

**БИОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА
УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ
К ПРОМЫШЛЕННОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ СРЕДЫ****Н. П. Гераськина***Орловский государственный технический университет*

Приведены данные оценки состояния смешанного леса, расположенного в зоне воздействия промышленных предприятий, различающихся по объему выбросов загрязняющих веществ. Показано, что общая сила негативного воздействия загрязняющих веществ на лесные экосистемы не имеет прямой зависимости от их количества. Имеет значение соотношение веществ и их токсические свойства. Биоиндикационные методы объективно выявляют степень устойчивости лесных экосистем. Это позволяет более обосновано делать экологические прогнозы и разрабатывать профилактические мероприятия.

ВВЕДЕНИЕ

Своевременная оценка устойчивости лесных экосистем имеет огромное значение, так как в настоящее время постоянно усиливается антропогенное давление на лесные экосистемы. По данным литературы в Западной и Центральной Европе 38% лесов относятся к категории пораженных. На планете площадь сомкнутых лесов за период после 1880 года уменьшилась примерно на 1.5 млрд. га, что составляет примерно 1/5 часть их первоначальной площади. В России сегодня так же наблюдается кризис лесных экосистем, который проявляется в сокращении площади лесных территорий, снижении устойчивости лесов, их продуктивности, способности противостоять вредителям и болезням, в сокращении видового разнообразия. В связи с постоянно увеличивавшимися потребностями в древесине значительный ущерб лесам был нанесен еще в 17—19 веках, и к 20 веку только в Европейской части России они были сведены на десятках млн. га. Особенно пострадали леса в наиболее доступных районах лесостепной и степной зон. Так, в Центрально-Черноземной зоне в целом лесистость упала с 18.7 до 10.4%, а в Воронежской и Курской областях до 7.4 и 6.2% [1]. Общая площадь, занятая лесами в Орловской области составляет всего 6.5% [2]. С ростом населения и интенсификацией хозяйственной деятельности значение леса постоянно возрастает, лесные территории же неуклонно сокращаются.

На территории РФ леса являются преобладающим элементом окружающей природной среды,

они занимают более 2/3 площади суши страны и образуют основу всех природных комплексов. Принципы рационального управления лесами России заложены еще в реформах Петра Великого — обеспечение неистощимого и непрерывного использования, воспроизводства, охраны и защиты лесов. Ведь каждое поколение россиян является лишь временным пользователем лесных ресурсов, обязанным передать леса следующему поколению, как минимум, не ухудшив их состояние.

Деградация лесов чревата многообразными экологическими последствиями, так как лес имеет глобальное значение как главный компонент биосферы и как источник возобновляемых ресурсов. Леса являются важным аккумулятором живого вещества, они удерживают в биосфере ряд химических элементов и воду, биомасса, накапливаемая в лесах, составляет около 90% всей наземной биомассы. Леса активно взаимодействуют с тропосферой и определяют уровень кислородного и углеродного баланса, влияют на распределение осадков, препятствуют загрязнению вод, переводя поверхностный сток во внутрипочвенный, улучшают микроклимат территории благодаря процессам транспирации и конденсации водяных паров. Леса выполняют почвозащитную, рекреационную и другие функции.

Негативное влияние на леса, в том числе и на российские, оказывает не только бесконтрольная вырубка, но и загрязнение атмосферы и педосферы. В силу прикрепленного образа жизни растения особенно зависимы от состояния этих двух сред, в которых происходит их рост и развитие. Поэтому на жизнедеятельность растительного организма

загрязнения воздуха и почвы оказывают самое непосредственное влияние.

В результате различных видов человеческой деятельности в воздух выбрасывается более 200 различных компонентов. Это сернистый газ, оксиды азота, угарный газ, озон, соединения фтора, углеводороды, фенолы, пары серной, сернистой, азотной и соляной кислот, а также твердые частицы сажи, золы, пыли, в свою очередь содержащие токсические оксиды свинца, селена, цинка. В промышленно развитых странах около 20% газовых выбросов приходится на промышленную деятельность (электроэнергетика, производство нефти, бумаги, химическая промышленность, черная и цветная металлургия), столько же — на отопительные системы, около 10% — на переработку и уничтожение отходов, и более чем на 50% атмосферное загрязнение обусловлено автотранспортом. Кроме вредного воздействия газов на растения, которое проявляется непосредственно на листовом аппарате, имеет место влияние загрязняющих веществ через почву, которая является аккумулятором различных токсических соединений антропогенного происхождения. Следствием загрязнения почвы является гибель полезной микрофлоры, негативное изменение почвенного поглощающего комплекса, отравление корневой системы, нарушение минерального питания растений.

По ориентировочным оценкам, в России общая площадь лесных массивов, пораженных токсичными промышленными выбросами, достигает 1 млн. га. Особенно велико негативное влияние оксидов серы и азота, хлорорганических соединений и солей тяжелых металлов.

Состояние лесных комплексов в зонах постоянного антропогенного воздействия, требует постоянного эффективного контроля для перевода кризисных экологических ситуаций на более низкие уровни их разрешения путем направленных взаимных адаптаций природных и антропогенных структур [3]. Для этого необходимо выявлять ранние, слабо выраженные, стадии развития кризиса и далее планомерно действовать, исходя из экоцентричных принципов взаимодействия человека и природы.

В сложившейся ситуации большое значение для оптимизации лесовосстановительного и лесообразовательного процесса имеет изучение влияния природных и антропогенных факторов на продуктивность и устойчивость лесов. В свою очередь устойчивость экосистемы, рассматриваемая как соотношение между величиной стрессирова-

ющего воздействия и степенью полученного повреждения, должна определяться по состоянию видов-эдификаторов природного сообщества, от состояния которых зависит его дальнейшее существование. Для лесных экосистем такими объектами являются древесные растения, состояние которых возможно оценить биоиндикационно. Методы биоиндикации, пригодные для оценки качества среды и диагностики состояния живых организмов, в настоящее время разрабатываются многими учеными [4—6]. Более традиционные физико-химические методы оценки состояния окружающей среды (определение концентрации загрязняющих веществ, уровня радиации, теплового излучения и т. д.) обеспечивают получение базовой информации о концентрации различных поллютантов и физических изменениях, но не дают возможности интегральной характеристики воздействия среды на живой организм, так как суммарный эффект воздействия этих компонентов на живые организмы может не сводиться к простой сумме воздействий из-за взаимодействия этих компонентов между собой, синэргетного эффекта и т. д.

Биоиндикация выявляет состояние живых организмов на самых ранних стадиях деградации, что дает человеку такой необходимый выигрыш во времени.

В связи с этим, цель настоящих исследований состоит в оценке качества среды и диагностики состояния основных видов-эдификаторов лесных экосистем Орловской области в зоне воздействия промышленных предприятий.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Изменение ряда биоиндикационных показателей развития древесного яруса леса изучали в зависимости от количества и состава выбросов промышленных предприятий. Количество и состав промышленных выбросов получен по данным Управления Федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Орловской области. Концентрация тяжелых металлов в почве и растительной ткани определена атомно-адсорбционным методом. При регистрации степени повреждающего воздействия токсичных факторов на растения применялись методы лесопатологического мониторинга [7] и методы биоиндикации: определение визуального коэффициента состояния древостоя (здоровый древостой имеет $K < 1.5$, ослабленный — 1.6—2.5, сильно ослабленный — 2.6—3.5, усыхающий — 3.6—4.5, погибший — $K > 4.6$) [8], определение величины флуктуирующей асиммет-

Показатели состояния древесного яруса лесных экосистем

№ точки	Состояние по данным лесопатологического мониторинга	Визуальный коэффициент	Средний балл асимметрии листьев березы	Длина хвоинок сосны, мм
1.	норма	1.57	4	57.7
2.	норма	1.53	2	—
3.	норма	1.12	1	68.9
4.	норма	1.12	1	75.1

рии листьев (в баллах от 1 до 5) [6] и определение меристических показателей развития хвои [8].

Для проведения экспериментов выбраны сходные по биотическим показателям участки смешанного леса, расположенные вблизи трех промышленных предприятий, отличающихся разной степенью производимого загрязнения окружающей среды: Мценский литейный завод (точка 1), Орловский сталепрокатный завод (точка 2), Отрадинский сахарный завод (точка 3). В качестве контроля использовался участок леса в окрестностях с. Клейменово, удаленный от промышленных и транспортных зон, расположенный на незагрязненной территории (точка 4).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Мценский литейный завод за год выбрасывает в атмосферу 80.918 тонн загрязняющих веществ, среди которых наибольшее количество составляют оксиды углерода и азота, диоксид серы. Кроме того, в воздух попадает ряд специфических для металлургического производства соединений: марганец и его соединения, хлористый водород, ксилол, толуол, ацетон, формальдегид, бензин нефтяной и прочие.

Общее количество атмосферных выбросов, производимых Орловским сталепрокатным заводом, составляет 1085.113 т/г. Среди них преобладает углекислый газ и оксиды азота. Выбрасывается также ряд специфических соединений: серная кислота, хлористый водород, гидроксид натрия, оксиды железа, марганца, цинка, абразивная пыль, минеральное масло и прочие.

Отрадинский сахарный завод производит выброс в атмосферу 503.955 тонн загрязняющих веществ в год, преобладают диоксид серы и углекислый газ, оксиды азота. Среди специфических

производственных выбросов присутствуют зола, пыль сахара, пыль кокса, неорганическая пыль, аммиак, углеводороды, гидроксид кальция, оксиды железа и марганца.

Лесные экосистемы, расположенные на прилегающих к заводам территориях, представляют собой смешанный (в точках 1 и 3) и лиственный лес (в точке 2), древесный ярус которого образован березой бородавчатой и сосной обыкновенной в возрасте 25—30 лет.

Химический анализ лесных почв показал, что в точке 1 в составе почвы присутствуют тяжелые металлы, содержание которых превышает контрольные цифры в 3.05 раза; в точке 2 содержание тяжелых металлов в почве превышает контроль в 3.28 раза; в точке 3 суммарное содержание тяжелых металлов в корнеактивном слое почвы превышает контрольные цифры в 1.92 раза.

Деревья не несут на себе ярко выраженных признаков угнетения, и соответствуют норме при лесопатологическом мониторинге. Однако более детальная оценка выявляет различия в степени благополучия каждой из этих экосистем.

В точке 1 и в точке 2 коэффициент состояния лесного древостоя согласно оценке по визуальной шкале превышает 1.5, что свидетельствует о том, что древесный ярус данных экосистем уже ослаблен. В точке 3 коэффициент — 1.12, то есть древесный ярус данной экосистемы развивается нормально ($K < 1.5$). Контрольные показатели также равны 1.12.

Явные различия проявляются во флуктуирующей асимметрии листьев березы исследуемых экосистем. Если в контрольном варианте 100% деревьев имеют 1 балл асимметричности по 5-ти бальной шкале, то есть развиваются вполне нормально, то в точке 1 нормальное развитие характерно лишь для 30% деревьев (1—2 балла), 40%

испытывают различную степень угнетения (3—4 балла), 30% находятся в критическом состоянии (5 балл). В точке 2 нормально развиваются 50% деревьев (1—2 балла), 30% испытывают различную степень угнетения (3—4 балла), а 20% находятся в критическом состоянии (5 балла). В точке 3 нормально развиваются 90% деревьев (1—2 балла), лишь 10% находятся в угнетенном состоянии (3 балла). Представленные данные коррелируют не с количеством выбросов, а с содержанием тяжелых металлов в почве ($r = 0.73$).

Биоиндикационные показатели развития хвойных растений также дают более дифференцированную картину по сравнению с простой визуальной оценкой. В сравнении с контрольными показателями у растений, произрастающих в зоне действия промышленных предприятий (точки 1 и 3), уменьшается размер хвоинок: длина хвоинок сосны в точке 1 на 23.2% меньше, чем на контрольном участке, а в точке 3 — на 8%. Подобным образом сокращаются размеры и количество почек, уменьшается ветвление побегов. Показатели состояния хвойных деревьев также находятся в прямой зависимости от концентрации тяжелых металлов в почве ($r = 0.75$) и не соответствуют объемам выбросов предприятий.

Индикатором состояния основных видов-эдикаторов лесных экосистем может быть концентрация токсичных тяжелых металлов в растительных тканях [9]. По нашим данным, в листьях березы, произрастающей в районе сахарного завода концентрация меди в 3.3 раза выше, чем в контроле, а в листьях деревьев у ОСПАЗ и Мценского литейного завода в 5.3—5.9 раз соответственно. В то же время концентрация свинца наименьшая в листьях березы вблизи Мценского литейного завода. Несоответствие концентрации токсичного металла в листьях и их состояния свидетельствует о наличии других токсических факторов, оказывающих негативное влияние на листья. К таким факторам можно отнести токсичные аэрозольные и газообразные соединения, присутствующие в выбросах данного завода. К особенностям сосны относится более низкая концентрация тяжелых металлов в хвое, чем в листьях березы и более выраженная способность накапливать свинец. Так же как и у березы, зависимости состояния растений от содержания в них изучаемых тяжелых металлов не наблюдается. Это еще раз свидетельствует о возможном преобладающем влиянии на состояние листьев деревьев газообразных выбросов промышленных предприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно полученным результатам наиболее сильное угнетение испытывает лесная экосистема, расположенная вблизи Мценского литейного завода. При этом общий объем атмосферных выбросов данного предприятия ниже, чем у двух других учитываемых предприятий. Но в состав специфических выбросов этого завода входят вещества, способные реагировать между собой в атмосфере и воде, образуя новые более токсичные соединения. Так, реакция толуола с оксидом азота (II) приводит к образованию нитрофенолов, а при реакции хлора с фенолами, аминами, бензолом и пр. образуются соответствующие хлорпроизводные, в том числе и самое токсичное антропогенное соединение — диоксин [5]. Следовательно, общая сила негативного воздействия загрязнителей может не иметь прямой зависимости от их количества (сказывается токсичность, синергетный эффект и др.), при этом биоиндикационные показатели ясно отражают картину состояния растительных организмов.

Меньше угнетена лесная экосистема вблизи Орловского сталепрокатного завода, еще меньше негативное влияние испытывает лес у Отрадинского сахарного завода. При этом визуальные показатели в точке 1 и в точке 2 различаются незначительно (на 0.04), в то время как показатели флуктуирующей асимметрии различаются существенно: балл асимметрии листьев березы в этих точках различается между собой в 2 раза. Исходя из полученных результатов, мы делаем вывод, что показательность биоиндикации достаточно высока в сравнении со стандартным лесопатологическим мониторингом.

Известно, что стабильность развития лесного древесного яруса зависит от комплекса взаимосвязанных причин, в котором важной составной частью является загрязнение среды. Флуктуирующая асимметрия листьев и показатели развития хвои являются важным информативным материалом при оценке состояния смешанного леса. Эти показатели зависят от уровня загрязнения окружающей среды, но не следуют автоматически за изменениями объемов выбросов, так как разные загрязнители производят различное биологическое воздействие. Биоиндикационные показатели объективно характеризуют текущее состояние растений, позволяют судить об устойчивости лесных экосистем и делать обоснованные экологические прогнозы. При этом нарушения в состоянии экосистем выявляются на стадии ранних повреждений, что особенно важно для сохранения существующих лесных участков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лес России: энциклопедия / под общ. ред. А.И. Уткина, Г.В. Линдемана, В.И. Некрасова, А.В. Смолина. — М.: Большая Российская энциклопедия, 1995. — С. 216.
2. Природа Орловской области / [под ред. В. Антонова]. — Орел: Орловское книжное издательство, 1981. — С. 136.
3. Казаков Л. К. Индикация и оценка экологических ситуаций в промышленных регионах / Л.К. Казаков, Д.Н. Моторин // Экология и промышленность России. — 1998. — №4. — С. 32—36.
4. Здоровье среды: методика оценки / В. М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов [и др.]. — М.: Центр экологической политики России, 2000. — 68 с.
5. Стрельцов А. Б. Региональная система биомониторинга на основе анализа стабильности развития: дисс. д. биол. н. / А.Б. Стрельцов. — Калуга, 2005. — 350 с.
6. Шестакова Г. А. Методика сбора и обработки материала для оценки стабильности развития березы повислой / Г.А. Шестакова, А.Б. Стрельцов, Е.Л. Константинов. — Калуга, 1997. — 16 с.
7. Положение о лесопатологическом мониторинге / Федеральная служба лесного хозяйства России. — М., 1993. — 11 с.
8. Ашихмина Т. Я. Комплексный экологический мониторинг региона / Т.Я. Ашихмина, В.М. Сюткин. — Киров: Изд-во ВГПУ, 1997. — 386 с.
9. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев. — Л.: Агропромиздат, Ленинградское отделение, 1987. — 142 с.