

З.Б.МИНИНА,
канд.биол.наук, методист ОМЦ Северо-Западного округа г.Москвы.
С.В.КОНОВАЛОВА,
учитель биологии и естествознания школы №821
А.Ю.КРЫГИН,
учитель биологии школы №147
Е.А.НИФАНТЬЕВА,
учитель биологии школы №827
А.Е.СЕДОВ,
докт.биол.наук, зав. кафедрой биологии МИПКРО
Г.А.СУХОТИНА,
учитель биологии и естествознания школы №143.

«Болото как экосистема»



*Болота – это особый мир, отдельный,
живущий своей особой жизнью,
имеющий постоянных обитателей и временных гостей,
свои голоса, свои шумы и, главное, свою тайну.*

Ги де Мопассан

1. Введение

Одной из задач экологического образования школьников является формирование экосистемного мышления. Наиболее успешно данная задача может быть решена непосредственно в природе, для чего необходимо проводить экскурсии в экосистемы. Программами биологии и экологии (Чернова Н.М., 1995) в старшей школе предусмотрено изучение биогеоценозов леса и пресного водоема, в программе «Экология России» (Миркин Б.М., Наумова Л.Г., 1999) уделяется некоторое внимание экосистемам болот. На уроках биологии и экологии учителя, как правило, разъясняют учащимся, в чем различия биогеоценоза и экосистемы.

Болото – отличная модель для преподавания не только курса экологии, но и всех разделов биологии, а также многих других наук – естественных, гуманитарных и технических. Огромна, уникальна геологическая роль болот в прошлом и настоящем нашей планеты – в развитии ее атмосферы, гидросферы, литосферы, самых разных ландшафтов. Поразительно необычны генетически наследуемые адаптации грибов, растений и животных к удивительным физико-химическим условиям. Программы по освоению болот поддерживаются огромными финансовыми вложениями, они породили множество интересных технических изобретений. Во многом этот путь оказался порочным, ибо болота – «сердце» биосферы. Однако осваивать болота надо – и во время экспедиций, и в процессе природопользования.

В связи с вышесказанным болота представляют огромный интерес как пример изучения экосистемы. В данной статье группа биологов – учителей и методистов – предлагает содержание и методику экскурсии «Болото как экосистема» на конкретном маршруте. Немалую роль в зарождении этой идеи сыграло участие авторов в семинаре «Разнообразие болотных экосистем и их охрана», организованном

Центрально-лесным государственным биосферным заповедником.

Подходы, примененные при разработке данной экскурсии, могут быть использованы и для экскурсий в другие наземные экосистемы.

Экскурсия может проводиться для учащихся 10–11-х классов при изучении экологии – и как самостоятельного предмета, и в составе общей биологии (в разделе «Основы экологии»). Ботанический и зоологический модули (разделы 4 и 5 предлагаемой методики) могут быть взяты за основу и при проведении экскурсий в курсах биологии растений и животных.

После экскурсии целесообразно провести в классе семинар, посвященный биосферной функции болотной экосистемы и использованию болот человеком.

Особенность предлагаемой методики – это сочетание и чередование рассказа учителя с выполнением детьми практических заданий.

Болото, на которое была совершена экскурсия, относится к категории верховых. Протяженность минимального маршрута по болоту составляет 200 м, а продолжительность экскурсии 3–4 ч.

Экскурсия начинается от края болота, откуда открывается хорошая панорама. Задача первого этапа – сформировать общее представление о болотах, их классификации и особенностях болота верхового типа. Экскурсовод просит учащихся выразить собственное отношение к болоту. Скорее всего, оно будет отрицательным: дети вспомнят, что в русском фольклоре болота – это места обитания нечистой силы (ведьм, кикимор, леших и водяных, а в озерах – и русалок). Известны пугающие людей явления: огоньки, вспыхивающие над болотами; удушающие выделения болотного газа; исчезновения людей в топи болот... Над болотами часто ощущаются дурманящие запахи, исходящие от растений (особенно от багульника). В болотистых местностях у людей чаще возникали различные болезни (малярия). Но надо обратить внимание школьников на то, что, несмотря на это, болота по-своему красивы. При этом можно показать репродукции некоторых картин Ф.А. Васильева «Болото в лесу. Осень», «Болото в лесу. Туман», «Сосновая роща у болота», «Вечер над болотом», А.И. Куинджи «Лесное болото», Е.Е. Волкова «Болото осенью». После этого учитель обосновывает важность изучения болот: они имеют огромное, исключительное биосферное значение. Демонстрируя схему взаимодействия компонентов в экосистеме (рис. 1), учитель говорит о том, что болото можно рассматривать как пример устойчивой экосистемы, а затем формулирует задачи экскурсии.

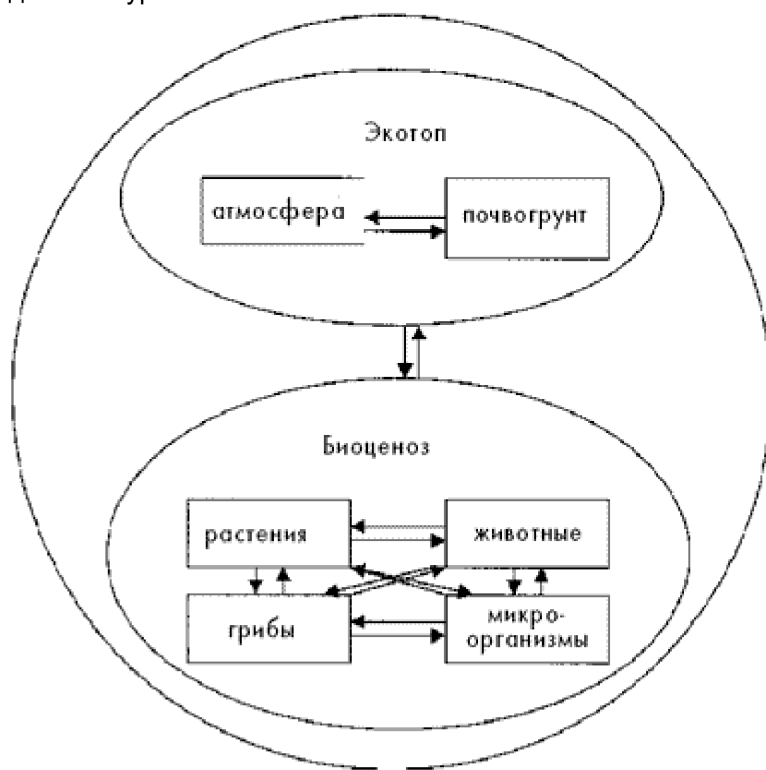


Рис. 1. Схема экосистемы

2. Общая характеристика болот

Приступая к характеристике болот, учитель дает следующее определение: «Болото – это часть земной поверхности. Его характеристики: 1) обильное застойное или слабопроточное увлажнение верхних

горизонтов почвогрунтов; 2) специфическая болотная растительность с господством видов, приспособленных к условиям обильного увлажнения и недостатка кислорода в почвенном субстрате; 3) процесс накопления торфа и толщина отложившегося торфа такова, что живые корни основной массы растений не достигают подстилающего минерального грунта» (Новиков, 2000).

По характеру растительности, местоположению и режиму питания различают болота низинные (эвтрофные), верховые (олиготрофные) и переходные (мезотрофные).

Низинные болота обычно располагаются по долинам рек, берегам озер; к ним близко подходят грунтовые воды, богатые минеральными солями; растительность на них, как правило, богатая (разные виды осок, рогоз широколистный, тростник обыкновенный, белокрыльник болотный, зеленые мхи, ольха серая и другие виды).

Верховые болота на территории нашей страны по площади и запасам торфа преобладают над всеми другими типами болот (40% всех торфяных болот мира). На верховых болотах растительность отделена от почвы уже накопившимся слоем торфа; скудное минеральное питание она получает только с атмосферными осадками, причем осадки преобладают над испарением; вода удерживается и накапливается сфагновыми мхами; грунтовые воды располагаются близко к поверхности. Мощность торфяного слоя на верховом болоте может достигать 3–4 м и даже больше. Обычно по мере накопления торфа низинное болото постепенно превращается в верховое. При этом торфяная залежь растет медленно – в среднем на 1 мм в год.

Целый ряд промежуточных болотных форм, встречающихся в природе, получил общее название переходных болот.



Учитель рассказывает учащимся, что они находятся на верховом болоте. Все верховые болота имеют своеобразное строение: они выпуклые, как холмы, только в миниатюре. Болота имеют вершину, склон и окраину. Разность высот между вершиной болота и его окраиной составляет от 2 до 8 м. Сфагновые мхи образуют огромную двояковыпуклую линзу. Стоя на болоте, этого можно и не заметить. Но если произвести съемку с помощью приборов – теодолита или нивелира – и по результатам съемки нарисовать поверхность болота, то его профиль становится очевиден. Это можно увидеть, стоя на краю болота и глядя в сторону его центра.

В поверхности выпуклого болота можно выделить следующие части:

- а) центральную часть (плато) с более или менее плоской вершиной;
- б) пологие склоны различной крутизны;
- в) так называемую окрайку – относительно ровную, нередко покрытую лесом.

В формировании такого рельефа основную роль играют сфагновые мхи – главные торфообразователи. На верховом болоте они разлагаются медленно (см. ниже), поэтому постоянно отлагается торф и торфяники растут вверх. Кроме того, когда болото приобретает холмообразную форму, под действием силы тяжести торф с вершины начинает валиками скатываться вниз. Между валиками образуются глубокие мочажины, или озерца, или водьи, а сами валики формируют приподнятые гряды.

Прежде чем начать движение по болоту, учитель рассказывает учащимся о том, что ходить по болоту надо осторожно. Перед выходом на сплавину каждому необходимо изготовить надежный прямой шест из вершины мертвой елочки высотой около 2 м (сухие ели стоят и лежат на окрайке). Передвигаться лучше только по кочкам или по грядкам. На них провалиться нельзя: они упруги, а вода находится на глубине около 30 см ниже поверхности мохового покрова. У мочажин вода стоит возле самой поверхности, поэтому к ним лучше близко не подходить. В отличие от всех других ландшафтов, по болоту рекомендуется идти не след в след, а развернутой цепью.

3. Абиотические факторы и их влияние на живые организмы

Перед рассказом учителя учащиеся разбиваются на группы. В процессе рассказа эти группы выполняют предлагаемые ниже практические задания. Возможный вариант – измерение конкретного параметра одновременно несколькими группами в различных точках болота. Сразу же после выполнения каждого из заданий обсуждаются результаты и формулируются выводы.

1. Влажность среды – один из основных факторов болотной экосистемы – составляет 90–95%. Такие условия оптимальны для более или менее обычных на болотах растений-гигрофитов (мхов, некоторых

видов осок).

2. Температура. Вода обладает уникальными термодинамическими свойствами, способствующими уменьшению температурных изменений. Это – высокая удельная теплоемкость, высокая теплота парообразования, изменение плотности воды в зависимости от температуры. Поэтому температура и некоторые другие физические параметры водной среды изменяются медленнее и в меньшем диапазоне, чем газообразной (например, воздуха). За летние месяцы болото плохо прогревается солнцем. Надземные части растений сильно нагреваются, а корни остаются в более прохладной среде. У окончаний корневых систем температура летом не поднимается выше 16–17 °С. Из-за низкой теплопроводности выравнивание температур между верхними и нижними слоями торфа происходит медленно.

Задание 1. Измерьте с помощью лабораторного термометра температуру на поверхности мохового ковра, на глубинах 3–4 см и 10–12 см от поверхности.

Подобные измерения сделайте на нескольких пробных площадках. Результаты занесите в таблицу.

№ пробной площадки	Температура поверхности мохового ковра, °С	Температура на глубине 3 - 4 см, °С	Температура на глубине 10 - 12 см, °С

Далее, при анализе геоботанических площадок (см. задания 7 и 8) следует ответить на вопрос: какие приспособления приобрели растения, чтобы сохранить равновесие между количеством испаряемой листьями и всасываемой мхами воды?

3. Кислотность. В верховых болотах кислотность сильно повышена (рН 3,0–4,5). Сфагновые мхи выделяют большое количество водорастворимых органических кислот (яблочную, щавелевую, янтарную) и кислых фенольных соединений (флавоноиды, гликозиды, агликоны флавоноидов, сфагнол). Органические кислоты, взаимодействуя с минеральными веществами почвы, образуют соли органических кислот, которыми и питаются сфагнумы. Таким образом, сфагнумам присуща внеклеточная биохимическая деятельность. А значит, они способны выделять специальные ферменты во внешнюю среду. Физиологически активные вещества, выделяемые сфагнумами, могут оказывать токсическое действие на семена и всходы древесных пород, а также на микроорганизмы. Об этих антисептических свойствах сфагнумов мы расскажем ниже.

Задание 2. С помощью индикаторных тестовых полосок определите значение рН водного раствора. Для этого:

- ополосните пробирку несколько раз водой, которую вы собираетесь исследовать на кислотность;
- наполните пробирку анализируемым раствором;
- погрузите тестовую полоску на 1–2 с в анализируемый раствор таким образом, чтобы все 4 зоны находились в растворе;
- выньте тестовую полоску из раствора и в течение 1–10 мин следите за изменением окраски 4 окрашенных зон;
- сравните развившуюся окраску с показателями прилагаемой цветной шкалы.

Определение рН почвенного раствора проведите на нескольких пробных площадках размером 1х1 м с разной растительностью. Результаты исследований занесите в таблицу.

Таблица

№ пробной площадки	Значение рН	Видовой состав растительности

На следующем, геоботаническом, этапе экскурсии именно на этих площадках надо будет определить

видовой состав растительности и соотнести его со значениями pH.

4. Течения. Движение воды в болотах полностью отсутствует как в горизонтальном, так и вертикальном направлении. Кроме того, вода во многих местах мочажин насыщена остатками сфагнумов, представляя собой целлюлозный гель, по консистенции напоминающий стекловидное тело. Поэтому в воде мочажин чрезвычайно резко выражена вертикальная зональность флоры и фауны: по разнообразию в смене картин слой воды в 1 м глубиной в болоте можно уподобить 10-метровому слою в море.

5. Концентрация кислорода. Недостаток кислорода связан с избытком влаги в торфе и слабым перемешиванием (см. п. 4). Воздух есть только в верхних слоях торфа.

6. Концентрация солей кальция и магния. В связи с тем, что пополнение болотной экосистемы водой происходит в основном за счет атмосферных осадков, содержание солей кальция и магния в воде минимально. Для того чтобы в этом убедиться, учащимся предлагается выполнить следующее задание.

Задание 3. Определите с помощью тестовых полосок величину общей жесткости воды исследуемого болота. Для этого:

- а) ополосните несколько раз пробирку водой, которую вы собираетесь исследовать на общую жесткость;
- б) заполните пробирку анализируемой водой;
- в) опустите тестовую полоску в анализируемую воду на 1 с (нельзя опускать полоску в поток воды) так, чтобы все зоны на полоске были смочены;
- г) стряхните остатки воды и через 1 мин сравните появившуюся окраску с цветной шкалой.

Проведите исследование на нескольких пробных площадках. Результаты исследований занесите в таблицу. Сделайте вывод о жесткости воды на пробных площадках.

Таблица

№ пробы	Число окрашенных зон тестовой полоски	Общая жесткость (сумма щелочноземельных металлов)	Общая жесткость в мг/л CaCO_3	Оценка жесткости воды

7. Концентрация солей биогенных элементов: азота, фосфора, калия. Торфяные почвы богаты органическими веществами. Однако в воде верховых болот все названные элементы содержатся в ничтожно малых концентрациях. Мало там и кальция, и магния.

Азот в торфяных почвах находится в малодоступных для растений соединениях. Такое состояние называют *физиологической бедностью почвы*. В ней отсутствуют соли азотной кислоты (нитраты), являющиеся обычным источником азота для растений. Бедностью азотного питания объясняется появление в болотных экосистемах насекомоядных растений (например, росянки круглолистной – *Drosera rotundifolia*). Поедая насекомых, эти растения компенсируют недостаток азота.

Задание 4. С помощью аналитических тестовых полосок на нитрат- и нитрит-ионы докажите отсутствие этих ионов в образце воды, взятой на пробу в болоте:

- а) несколько раз ополосните пробирку водой, которую вы собираетесь исследовать на содержание NO_3^- и NO_2^- ионов;
- б) наберите в пробирку воды для проведения исследования;
- в) полоску нитрат-теста на 1 с опустите в анализируемый раствор;
- г) выньте полоску из раствора, слегка стряхните остатки жидкости и через 1 мин сравните с прилагаемой к комплекту цветной шкалой.

Убедитесь в том, что полоска не изменила свой цвет.

8. Освещенность. Болото – открытое место, поэтому количество растений на единицу площади велико. Однако видов растений на верховом болоте произрастает мало, обычно 10–20.

На основании результатов выполненной работы следует сделать общий вывод о влиянии абиотических факторов на живые организмы и о приспособленности организмов к условиям среды верхового болота.

4. Продуценты

На третьем этапе экскурсии учащиеся получают представление о видовом разнообразии растений и их приспособленности к абиотическим факторам болотной экосистемы. Чтобы активизировать восприятие учащихся учитель предлагает задания, которые можно выполнять после рассказа учителя либо индивидуально, либо группами. Затем следует коллективно обсудить результаты выполненной работы. На этом этапе рассказ учителя начинается с характеристики ярусов растительности. В нижнем ярусе верхового болота господствуют сфагновые мхи, на грядах и кочках к ним добавляются разные виды политрихума (кукушкин лен). В среднем ярусе произрастают в основном кустарнички семейств брусничных и вересковых, а также осоки и пушицы. В верхнем ярусе встречаются только низкорослые сосны и березы. На грядах растительность располагается тремя ярусами, а в мочажинах и понижениях – двумя.

Видовой состав растений на болоте небольшой (около десятка видов), но своеобразный – это растения, не способные выдерживать на других территориях конкуренцию с другими видами. Среди них встречаются гигрофитные и ксероморфные (от греческих слов «ксерос» – сухой и «морфе» – форма, что буквально можно перевести как «сформированные для засухи») виды с автотрофным и гетеротрофным питанием, но все они хорошо приспособлены к жизни в особых условиях верховых болот.

Перед рассказом о мхах учитель спрашивает учащихся, что они помнят из курса ботаники о своеобразии строения мхов. Выслушав ответы, учитель вносит дополнения. Сфагновые мхи произрастают во многих географических областях в различных условиях. В пределах России их насчитывается около 40 видов. Обитатели относительно сухих участков верховых болот отличаются более яркой окраской: *Sphagnum fuscum* – ржаво-коричневый, *S. magellanicum* – красный или розовый, *S. rubellum* – пурпурно-красный. Виды, живущие на более влажных участках – *S. balticum*, *S. majus* или *S. cuspidatum*, – обычно светло-зеленые или буроватые. Разноцветные мхи образуют мозаичный пушистый ковер, радующий глаз изысканной гаммой самых неожиданных оттенков.

Задание 5. Соберите коллекцию «Палитра сфагнума» из растений разных окрасок (светло-зеленая, желтая, бурая, красная, розовая и т.д.) и сфотографируйте ее.

Отдельное растение сфагнового мха – маленькое и слабое; в одиночку оно не может даже поддерживать вертикальное положение. Но многочисленные растения цепляются друг за друга, образуя плотный моховой покров.

Сфагнумы не имеют корней; только верхняя часть остается растущей, а нижняя постоянно отмирает, пополняя кладовую торфа. Благодаря уникальной способности сфагнумов к неограниченному верхушечному росту возраст растения может составлять несколько сотен лет, а длина тяжа – 0,5 м. Если бы отмерший мох не разлагался, то его стебли пронизывали бы всю глубину торфа. Мох такой густой, потому что у него много листьев, а также боковых веточек, собранных на верхушке и образующих нечто вроде растрепанной головки.

У различных видов листья могут иметь форму от ланцетной до яйцевидно-округлой. Все они мелкие и состоят из одного слоя клеток. Благодаря наличию мертвых (гиалиновых) клеток, имеющих поры, сфагнумы способны поглотить воды примерно в 20 раз больше собственной массы. Эта особенность мха и дала ему название («сфагнос» по-гречески – губка).

Отдельные виды сфагнумов различаются по комплексу признаков: форме веточных и стеблевых листочков, количеству и расположению пор в гиалиновых клетках. Все эти различия можно увидеть только при увеличении. Поэтому сфагнумы всегда определяют до вида только с помощью микроскопа.

Задание 6. Извлеките аккуратно из толщи мха отдельный стебель и измерьте его длину с помощью линейки. Сделайте вывод о длине единичного растения сфагнового мха.

Значительную часть травянистой растительности верховых болот составляют кустарнички – представители двух близких семейств: брусничных (*Vacciniaceae*) и вересковых (*Ericaceae*). Брусничные известны более широко – это ягодные кустарнички голубика и клюква, а также обычные для влажных лесов брусника и черника. Растения семейства вересковых – багульник, болотный мирт, подбел, вереск. На корнях этих кустарничков нет корневых волосков. Их заменяют нити гриба, срастающиеся с корневыми разветвлениями (микориза), которые и высасывают из почвы воду с растворенными в ней веществами. Листья кустарничков способны изменять ориентацию по отношению к источнику света и этим менять степень освещенности. Светозащитную роль играет и органический краситель антоциан. Он содержится в клеточном соке листьев тех растений, которые живут на открытых местах.

Большинство растений верховых болот имеет ксероморфное строение. Оно выражено особенно хорошо в строении листьев: кожистые листья с восковым налетом, волосистое или войлочное опушение с нижней стороны листьев у кустарничков (клюква, подбел, багульник, кассандра) и опушенные, узко свернутые листья у трав. Чтобы уменьшить испарение, устьица глубоко погружены в мякоть листа, покрыты восковым налетом (подбел), войлочным опушением (багульник), чешуйками (болотный мирт) или защищены сомкнутыми в трубочку краями листа (вереск). Даже выделение багульником эфирных масел

способствует снижению испарения.

Получается парадокс: влаги вокруг растений более чем достаточно, однако они приспособлены к понижению испарения. Почему же растения, наполовину погруженные в воду, в результате эволюции приобрели столько черт ксероморфности?

Биологи предлагают четыре гипотезы.

1. Растения не могут поглощать эту воду быстро: уж очень она холодна.
2. Уровень основной части воды расположен слишком низко, а та вода, что могла бы быть доступна корням ксероморфных видов, на 60–75% уже впитана гиаиновыми клетками сфагнумов.
3. Растения болот сильно освещаются и нагреваются, а потому и нуждаются в защите от солнца не меньше, чем растения сухих субтропиков и пустынь.
4. В воде болот почти нет минерального питания, поэтому и фотосинтез у этих растений слаб, следовательно, воду эти растения почти не потребляют.

Следует отметить, что ни одна из перечисленных гипотез не получила точного научного подтверждения. Не исключено, что ксероморфность – результат адаптации к общему действию абиотических факторов болотной экосистемы.

Задание 7. Рассмотрите ксероморфные признаки растений верхового болота и заполните таблицу.

Таблица

Признаки ксероморфизма	Названия видов с этими признаками
Листья мелкие	
Листья опушенные	
Листья покрыты плотной кожицей	
Восковой налет на листьях	
Края листа сомкнуты в трубочку	

Учитель также может более подробно рассказать о встречаемых на экскурсии растениях. **Клюква** (*Oxycoccus quadripetalus* и *O. microcarpus*) – вечнозеленые кустарнички, обильно цветут и украшают болото в начале лета. Родовое латинское название растения переводится на русский язык как «кислый шарик». Оригинальна форма цветка: лепестки отогнуты к стеблю, а пестик направлен вниз. Осенью яркие ягоды горят огоньками на зеленом сфагновом ковре верхового болота. Ягоды могут долго храниться в обычных условиях не портясь, т.к. в них высока концентрация органических кислот.

Голубика (*Vaccinium uliginosum*) – сильно ветвящееся растение высотой от 30 до 120 см. Зацветает в конце мая–начале июня. Цветки белые или розоватые, в виде поникших пятизвездчатых колокольчиков. Плоды созревают примерно через полтора месяца после цветения. Голубику очень любят птицы. Они способствуют ее расселению, т.к. семена голубики не перевариваются в их желудках.

Черника (*Vaccinium myrtillus*), как и голубика, – листопадное растение, зацветает в мае, а плодоносит в середине июля. Название черника получила за содержание темных красящих веществ в клеточном соке ягод.

Брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), как и клюква, – вечнозеленое растение. Зацветает в конце весны белыми маленькими цветками, напоминающими колокольчики ландыша. Брусника, как и черника, может распространяться семенами, но чаще размножается корневищами. Видовое название брусники в переводе на русский язык означает «виноградная лоза с фригийской горы Ида». По преданию, гора Ида была местом пребывания Кибеллы – богини плодородия, которая разъезжала там на колеснице с венком из различных ягодных растений.

Багульник болотный (*Ledum palustre*) имеет обычно высоту до 30 см, но на более сухих местах может достигать высоты 1,5 м. Побеги багульника зимуют с зелеными листьями и несут на концах верхушечные почки, дающие весной новые веточки и соцветия, причем к концу зимы живыми остаются только те из них, которые оказываются под снежным покровом. Во всех надземных частях содержится много (до 2%) эфирного масла с одурманивающим запахом, поэтому над верховым болотом часто ощущается своеобразный аромат. Цветет багульник в конце мая–начале июня белыми или светло-желтыми собранными в густые кисти цветами. Плоды в виде поникающих коробочек созревают в конце лета.



Болотный мирт (*Chamaedaphna calyculata*) обычно имеет высоту около 25 см, иногда до 1 м. Как и у багульника, новые побеги у мирта появляются ежегодно только из почек возобновления на верхушках прошлогодних ветвей. Цветет в мае мелкими белыми цветками, собранными в верхушечные однобокие кисти. Мирт имеет еще одно название – кассандра. Кассандра в мифологии Древней Греции – дочь царя Трои Приама. От влюбленного в нее Аполлона она получила дар прорицания, но, отвергнув его любовь, была наказана тем, что никто не верил ее предсказаниям, хотя они всегда сбывались.

Подбел-белолистник (*Andromeda polifolia*) – небольшой (до 30 см) вечнозеленый кустарничек с узкими длинными листьями, растет на более обводненных участках болот. По мере нарастания сфагновых мхов он развивает обильно ветвящиеся придаточные корни, сосредоточенные в самом верхнем моховом слое. Латинское название подбела – андромеда – связано с греческой мифологией. В царствование Кефея, царя Эфиопии, появилось морское чудовище, которое опустошало страну, поедая людей. Кефей, чтобы избавиться от наказания богов, решил принести в жертву свою красавицу-дочь Андромеду. Однако влюбленный в нее Персей победил чудовище, спас девушку и женился на ней. С тех пор расцвела от счастья Андромеда. Подбел цветет нежными розовыми колокольчиками с апреля по июнь, окрашивая блеклое еще болото в розоватый цвет.

Вереск (*Calluna vulgaris*) – сильноветвящийся вечнозеленый кустарничек высотой от 30 см до 1 м. Густые кисти из многочисленных мелких лиловых цветков, располагающихся на верхушках побегов, появляются обычно поздно, в июле-августе, но остаются на кустах долго. Заросли этого декоративного кустарника охотно посещают пчелы и другие насекомые. Вересковый мед терпкий и горьковатый. На болотах встречается несколько видов **пушицы** (*Eriophorum*), относящейся к семейству осоковых (*Cyperaceae*). Это травы высотой 30–50 см. Название происходит от белых пуховочек, появляющихся после цветения на концах стеблей. Цветет пушица в апреле-мае невзрачными цветками. Вместо лепестков – прямые гладкие малозаметные щетинки, сильно удлиняющиеся к концу цветения. Они и образуют белую пушистую кисть, в основании которой лежат черные трехгранные плодики. Вместе с пушинками семена разносятся ветром на большие расстояния.

Проблему недостатка минерального питания некоторые цветковые растения решили переходом к насекомоядности, т.е. использованию наряду с автотрофным и гетеротрофного типа питания. К таким растениям относятся росянки, пузырчатка и жирянка. На болоте обычны два вида **росянки** – **английская** (*Drosera anglica*) и **круглолистная** (*D. rotundifolia*) – различающиеся по форме листьев, которые служат им ловчими аппаратами. У английской росянки они длинночерешковые, ланцетные, у круглолистной – округлые. Различаются виды росянок и условиями обитания. Росянка круглолистная предпочитает более сухие места и соседство сосны. Английская росянка более влаголюбива и растет на обводненных мочажинах с уровнем воды не ниже 2 см от поверхности.



Росьянка круглолистная

Росьянка – многолетнее растение. Ранней весной зимовавшая в толще мха почка появляется на поверхности и дает начало листьям, а также длинному стебельку с соцветием из мелких белых цветков. Чтобы вынести почку наружу, росьянка каждую весну вырастает на толщину увеличившегося мохового покрова. По сохранившимся розеткам росьянки можно точно замерить прирост сфагнума в течение ряда лет.

Листья росьянок обоих видов покрыты многочисленными (до 200 на каждом листе) красными железистыми волосками с капельками светлой жидкости, похожей на росу. Отсюда происходит и название растения (от греческого *drosos* – роса). Железки на волосках, соприкоснувшись с жертвой, начинают выделять пищеварительную жидкость, содержащую вещества, близкие по составу к пепсину в желудке человека. Росьянка усваивает только белки, жиры и углеводы ей не нужны. Процесс пищеварения идет очень медленно, в течение нескольких дней. Опыты с росьянкой показали, что чувствительность железок росьянки гораздо выше, чем у нервных окончаний на кончике языка человека.

Подойдя к окраине верховых болот, куда стекают обогащенные минеральными веществами воды, можно увидеть растения, приспособленные к мезотрофному питанию: белокрыльник болотный, вахта трехлистная, сабельник болотный и другие.

Задание 8. Установите принадлежность обнаруженных видов растений к семействам. Заполните таблицу.

Вид растения	Семейства			
	Вересковые	Брусничные	Осоковые	Другие семейства
1				
2				
3				
...				

Наиболее распространенным представителем древесного яруса на верховом болоте является **сосна обыкновенная** (*Pinus sylvestris*). Однако ее рост подавлен обилием воды, малым количеством элементов минерального питания и обеднением торфа кислородом. Растущие на болотах сосны отличаются от суходольных своим строением, о чем в начале XX в. писал В.Н. Сукачев. У них короче хвоя, в которой больше смоляных ходов, мельче шишки и семена, другая форма ствола. Древесина их плотная, поэтому долго не разрушается, годичные кольца тонкие, а рост стебля в высоту происходит очень медленно.

Задание 9. Определите визуально высоту сосны и подсчитайте возраст по мутовкам на стеблях. Сравните возраст и высоту растений на более сухих и более влажных участках гряды.

Из других растений на болотах можно встретить **березу пушистую** (*Betula pubescens*), которая вместе с сосной образует разреженные древостои. Высота березы и диаметр ее ствола зависят от места произрастания.

Задание 10. Определите ярусность растений верхового болота. Впишите названия видов растений в соответствующие графы таблицы.

Ярусы	Жизненные формы			
	деревья	кустарники	кустарнички	травянистые растения
Первый ярус				
Второй ярус				
Третий ярус				

Ответьте на вопрос: как бы вы объяснили ограниченность видового состава растительности болотной экосистемы?

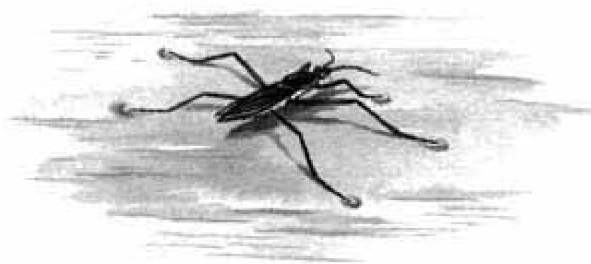
5. Консументы

Четвертый этап экскурсии посвящен видовому разнообразию консументов и их приспособленности к среде обитания. Фауна беспозвоночных животных разнообразна и зависит от среды обитания: озерцо (поверхность воды, толща воды, дно и донные отложения), древесная растительность и открытое воздушное пространство.

Перед началом рассказа об энтомофауне болот учитель раздает учащимся табл. 1 и 2 и просит их по ходу экскурсии заполнить пустые графы – вписать названия рассмотренных и определенных до рода животных либо обозначить присутствие той или иной группы животных знаком «+» (задания 11 и 12).

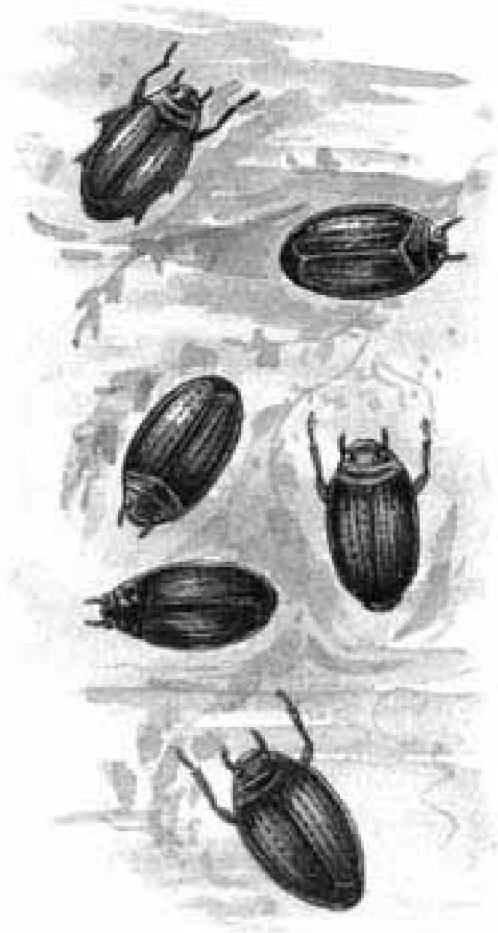
Наблюдения за фауной беспозвоночных целесообразно начать с озерца.

На поверхности воды учащиеся могут увидеть насекомых-хищников, питающихся мелкими животными, случайно попавшими на водную поверхность. К этим насекомым относятся **водомерка большая** (*Gerris rufoscutellatus*) и **водомерка панцирная** (*G. thoracicus*), а также **вертячки** (*Gyrinus*). Эти насекомые имеют водных личинок, развитие которых не обязательно связано именно с данным водоемом. Подтверждением этому служит то, что в болотных озерцах нет подходящих условий для развития упомянутых насекомых. Так, например, личинка вертячки имеет трахейные жабры и обитает в донном субстрате, который в условиях болота сильно обеднен кислородом; водомерка обычно откладывает яйца на листья водных растений, а подходящих для кладок листьев высших водных растений в озерцах нет.



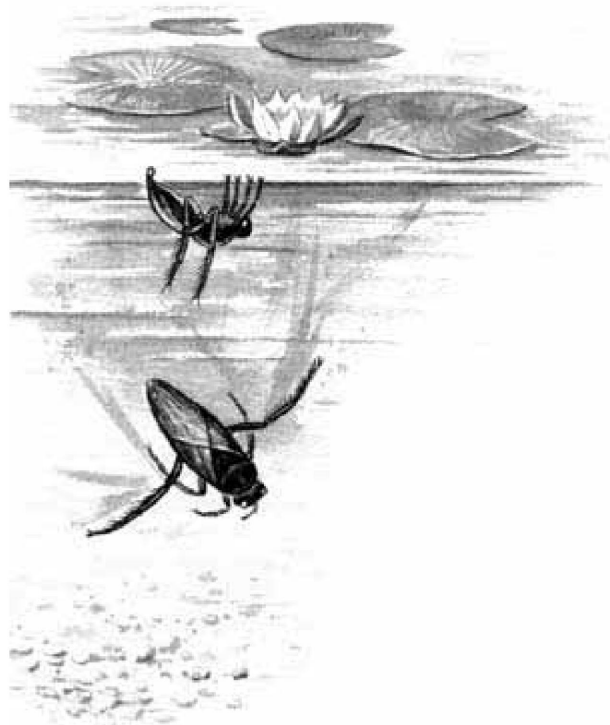
Водомерка

Перечисленные виды насекомых в сообществе выполняют роль консументов 2-го порядка, однако не представляет труда обнаружить и связанных с ними консументов 3-го порядка – личинок водных клещей, изобилиующих в болотной воде. На водомерках в основном паразитируют личинки водяного клеща *Limnochres aquatica*. Эти мелкие ярко-красные шестиногие личинки пребывают там вплоть до первого окукливания.



Жуки-вертячки

Особую группу относительно крупных и очень активных хищников составляют **гладыши** (*Notonecta glauca*) и различные виды **гребляков** (*Corixa*). Гладыш обитает в приповерхностных слоях, т.к. запас воздуха, который он несет с собой, сильно повышает плавучесть. Гребляки менее подвижны. Они носят запас воздуха под надкрыльями и могут дольше задерживаться под водой. Для перечисленных видов необходима погруженная или плавающая водная растительность, к которой они могли бы прикрепляться. Эти насекомые также могут быть мигрантами, т.к. в вечернее время активно летают.



Гладыш

В толще воды водные клещи разных видов составляют многочисленную группу водных хищников, охотящихся преимущественно на мелких низших ракообразных (дафний, циклопов и пр.), а также на мелких личинок насекомых. Эти виды-консументы благодаря своей абсолютной несъедобности замыкают короткие цепи питания.

Исследование глубоких (более 1 м) придонных слоев воды и донных осадков показывает бедность фауны. Это связано с низкой температурой воды и высокой кислотностью, что не способствует бактериальному разложению донных растительных отложений и кислородной насыщенности среды. Микроскопические исследования таких отложений позволяют выявить амёб с силикатными раковинками (*Arcella*). В болотной экосистеме эти виды являются детритофагами. Маловероятно, что удастся встретить водных моллюсков, так как их известковые раковинки быстро разрушаются в кислой среде. Следовательно, представителей кольчатых червей – пиявок, основных потребителей водных моллюсков, – также трудно будет обнаружить.

Затем учащиеся продолжают путь по гряде, и учитель рассказывает о беспозвоночных животных, обитающих вне воды.

В поверхностном слое сфагнома живут микроскопические клещи, представители класса паукообразных. В нижних слоях мха обитают коловратки, мелкие ракообразные и тихоходки, которые какой-либо существенной роли в почвообразовании не играют. В связи с тем, что болотная растительность верхового болота представлена в основном мохообразными и ветроопыляемыми цветковыми растениями, насекомые-опылители будут встречаться спорадично. На **сабельнике болотном** (*Comarum palustre*) можно обнаружить некоторые виды шмелей, а также пчеловидных и шмелевидных мух. На границе болота и леса проявится пограничный эффект, и можно ожидать большего разнообразия насекомых-опылителей, связанных с определенными кормовыми растениями. Верховые болота являются местом выплода различных видов «немалярийных» комаров. Учащимся будет интересно узнать о том, что методом наблюдения за мечеными особями было установлено расселение комаров от водоема на расстояния до 18 км. Условия болота малоприспособлены для видов *Anopheles*, тогда как личинки комаров *Culex* составляют главнейшее звено в цепях питания. Учитель может назвать отличительные признаки комаров родов *Culex* и *Anopheles*. Важно напомнить учащимся, что у взрослых комаров существует пищевая дифференциация по половому признаку, вследствие чего самцы и самки относятся к разным трофическим уровням. Самцы – консументы 1-го порядка, питающиеся соками растений; самки, как кровососущие насекомые, являются консументами последующих порядков в других пищевых цепях.

Открытое пространство над болотом – прекрасное место для охоты стрекоз, которые являются активными хищниками, добывающими пищу в полете. Чаще других на болоте можно встретить хорошо заметную крупную **стрекозу плоскую** (*Libellula depressa*), а также похожую на нее **стрекозу четырехпятнистую** (*L. quadrimaculata*), имеющую более вытянутое брюшко и незачерненные основания первой пары крыльев.



Большое коромысло

Известно, что все стрекозы проходят личиночную стадию неполного превращения в воде. Дышат личинки растворенным в воде кислородом с помощью внутренних (ректальных) жабр (равнокрылые стрекозы) либо с помощью трех наружных трахейных брюшных жабр (разнокрылые стрекозы). Личинки всех видов стрекоз являются активными хищниками, причем их добычей иногда становятся довольно крупные водные животные – головастики, мальки рыб. Однако в связи с обедненностью воды кислородом и бедностью кормовой базы личинки стрекоз в болотной экосистеме редки.

Передвигаясь по гряде в направлении к краю болота, учитель рассказывает о вредителях деревьев и демонстрирует вызванные ими повреждения. На верховом болоте произрастают немногочисленные деревья в угнетенном состоянии: сосна обыкновенная, береза пушистая, ивы. Именно с ними связаны некоторые потребители растительной продукции.

Следы работы большого пестрого и черного дятлов указывают на зараженность сосен личинками усачей. Можно обнаружить их личиночные ходы и «колыбельки» под отмершей корой. Под корой мертвых сосен хорошо видна буроватая мука **короеда-типографа** (*Ips typographus*), расположенные параллельно оси дерева маточные ходы, а также множество летных отверстий. Под корой мертвых сосен можно увидеть также двупарноногих хищных многоножек.

Кора некоторых берез оказывается продырявленной **заболонником березовым** (*Scolytus ratzeburgi*) – самым крупным представителем семейства короедов (*Ipsidae*). На листьях березы всегда обнаруживаются березовая тля и гусеницы березовой пяденицы.

На хвое сосны можно встретить гусеницу другого представителя семейства *Geometridae* – **пяденицы сосновой** (*Bupalis piniarius*). Интересно отметить, что, являясь потребителем хвои, она сама обеспечивает пищей до 50 видов паразитических насекомых, 70% которых – наездники.

На березе и сосне можно увидеть также и других активных потребителей растительной продукции – ложногусениц березового и соснового пилильщиков, которые легко отличаются от гусениц чешуекрылых по визуальным признакам: хорошо выраженным простым глазкам, 11 парам ног (8 брюшных + 3 грудных).

И, наконец, если рассмотреть листья березы и ивы, можно обнаружить следы деятельности мелких насекомых, их личинок, а также клещиков. Это следы укусов, обгрызаний, выедания мезофилла (минирование), т.е. все то, что обычно ускользает от взгляда при беглом осмотре.

Перейдя по гряде к краю болота, учитель может продемонстрировать учащимся результат работы черного древесного муравья над древесиной некоторых елей. При этом центральная часть ствола у их основания часто превращается в пергаментную труху.

Учитель может порекомендовать учащимся собрать по ходу экскурсии небольшой гербарий поврежденных листьев, а затем в лабораторных условиях определить видовую принадлежность их потребителей. Точно так же в лабораторных условиях полезно рассмотреть население сфагновых мхов – микроскопических растительноядных и хищных клещей.

Следует еще раз отметить, что верховое болото – это уникальное сообщество, где в роли консументов

2-го и даже 3-го порядков могут выступать растения: росянка, растущая по грядкам, и пузырчатка в озерах.

Рассказ о консументах болотной экосистемы будет неполным, если не упомянуть позвоночных животных. Их видовое разнообразие относительно невелико. Потребителями плавающих у поверхности озерков и летающих насекомых являются **прудовые лягушки** (*Rana esculenta*), численность которых в летний период напрямую зависит от биомассы вышеупомянутых насекомых. На некотором расстоянии от кромки воды – на грядках – встречаются два близких вида: **лягушка травяная** (*R. temporaria*) и **лягушка остромордая** (*R. arvalis*). Класс пресмыкающихся представлен **ящерицей живородящей** (*Lacerta vivipara*) и **гадюкой обыкновенной** (*Vipera berus*), места зимовок которой приурочены к верховым болотам.

Из птиц на верховом болоте в Подмоскowie можно встретить **крякву** (*Anas platyrhynchos*), являющуюся консументом 1-го порядка. Консументы 2-го порядка представлены **кукушкой обыкновенной** (*Cuculus canorus*), ловящей насекомых в воздухе, некоторыми видами дятлов, **луговым коньком** (*Anthus pratensis*), **трясогузками** (*Motacilla sp.*), собирающими мелких беспозвоночных с поверхности. На границе болота и леса возможна встреча с **чижом** (*Spinus spinus*) и **овсянкой-ремезом** (*Emberiza rustica*). Следует отметить, что кормовая база большинства перечисленных видов птиц не ограничивается беспозвоночными животными и они охотно потребляют также почки растений, их семена и ягоды, что оправданно в условиях скудного питания, предлагаемого болотной экосистемой. Хищные птицы в Подмоскowie редки, и их экологическую нишу (консументов 3-го порядка), по-видимому, занимают **чайки** (*Larus minutus*). Из млекопитающих животных болото могут посещать **лоси** (*Alces alces*).

6. Редуценты

Роль редуцентов в болотной экосистеме не так велика, как в других экосистемах, что обусловлено особенностями абиотических факторов. Тем не менее на корнях некоторых покрытосеменных растений можно рассмотреть микоризу. В летний и осенний период на болоте вырастают плодовые тела различных грибов (осенью – подберезовики и подосиновики). Деятельность бактерий в болотах снижена, т.к. выделяемые мхами фенолы подавляют микробиологические процессы. Низкая скорость разложения органического вещества, в свою очередь, способствует накоплению в болотной экосистеме торфа.

В связи с тем, что экскурсия является достаточно продолжительной по времени и информационно насыщенной, теоретические основы организации болотной экосистемы можно дать перед ней на уроке в классе.

Для проверки знаний, полученных во время экскурсии, учитель дает учащимся задания. Задания можно выполнять в группах с последующим их обсуждением на уроке. При творческом подходе к выполнению задания учащиеся могут сделать рисунки, коллажи, схемы.

Задания для проверки знаний, полученных на экскурсии

1. Докажите, что болото является экосистемой.
2. Докажите, что болото – устойчивая во времени экосистема.
3. Составьте характеристику болота как экосистемы по плану: особенности почвы, водный режим, особенности растительного и животного мира.
4. Представьте себе, что во время прогулки в лес вы встретили на пути болото. Что вы будете делать, чтобы определить его тип? По каким признакам можно отличить верховое болото от низинного?
5. На двух-трех примерах покажите приспособленность растений к абиотическим факторам болота.
6. Составьте схему пищевой сети обитателей верхового болота.
7. Семинар по теме «Значение, использование и охрана болотной экосистемы»

Подготовка к семинарскому занятию начинается за две недели до его проведения. На стенде «Исследовательская работа учащихся» вывешиваются название темы семинара, перечень вопросов и список рекомендуемой литературы. Учащимся предлагаются следующие темы для подготовки сообщений.

1. Роль болот в регулировании гидрологического режима ландшафта.
2. Роль болот в регулировании геохимических процессов в биосфере.
3. Роль болот в сохранении биологического и ландшафтного разнообразия биосферы.
4. Использование болота человеком.

Для контроля за ходом подготовки к семинару учитель проводит консультации, на которых анализирует и корректирует сделанную работу, дает рекомендации и рецензирует выполненные

задания.

Семинар начинается с вводного слова учителя, который формулирует основные задачи урока, дает краткую характеристику темы, подчеркивает ее практическую значимость. Используя гербарный материал, таблицы, слайды, учитель активизирует полученные учащимися на экскурсии знания о болоте как экосистеме. Учащиеся вспоминают основные связи растений и животных в экосистеме. С помощью учителя учащиеся формулируют вывод о том, что в цепях питания биогеоценоза органическое вещество синтезируется и многократно трансформируется, вследствие чего происходит непрерывный круговорот веществ в биосфере.

Затем учитель знакомит учащихся с биологической продуктивностью болот, раскрывает главные отличия между истинным приростом лесов и болот. Если в лесу истинный прирост сосредотачивается в деревьях (они растут), то на болоте он приблизительно на 10–20% переходит в торф. За счет этого болота растут вверх. Остальная часть прироста (80–90%) разлагается, расщепляется на химические элементы и вступает в следующий круговорот. Перешедшие в торф вещества исключаются из круговорота веществ в природе.

В сообщениях учащихся, посвященных биосферным функциям болотной экосистемы, рассматриваются следующие значения болот.

1. Формирование ресурсов грунтовых и подземных вод.
2. Регулирование стока паводковых вод.
3. Защита от проникновения соленых вод в подземные и поверхностные пресные воды.
4. Задержание взвешенных частиц.
5. Накопление питательных веществ для животных.
6. Удаление токсических веществ.
7. Глобальная аккумуляция углерода.
8. Поддержание микроклимата.
9. Сохранение местообитаний растений и животных, в том числе редких видов.

В рассказах учащихся о практическом значении болот должны быть затронуты вопросы использования человеком:

- лекарственных растений;
- генофонда некоторых видов растений и животных для селекции;
- ягод и грибов.

Учащиеся также могут рассказать о разнообразном использовании торфа (в строительстве, бумажном производстве, сельском хозяйстве, медицине, в качестве топлива).

Учитель дополняет сообщения учащихся рассказом о способах добычи торфа (фрезерном, экскаваторном, гидравлическом), обращает внимание ребят на отрицательные последствия мелиорации. Заканчивая обзор свойств торфа, учитель рассказывает о способности торфа консервировать предметы жизнедеятельности человека, следы материальной культуры.

Для закрепления изученного материала учитель перед началом урока предлагает учащимся следующие вопросы, на которые они должны ответить в конце урока (или дома).

1. Почему при осушении болот снижается уровень грунтовых вод?
2. Каким образом болота регулируют сток паводковых вод?
3. Существует мнение, что леса являются легкими планеты, ручьи и реки – ее кровеносной системой, а болота выполняют роль печени и легких на Земле. Согласны ли вы с этим утверждением?

Аргументируйте свой ответ.

4. Каким образом может происходить накопление питательных и удаление токсических веществ в донных отложениях болот?
5. Какие из обитающих на болоте видов растений и животных занесены в Красную книгу?
6. Как вы понимаете высказывание о том, что болото является глобальным аккумулятором углерода?
7. Каким образом исчезновение болот может способствовать возникновению парникового эффекта?