размеру дна чашки. Семена из одного стаканчика по 30 шт. раскладывают в три чашки Петри для получения трехкратной повторности, необходимой для оценки достоверности результатов. Семена, которые оказались поврежденными, не используются, для этого при замачивании закладывается дополнительное их количество.



Рис. 15. Современная автономная климакамера (фото из Интернета)

- Фильтры смачиваются 10 мл отстоянной в течение трех суток водопроводной водой. Семена равномерно распределяются по поверхности фильтра.
- Чашки Петри с семенами помещают в климакамеру на одну полку в один слой при максимальной освещенности, температуре 25 °С и влажности 50 % на неделю (до следующего занятия).
- Через семь суток измеряют линейкой (в мм) общую длину главного корня у каждого проростка на каждой чашке Петри.

Представление результатов. Результаты заносятся в таблицу, по ним рассчитывают средние значения длины корня для каждой повторности одного варианта и всего варианта (по трем повторностям). Не проросшие семена не учитываются, т. е. сумма показателей делится на число проросших семян. Средние показатели длины главного корня

в контроле принимаются за 100 %, аналогичный показатель для других вариантов рассчитывается относительно контроля. Строится диаграмма, показывающая среднюю длину главного корня (в %) во всех вариантах опыта относительно контроля. Делается вывод о токсичности каждого исследуемого образца. Проба токсична в случае уменьшения длины корня в исследуемой пробе на 20 % по сравнению с контролем.

Работа 5. Влияние тяжелых металлов на растения

Цель работы — эксперимент, в ходе которого будет охарактеризовано влияние тяжелых металлов (ТМ) на ряд показателей у растений.

Тяжелые металлы — это химические элементы, имеющие плотность более 5 г/см³. К тяжелым металлам относятся все с относительной атомарной массой более 40. Металлы: медь, кобальт, цинк, молибден, марганец, железо — это микроэлементы, в малых концентрациях улучшающие рост растений, а в больших негативно влияющие на все процессы жизнедеятельности биоты. Из них самые токсичные: ртуть, кадмий и свинец.

Данная работа содержится в большом практикуме «Методы экологического мониторинга (УрГУ, 2019, с. 76). Мы позволили себе позаимствовать часть материалов из данной работы, поскольку она на наш взгляд, может быть осуществлена в условиях школьного кабинета химии или биологии. Эта работа не сложна в исполнении, но при этом весьма показательна в плане оценки загрязнений среды тяжелыми металлами.

К ТМ относится группа химических элементов, имеющих плотность более 5 г/см³. К ТМ причисляются все металлы с относительной атомной массой более 40. Многие металлы из этой группы (медь, цинк, молибден, кобальт, марганец, железо) являются микроэлементами, т. е. в малых концентрациях улучшают рост и развитие живых организмов. В больших концентрациях им присуще негативное влияние на растения и животных. Но есть группа металлов, за которыми закрепился только негативный смысл: «тяжелые», в смысле «токсичные». Главные среди них — ртуть, кадмий и свинец. В ландшафтах, практически не затронутых хозяйственной деятельностью, содержание ТМ незначи-

тельное. Так, кларк кадмия в литосфере составляет 0,13 мг/кг, для ртути он равен 0,083 мг/кг, а для свинца — 16 мг/кг. В районах с развитой промышленностью они интенсивно рассеиваются в воздухе, воде и почве. В составе газообразных выделений, дымов, техногенной пыли металлы поступают в атмосферу, со сточными водами — в гидросферу. Накопление ТМ в водоемах негативно сказывается на процессах жизнедеятельности гидробионтов.

Методы работы. Закладка модельного эксперимента заключается в помещении опытных и контрольных растений в строго идентичные условия, отличающиеся только наличием различных ТМ (или различных концентраций ТМ). Таким образом, данный эксперимент является монофакторным и позволяет изучать влияние отдельно взятого металла (или различных его концентраций) на водные растения. Реактивы. Раствор соли ТМ (CuSO_4 или ZnSO_4 , $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$, MnSO_4 , $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{CO})_2$) с концентрацией катиона 10 мг/л. Для его приготовления рассчитывается содержание металла в соли с учетом воды для обводненных солей и на аналитических весах (правила взвешивания приведены в конце работы), берется соответствующая навеска, содержащая необходимую массу катиона. Этот раствор является маточным, готовится в мерной колбе объемом 1 л, тщательно перемешивается и переливается на хранение в обычную колбу. Из него путем разбавления готовятся растворы меньших концентраций, на которых выращиваются растения, чаще всего это растворы с содержанием металла 0,10 и 0,25 мг/л.

Оборудование. 1. Мерные колбы на 1, 2 л. 2. Мерный цилиндр на 1 л. 3. Весы аналитические. 4. Прозрачные сосуды для выращивания растений (эксикаторы объемом более 5 л). 5. Маркер по стеклу.

Ход работы. Закладка модельного эксперимента начинается с приготовления маточных растворов ТМ концентрацией 10 мг/л. В зависимости от задач исследования перечень металлов может меняться. Можно использовать умеренно опасные ТМ, включающие медь, никель, кобальт, хром, или высоко опасные ТМ, такие как кадмий, ртуть, свинец, цинк. Можно, например, сравнить влияние на растения ионов цинка и кобальта. Удобными объектами исследования являются гидрофиты, например, элодея канадская. Готовят три стеклянных сосуда

(экзикатора) объемом не менее 5 л и подписывают на них специальным маркером по стеклу варианты опыта (контроль и разные концентрации ТМ). Из маточных растворов ТМ готовят растворы с концентрацией металлов 0,10 и 0,25 мг/л общим объемом по 4 л и заливают их в соответствующие сосуды. Контрольный вариант заполняют таким же объемом дистиллированной воды. Для эксперимента используются здоровые побеги элодеи длиной около 20 см, их погружают (по 5 штук) в растворы в стеклянные сосуды. Опытные и контрольные растения помещаются в строго идентичные условия (освещенность, температура), отличающиеся только наличием различных ТМ (или различных концентраций ТМ). Для поддержания одинаковых условий время от времени сосуды с растениями меняют местами. По мере помутнения (примерно один раз в 10 дней) растворы заменяются свежими. Измерения различных показателей проводят через равные промежутки времени, например, через каждые 7 дней. Результаты, полученные для экспериментальных растений, сравниваются с контрольным вариантом. В дальнейшем в этих растениях определяется количество мертвых клеток.

Работа 6. Определение количества поврежденных клеток в листе элодеи, выращенной в загрязненной тяжелыми металлами среде

Цель работы — установить влияние повышенных концентраций тяжелых металлов на количество поврежденных клеток в листе растения. Ионы металлов необратимо связываются с SH-группами остатков цистеина, нарушая каталитическую активность ферментов. Они ингибируют их с образованием меркантидов: $E - SH + Cu^{2+} = E - SH - Cu + H^{+}$. Таким способом возникает неконкурентное ингибирование, в результате чего клетка погибает.

Методы работы. Влияние содержания в средах повышенных концентраций тяжелых металлов устанавливается на основании подсчета окрашенных мертвых клеток в растительных тканях с использованием микроскопа. Реактивы. Краситель сафранин (спиртовой раствор); 250 мг сафранина растворяют в 100 мл 10 % спирта.

Оборудование. 1. Предметные и покровные стекла. 2. Маркер по стеклу. 3. Пинцет. 4. Пипетка. 5. Чашки Петри. 6. Стекланный стакан объемом не менее 500 мл. 7. Световой микроскоп.

Ход работы. Подпишите маркерами три предметных стекла, обозначив на них вариант модельного эксперимента (контроль или названия и концентрации тяжелых металлов). Извлеките по одному растению элодеи из каждого варианта (контроль и два варианта с тяжелыми металлами). Аккуратно, не повреждая их, отделите от средней части каждого растения по пять листьев, разместите листья каждого экземпляра на подготовленные предметные стекла, поместите их в чашку Петри для аккуратного окрашивания. На каждый лист пипеткой капните краситель сафранин, обладающий способностью хорошо окрашивать стенки клеток. Будьте внимательны, сафранин окрашивает лабораторную мебель, одежду и т. д. Заполните большой стакан дистиллированной водой. Выдержав листья не менее 5 мин в красителе, каждый лист прополощите в большом стакане с дистиллированной водой, держа за край пинцетом, и разложите группами по 5 шт. на заранее подписанные предметные стекла, накройте их покровными стеклами. Для определения количества поврежденных клеток необходимо подсчитать общее количество клеток в поле зрения под микроскопом и отдельно — количество поврежденных (полностью окрашенных в малиновый цвет клеток) в поле зрения. Результаты занести в заранее приготовленную таблицу в одну строчку через запятую. Поля зрения следует выбирать в средней части листа, по бокам от центральной жилки, не захватывая ее. Увеличение микроскопа можно использовать любое, но удобнее вести подсчеты при максимальном увеличении светового микроскопа. Все образцы должны просматриваться на одинаковом увеличении! В каждом листе элодеи из контрольного варианта подсчитайте общее количество клеток и количество поврежденных клеток в трех полях зрения. Таким образом, у вас получится по 15 значений. Для двух остальных вариантов подсчитайте только количество мертвых клеток в каждом из трех полей зрения, данных о количестве клеток в поле зрения будет достаточно из одного, контрольного варианта. По 15 значениям числа клеток в поле зрения рассчитайте среднее значение, впишите его для остальных двух вариантов опыта. Для каж-

дого варианта установите среднее число мертвых клеток в поле зрения. Найдите в каждом варианте количество поврежденных клеток в процентном отношении к общему числу клеток.

Работа 7. Инвентаризация разнообразия формы и величины ягод земляники лесной (*Fragaria vesca* L.) и черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) из двух ценопопуляций на Среднем Урале

Цель работы — выявить различия по форме и величине ягод из ценопопуляций видов, существующих в ненарушенных экосистемах и в импактной зоне, недалеко от промышленного центра.

Ход работы. Отбираются две ценопопуляции земляники лесной и 2 ценопопуляции черники обыкновенной, — по одной на расстоянии 50 км и 10–15 км. от крупного городского центра. Далее осуществляют сбор ягод — по 100 штук в каждой ценопопуляции. Выявляют разнообразные варианты форм ягод. Их зарисовывают. Кроме этого ягоды взвешивают (по 100 штук). Полученные данные убедительно свидетельствуют о большем разнообразии как форм ягод из ценопопуляций с удаленных от города территорий, так и о их большем весе. Помимо формы и веса у ягод черники из ценопопуляции с условно чистой территории обнаружено 3 варианта окраски ягод: черная, сизая и темно-синяя, — чего не наблюдалось в ценопопуляции данного вида из импактной зоны.

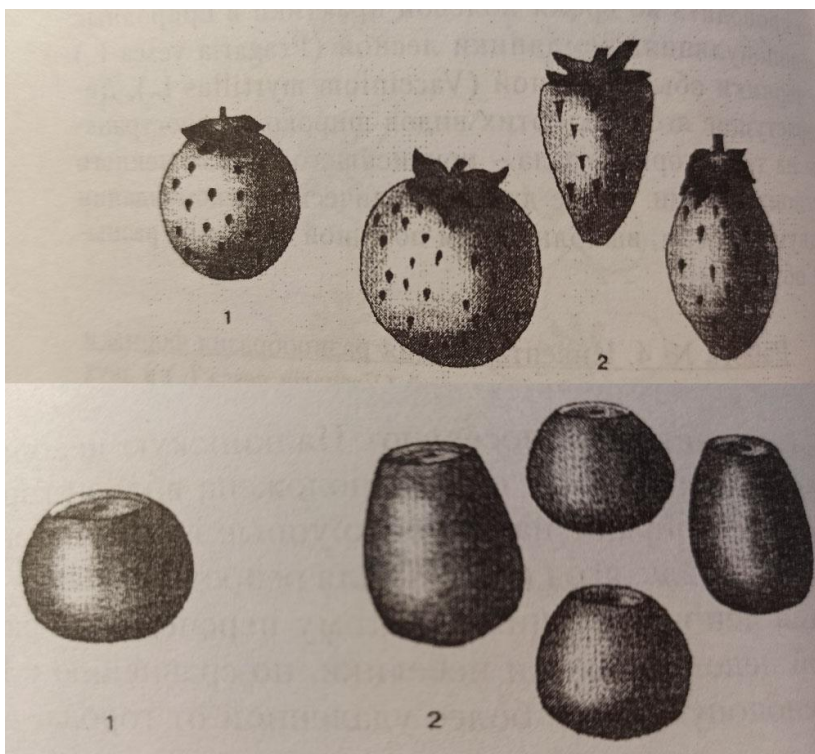


Рис. 16. Ягоды земляники (1) и черники (1) с импактной территории, ягоды земляники (2) и черники (2) с условно чистой территории.

Работа 8. Биоэкологический анализ парциальной флоры техногенных ландшафтов

Цель работы — провести биоморфологический анализ флоры техногенного объекта и сравнить его данные с аналогичным биоморфологическим анализом флоры соседнего (ненарушенного, условно чистого) фитоценоза.

Ход работы. Отобрать две территории (импактную, нарушенную) и буферную (ненарушенную), и осуществить на них биоморфологический анализ флоры.

Анализ флоры любого техногенного ландшафта всегда сопровождается рядом обязательных показателей или характеристик. Основными среди них являются показатели численности видов, родов и семейств высших растений. Обычно, при анализе структуры флоры, особое внимание следует уделять 10 ведущим семействам, наличие представителей которых фактически отражает как комплекс почвенно-климатических факторов, так историю и современное состояние флоры, испытывающей антропогенное влияние. Интерес представляет и порядок расположения ведущих семейств в спектрах флор сравнимых территорий (импактной и буферной). Например, по данным Т. С. Чибрик и др. (2004, с.57), во флоре золоотвала Богословской ТЭЦ, спустя 27 лет после консервации отвала, выявлено 107 видов сосудистых растений, принадлежащих к 72 родам и 25 семействам [16]. Из них, 83 вида (т. е. 77,6% от всего видового состава) входит в состав 10 ведущих семейств, характерных для флоры северных территорий бореальной области, — что свидетельствует об экстремальных условиях существования флоры данного золоотвала. Ниже приводится список семейств, причем сначала располагаются семейства представленные большим количеством видов:

1. Asteraceae (19);
2. Poaceae (16);
3. Cyperaceae (13);
4. Fabaceae (9);
5. Salicaceae (8);
6. Rosaceae (5);
7. Scrophulariaceae (4);
8. Pinaceae (3);
9. Chenopodiaceae (3);
10. Juncaceae (3).

Сравнение порядка расположения семейств во флоре золоотвала и в соседней естественной флоре бореальной зоны позволяет отметить некоторые различия между ними, свидетельствующие о своеобразии экологических условий существования растений на золоотвале. Кроме того, показательным для характеристики парциальной флоры золоотвала или иного техногенного объекта, могут служить различия по про-

должительности жизни видов, по соотношению биоморф, и по разнообразию экологических групп растений. Так, например, во флоре золоотвала БТЭЦ, по данным Т.С. Чибрик и др. (2004, с.57), преобладают многолетние виды, составляющие 87% от численности всех видов. В этой флоре большая часть растений (54,2%) является мезофитами, и только 15,9% составляют гигрофиты.

Биоморфологический анализ флоры техногенных объектов может базироваться на различных классификациях жизненных форм растений. В общеобразовательной школе при биоморфологическом анализе структуры парциальной флоры бывает достаточно для оценки соотношения биоморф использовать самую простую классификацию, составленную еще Теофрастом. Так, например, в структуре флоры золоотвала БТЭЦ представлены, по данным Т.С. Чибрик и др. (2004, с.58) древесные (14,9%) и травянистые (85,1%) виды. Среди древесных растений — деревья составляют 5,6%; кустарники — 8,4%; кустарнички — 0,9%. Среди травянистых растений — многолетние травы насчитывают 72%, а однолетники и двулетники — всего 13,1%. Такой анализ структуры флоры золоотвала позволяет объективно характеризовать процесс развития флоры, сформировавшейся за 27 лет в результате самозаращения зольного субстрата, который по выражению Т. С. Чибрик «не имеет аналогов в природе». Зольный субстрат изначально стерилен, — он не содержит ни семян, ни спор сосудистых растений. Фактически все 107 видов растений, освоивших территорию золоотвала, за 27-летний период мигрировали из соседнего с Богословской ТЭЦ лесного массива и с прочих соседних участков естественной растительности. В целях мониторинга, подобные исследования можно проводить на протяжении нескольких лет.

ГЛАВА 4

Практические основы мониторинга

Мониторинг в природных фитоценозах

Работа 1. Описание фитоценозов

Цель (1) — дать оценку антропогенных (техногенных) нарушений местообитаний, используя геоботанические описания растительного покрова, нарушенного и контрольного участков (главным образом, дается анализ флористических списков с указанием обилия и проективного покрытия).

- В ходе работы первоначально школьники могут заполнить схему описания каждого растительного (например, лесного) сообщества:

Дата заполнения _____

Привязка (населенный пункт, расстояние в км, дороги, гидрографическая сеть) _____

Прим. Описываемая площадка закладывается около какого-либо ориентира (тропа, дорога, просека), но не менее чем в 20 метрах от ориентира. Первая точка выделяется в самом начале лесного массива; остальные на расстоянии не менее 1 км. Число площадок зависит от степени однородности лесного массива. Размер площадки выбирается не менее 10х10 м. и не более 25х25 м.

Тип растительности леса (хвойный, мелколиственный или смешанный) _____

Видовой состав _____

• Выделяются основные лесообразующие породы, и для них указываются:

– возраст каждого вида в насаждении _____

– высота в м. _____

– диаметр ствола на уровне груди (на высоте 130 см) _____

– ярусность _____

– формула состава древостоя _____

(для написания формулы используются только начальные, заглавные буквы видов лесообразователей)

Прим. Чтобы определить участие каждой породы в древостое, надо пересчитать все стволы на определенной площади (100 м^2) и принять их за 10 единиц, затем определить участие каждой породы в долях от 10. Например, если на площади в 100 м^2 15 деревьев (10 ед.), из них 9 сосен и 6 берез, то участие каждой из этих пород составляет $9/15$ и $6/15$. При этом на долю сосны приходится 6 единиц и на долю березы — 4 единицы. Формула состава древостоя будет такой: 6С4Б. Она означает, что древостой на 60% образован сосной, и на 40% — березой. Название породы пишется не полностью, — ставят только начальные буквы (Б-береза, Е-ель, С-сосна, Ос-осина, Оль-ольха, Р-рябина, Ч-черемуха). Если участие какой-либо породы меньше $1/10$, то в формуле эта порода указывается со знаком (+). Например: 6С4Б+Е.

– деревья первого яруса (высота в м) _____

– класс бонитета _____

Табл. 1

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДРЕВОСТОЕВ ПО КЛАССАМ БОНИТЕТА

ВОЗРАСТ, ЛЕТ	ВЫСОТА ДРЕВОСТОЕВ (В М.) ПО КЛАССАМ БОНИТЕТА						
	1a	1	2	3	4	5	5a
10	6-5	5-4	4-3	3-2	2-1	-	-
30	16-14	13-12	11-10	9-8	8-6	5-4	3-2
50	24-21	20-18	17-15	14-12	11-9	8-6	5-4
70	30-26	25-22	21-19	18-16	15-12	11-9	8-6
100	35-31	30-27	26-24	23-20	19-16	15-13	12-9
130	38-34	33-30	29-26	25-22	21-18	17-14	13-10

– сомкнутость крон _____

(сомкнутость лесного полога указывается в баллах (исходя из полной сомкнутости, равной 1))

– стадия рекреационной деградации _____

Табл. 2

ХАРАКТЕРИСТИКА СТАДИЙ РЕКРЕАЦИОННОЙ ДЕГРАДАЦИИ
ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

1	2	3	4	5	6	7	8
Стадия деградации	Характеристика состояния	Древо-стой	Под-лесок	Под-рост	Травяно-куст.	Мох. - лиш.	Не лесные виды
0	Ненарушенное насаждение	сомкнут	+	+	+	+	-
1	Слабо нарушенное насаждение	Хор. состояние	+	Повр	Вы-топ.	Раз-реж	Не более 10%
2	Средне нарушенное насаждение	Средняя степень нарушен.	Выпад отдел дерев	Повр	Угнет	Пятна	До 50%

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Значительно нарушенное	Слабая сомкнут. крон	Еденчно	Еденчно	Много За-носна видов	-	До 80%
4	Полностью разрушенное	Распад древо-стоя	-	-	Сорные и луговые	-	Более 90%
5	Полный кризис	Отдельные деревья в угнетенном состоянии	-	-	В плохом сост. сорная раст.	-	Более 95%

– кустарниковый ярус:

Название вида	Высота (м)	Густота (в баллах)

– травяной ярус:

Степень задерненности почвы (для лугового сообщества) _____

Общее проективное покрытие (в баллах) _____

- Все определяется на учетных площадках 1м x 1м

Название вида	Высота (см)	Фенофаза	Обилие (в баллах)

Табл. 3

ПРОЕКТИВНОЕ ПОКРЫТИЕ ТРАВЯНО-КУСТАРНИЧКОВОГО
ЯРУСА В ЛЕСУ

Баллы	Степень покрытия почвы (в%)	Показатели покрытия
1	5-10	Несомкнутый травяной покров, единичные растения
2	20-25	Между растениями довольно значительные расстояния
3	30-50	Растения близко находятся друг от друга, образуя сомкнутый покров, но видны «дыры»
4	60-70	Растения образуют «ажурный» сомкнутый покров
5	100	Растения образуют плотный многоярусный покров

Табл. 4

ОБИЛИЕ ТРАВЯНО-КУСТАРНИЧКОВОГО ЯРУСА РАСТЕНИЙ
В ЛЕСУ

Баллы	Степень обилия	Показатели обилия (на пробную площадь)
1	Единично	Очень мало, 1-5 экземпляров
2	Редко	Особей мало, 5-10 экземпляров
3	Изредка	Особи разбросаны по участку в не-большом количестве

Баллы	Степень обилия	Показатели обилия (на пробную площадь)
4	Довольно редко	Особи составляют до 20% от общего числа
5	Много	Особей много (более 30%), но вид не пре- обладает над други- ми
6	Очень много	Число особей вида явно преобладает над другими видами

- Определение фенофазы

1. Всходы (вс).
2. Вегетация (вег).
3. Бутонизация (бут), у злаков и осок — колошение (клш).
4. Цветение (цв) или спороношение (сп).
5. Плодоношение (пл).
6. Вегетация после осыпания плодов (вт. вег.).
7. Отмирание побегов (отм.).

- Всходы деревьев и кустарников, их количество на 1 м² _____

Табл. 5

ГУСТОТА КУСТАРНИКОВОГО ЯРУСА И ПОДРОСТА

Баллы	Показатели густоты кустарников и подроста
1	Одиночные кустарники и редкий подрост деревьев
2	Кустарники располагаются группами, но сплошного яруса не образуют
3	Плотная, труднопроходимая стена кустарников и подроста деревьев

- Мохово-лишайниковый покров:

- Общий характер (присутствуют или отсутствуют мхи и лишайники; равномерное или неравномерное распределение; плотный покров или рыхлый; толщина в см) _____
- Состав мхов _____
- Подстилка:
 - степень покрытия почвы (в %) _____
 - толщина (в см) _____
 - компоненты (опавшие листья, хвоя, ветви, шишки, кусочки коры, отмершие наземные части растений): _____
- Редкие растения

Название растения	Обилие	Количество особей на 1 м ²

- Возможность вторичного пользования лесом _____

Название	Обилие	Площадь
Лекарственные растения		
Ягодные кустарнички и травы		
Грибы		

Табл. 6

САНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ ЛЕСА (ОЦЕНКА В БАЛЛАХ)

Оценка в баллах	Санитарное состояние	Основные показатели
3	Хорошее	Валежник почти разложившийся, покрытый лишайниками, мхом, грибами; отдельные сухие верхушки деревьев; отсутствие повреждений листвы и побегов
2	Удовлетворительное	Много неразложившегося

Оценка в баллах	Санитарное состояние	Основные показатели
		ся валежника; отдельные сухие деревья; частичное повреждение листвы (хлороз, высыхание, скручивание); наличие на стволах отдельных нехарактерных утолщений
1	плохое	Свежее сваленные деревья; сухие группы деревьев, повреждение листвы и побегов (высыхание, пятнистость, хлороз); многочисленные не характерные для растений утолщения стволов и ветвей

- Тип почвы: _____

Прим. Предварительно делается почвенная прикопка или почвенный разрез; описываются почвенные горизонты (для каждого определяется: цвет, механический состав, включения, и т.д.).

Полное название лесного сообщества _____

Ф.И.О. членов бригады, описывающих сообщество: _____

Цель работы (2) — дать оценку условий местообитания, используя геоботанические описания растительного покрова, нарушенного и контрольного участков.

Изучение любого растительного сообщества и растительного покрова в целом начинается с выявления видового разнообразия и сравнения по видовому составу разных сообществ. Флористическое (видовое) богатство — это количество видов, входящих в состав данного сообщества. Количество видов сосудистых растений, входящих в состав фитоценозов, сильно варьирует, но чем благоприятнее условия, тем больше видов может включать сообщество. В условиях антропогенного или техногенного воздействия видовое разнообразие уменьшается. Видовой насыщенностью называют количество видов на единицу площади — обычно на 100 или на 1 м². Кроме показателей видового разнообразия важным параметром является количественное участие отдельных видов в составе сообществ. Оценки участия видов (значимости) могут быть проведены по проективному покрытию, встречаемости, жизненности, запасу фитомассы и выражаются в баллах, процентах и показателях массы. Для оценки разнообразия используются разнообразные индексы: Шеннона, Симпсона и др. Индексы могут использоваться и для оценки степени антропогенной деградации сообществ. Для оценки состояния растительного покрова лугов П. Л. Горчаковским был предложен индекс синантропизации, определяемый по доле участия синантропных видов в процентах от общего видового состава или по доле надземной фитомассы, образованной синантропными растениями в процентах к ее общему запасу. В современных геоботанических и экологических исследованиях широко используется диагностика экологических параметров местообитаний (фитоиндикация) по произрастающим на них видам растений, т. е. также используются флористический состав и обилие видов. Для каждого вида растений характерен определенный диапазон значений экологических факторов (экологическая амплитуда), при которых возможно существование его ценопопуляций. Одним из методов фитоиндикации является использование индикаторных экологических шкал. Существуют разные шкалы: амплитудные Л. Г. Раменского, Д. Н. Цыганова, точечные Г. Элленберга. Под руководством Л. Г. Раменского

для кормовых угодий были разработаны экологические шкалы для пяти ведущих факторов среды: увлажнения, богатства и засоленности почвы, пастбищной дигрессии, переменности увлажнения и аллювиальности. Шкалы Д. Н. Цыганова чаще используются для лесных сообществ.

Методика работы. Методика оценки условий местообитания по таблицам заключается в определении ступени, характерной для большинства видов изучаемого сообщества. Во флористическом списке геоботанического описания против каждого вида растений проставляются (из таблиц) ограничительные ступени фактора, соответствующие обилию данного вида (m, c, n, r, s). По шкале проективных обилий: m — массовое, более 8 %; c — обильное, 2,5—8 %; n — умеренное, 0,3—2,5 %; r — малое; s — единичное, 0,1—0,2 %.

Шкала увлажнения «У» состоит из 120 ступеней: 1—17 — пустынное увлажнение, 18—30 — полупустынное (пустынно-степное), 31—39 — сухостепное, 40—46 — среднестепное, 47—52 — лугово-степное (влажностепное), 53—63 — сухолуговое (и свежелуговое), 64—74 — влажнолуговое, 77—88 — сыролуговое, 89—93 — болотно-луговое, 94—103 — болотное, 104—109 — местообитания прибрежно-водной растительности, 110—120 — местообитания водной растительности.

Шкала богатства и засоленности почвы «БЗ» состоит из 30 ступеней: 1—3 — особо бедные (олиготрофные) почвы, 4—6 — бедные, 7—9 — небогатые (мезотрофные), 10—13 — довольно богатые, 14—16 — богатые, 17—19 — слабосолончаковые, 20—21 — среднесолончаковые, 22—23 — сильносолончаковые, 24—28 — резко солончаковые, 29—30 — злостно солончаковые.

Шкала пастбищной дигрессии «ПД» состоит из 10 ступеней, отражающих величину пастбищной нагрузки: 1—2 — влияние выпаса не сказывается или влияние очень слабое, 3—4 — слабое влияние выпаса, сенокосная стадия, 5 — умеренное влияние выпаса (полупастбищная стадия), 6—7 — сильное влияние выпаса (пастбищная стадия), 8 — полусбой, 9 — сбой, 10 — абсолютный сбой (голо).

Шкала переменности увлажнения состоит из 20 ступеней: 1—4 — высокое обеспеченное (бескризное) увлажнение, 5—6 — средне-

обеспеченное увлажнение, 7—8 — переменное обеспеченное увлажнение, 9—11 — умеренно переменное увлажнение, 12—15 — сильнопеременное увлажнение, 16—20 — резкопеременное увлажнение.

Шкала аллювиальности состоит из 10 ступеней: 1 — без отложения наилка (или следы), 2—3 — очень слабо аллювиальные (0,1—0,3 см наилка), 4 — слабоаллювиальные (0,3—0,5 см наилка), 5—7 умеренно аллювиальные (0,5—2,0 см наилка), 8 — сильноаллювиальные (2,0—4,0 см наилка), 9 — избыточно аллювиальные (5—10 см наилка), 10 — катастрофически аллювиальные (10—15 см наилка).

Ход работы. Используя геоботанические описания, справочную литературу и таблицы экологических шкал Л. Г. Раменского, провести анализ флористических списков и определить условия экотопа нарушенного и контрольного участков. Использование флористического состава сообществ в целях фитоиндикации предполагает наличие качественных геоботанических описаний со списками ценопопуляций видов и указанием их обилия или проективного покрытия. Поэтому знание видов растений, навыки определения их в поле и в камеральных условиях обязательны.

Работа 2. Состояние ценопопуляций

Цель работы (1): определить морфометрические параметры и возрастной состав особей одного и того же вида из контрольной ценопопуляции и ценопопуляции, с нарушенной территории (состояние ценопопуляций в определенной степени отражает состояние среды обитания).

Самым малым территориальным подразделением популяционно-го уровня у растений является ценопопуляция. Она рассматривается как совокупность особей (рамет, партикул) одного вида в пределах определенного фитоценоза.

Сначала школьники должны определить: ценопопуляцию какого вида они будут исследовать.

Далее им необходимо получить представление о территориальном размещении ценопопуляции. При этом желательно установить

расстояние до соседних ценопопуляций того же вида, а также выявить и обозначить ценопопуляции соседних видов.

На следующем этапе исследования школьники определяют ряд показателей состояния данной ценопопуляции).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ И ПЛОТНОСТИ ЦЕНОПОПУЛЯЦИИ

Численность ценопопуляции — это общее число особей данного вида (партикул) в пределах ограниченной территории данного участка местности с однородным типом растительности внутри описываемого фитоценоза.

Для глазомерной оценки численности можно использовать шкалу бальной оценки:

1 балл — 1—10

2 балла — 10—50

3 балла — 50—100

4 балла — 100—500

5 баллов — до 1000 экз.

Если численность особей в ценопопуляции составляет не более 10 экземпляров, то их можно закартировать на миллиметровке. Если же численность в ценопопуляции превышает 100 экземпляров, то оценку численности можно дополнить определением плотности растений в ценопопуляции.

Плотность — это число растений, приходящихся на единицу площади. Для оценки плотности закладываются пробные площадки. Размер площадки для травянистых растений составляет от 0,25 м² до 4 м²; для древесных растений — от 100 м² до 2500 м². Для верного представления о плотности ценопопуляции, на ее территории закладывается от 10 до 30 пробных площадок. Расстояние между площадками, на которых подсчитывают особи семенного происхождения, обычно составляет 20-25 метров. Площадки можно закладывать по трансекте в ценопопуляции, а можно случайно-регулярным способом, т. е. либо в шахматном порядке, либо по сторонам ценопопуляции, либо по диагоналям. У растений с клональной формой роста за особь принимается партикула. Возможно подсчитывать также отдельные клоны (расстоя-

ние между ними должно быть не менее 10 метров), или целые куртины (расстояние составляет не менее 50 метров).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗРАСТНОГО СПЕКТРА И ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ

Возрастной спектр представляет собой соотношение в ценопопуляциях растений разных возрастных групп. Доля каждой возрастной группы растений рассчитывается в процентах от их общего числа. Изучение возрастного спектра проводят на пробных площадках путем определения возрастного состояния каждого растения данного вида. При данных исследованиях, вслед за Т.А. Работновым (1950) и А.А. Урановым (1976) выделяют следующие возрастные группы.

Табл. 7

ВОЗРАСТНЫЕ ПЕРИОДЫ, ГРУППЫ И ИНДЕКСЫ РАСТЕНИЙ

Возрастной период	Возрастная группа	Индекс
Латентный	семена	Sm
Прегенеративный	Всходы (проростки)	Pl
	Ювенилы	J
	Имматурные	Im
	Виргинильные	V
Генеративный	Молодые	G ₁
	Зрелые	G ₂
	Старые	G ₃
Постгенеративный	Субсенильные	Ss
	Сенильные	S
	Отмирающие	Sc

Школьники выявляют и сопоставляют особи вида на разных этапах онтогенеза. Для точного определения возрастного состояния некоторые особи необходимо выкапывать и оценивать их по состоянию подземных органов. Анализ возрастного состояния особей в ценопопуляции представляется в виде возрастного спектра. В ценопопуляции могут преобладать прегенеративные (молодые) и генеративные (взрослые) группы, а могут быть варианты, когда больше особей постгенеративного (старческого) периода. Если в ценопопуляции преобла-

дают прегенеративные группы, то это свидетельствует о молодости ценопопуляции. Отсутствие зрелых особей говорит о слабом генеративном возобновлении. Отсутствие прегенеративных возрастных групп является основанием для отнесения данной ценопопуляции к объектам, находящимся под угрозой вымирания. Разнообразный возрастной спектр свидетельствует о благополучном состоянии ценопопуляции.

После общей характеристики ценопопуляций, школьники могут оценить индивидуальную изменчивость видов (по личному выбору, или выбору руководителя). Для этой работы из каждой ценопопуляции отбирается случайным образом не менее 10 (50—100) особей (партикул).

При оценке уровней изменчивости рекомендуется воспользоваться шкалой уровней изменчивости, разработанной С. А. Мамаевым (1973). Шкала включает шесть уровней — от очень низкого (меньше 7%), до очень высокого (более 51%).

Коэффициент вариаций признака	Уровень изменчивости
До 7	1 — очень низкий
7-15	II — низкий
16-25	III — средний
26-35	IV — повышенный
36-50	V — высокий
51 и выше	VI — очень высокий

Для каждого признака определяется среднее арифметическое значение, ошибка среднего, среднее квадратическое отклонение. Для объективной оценки изменчивости структурных признаков подземных органов следует использовать коэффициент вариации:

$$CV\% = \frac{G \times 100}{M}$$

Преимущества этого показателя состоят в том, что он представляет из себя, относительную величину и позволяет сравнивать признаки с неодинаковой размерностью. Например, показатели качественные и количественные (размерные и счетные).

Для математической обработки полученных данных необходимы следующие формулы:

- E — арифметическая сумма определенного признака
 M — средняя арифметическая сумма признака
 $M = E : X$, где X — количество исследованных растений
- A — амплитуда разности между $\max$ и $\min$ данными
 $A = \max - \min$
- m — среднеквадратическая ошибка
 $m = A \times K$, где K — коэффициент, равный 0,10823 (при $n=10$)
- G — среднеквадратическое отклонение
 $G = A : 3,07751$
- $CV\%$ — коэффициент вариации:

$$CV\% = \frac{G \times 100}{M}$$

Среди показателей следует выделить: высоту побега, количество годичных приростов, длину каждого прироста, количество листьев, размер минимального и максимального листа, длину цветоноса, количество цветков, диаметр цветка, окраску лепестков, количество лепестков, количество чашелистиков, количество тычинок, и даже особенности их расположения напротив лепестков, и т.п. Для оценки особенностей проявлений индивидуальной внутривидовой изменчивости рекомендуем использовать нашу брошюру:

При необходимости можно также определить эндогенную изменчивость (например: размеры годичных приростов у разных партикул внутри одного клона). При оценке экологической формы изменчивости особей одного вида из двух соседних ценопопуляций (по 10 штук из каждой), расположенных в различных фитоценозах возможно определить степень влияния факторов среды на уровень изменчивости количественных и меристических признаков вида. Анализ изменчивости также позволяет выявить наиболее полиморфные ценопопуляции. Более высокая степень антропогенного воздействия на фитоценозы, в которых исследуется изменчивость разных ценопопуляций одного и того же вида может быть выявлена по более низким показателям изменчивости счетных и меристических признаков особей.

Цель работы (2) — определить количественные и счетные признаки растений двух ценопопуляций одного вида: нарушенного и контрольного сообществ. Оценить изменчивость.

Материалы и оборудование. 1. По 50 растений из каждой ценопопуляции (из 2 сообществ). 2. Линейка. 3. Лабораторные электронные аналитические весы.

Ход работы. Морфологический анализ вегетативных и генеративных особей/побегов проводят для каждой возрастной группы рассматриваемой ценопопуляции. Для анализа берут по 50 особей. У вегетативных особей измеряют следующие биометрических параметры: высоту особи/побега (см), количество живых листьев (шт.), длину листа (см), ширину листа (см), надземную массу (г). У генеративных особей измеряют дополнительно: длину соцветия (см), количество веточек в соцветии (шт.), число цветков в одном соцветии (шт.), число соцветий на растении (шт.), число цветков на растении (шт.), число плодов на одном соцветии (шт.), число плодов на растении (шт.), масса соцветия (г), массу семян в соцветии (г). Набор параметров может меняться в зависимости от вида растения. Полученные данные заносят в таблицу. Для сравнения совокупностей по их изменчивости необходимо вычислять коэффициент вариации (CV%). Коэффициент вариации является числом относительным и дает возможность оценить признаки с неодинаковой размерность (т. е. сравнивать признаки размерные и счетные). Поэтому коэффициент вариации имеет важное значение, например, для установления степени выровненности популяции по тому или иному признаку.

В зависимости от величины коэффициента вариации изменчивость считают небольшой (0—10 %), средней (11—20 %) и большой (>20 %) [по общепринятым методикам].

Представление результатов. Лучше делать каждую биометрическую характеристику той и другой ценопопуляций в виде таблицы. Сравнить данные по двум выборкам. Материал должен быть обработан стандартными методами математической статистики. Следует использовать статистические показатели выборки: — среднее арифметическое значение $M \pm$; ошибка среднего ($M_{cp} \pm m$); пределы изменения признака (lim): а) минимальное значение (min), б) максимальное зна-

чение ($\max$); среднее квадратическое отклонение (σ); коэффициент вариации ($CV\%$). Для обработки полученных данных можно использовать программный пакет MS Office (Excel) и Statistica 6.0.

Масса популяции

Цель работы — оценить плотность и надземную массу ценопопуляций нарушенного и контрольного сообществ.

Массу популяции, как и ее плотность, определяют на единицу площади.

Материалы и оборудование. 1. Растения (укосы), собранные на учетных площадках. Растения каждой учетной площадки (срезанные на уровне почвы и высушенные до воздушно-сухого веса) хранятся в отдельном пакете. 2. Лабораторные электронные технические весы.

Ход работы. В укосах учетных площадок школьники определяют количество особей/побегов отдельных видов и вносят данные по каждой ценопопуляции в таблицу. Затем учащиеся определяют среднюю плотность и массу (надземной части) ценопопуляций из разных растительных сообществ. Сравнивают показатели. Делают вывод.

Три последующие работы взяты из учебно-методического пособия: «Практикум по региональной экологии» (2003) [11].

Работа 3. Определение фитотоксичности почв

Цель работы — сравнение фитотоксичности почв на нарушенных и условно чистых территориях. Мониторинг загрязненных участков в течение нескольких лет.

Почва будучи важнейшим компонентом природных экосистем выступает в качестве мощного и долговременного депо токсических веществ. **Фитотоксичность** — один из интегральных показателей состояния почвы, свидетельствующий о ее химическом загрязнении, истощении плодородия, о присутствии фитопатогенной микрофлоры и токсикантов.

Уровень фитотоксичности почвы проявляется в подавлении роста и развития высших растений, что удобно наблюдать в процессе прорастания семян и развития проростков.

Материалы

Почвы загрязненные и с контрольных участков (10 г.). Чашки Петри диаметром 10 и более см. Фильтровальная бумага. Линейка. Семена чувствительных к химическому загрязнению растений (например, семена кресс-салата).



Рис. 17. Кресс-салат (фото из Интернета)

Ход работы:

- Откопать 10 г. почвы с загрязненных участков (около дорог с интенсивным автомобильным движением, вблизи других источников аэрогенных выбросов металлов), поместить в колбу; смешать с 50 мл дистиллированной воды.
- Полученную суспензию (1:5) тщательно взболтать и перелить в несколько чашек Петри, слоем примерно в 3—5 мм. Покрыть суспензию в каждой чашке 2 слоями фильтровальной бумаги.
- На поверхность фильтровальной бумаги поместить определенное число семян (30—50 шт.). Например, семена кресс-салата в нескольких повторностях (чашках Петри).
- Одновременно эти же операции провести с контрольной почвой, взятой с участков, минимально подверженных химическому за-

грязнению. В качестве контроля можно взять также дистиллированную воду.

- Все чашки Петри (с загрязненной и незагрязненной почвой) закрыть крышками и поместить в термостат с температурой 20—25 °С. на 3—4 дня. При отсутствии термостата можно выдерживать семена при комнатной температуре.

- Через 3—4 дня подсчитать число проростков в чашках с загрязненной почвой и в контрольном варианте, и рассчитать процент снижения числа проросших семян (энергия прорастания).

- Опыт можно продолжить, и еще через 3—5 дней измерить длину проростков в обоих вариантах опыта. Рассчитать степень уменьшения длины проростков.

- Снижение числа проросших семян на 10% по сравнению с контрольным вариантом, свидетельствует о начале деградации почв. Если число проросших семян снизилось более чем в два раза, — то это признак сильной деградации почвы.

Работа 4. Биоиндикация токсичности природных вод с помощью дафний

Цель работы — определение степени токсичности сточных и природных вод.

Дафния — мелкий водяной рачок. Именно он наиболее часто используется для индикации состояния природных вод. Критерием острой токсичности является гибель 50 и более процентов дафний в анализируемой воде по сравнению с контролем в течение 24, 48 или 96 часов.



Рис. 18. Дафния (фото из Интернета)

Материал и методика

Для получения собственной культуры дафний из самого чистого в данной местности водоема с помощью гидробиологического сачка, из планктона, отлавливают дафний и помещают в стеклянные емкости, которые заполняют под пробку водой из того же водоема.

В лаборатории сначала дафний отделяют от жидкости, осторожно ее сливая, чтобы остался осадок. Затем отобранную природную воду фильтруют через фильтр и заполняют ею подготовленные стеклянные сосуды емкостью 3—5 литров примерно на одну треть объема, куда и переносят дафний с помощью стеклянной трубки с внутренним диаметром 0,5-0,7 см с оплавленным концом. Начальная плотность посадки должна быть не более 6-10 особей на 1 литр воды. Спустя 5—7 суток, в течение которых дафнии привыкают к лабораторным условиям и начинают размножаться, в сосуды добавляют воды для дальнейшего культивирования. Для поддержания культуры в помещении не должно быть вредных газов и токсических паров. Оптимальная температура 20 °С, продолжительность светового дня 12—14 часов (не освещать сосуды прямыми солнечными лучами!). Посуду для содержания даф-

ний нельзя мыть моющими веществами и органическими растворителями. Для культивирования дафний можно использовать обычную водопроводную воду, но предварительно отстоянную не менее 7 суток и насыщенную кислородом. ($pH = 7,0-8,2$; жесткость общая — 3—4 мг-экв/л.). Раз в 7—10 суток половину объема воды с культурой дафний заменяют на свежую, удаляют скопившийся на дне осадок и при большой плотности (более 25 самок на сосуд) культуру прореживают. Не производить аэрацию воды в сосудах. Кормом для дафний служат зеленые водоросли (хлорелла) и хлебопекарные дрожжи.

Для приготовления дрожжевого корма берут 1 г свежих или 0,3 г воздушно-сухих дрожжей. Заливают их 100 мл дистиллированной воды. После набухания дрожжи тщательно перемешивают. Дают отстояться в течение 30 минут. Надосадочную жидкость добавляют в сосуды с дафниями в количестве 3 мл на 1 литр воды. Кормят дафний 1—2 раза в неделю.

При невозможности культивирования дафний в школьных условиях можно допустить использование только что отловленных в чистом пруду дафний.

Ход работы

Пробу анализируемой воды отбирают объемом до 1 л. Для целей биотестирования возможно хранение ее не более 6 часов при температуре 4 °С. Пробу воды фильтруют через фильтровальную бумагу и заливают в емкости для тестирования.

1. Берут 3 сосуда с тестируемой водой и 3 сосуда для контрольной пробы, не содержащей токсических веществ. Наливают в них по 100 мл исследуемой воды и 100 мл контрольной. Исследуемую воду можно разбавлять водой не содержащей токсических веществ. Контрольную воду можно готовить отстаиванием водопроводной воды средней жесткости (не содержащей более 3 мг.экв/л), имеющей $pH = 7,5$, температуру 20 °С , в течение суток. При содержании кислорода менее 2 мг/л необходима продувка воды с помощью микрокомпрессора.

2. В каждый сосуд помещают по 10 особей дафний. Их переносят стеклянной трубкой, диаметром 5-7 мм сначала в сачёк, затем погрузив его в воду.

3. Наблюдают за ходом эксперимента через 24, 48, 96 часов. Дафний во время эксперимента не кормят. По окончании опыта проводят учет выживших дафний. Выжившими считаются те дафнии, которые свободно перемещаются в толще воды или всплывают со дна сосуда не позднее 15 сек. после его легкого покачивания.

4. На основании полученных результатов, в трех повторностях, рассчитывают среднее арифметическое количество выживших дафний в контроле и в опыте. Оценивают достоверность полученных различий.

5. Проба воды оценивается как обладающая острой токсичностью если за 24 часа биотестирования в ней гибнет 50% и более дафний по сравнению с контрольным вариантом. Может получиться так, что в контрольном опыте гибель дафний составила 10 % и более. В этом случае опыт необходимо повторить, обратив особое внимание на чистоту воды, используемой для контроля.

Работа 5. Влияние антропогенных факторов на видовой состав луговой растительности

В лесной зоне массивы лугов предположительно возникли в результате вырубki лесов. При использовании лугов для сенокосов и пастбищ происходит изменение их флористического состава, что влияет на продуктивность угодий. Вместо лесных, луговых и лугово-лесных видов растений появляются синантропные, т.е. связанные с деятельностью человека. К синантропным видам относятся: спорыш (горец птичий), ромашка непахучая, пастушья сумка, одуванчик лекарственный, кульбаба осенняя, подорожник большой, подорожник средний, мятлик однолетний, лапчатка гусиная лапка. Влияние человека сказывается на составе и плотности почвы. На уплотненной почве выживают растения с розеточным расположением листьев, размножающиеся наземными вегетативными стелящимися побегами. На таких лугах полностью отсутствуют мхи.

Цель работы — Оценка видового состава растительности лугов с разной степенью антропогенной нагрузки

Материалы

Оборудование: шнур мерный, определитель растений.

Методика и ход работы

При изучении видового состава луговой растительности принято выделять следующие агроботанические группы: злаки, бобовые, разнотравье. Согласно П. Л. Горчаковскому (1993), различают четыре уровня изменений видового состава растительности лугов, вызванных действием антропогенных факторов.

1-й уровень включает луга, сравнительно недавно сформировавшиеся на месте лесов. Травостой образован травами (92—95%), разнотравье представлено 49-53 видами, бобовые и злаковые — 6—10 видами; присутствуют также лесные виды. Синантропных видов всего лишь 6-7.

2-й уровень состоит из лугов более длительного сенокосного использования. Возрастает плотность почвы и количество злаков. Отсутствуют такие лесные виды, как купырь лесной, медуница. Есть лесные и лугово-лесные растения: живучка, буквица, сныть, подмаренник. Появляются синантропные виды: кульбаба осенняя, лапчатка гусиная лапка, манжетка.

3-й уровень соответствует смене сенокоса на пастбище. Уменьшается доля лесных видов, остаются лишь наиболее устойчивые: фиалка собачья, горошек заборный, вероника дубравная. Господствуют растения с укореняющимися надземными побегами: клевер ползучий, лапчатка гусиная лапка. Флористический состав упрощается до 24—38 видов.

4-й уровень характеризуется сильным нарушением растительности, неумеренным выпасом скота. В травостое представлены две группы: луговые (44%) и сорные (56%) растения. Все виды синантропны: спорыш, ромашка непахучая, пастушья сумка. Многолетние виды представлены розеточными формами: одуванчик, кульбаба осенняя, подорожник, лапчатка гусиная лапка.

1. Выпишите названия растений, которые преобладают в луговых сообществах разного уровня использования их человеком. Научитесь узнавать растения по внешнему виду, обратив особое внимание на синантропные виды.

2. Обойдите выбранное Вами луговое сообщество и дайте ему название.

3. Заложите 4—5 пробных площадок размером 10х10 м и составьте их описание, согласно нижеследующим таблицам.

4. Сделайте вывод об уровне антропогенного влияния на изучаемое луговое сообщество.

Таблица 8

№	Количество видов в сообществе				
	Разнотравье	Злаки	Бобовые	Синантропные виды	Мхи
1					
2					
3					

Таблица 9

№	Количество видов		
	Всего в сообществе	Синантропные виды	% Синантропных видов
1			
2			
3			

Заключение

Данное методическое пособие предназначено для внеклассной деятельности по биологии в школе. С его помощью учителя смогут проводить занятия, ориентированные на получение знаний о текущем экологическом состоянии окружающей среды. В будущем это поможет школьникам вести экологичный образ жизни и осознавать последствия своих действий.

Также представленные методики могут послужить основой для проектной деятельности в области экологического мониторинга.

Образовательные задачи:

1. Формирование целостной системы знаний об актуальных проблемах экологии мира.
2. Усвоение путей решения экологических задач.
3. Усвоение знаний по профилактике возникновения экологических проблем.

Воспитательные задачи:

1. Развитие соблюдения экологических правил поведения
2. Воспитание чувств бережного отношения к природе

Развивающие задачи:

1. Развитие системы теоретических и практических знаний, умений и навыков, направленных на изучение и оценку состояния окружающей среды
2. Развитие умений по сохранению и улучшению состояния окружающей среды

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алкин, Р. Н. Экологический мониторинг : учебное пособие / Р.Н. Алкин, Е.А. Минакова.— 2-е изд., испр. и доп. — Казань : Казан. гос. энерг. ун-т, 2015. — 127 с.
2. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О. П. Мелехова, Е. И. Егорова, Т. И. Евсеева и др. ; под ред. О. П. Мелеховой и Е. И. Егоровой. — Москва : Академия, 2007. —288 с.
3. Герасимов, И. П. Научные основы современного мониторинга окружающей среды / И.П. Герасимов. — Текст : непосредственный // Известия АН СССР. Серия географическая № 3. — 1975. — С. 13–25.
4. Головатин, М. Г. Организация комплексного экологического мониторинга состояния природной среды на территории Свердловской области/ М. Г. Головатин, К. И. Бердюгин. — Текст : непосредственный // Комплексный экологический мониторинг состояния природной среды особо охраняемых природных территорий Свердловской области/ Правительство Свердл. обл., Министерство природных ресурсов, УрО РАН, Ин-т экологии растений и животных ; отв. ред. И. А. Кузнецова. — Екатеринбург : Уральский следопыт, 2008. — 216 с.
5. Израэль, Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. — Москва : Гидрометеиздат, 1984. — 560 с.
6. Комплексный экологический мониторинг состояния природной среды особо охраняемых природных территорий Свердловской области / Правительство Свердл. обл., Министерство природных ресурсов, РАН, УрО, Ин-т экологии растений и животных; отв. Ред. И.А. Кузнецова. — Екатеринбург: Урал. Следопыт, 2008. — 216 с.

7. Куприянова, М. К. Сезонные наблюдения в природе : методическое пособие для учителей / М. К. Куприянова, Н. Б. Мельник, З. Г. Щенникова. — Екатеринбург : [б. и.], 1992. — 126 с.
8. Куприянова, М.К. Фенологические наблюдения во внеклассной краеведческой работе : учеб. пособие / М. К. Куприянова, Ю. И. Новоженев, З. Д. Щенникова. — Екатеринбург : Банк культурной информации, 2000. — 244 с.
9. Методы экологического мониторинга : большой специальный практикум / [Э. Ф. Емлин и др.] ; под общ. ред. Т. А. Радченко ; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — 2-е изд., испр. и доп. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. — 324 с.
10. Мониторинг особо охраняемых природных территорий различных категорий в Свердловской области : монография / И. А. Кузнецова, Л. А. Пустовалова, М. Г. Головатин, А. В. Гилев, Л. Н. Степанов, Л. В. Черная, М. И. Ярушина, Т. Г. Ивченко ; отв. ред. И. А. Кузнецова. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022. — 120 с.
11. Практикум по региональной экологии / В. Н. Большаков, Л. Г. Таршис, В. С. Безель, Г. И. Таршис. — Екатеринбург : Сократ, 2003. — 232 с.
12. Снытко, В. А. Вклад академика И. П. Герасимова в проблему мониторинга природной среды / В. А. Снытко, А. В. Собисевич. — Текст : непосредственный // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. — 2017. — Т. XXVIII. — № 1. — С. 9—17.
13. Таршис, Л. Г. Основы исследовательской деятельности в области естественно-научного образования/ Л. Г. Таршис, Г. И. Таршис. —Екатеринбург : Банк культурной информации, 2007. — 135 с.
14. Трифонова,Т. А. Прикладная экология : учебное пособие для вузов / Т. А. Трифонова, Н. В. Селиванова, Н. В. Мищенко. — Москва : Академический проект : Традиция, 2005. — 384 с.
15. Хотунцев, Ю. Л. Экология и экологическая безопасность : учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / Ю.Л. Хо-

- тунцев. — 2-е изд., перераб. — Москва : Академия, 2004. — 480 с.
16. Чибрик, Т. С. Характеристика флоры нарушенных промышленностью земель Урала : учеб. пособие для вузов / Т. С. Чибрик, Н. В. Лукина, М. А. Глазырина. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2004. — 160 с.
 17. Школьный экологический мониторинг : учебно-методическое пособие/ под ред. Т. Я. Ашихминой. — Москва : АГАР, 2000. — 387 с.
 18. Экологический мониторинг состояния природных комплексов на территории Свердловской области : монография / И. А. Кузнецова, Д. В. Веселкин, А. В. Гилев [и др.] ; отв. ред. И. А. Кузнецова. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 168 с.

Учебное издание

Л. Г. ТАРШИС, Е. Л. БАРЫШНИКОВА

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

**Часть 1. Теория и классические
практические работы для организации
учебно-исследовательской деятельности
со школьниками**

Учебное пособие

Уральский государственный педагогический университет.
620091, Екатеринбург, пр-т Космонавтов, 26.
E-mail: uspu@uspu.ru