

Электронный архив УГЛТУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный лесотехнический университет»
(УГЛТУ)

С. С. Постникова
С. С. Зубова

ОЦЕНКА РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

Учебное пособие

Екатеринбург
2022

УДК 502.11

ББК 20.18

П63

Рецензенты:

кафедра химии, почвоведения и агроэкологии УрГАУ
им. Н. Ф. Коняева, канд. хим. наук, доцент *Е. А. Суслов*;

А. В. Любимова, канд. с.-х. наук, главный специалист
ГКУ СО «Дирекция лесных парков»

Постникова, С. С.

П63

Оценка рационального использования природных ресурсов : учебное пособие / С. С. Постникова, С. С. Зубова; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2022. – 96 с.

ISBN 978-5-94984-849-4

Учебное пособие разработано с учетом востребованности вопросов по состоянию окружающей среды, а также рассмотрены основные методы оценки рационального использования природных ресурсов.

Данное учебное пособие отражает тематику оценки загрязнения воздуха, воды, почвы и растительного мира, представленную в дисциплинах «Мониторинг лесных экосистем», «Мониторинг природных экосистем», «Экологический мониторинг», «Основы природопользования», «Региональное и отраслевое природопользование».

Предназначено для работы в вузах лесного, экологического и природоохранного направления для всех специальностей и уровней подготовки (бакалавров, магистрантов, аспирантов), а также широкого круга читателей.

Издается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

УДК 502.11

ББК 20.18

ISBN 978-5-94984-849-4 © ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2022
© Постникова С. С., Зубова С. С., 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Загрязнение окружающей среды	5
Экологический след	6
Техноценоз и его компоненты	12
Ассимиляционная емкость окружающей среды	15
Источники загрязнения как фактор экологической нагрузки	17
Комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА)	25
Биондикация	32
Методы оценки загрязнения воздуха	32
Оценка качества среды по берёзе повислой (<i>Betula pendula</i> Roth.)	32
Оценка загрязненности воздуха методом лишеноин- дикации	42
Биоиндикация по состоянию хвои	45
Антропогенное воздействие на окружающую среду и его оценка	50
Действие экотоксикантов в окружающей среде	50
Возобновимые природные ресурсы и их учет	54
Экологические задачи и пути их решения	59
Градиентный анализ растительности как один из методов ординации	62
Оценка емкости лесопарков	66
Рекреационная нагрузка	71
Оценка воздействия лесохозяйственной деятельности на окружающую среду методом матрицы Леопольда	75
Оценка биопроцессов в экосистеме	79
Биопродуктивность лесов	80
Квалиметрия как количественная оценка экосистем	85
Заключение	88
Библиографический список	90

ВВЕДЕНИЕ

Природные ресурсы, их рациональное использование и сохранение являются актуальной проблемой как для отдельных стран, так и в глобальном масштабе. При этом охрана окружающей среды, обеспечение экологической безопасности рассматриваются как жизненно необходимая мера.

Экономические преобразования последних десяти лет определили скорость и содержание трансформации процессов природопользования.

Состояние окружающей среды и здоровья человека, условия его жизни и деятельности находятся в зависимости от функционирования общественного производства. Развитие рыночной экономики, процессов интеграции и глобализации отнюдь не способствует улучшению экологической ситуации в мире.

С каждым годом состояние окружающей среды становится хуже.

В данном учебном пособии рассмотрены основные моменты загрязнения окружающей среды и предложены методы оценки рационального использования природных ресурсов, таких как воздух, вода, почва и растительный мир.

Пособие разработано с учетом востребованности учебной литературы для проработки вопросов по состоянию окружающей среды по таким предметам, как «Мониторинг лесных экосистем», «Мониторинг природных экосистем», «Экологический мониторинг», «Основы природопользования», «Региональное и отраслевое природопользование». Предназначено для работы в вузах лесного, экологического и природоохранного направления для всех специальностей и уровней подготовки (бакалавров, магистрантов, аспирантов), а также широкого круга читателей.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Условия современной реальности заставляют находить более удобные формы отчетности по оценке загрязнения атмосферы.

Уменьшилось общее количество наблюдений за загрязнением атмосферы, но одновременно возникла необходимость более широкой интерпретации результатов этих наблюдений.

Кроме того, современное положение поставило вопрос о необходимости информирования общественности о качестве воздуха.

Созданы новые более удобные и компактные формы обобщающих таблиц, включаемые в территориальные Ежегодники, наглядно свидетельствующие об уровне загрязнения атмосферы и позволяющие осуществлять контроль всех данных, приведенных в разных таблицах [1].

Согласно Федеральному закону об окружающей среде в редакции от 26 марта 2022 г., используются следующие основные понятия [2].

Окружающая среда – совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов.

Охрана окружающей среды – деятельность органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, общественных объединений и некоммерческих организаций, юридических и физических лиц, направленная на сохранение и восстановление природной среды, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, предотвращение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и ликвидацию ее последствий (далее также – природоохранная деятельность) [3].

Негативное воздействие на окружающую среду – воздействие хозяйственной и иной деятельности, последствия которой приводят к негативным изменениям качества окружающей среды.

Загрязнение окружающей среды – поступление в окружающую среду вещества и (или) энергии, свойства, местоположение или количество которых оказывают негативное воздействие на окружающую среду.

Загрязняющее вещество – вещество или смесь веществ и микроорганизмов, которые в количестве и (или) концентрациях, превышающих установленные для химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов, нормативы, оказывают негативное воздействие на окружающую среду, жизнь, здоровье человека [4, 5].

Оценка воздействия на окружающую среду – вид деятельности по выявлению, анализу и учету прямых, косвенных и иных последствий воздействия на окружающую среду планируемой хозяйственной и иной деятельности в целях принятия решения о возможности или невозможности ее осуществления.

Вред окружающей среде – негативное изменение окружающей среды в результате ее загрязнения, повлекшее за собой деградацию естественных экологических систем и истощение природных ресурсов.

Объекты природного наследия – природные объекты, природные памятники, геологические и физиографические образования и строго ограниченные зоны, природные достопримечательные места, подпадающие под критерии выдающейся универсальной ценности и определенные Конвенцией об охране всемирного культурного и природного наследия [6].

Объекты всемирного природного наследия – объекты природного наследия, включенные в Список всемирного наследия [6].

Стационарный источник загрязнения окружающей среды (далее – стационарный источник) – источник загрязнения окружающей среды, местоположение которого определено с применением единой государственной системы координат или который может быть перемещен посредством передвижного источника загрязнения окружающей среды [5].

Передвижной источник загрязнения окружающей среды – транспортное средство, двигатель которого при его работе является источником загрязнения окружающей среды [5].

Экологический след

Развитие экономики многих стран и рост населения земного шара ведет к увеличению потребления ресурсов планеты.

Многие ученые как в России, так и за рубежом заявляют о масштабности загрязнения окружающей среды в XXI веке и о глобальном изменении климата, что, безусловно, связывают с «экологическим следом» человека.

Экологический след – это площадь биологически продуктивной территории и акватории, необходимой для производства потребляемых человеком ресурсов и поглощения отходов. В учет Системы национальных экологических счетов входит двуокись углерода. Она считается главным видом из отходов, которые образуются при сжигании ископаемого топлива. Величина экологического следа выражается в универсальных стандартизованных единицах измерения – глобальных гектарах (гга) [7].

Согласно Википедии, **экологический след** (англ. *ecological footprint*) – мера воздействия человека на среду обитания, которая позволяет рассчитать размеры прилегающей территории, необходимой для производства потребляемых нами экологических ресурсов и поглощения отходов [8].

Идея «экологического следа» принадлежит Уильяму Ризу, который в 1992 г. ввел понятие «адаптированной пропускной способности» (англ. *appropriated carrying capacity*). Чуть позднее, в 1995 г., Вакернагель и Риз издали книгу «Наш экологический след: Снижение антропогенного воздействия на Землю» [9]. Благодаря регулярным докладом Всемирного фонда дикой природы (WWF) «Живая планета» (Living Planet Report) идея «экологического следа» быстро распространилась по всему миру. И в 2003 г. была создана глобальная сеть экологического следа – Global Footprint Network.

«Экологический след» используют еще и как показатель давления на природу. Через него можно установить, сколько ресурсов (водных и земельных) используется объектом или человеком. Также с помощью этого показателя можно определить, насколько превышает лимит использования природных ресурсов.

При подсчете степени воздействия на окружающую среду в отдельности по странам становится очевидным, что очень большой «экологический след» имеют Япония, США, ОАЭ и Китай. Есть мнение специалистов, что при таком потреблении всех стран наша планета должна быть в пять раз больше (!). В странах, где экономика не сильно развита (Монголия, Бангладеш, Намибия), наблюдается минимальный «экологический след».

Ученые Всемирного фонда дикой природы (WWF) имеют данные, что человеческое воздействие на биосферу планеты растет с каждым годом, и, чтобы восполнить потраченные человечеством ресурсы за год, планете требуется 1,5 года.

Экологический след рассчитывает Глобальная сеть экологического следа (Global Footprint Network, GFN) – международный научно-исследовательский институт с филиалами в Северной Америке, Европе и Азии. В ряде стран, в том числе и в России, эта работа ведется совместно с WWF. Комплекс методов, разработанных GFN, позволяет странам (а также регионам, городам и даже отдельным домохозяйствам) измерить уровень потребления ими природного капитала и сопоставить его с объемом имеющихся запасов возобновляемых ресурсов [7].

Сегодня достаточно распространены калькуляторы «индивидуального экологического следа». Данный тест-калькулятор помогает потребителю подсчитать количество используемых природных ресурсов и отходов после их потребления. Таким образом, мы самостоятельно определяем наш экологический образ жизни. С помощью простых действий можно установить, как воздействует на природу наше использование бумаги или поездка на транспорте.

По образу жизни рассчитывается все, и, соответственно, это является индивидуальным экологическим следом. По словам Сычева А. А., «Учет экологического следа способствует распространению экологических знаний и пониманию реальных связей в социоприродной системе. ... Простота расчетов дает возможность широко использовать экологический след в просветительских и образовательных целях» [10].

Без изменения привычек и поведения людей никакие стандарты, запреты и законы не помогут людям остановить разрушение окружающей среды и достичь гармонии с природой [7].

Ниже приведен тест на определение индивидуального экологического следа. Все, что нужно сделать, – ответить на вопросы теста. Если утверждение соответствует вашему образу жизни, ставите ✓. Затем производите сложение/вычитание количества баллов, указанных справа.

Общая сумма баллов и корректировка по месту проживания дает величину личного экологического следа (табл. 1).

Электронный архив УГЛТУ

Также становятся популярны и калькуляторы индивидуального экологического следа на сайтах. Например, компания Henkel и компания МТС предложили калькулятор, который можно найти на сайтах <https://footprintcalculator.henkel.com/ru>, <https://ecoday.mts.ru>.

Таблица 1

Тест на определение величины своего экологического следа

№ п/п	Вопрос	Баллы	Ответ для подсчета (✓)
1. Место проживания			
1.1	Площадь жилья позволяет держать животных, но собаке больших размеров места мало	+7	
1.2	Квартира просторная	+12	
1.3	Коттедж на 2 семьи	+23	
Полученные за ответ баллы разделите на количество людей, живущих в этом типе жилья			
2. Использование типов энергии для отопления дома			
2.1	У вас используется нефть, природный газ или уголь	+45	
2.2	В вашем доме используется природная энергия: воды, солнца или ветра	+2	
2.3	Систему отопления вашего дома можно регулировать в зависимости от погоды	-10	
2.4	Ваши бытовые приборы выключены, если ими не пользуются, не остаются в дежурном режиме	-10	
2.5	В холодный период года дома вы тепло одеты, а ночью укрываетесь двумя одеялами	-5	
2.6	Вы следуете правилу: «Уходя из комнаты, гасите свет»	-10	
2.7	Мы получаем электроэнергию из горючих ископаемых, поэтому добавьте себе и этот пункт	+75	
3. Использование транспорта			
3.1	На общественном транспорте вы ездите на работу	+25	
3.2	Дорогу на работу вы проходите пешком или используете велосипед	+3	
3.3	Вы ездите на легковом автомобиле	+45	
3.4	Вы используете для передвижения большой и мощный автомобиль с полным приводом	+75	
3.5	В проведенный вами отпуск вы летали самолетом	+85	
3.6	В отпуск вы ездили на поезде, причем путь занял до 12 ч	+10	
3.7	Путь в отпуск на поезде занял более 12 ч	+20	

№ п/п	Вопрос	Баллы	Ответ для подсчета (✓)
4. Продукты питания			
4.1	Вы предпочитаете в основном свежие продукты с рынка или из магазина местного производства (хлеб, фрукты, овощи, рыбу, мясо) и сами готовите обед	+2	
4.2	Для вас предпочтительны продукты, нуждающиеся только в разогреве (полуфабрикаты, свежемороженые готовые блюда), и, если покупаете консервы, где произведены – неважно	+14	
4.3	Чаще всего вы покупаете продукты готовые или почти готовые к употреблению, но стараетесь, чтобы они были произведены поближе к дому	+5	
4.4	В вашем рационе мясо 2–3 раза в неделю	+50	
4.5	В вашем рационе мясо 3 раза в день	+85	
4.6	Предпочтение отдаете вегетарианской пище	+30	
5. Использование воды и бумаги			
5.1	Вы принимаете ванну ежедневно	+14	
5.2	Вы принимаете ванну 1–2 раза в неделю	+2	
5.3	Вместо ванны вы ежедневно принимаете душ	+4	
5.4	Время от времени вы поливаете приусадебный участок или моете свой автомобиль из шланга	+4	
5.5	Если вы хотите прочитать книгу, то всегда покупаете ее	+2	
5.6	Иногда вы берете книги в библиотеке или одалживаете у знакомых	-1	
5.7	Прочитав газету, вы ее выбрасываете	+10	
5.8	Выписываемые или покупаемые вами газеты читает после вас еще кто-то	+5	
6. Бытовые отходы			
6.1	Все мы создаем массу отходов и мусора, поэтому добавьте себе	+100	
6.2	За последний месяц вы хоть раз сдавали бутылки	-15	
6.3	Выбрасывая мусор, вы откладываете в отдельный контейнер макулатуру	-17	
6.4	Вы сдаете пустые банки из-под напитков и консервов	-10	
6.5	Вы выбрасываете в отдельный контейнер пластиковую упаковку	-8	
6.6	Вы стараетесь покупать в основном не фасованные, а развесные товары; полученную в магазине упаковку используете в хозяйстве	-15	
6.7	Из домашних отходов вы делаете компост для удобрения своего участка	-5	

Подведём итоги

Подсчитайте все пункты, отмеченные ✓. Если вы проживаете в городе, где общая численность населения $\geq 1,5$ млн чел., то нужно умножить общий результат на 2, а затем разделить полученное число на 100. Окончательная цифра является тем количеством гектаров земной поверхности, которое нужно для удовлетворения лично ваших потребностей. Ниже приведена сравнительная таблица количественного использования гектаров в переводе на планету.

1,8 га –		3,6 га –	
5,4 га –		7,2 га –	
9,0 га –		10,8 га –	

Если личное потребление каждого человека не выходит за рамки 1,8 га продуктивной земли, то всему населению достаточно одной планеты. Однако есть данные, согласно которым в России средний житель использует 4,4 га (2,5 планеты), а в США используется в среднем на одного человека 12,2 га (5,3 планеты!), в европейских странах этот показатель 5,1 га (2,8 планеты), а вот в Мозамбике жители очень бережливы, и их показатель личного экологического следа в среднем 0,7 га (0,4 планеты).

Принятое решение осознанного потребления изменит некоторые сферы жизни, и ваш «экологический след» будет постепенно сокращаться. Достаточно просто перейти на использование энергосберегающих ламп, передвигаться на самокате или велосипеде, обратить внимание на товары, где присутствует специальная маркировка «сделаны из вторсырья». А пройденные вами 10 000 шагов вместо поездки на транспорте не только уменьшат нагрузку на окружающую среду, но и укрепят ваше здоровье.

Многие брендовые магазины принимают от покупателей ненужные или старые вещи (одежду, обувь, сумки) в переработку при покупке новых товаров. Таким образом, вы избавляетесь от захламленности дома и выбрасываете не на мусорку, а отдаете напрямую в перерабатывающую систему.

Также становится популярным вариант электронного чека за приобретенный товар вместо бумажного. И у вас всегда есть выбор, каким будет ваш экологический след!

Техноценоз и его компоненты

Техноценоз (др.-греч. τέχνη – мастерство, греч. κοινός – общий) – ограниченная во времени и пространстве искусственная система, сообщество изделий со слабыми связями и едиными целями, выделяемое для целей проектирования или строительства [3].

В системе рационального использования природных ресурсов техноценоз понимают как определение общего числа используемых на одной территории естественных биогеоценозов (большую важность представляют лесные) и задействованной в работе техники.

На схеме ниже (рис. 1) представлено движение CO_2 . В лесных экосистемах кислород выделяется, а углекислый газ поглощается.

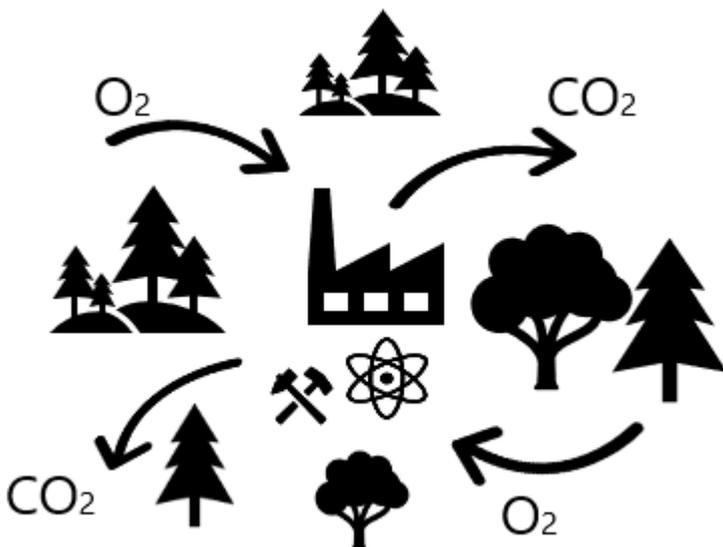


Рис. 1. Движение углекислого газа в техноценозе

Из схемы ясно, что при неравномерном распределении газовых потоков техноценоз представляет опасность для биосферы Земли. Это влечет за собой изменение газового состава атмосферы, что приведет к глобальным последствиям, включая парниковый

эффект. При балансе основных потоков техноценоз может существовать вечно без вреда для окружающей среды. Соответственно, стабильное существование техноценоза возможно при закономерном количественном соотношении друг с другом двух составных частей – объектов техники и естественных экосистем.

Процессы синтеза органического вещества в техноценозах должны быть достаточны по мощности, чтобы поглотить весь выделившийся при сжигании топлива антропогенный углекислый газ и произвести необходимое количество кислорода.

Масса органического вещества, которая должна быть создана для такого баланса, может быть рассчитана по следующим формулам:

$$M_{\text{об}(\text{CO}_2)} = \sum M_{\text{CO}_2} / 0,44X, \quad (1)$$

$$M_{\text{об}(\text{O}_2)} = \sum M_{\text{O}_2} / 0,32U, \quad (2)$$

где X и U – коэффициенты уравнения фотосинтеза для различных видов древесных растений с разным элементным составом (табл. 2);

$\sum M_{\text{CO}_2}$ и $\sum M_{\text{O}_2}$ – суммарные количества выделяемого антропогенного CO_2 и поглощаемого O_2 соответственно.

$$X = \frac{\%C}{12}, \quad (3)$$

$$Y = \frac{\%H}{1}, \quad (4)$$

$$Z = \frac{\%O}{16}, \quad (5)$$

$$U = X + Y/4 - Z/2. \quad (6)$$

Базисная плотность ρ для ели – 50,5 т/м³, для сосны – 49,6 т/м³, для березы – 50,6 т/м³.

Химический состав древесины
трёх основных лесообразующих пород

Элемент химического состава	Абсолютно сухой вес по породам, %		
	Ель	Сосна	Береза
С	6,2	6,4	6,2
Н	43,1	43,8	42,1
О	0,36	0,40	0,50

В первом приближении, учитывая тот факт, что лесные экосистемы являются самыми продуктивными, можно при расчете размеров естественных компонентов техноценозов взять за основу прирост древесины основных лесообразующих пород. В пользу такого выбора можно привести еще и следующий аргумент: в приросте древесных растений CO_2 связывается надолго в отличие от некоторых других фракций растительности, например, ассимиляционных органов. Для газового баланса экосистемы за определенный интервал времени представляют интерес только те фракции продукции органического вещества растительности, которые существуют дольше данного интервала времени. Иными словами, для наших целей важен чистый прирост массы органического вещества экосистемы. В условиях лесных экосистем его значительную часть составляет прирост древесины доминирующих пород [11].

Из двух величин массы вещества древесины, синтез которых обеспечивает балансы углекислоты и кислорода в техноценозе, для дальнейшего анализа нужно выбрать наибольшую как обеспечивающую оба газовых баланса одновременно:

$$M_{\text{орг вещ-ва}} = \max \text{ из } M_{\text{ов}(\text{CO}_2)} \text{ и } M_{\text{ов}(\text{O}_2)}.$$

Для дальнейшей работы берем значение, большее из двух.

Для последующего анализа необходимо пересчитать величины абсолютно сухой массы вещества древесины, обеспечивающей баланс в техноценозе, в ее объем:

$$V = M_{\text{орг вещ-ва}} / \rho, \quad (7)$$

где ρ – базисная плотность вещества древесины соответствующей породы (см. ранее).

На основе величины V , m^3 , и среднего годового прироста древесины на 1 га B , $m^3/га$ в год, рассчитывается необходимая для баланса в техноценозе площадь лесов:

$$S = V/B. \quad (8)$$

Показателем степени урбанизации рассматриваемой территории является коэффициент урбанизации:

$$K_{урб} = S / S_{город} \quad (9)$$

Этот коэффициент показывает число гектаров леса, необходимых для компенсации антропогенного влияния на биосферу 1 га рассматриваемой городской территории.

Ассимиляционная емкость окружающей среды

Как особый вид природных ресурсов рассматривается ассимиляционная емкость окружающей среды.

Ассимиляционная емкость окружающей среды (АЕ) – способность ее без ущерба для себя «усваивать» техногенные воздействия. Это свойство окружающей среды позволяет до определенного момента не задумываться об объемах использования ресурсов и предотвращении загрязнений.

Стоит отметить, что возможность «усваивания» техногенных воздействий окружающей средой имеет предел. На практике принято определять возможности природной среды ассимилировать негативные воздействия по значениям предельно допустимых воздействий – предельно допустимых выбросов (ПДВ), предельно допустимых сбросов (ПДС) загрязняющих веществ и др.

Как и прочие природные ресурсы, АЕ требует экономической оценки. Величина такой оценки может определяться исходя из возможностей экономии средств на предотвращение негативных воздействий: меньших объемов очистки отходящих газов, более низкой степени очистки сточных вод и др. То есть при экономической оценке исходят из положения о том, что ассимиляционная емкость

Электронный архив УГЛТУ

окружающей среды позволяет экономить средства природопользователей на средозащитные мероприятия за счет того, что негативные эффекты проявляются лишь после ее превышения.

В качестве экономической оценки ассимиляционной емкости (при оценке воздействия одного загрязнителя на окружающую среду) предложено выражение:

$$\mathcal{E}_a = \text{ПДВ}(C + Y)0,5 - (\text{ФВ} - \text{ПДВ})Y, \quad (10)$$

где \mathcal{E}_a – экономическая оценка ассимиляционного потенциала, у. е.;

ПДВ и ФВ – предельно допустимый и фактический уровни выбросов, т или т/год;

Y – средние затраты на улавливание единицы выбросов, у. е./т;

C – средний ущерб, приносимый единицей выбросов на рассматриваемой территории, у. е./год.

Оценивается ассимиляционный потенциал окружающей среды только по одному из выбрасываемых веществ. Соответственно, полная оценка величины ассимиляционного потенциала будет складываться из суммы значений \mathcal{E}_a для отдельных веществ, поступающих в окружающую среду на рассматриваемой территории.

Пример. Рассчитать экономическую оценку ассимиляционного потенциала окружающей среды для следующих условий:

Дать экономический расчет ассимиляционного потенциала окружающей среды для сернистого ангидрида, если известно, что показатели удельных затрат Y на предотвращение загрязнения атмосферы (табл. 3) для сернистого ангидрида составляют 46200 у.е./т; лимит по выбросам (ПДВ) для города 2600 т/год; фактический выброс (ФВ) 2500 т/год, средний ущерб (C) $1,3 \cdot 10^7$ у. е./год:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_a &= \text{ПДВ}(C + Y)0,5 - (\text{ФВ} - \text{ПДВ})Y = \\ &= 0,5 \cdot 2600 \text{ т/год} (1,3 \cdot 10^7 \text{ у. е./год} + 46200 \text{ у. е./2600 т}) - (2500 \text{ т/год} - \\ &\quad - 2600 \text{ т/год}) 46200 \text{ у. е./2600 т/год} = 1,7 \cdot 10^{10} + 1800 = 1,7^{10} \text{ у. е.} \end{aligned}$$

При сравнении величины экономической оценки ассимиляционного потенциала \mathcal{E}_a с величиной нанесенного ущерба C можно сделать вывод, что ассимиляционный потенциал не превышен, окружающая среда способна принимать новые порции SO_2 .

Показатели средних удельных затрат на предотвращение загрязнения атмосферы

Вещества	Удельные затраты на предотвращение выброса в атмосферу загрязняющих веществ $У$, тыс. у. е./т
Твердые частицы	10,43
Оксид углерода	1,98
Сернистый ангидрид	46,2
Оксиды азота	15,18
Летучие углеводороды	1,35
Прочие органические соединения	4,59
Прочие неорганические соединения	88,64

Источники загрязнения как фактор экологической нагрузки

Источники загрязнения – хозяйственный или природный объект, производящий загрязняющее вещество.

Экологическая нагрузка – антропогенное воздействие на природные комплексы, вызывающее различной степени изменение компонентов экосистемы [12].

Эмиссия (от лат. *emissio* – выпуск) – выброс, поступление из предприятий, жилых домов, от автомашин, при извержении вулканов и т. д. газообразных, жидких и твердых загрязняющих веществ или энергии (тепла, шума, радиоактивного излучения, землетрясений и т. п.) в окружающую среду.

Источники эмиссии называются эмитентами [13].

Образование окислов азота – сложный процесс, зависящий от большого количества факторов и протекающий неодинаково при сжигании топлива в различных установках. Оценка их количества необходима при решении природоохранных задач, так как они являются одним из наиболее массовых загрязнителей атмосферы. Приблизительная оценка массы окислов азота, образующихся при сжигании различных видов топлива в разных отраслях промышленности, может быть получена следующим образом:

$$MNO_x = M_{\text{топл}} F, \quad (11)$$

где F – величина, показывающая количество окислов азота, образующихся при сжигании единицы массы топлива, она различна для разных видов топлива и разных условий его сжигания.

Электронный архив УГЛТУ

Значения фактора F приведены в табл. 4.

Таблица 4

Оценки эмиссии окислов азота

Вид топлива	Отрасль промышленности	F – эмиссия окислов азотов, т/на 1 т топлива
Каменный уголь	Электростанции	0,009
	Промышленность	0,006
	Другие отрасли	0,002
Бурый уголь	Электростанции	0,004
Нефтепродукты	Электростанции	0,012
	Нефтеперегонка	0,008
	Промышленность	0,008
	Другие отрасли	0,006
Газовое/дизельное топливо	Промышленность	0,008
	Транспорт	0,036
	Другие отрасли	0,004
Моторное топливо	Транспорт	0,025
Природный газ	Электростанции	0,001
	Промышленность	0,0003
	Другие отрасли	0,0002

Зная величины фактора F и массу сжигаемого топлива в соответствующей отрасли промышленности, транспорта или коммунального хозяйства, можно рассчитать количество образующихся окислов азота.

Как можно видеть из приведенных в табл. 4 данных, автотранспорт является одним из самых активных загрязнителей атмосферы окислами азота.

При оценке роли автотранспорта в загрязнении окружающей среды можно использовать упрощенную методику. Расчет количества загрязняющих веществ, образующихся при работе автотранспорта, осуществляется на основе информации о количестве израсходованного транспортом топлива и количествах образующихся при этом вредных примесей:

$$M_i = M_{\text{топл}} G_i, \quad (12)$$

Электронный архив УГЛТУ

где M_i – количество образующегося при работе транспорта i -го загрязняющего вещества;

G_i – количество загрязняющего вещества i , образующегося при сжигании единицы массы топлива транспортом.

Некоторые усредненные данные об образовании загрязняющих веществ при работе автотранспорта приведены в табл. 5.

Зная расход топлива транспортом, на основе данных табл. 5 можно рассчитать количества загрязняющих веществ, поступающих при этом в атмосферу.

Таблица 5

Количество загрязняющих веществ, образующихся при работе автотранспорта (G_i – т/1 т топлива)

Загрязняющее вещество	Бензин	Диз. топливо	Мазут	Природный газ	Каменный уголь
Двуокись углерода (CO ₂)	3,25	3,10	1,2	1,1	1,0
Окись углерода (CO)	0,466	0,021	0,6	0,5	0,4
Углеводороды	0,023	0,004	0,12	0,11	0,1
Окислы азота (NO _x)	0,016	0,018	0,012	0,011	0,01
Ангидрид серной кислоты (SO ₂)	0,0019	0,0078	0,004	0,003	0,002
Сажа (аэрозоли)	0,001	0,005	0,001	0,004	0,003
Свинец (Pb)	0,0005	0	0	0	0

Как видно из таблицы, бензиновые (карбюраторные) двигатели почти в 20 раз токсичнее дизельных по выбросам окиси углерода.

Расчет суммарного количества загрязняющих веществ, образующихся на данной территории от всех источников загрязнения, осуществляется для каждого загрязнителя отдельно с учетом его образования при сжигании всех видов топлива:

$$M_i = M_{i1} + M_{i2} + M_{i3} + \dots + M_{iN}, \quad (13)$$

где M_i – суммарное количество загрязнителя i , образующегося на данной территории при сжигании N видов топлива.

Электронный архив УГЛТУ

Аналогично может быть рассчитано суммарное количество кислорода, расходуемое при сжигании всех видов топлива на данной территории:

$$M_{O_2} = M_{O_2,1} + M_{O_2,2} + M_{O_2,3} + \dots + M_{O_2,N}. \quad (14)$$

Показателями экологической нагрузки загрязняющих веществ на данной территории являются их удельные количества, приходящиеся на единицу площади и на душу населения в единицу времени (как правило, за 1 год):

$$\mathcal{E}_i^S = M_i/S, \quad (15)$$

$$\mathcal{E}_i^N = M_i/N, \quad (16)$$

где \mathcal{E}_i^S , \mathcal{E}_i^N – экологические нагрузки загрязняющего вещества i на единицу площади и на душу населения соответственно;

S – площадь рассматриваемой территории;

N – численность проживающего на данной территории населения;

M_i – суммарное количество загрязнителя i , образующегося при сжигании всех видов топлива на данной территории в единицу времени.

Аналогично рассчитывается удельный расход кислорода на единицу площади в единицу времени при сжигании всех видов топлива:

$$\mathcal{E}_{O_2} = M_{O_2} / S. \quad (17)$$

Эта величина также характеризует степень антропогенного воздействия промышленности и транспорта на окружающую природную среду.

Автомобильный транспорт – один из основных загрязнителей окружающей среды [14].

Есть сведения, что один легковой автомобиль ежегодно выбрасывает около 800 кг окиси углерода, около 40 кг окислов азота и почти 200 кг различных углеводородов, поглощая из атмосферы 4 т кислорода при этом. Химический состав выхлопных газов настолько опасен, что наносит вред не только здоровью человека, животных.

Загрязнение атмосферного воздуха отработанными газами автомобилей удобно оценивать по концентрации оксида углерода, мг/м³.

Википедия трактует термин «оксид углерода» как бинарное химическое соединение (оксид) углерода с кислородом. Кроме двух неорганических представителей — угарного газа и углекислого газа, чрезвычайно устойчивых оксида (СО и СО₂), все остальные оксиды углерода относят к органическим соединениям – менее устойчивые оксиды (С₃О₂, С₅О₂ и С₁₂О₉), ряд неустойчивых или плохо изученных оксидов (С₂О, С₂О₃ и др.) и нестехиометрический оксид графита [15].

Оксид углерода (угарный газ) оказывает резорбтивное действие, т. е. общее воздействие на организм. Его предельно допустимые концентрации (ПДК), как загрязняющего вещества в атмосферном воздухе городских и сельских поселений, внесены в Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [16] (табл. 6).

Разберем одну из задач по оценке концентрации оксида углерода.

Магистральная улица города N с многоэтажной застройкой с двух сторон имеет продольный уклон 20, скорость ветра 4 м/с, относительную влажность воздуха 70 %.

Расчетная интенсивность движения автомобилей в обоих направлениях – 500 автомашин в час (N).

Состав движения: 10 % грузовых автомобилей с малой грузоподъемностью, 10 % со средней грузоподъемностью, 5 % с большой грузоподъемностью с дизельными двигателями, 5 % автобусов и 70 % легковых автомобилей.

Таблица 6

Выдержка из санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»
 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений

N п/п	Наименование вещества	Регистрационный номер CAS*	Формула	Предельно допустимые концентрации, мг/м ³			Направленность биологического действия загрязняющего вещества – лимитирующий показатель вредности	Класс опасности
				Концентрация, предотвращающая раздражающее действие, рефлекторные реакции, запахи при воздействии до 20–30 мин – максимальная разовая	Концентрация, обеспечивающая допустимые (приемлемые) уровни риска при воздействии не менее 24 ч – средняя суточная	Концентрация, обеспечивающая допустимые (приемлемые) уровни риска при хроническом (не менее 1 года) воздействии – среднегодичная		
551	Углерода оксид (углерод окись, углерод моноокись, угарный газ)	630-08-0	CO	5,0	3,0	3,0	Рез.**	4

* CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, полимеров, биологических последовательно-стей нуклеотидов или аминокислот, смесей и сплавов, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service.
 ** Рез. – резорбтивное действие.

Электронный архив УГЛТУ

Оценка концентрации окиси углерода (K_{CO}) производится по формуле (18), показывающей высокую точность получаемых результатов [17]:

$$K_{CO} = (0,5 + 0,01 \cdot N \cdot K_T) \cdot K_a \cdot K_y \cdot K_c \cdot K_b \cdot K_n, \quad (18)$$

где 0,5 – фоновое загрязнение атмосферного воздуха нетранспортного происхождения, мг/м³;

N – суммарная интенсивность движения автомобилей на городской дороге, авт./ч;

K_T – коэффициент токсичности автомобилей по выбросам в атмосферный воздух окиси углерода (см. табл. 1);

K_a – коэффициент, учитывающий аэрацию местности (см. табл. 2);

K_y – коэффициент, учитывающий изменение загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода в зависимости от величины продольного уклона (см. табл. 3);

K_c – коэффициент, учитывающий изменения концентрации углерода в зависимости от скорости ветра;

K_b – коэффициент, учитывающий изменения концентрации углерода в зависимости от относительной влажности воздуха;

K_n – коэффициент увеличения загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода у пересечений.

Коэффициент токсичности автомобилей определяется как средневзвешенный для потока автомобилей по формуле

$$K_T = \sum P_i K_{t_i}, \quad (19)$$

где P_i – состав движения в долях единиц;

K_{t_i} – коэффициент, определяется по табл. 7.

Таблица 7

Коэффициент K_{t_i} в зависимости от типа автомобиля

Тип автомобиля	Коэффициент K_{t_i}
Легкий грузовой	2,3
Средний грузовой	2,9
Тяжелый грузовой дизельный	0,2
Автобус	3,7
Легковой	1,0

Электронный архив УГЛТУ

Подставив известные значения, получаем значение K_T :

$$K_T = 0,1 \cdot 2,3 + 0,1 \cdot 2,9 + 0,05 \cdot 0,2 + 0,05 \cdot 3,7 + 0,7 \cdot 1 = 1,415.$$

Значение коэффициента K_a , учитывающего аэрацию местности, определяется по табл. 8.

Таблица 8

Коэффициент, учитывающий аэрацию местности, K_a

Тип местности по степени аэрации	Коэффициент аэрации местности K_a
Транспортные тоннели	2,7
Транспортные галереи	1,5
Магистральные улицы и дороги с многоэтажной застройкой с двух сторон	1,0
Жилые улицы с одноэтажной застройкой, улицы и дороги в выемке	0,6
Городские улицы и дороги с односторонней застройкой, набережные, эстакады, виадуки, высокие насыпи	0,4
Пешеходные тоннели	0,3

Коэффициента K_y учитывает изменение загрязнения воздуха окисью углерода и зависит от величины продольного уклона. Данный коэффициент равен 1,00, 1,06, 1,07, 1,18, 1,55 при значениях уклона 0, 2, 4, 6 и 8° соответственно.

Коэффициент изменения концентрации окиси углерода K_c берется значением 2,70, 2,00, 1,50, 1,20, 1,05 или 1,00 в зависимости от скорости ветра 1, 2, 3, 4, 5, 6 соответственно.

Значение коэффициента K_v , определяющего изменение концентрации окиси углерода в зависимости от относительной влажности воздуха:

Коэффициент K_v	1,45	1,30	1,15	1,00	0,85	0,75	0,60
Относительная влажность воздуха, %	100	90	80	70	60	50	40

Коэффициент увеличения загрязнения воздуха окисью углерода у пересечений K_n приведен в табл. 9.

Таблица 9

Коэффициент K_n при разных типах дорожного пересечения

Тип дорожного пересечения	Коэффициент увеличения загрязнения воздуха $CO K_n$
Регулируемое пересечение: – светофорами, обычное – светофорами, управляемое – саморегулируемое	1,8 2,1 2,0
Нерегулируемое: – со снижением скорости – с обязательной остановкой – кольцевое	1,9 3,0 2,2

Подставив все найденные значения коэффициентов K_T , K_a , K_y , K_c , K_v , K_n и зная количество автомобилей N (по условию – 500 шт.), вычисляем значение концентрации окиси углерода K_{CO} :

$$K_{CO} = (0,5 + 0,01 \cdot 500 \cdot 1,415) \cdot 1,06 \cdot 1,20 \cdot 1,00 = 9,54 \text{ мг/м}^3,$$

$$9,54 \text{ мг/м}^3 > 3 \text{ мг/м}^3.$$

Делаем вывод, что полученное значение больше ПДК более чем в 3 раза и составляет $9,54 \text{ мг/м}^3$.

Снижение уровня выбросов возможно следующими мероприятиями:

- запрещение движения автомобилей;
- ограничение интенсивности движения до 300 авт./ч;
- замена карбюраторных грузовых автомобилей дизельными;
- установка фильтров.

Комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА)

Для мониторинга воздушной среды можно использовать различные методы анализа, каждый из которых имеет свои ограничения и достоинства [18].

В настоящее время наиболее востребованными и достаточно информативными являются экспрессные методы контроля качества окружающей среды, которые позволяют произвести относительно быструю оценку эколого-геохимической обстановки. Один из таких методов основан на использовании снежного покрова в качестве объекта эколого-геохимической индикации. Снег обладает высокой

сорбционной способностью и осаждает из атмосферы на земную поверхность значительную часть продуктов техногенеза. Многолетний мониторинг загрязнения снежного покрова позволяет выявить пространственно-временные особенности распределения химических веществ, очаги загрязнения и определить тенденцию в изменении качества окружающей среды [19].

Снег является эффективным накопителем аэрозольных загрязняющих веществ, выпадающих из атмосферного воздуха. При таянии снега все эти вещества попадают в лесную экосистему [20].

Снежный покров является важнейшим параметром климатической системы: благодаря высокой отражательной способности и низкой теплопроводности он играет важную роль в энергетическом балансе Земли, а накапливаемый в снежном покрове запас воды – в водном балансе.

Мониторинг характеристик снежного покрова проводится во многих странах. А для территории России, большая часть которой продолжительное время покрыта снегом, снежный покров играет одну из главных ролей в формировании климата [21].

Согласно решению Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам от 5 ноября 2013 г., в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» разработаны методика и технология регулярной подготовки данных об особенностях состояния снежного покрова для мониторинга климата, создана информационная база (БД «СНЕГ»). БД «СНЕГ» включает в себя исторические ряды характеристик снежного покрова, оперативные данные и нормативные характеристики, собраны данные за период с 1966 г. Исторические ряды характеристик снежного покрова сформированы в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» Росгидромета на основе данных Госфонда гидрометеорологической информации. Оперативные данные поступают по каналам связи в виде телеграмм «СИНОП». В состав информационной базы включены массивы временных рядов, осредненных по всей территории России, по территории квазиоднородных климатических регионов и бассейнам крупных рек и водохранилищ. Массивы данных о запасе воды в снеге по бассейнам крупных рек и водохранилищ формируются в ФГБУ «Гидрометцентр России» [22].

Согласно РД 52.04.186–89 [23], отбираются образцы снега. Пример представлен в табл. 10.

Таблица 10

Поступление техногенных примесей со снегом

№ точки отбора	Концентрация загрязнителя в снеговом покрове \tilde{C} , мг/л						
	SO ₄	HCO ₃	N/NO ₃	Cl ⁻	Ca ²⁺	Na ⁺	N/NH ₄
1	2,4	17,0	2,37	13,0	15,6	3,0	3,0
2	4,8	11,0	2,00	16,0	9,6	3,0	7,3
3	7,2	9,0	3,30	13,0	7,6	2,6	9,3
...
9	0,8	7,0	2,83	12,0	5,2	1,2	1,5
10	2,4	10,0	4,6	14,0	3,2	3,7	0,4
Пределы	2,44– 5,28	4,88– 7,93	0,20– 0,49	1,42– 4,62	–	–	0,45– 1,25

Непосредственно поток загрязнителя F в лесную экосистему оценивается для десяти точек отбора снеговых проб (см. табл. 10) по формуле

$$F = a \frac{\tilde{C}B}{T}, \quad (20)$$

где F – поток (нагрузка) загрязнителя в экосистему, кг/га*год;

\tilde{C} (читается как «С с тильдой сверху») – концентрация загрязнителя в снеговом покрове, мг/л;

B – влагозапас снегового покрова, л/га;

T – период времени от установления снегового покрова до момента отбора проб снега, сут;

a = 0,000365 – размерный множитель.

По величине нагрузки загрязнителя можно оценить его концентрацию в атмосфере, используя формулу

$$C = d \frac{F}{W}, \quad (21)$$

где C – концентрация загрязнителя в атмосфере, мг/м³;

W = 0,1 см/с – скорость выпадения примеси на снеговую поверхность, см/с;

d = 3,17/10000 – размерный множитель.

C предельными значениями некоторых загрязняющих веществ можно познакомиться в табл. 11.

Таблица 11

ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест

Вещество	ПДК, мг / м ³		Класс опасности
	максимальная разовая	средне-суточная	
1	2	3	4
Азота двуокись	0,085	0,04	2
Азота окись	0,6	0,06	3
Аммиак	0,2	0,04	3
Ангидрид сернистый	0,5	0,05	3
Ацетон	0,35	0,35	4
Белок пыли белковитаминного концентрата	–	0,001	2
Бенз(а)пирен	–	10–7	1
Бензин нефтяной в пересчете на углерод	5	1,5	4
Бензол	1,5	0,1	2
Водород хлористый	0,2	0,2	2
Дихлорэтан	3	1	2
Железа окись	–	0,04	3
Железа хлорид	–	0,004	2
Кадмия окись	–	0,001	2
Кислота азотная	0,4	0,15	2
Кислота серная	0,3	0,1	2
Магния окись	0,4	0,05	3
Марганец и его соединения	0,01	0,001	2
Меди окись	-	0,002	2
Медь хлористая	-	0,002	2
Никель металлический	-	0,001	2
Озон	0,16	0,03	1
Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния, %:			
выше 70	0,15	0,05	3
70–20	0,3	0,1	3
ниже 20	0,5	0,15	3
Сажа	0,15	0,05	3
Свинец и его соединения	–	0,0003	1
Сероводород	0,008	–	2
Сероуглерод	0,03	0,005	2
Спирт метиловый	1,0	0,5	3
Углерода окись	5	3	4
Фенол	0,01	0,003	2

1	2	3	4
Флюс канифольный активированный	0,3	0,3	4
Фтористые соединения	0,035	0,003	2
Фтористый водород	0,02	0,005	2
Хлор	0,1	0,03	2
Цинка окись	–	0,05	3

Для оценки степени загрязнения воздушного бассейна в последние годы используется санитарно-гигиенический показатель – суммарный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА).

Комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) применяется для сравнительной оценки загрязненности отдельных районов города, отдельно взятых городов с установлением их приоритетности по уровню загрязнения и тенденций загрязненности. Он представляет собой относительный показатель, величина которого зависит от концентрации вещества в анализируемой точке, его ПДК и количества веществ загрязняющих атмосферу.

Комплексный индекс загрязнения атмосферы рассчитывается на основе данных стационарных наблюдений с учетом всей номенклатуры определяемых вредных веществ.

В основу расчета комплексного индекса загрязнения атмосферы приняты следующие положения:

- опасность воздействия на здоровье человека зависит от отдельных вредных веществ, от класса опасности конкретного вещества;

- по мере увеличения превышения ПДК веществ или ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) и уровней вредных физических и иных воздействий на комплекующий индекс, установленные в санитарных нормах и правилах, возрастает опасность воздействия на здоровье человека.

ПДК – максимальные концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, не оказывающие ни прямого, ни косвенного вредного воздействия на организм человека, в том числе отдаленные последствия для настоящего и будущих поколений. Нормативы ПДК разработаны для различных периодов осреднения: 20–30 мин

Электронный архив УГЛТУ

(максимальная разовая ПДК), сутки (среднесуточная), год (средне-годовая).

ОБУВ – временные ориентировочно безопасные концентрации веществ в атмосферном воздухе, установленные расчетным путем на основании известных токсикометрических параметров и физико-химических свойств.

Нельзя обойти и рассмотрение методики расчета показателя загрязнения атмосферы (ИЗА).

Для этого используются средние значения концентраций различных загрязняющих веществ, деленные на предельно допустимую концентрацию (ПДК) и приведенные к вредности диоксида серы.

Степень загрязненности атмосферы одним веществом выражается в общем виде через единичный (парциальный) индекс загрязненности ИЗА, который рассчитывается по формуле

$$\text{ИЗА}_i = (C_i / \text{ПДК}_i)^{K_i}, \quad (22)$$

где C_i – средняя концентрация i -го вещества;

ПДК $_i$ – среднесуточная предельно допустимая концентрация i -го вещества;

K_i – безразмерная константа приведения степени вредности вещества к вредности сернистого газа.

Среднее значение константы в зависимости от класса опасности вещества берется по табл. 12.

Таблица 12

Среднее значение константы по классам опасности вещества

Класс опасности	Характеристика класса	Константа
1	Чрезвычайно опасные	1,5
2	Высокоопасные	1,3
3	Умеренно опасные	1,0
4	Малоопасные	0,85

Для оценки загрязненности атмосферы отдельных районов города несколькими веществами при составлении ежегодного списка городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы рассчитывается комплексный индекс загрязнения атмосферы для

Электронный архив УГЛТУ

одинакового количества примесей. Для расчета комплексного индекса загрязнения атмосферы (ИЗА₅) используют значения единичных индексов ИЗА тех пяти веществ, у которых эти значения наибольшие:

$$\text{ИЗА}_5 = \sum_{i=1}^{n_5} \text{ИЗА}_i. \quad (23)$$

Величины ИЗА₅ распределяют по загрязненности атмосферы таким образом:

менее 2,5 – чистая атмосфера;

2,5 – 7,5 – слабозагрязненная атмосфера;

7,5 – 12,5 – загрязненная атмосфера;

12,5 – 22,5 – сильно загрязненная атмосфера;

22,5 – 52,5 – высокозагрязненная атмосфера;

более 52,5 – экстремально загрязненная атмосфера.

Пример. В городе N измеряются рассчитанные по формуле (11) концентрации девяти веществ в воздухе с соответствующими индексами загрязнения:

диоксида азота – 1,2; диоксида серы – 1,5; пыли – 2,3;

оксида азота – 0,4; бензапирена – 2,5; свинца – 1,9;

оксида углерода – 0,3; сероводорода – 0,8; фенола – 2,1.

Для расчета комплексного индекса загрязнения используется пять наибольших значений единичных индексов загрязнения:

2,5 – бензапирен; 2,3 – пыль;

1,5 – диоксид серы, 2,1 – фенол; 1,9 – свинец.

В этом случае комплексный индекс загрязнения получают, суммируя значения (формула (12)):

$$2,5 + 2,3 + 2,1 + 1,9 + 1,5 = 10,3.$$

В справочнике аналитика [24] можно ознакомиться с полным списком предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в воздухе населенных мест.

БИОНДИКАЦИЯ

Методы оценки загрязнения воздуха

Биоиндикация – совокупность методов выявления и оценки воздействия экологически значимых природных и антропогенных нагрузок на основе реакций биосистем непосредственно в природе.

Биоиндикация основана на наблюдении за составом и численностью видов-индикаторов.

Для учёта изменения среды под действием антропогенного фактора составляются списки индикаторных организмов — биоиндикаторов. Биоиндикаторы – виды, группы видов или сообщества, по наличию, степени развития, изменению морфологических, структурно-функциональных, генетических характеристик которых судят о качестве воды и состоянии экосистем. В качестве биоиндикаторов часто выступают лишайники, в водных объектах – сообщества бактерио-, фито-, зоопланктона, зообентоса, перифитона [25].

Биотестирование – процедура установления качества среды в стандартизированных условиях с помощью тест-объектов, сигнализирующих об опасности путем изменения своих параметров.

Биоиндикацию часто путают с биотестированием. Но если при биоиндикации организмы извлекаются из природы и по их состоянию оценивают степень загрязнения, то при биотестировании качество воды, почвы оценивается посредством лабораторных объектов (животных, растительных, одноклеточных), помещённых в тестируемую среду уже в лаборатории.

Методы биоиндикации используют для оценки качества среды обитания и её отдельных показателей по состоянию организмов и биоценозов в природных условиях. Методы биоиндикации обычно достаточно просты, не требуют специального оборудования и больших затрат [25].

Оценка качества среды по берёзе повислой (*Betula pendula* Roth)

Основным элементом работы в этом направлении является оценка окружающей среды по флуктуирующей асимметрии листьев, приведенная впервые в 1967 г. В. М. Захаровым в книге «Асимметрия животных» [26].

Билатеральная симметрия (от би... и лат. *lateralis* – боковой), двусторонняя (двубоковая) симметрия у организмов; выражается в том, что тело их делится срединной плоскостью на правую и левую половины, представляющие как бы зеркальное отражение одна другой. Билатеральностью обладают черви, членистоногие, позвоночные, а также органы растений, например многие стебли с двурядно расположенными листьями или боковыми побегами, стебли многих кактусов и т. п. Билатеральными называются также листья, у которых верхняя и нижняя поверхности различны по строению [27].

Флуктуирующая асимметрия (ФА) – это небольшие и ненаправленные отклонения от идеальной симметрии морфологических признаков. Принято считать, что ФА возникает в результате ослабления способности организма контролировать развитие в условиях генетического или экологического стресса [28].

Оценка стабильности биологических систем любого уровня крайне необходима, особенно для определения степени антропогенного воздействия. Состояние природных популяций билатерально симметричных организмов может быть оценено через анализ величины ФА, характеризующей мелкие ненаправленные нарушения стабильности развития и являющейся интегральным ответом организма на состояние окружающей среды. Растения, как продуценты экосистемы, в течение всей жизни привязанные к локальной территории и подверженные влиянию двух сред: почвенной и воздушной, наиболее полно отражают весь комплекс стрессирующих воздействий на систему.

Традиционные методы, оценивающие химические и физические показатели, не дают комплексного представления о воздействии на биологическую систему, тогда как биоиндикационные показатели отражают реакцию организма на всё многообразие действующих на него факторов, имея при этом биологический смысл.

На сегодняшний день одним из эффективных и недорогих методов биомониторинга является фитоиндикация, так как растения считаются надежными индикаторами загрязнения природной среды различными токсическими веществами.

Установлено, что явление флуктуирующей асимметрии связано с нарушением стабильности развития организма в результате воздействия внешних факторов, в первую очередь антропогенного. Степень выраженности ФА напрямую зависит от силы воздействия

фактора, что позволяет на макроскопическом уровне использовать ее в качестве меры в оценке стабильности развития организма [29].

Достаточно часто в качестве организмов-индикаторов используют древесные растения, например берёзу, липу мелколистную, черёмуху и ряд других. Методика оценки флуктуирующей асимметрии листовых пластинок деревьев и кустарников является общепринятой и успешно применяется в современных исследованиях [30].

В нашем примере в качестве модельного объекта выбирается обычный широко распространенный вид – *береза бородавчатая*, или *повислая* (*Betula pendula* Roth.). В средней полосе России встречается также *берёза белая*, или *пушистая* (*Betula alba* L.). Эти два вида различаются по следующим признакам.

- *Береза повислая*, или бородавчатая (*Betula pendula* Roth.), – стебли молодых побегов покрыты бородавочками. Листья голые, в основании клиновидные. Ветви обычно повисающие. Образует лесные массивы. Как примесь встречается во всех типах леса.

- *Берёза пушистая* (*Betula pubescens* Ehrh.) – стебли молодых побегов без бородавочек, опушенные. Листья снизу опушенные, в основании округло-усечённые или сердцевидные. Предпочитает болота, сырые леса, места с избыточным увлажнением.

По данным некоторых авторов, эти два вида способны скрещиваться между собой, образуя межвидовые гибриды, которые обладают признаками обоих видов. Во избежание ошибок следует выбирать деревья с чётко определяющимися признаками одного вида, избегая сомнительных экземпляров.

Согласно «Методическим рекомендациям ...» [31], сбор материала следует проводить после остановки роста листьев (в средней полосе начиная с июля).

Объем выборки. Каждая выборка по объему должна включать в себя 100 листьев (по 10 листьев с 10 растений). Листья с одного растения хранятся отдельно, для того чтобы в дальнейшем можно было проанализировать полученные результаты индивидуально для каждой особи (собранные с одного дерева листья связывают за черешки). Все листья, собранные для одной выборки, необходимо сложить и полиэтиленовый пакет, туда же вложить этикетку. В этикетке указать номер выборки, место сбора (делая максимально подробную привязку к местности), дату сбора.

Выбор деревьев. При выборе деревьев важно учитывать, во-первых, четкость определения принадлежности растения к исследуемому виду. По данным некоторых авторов, береза повислая способна скрещиваться с другими видами берез, образуя межвидовые гибриды, которые обладают признаками обоих видов. Во избежание ошибок следует выбирать деревья с четко выраженными признаками березы повислой. Во-вторых, листья должны быть собраны с растений, находящихся в сходных экологических условиях (учитывается уровень освещенности, увлажнения и т. д.). Рекомендуется выбирать деревья, растущие на открытых участках (полянах, опушках), так как условия затенения являются стрессовыми для березы и существенно снижают стабильность развития растений. В-третьих, при сборе материала должно быть учтено возрастное состояние деревьев. Для исследования выбирают деревья, достигшие генеративного возрастного состояния. Для анализа используют только средневозрастные растения, избегая молодые экземпляры и старые.

Сбор листьев с растения. Сбор материала следует проводить после остановки роста листьев, что примерно соответствует концу мая – началу июня и до их опадания осенью, в средней полосе – начиная с июля. Выборка листьев производится с 10 близко растущих деревьев по 10 листьев с каждого, всего 100 листьев с одной точки, следует брать несколько больше на случай попадания повреждённых листьев. Поврежденные листья могут быть использованы для анализа, если не затронуты участки, с которых будут сниматься измерения.

С растения собирают несколько больше листьев, чем требуется, на тот случай, если часть листьев из-за повреждений не сможет быть использована для анализа.

У березы повислой собирают листья из нижней части кроны дерева, на уровне поднятой руки, с максимального количества доступных веток равномерно вокруг дерева (рис. 2), стараясь задействовать ветки разных направлений: условно – на север, юг, запад, восток.

Тип побега также не должен изменяться в серии сравниваемых выборок. Листья следует собирать только с укороченных побегов. Размер листьев должен быть сходным, средним для данного растения.

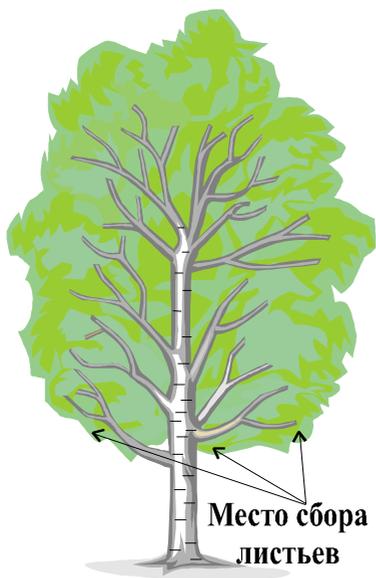


Рис. 2. Типы побегов

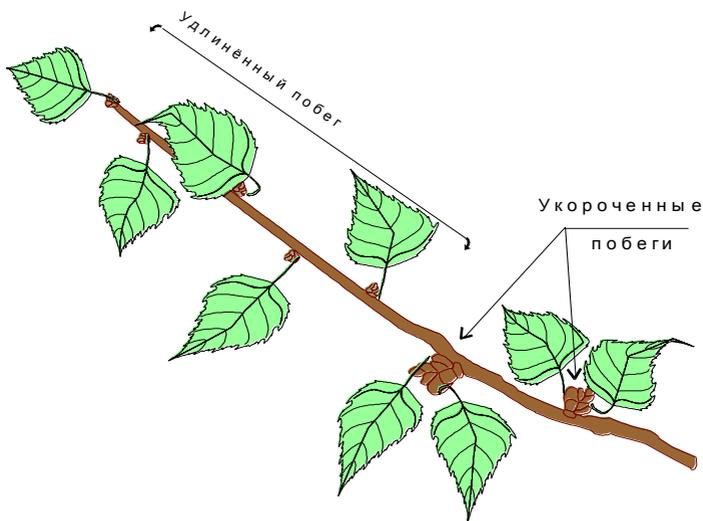


Рис. 3. Место сбора листьев на кроне дерева

У березы используют листья только с укороченных побегов (рис. 3). Листья стараются брать примерно одного размера, среднего для данного вида.

Этикетирование и хранение материала

Листья с одного дерева связывают ниткой по черешкам. Каждая выборка снабжается этикеткой: указывают дату, место сбора (делая максимально подробную привязку на местности) и кто произвёл сбор. Листья и этикетку помещают в полиэтиленовый пакет.

Непродолжительно собранный материал можно хранить в полиэтиленовом пакете на нижней полке холодильника, максимальный срок хранения – неделя. Для длительного хранения надо зафиксировать материал в 60 %-ном растворе этилового спирта или гербаризировать, высушив между листами бумаги.

Обработка собранного материала

Для камеральных работ по обработке собранного материала необходимы: линейка, циркуль-измеритель, транспортир. Если измерения производят несколько человек (одна выборка вся обрабатывается одним человеком), то необходимо проследить чтобы линейки и транспортиры были одинаковыми.

С каждого березового листа снимают показатели по 5 признакам с каждой стороны листа, левой (л) и правой (п) (рис. 4):

1) ширина половинки листа. Для измерения лист складывают поперек пополам, прикладывая макушку листа к основанию, потом разгибают и по образовавшейся складке производят измерения;

2) длина второй жилки второго порядка от основания листа;

3) расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка;

4) расстояние между концами этих жилок;

5) угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка.

Первые четыре замера производят циркулем-измерителем, угол между жилками измеряется транспортиром (рис. 5). Удобно использовать прозрачные пластмассовые транспортиры.

При измерении угла транспортир (поз. 1 рис. 5) располагают так, чтобы центр основания окошка транспортира (поз. 2 рис. 5) находился на месте ответвления второй жилки второго порядка (поз. 4 рис. 5).

Так как жилки не прямолинейны, а извилисты, то угол измеряют следующим образом: участок центральной жилки (поз. 3 рис. 5), находящийся в пределах окошка транспортира (поз. 2 рис. 5), совмещают с центральным лучом транспортира, который соответствует 90^0 , а участок жилки второго порядка (поз. 4 рис. 5) продлевают до градусных значений транспортира (поз. 5 рис. 5), используя линейку.

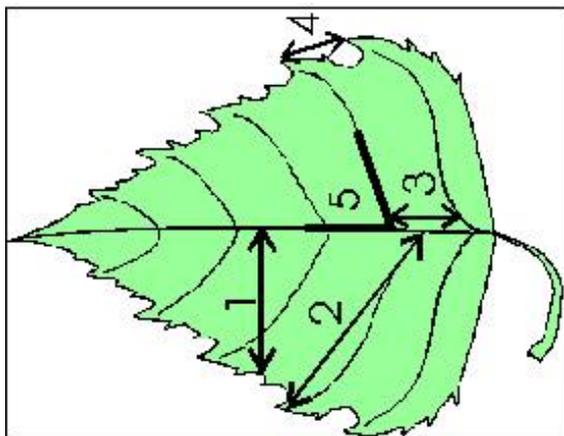


Рис. 4. Измерение параметров листа

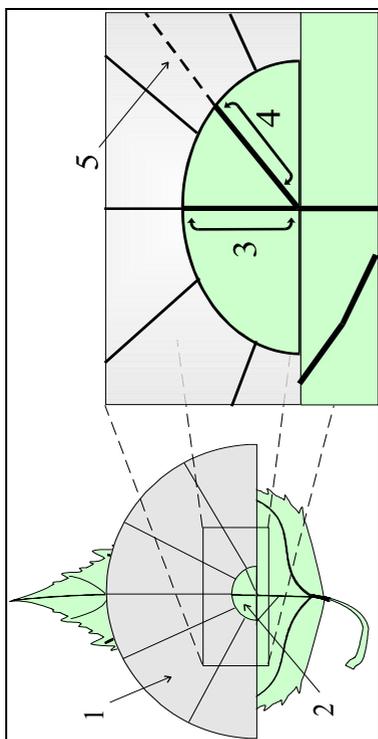


Рис. 5. Измерение угла между жилками

Электронный архив УГЛТУ

Данные измерений заносятся в табл. 13. При занесении данных в компьютер для хранения и математической обработки используются программу Microsoft Excel.

Таблица 13

Значения измерений одной выборки

Дата		Исполнитель									
Место сбора											
№ листа	Параметры										
	1-й		2-й		3-й		4-й		5-й		
	л	п	л	п	л	п	л	п	л	п	
1	21	20	31	29	4	5	9	9	43	45	
2	20	20	32	30	5	5	8	7	40	44	
3	19	21	30	30	5	4	8	9	39	41	
4	17	18	27	29	3	5	9	8	46	42	
5	23	20	28	31	5	4	7	7	44	41	
6	21	21	30	27	4	3	8	9	39	40	
7	19	19	26	29	4	4	10	9	38	42	
8	20	21	29	29	5	4	8	8	41	45	
9	22	18	28	31	5	3	7	9	40	42	
10	24	21	31	30	3	5	9	10	42	46	

Примечание. л – левая сторона листа; п – правая сторона листа.

Вычисления

Величина асимметричности оценивается с помощью интегрального показателя – величины среднего относительного различия на признак (средняя арифметическая отношения разности к сумме промеров листа слева и справа, отнесенная к числу признаков). Для проведения вычислений пользуются вспомогательной таблицей (табл. 14).

Таблица 14

Вспомогательная таблица для вычислений

№ ли- ста	Относительное различие между значениями измерений слева и справа Y					Среднее относительное различие на признак Z
	Признак листа					
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	
1	2	3	4	5	6	7
1	0,024	0,033	0,11	0	0,023	0,038
2	0	0,032	0	0,067	0,048	0,029
3	0,05	0	0,11	0,059	0,025	0,049
4	0,029	0,036	0,25	0,059	0,045	0,084

1	2	3	4	5	6	7
5	0,07	0,051	0,11	0	0,035	0,053
6	0	0,053	0,14	0,059	0,013	0,053
7	0	0,055	0	0,053	0,05	0,032
8	0,024	0	0,11	0	0,047	0,036
9	0,1	0,05	0,25	0,125	0,024	0,11
10	0,07	0,016	0,25	0,053	0,045	0,09
Среднее относительное различие						0,057

Обозначим значение одного промера X , тогда значение промера с левой и с правой сторон будем обозначать как $X_{\text{л}}$ и $X_{\text{п}}$ соответственно. Измеряя параметры листа по пяти признакам (слева и справа), мы получаем 10 значений X .

В первом действии вычисляем относительное различие между значениями признака слева и справа (Y) для каждого признака. Для этого находят разность значений измерений по одному признаку для одного листа, затем эти же значения приводят к сумме, и завершающим действием является частное между разностью и суммой. Например, в нашем примере у листа №1 по первому признаку $X_{\text{л}} = 21$, а $X_{\text{п}} = 20$. Находим значение Y_1 по формуле

$$Y_1 = \frac{X_{\text{л}} - X_{\text{п}}}{X_{\text{л}} + X_{\text{п}}} = \frac{21 - 20}{21 + 20} = \frac{1}{41} = 0,024. \quad (24)$$

Найденное значение Y_1 вписывается во вспомогательную таблицу. Подобные вычисления производят по каждому признаку. В результате получается пять значений Y для одного листа. Такие же вычисления производят для каждого листа в отдельности, записывая результаты в табл. 14.

Во втором действии находят значение среднего относительного различия между сторонами на признак для каждого листа (Z). Для этого сумму относительных различий надо разделить на число признаков.

Например, для первого листа $Y_1 = 0,024$; $Y_2 = 0,033$; $Y_3 = 0,111$; $Y_4 = 0$; $Y_5 = 0,02$.

Электронный архив УГЛТУ

Находим значение Z_1 по формуле

$$Z_1 = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5}{N} = \frac{0,024 + 0,033 + 0,111 + 0 + 0,02}{5} = 0,038, \quad (25)$$

где N – число признаков, в данном случае $N = 5$.

Подобные вычисления производят для каждого листа. Найденные значения заносятся в таблицу.

В третьем действии (3) вычисляется среднее относительное различие на признак для выборки (X). Для этого все значения Z складывают и делят на число этих значений:

$$\begin{aligned} X &= \frac{\sum Z}{n} = \frac{Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n}{n} = \\ &= \frac{0,062 + 0,029 + 0,029 + 0,08 + 0,145 + 0,053}{10} + \\ &+ \frac{0,032 + 0,036 + 0,01 + 0,09}{10} = 0,057, \end{aligned} \quad (26)$$

где n – число значений Z , т. е. число листьев.

Этот показатель характеризует степень асимметричности организма. Для данного показателя разработана пятибалльная шкала отклонения от нормы [32] (табл. 15), в которой 1 балл – условная норма, 2 – незначительное отклонение от нормы, 3 – средний уровень отклонения от нормы, 4 – значительное отклонение от нормы, 5 баллов – критическое состояние [26].

Таблица 15

Балльная шкала значений показателя степени асимметричности организма

Балл	Показатель асимметричности
1	< 0,040
2	0,040–0,044
3	0,045–0,049
4	0,050–0,054
5	> 0,054

Оценка загрязненности воздуха методом лишеноиндикации

Лишенология (от греч. *Λειχήν* – лишай, лишайник) – наука о лишайниках, раздел ботаники.

Лишеноиндикация – это определение качества атмосферного воздуха с помощью лишайников.

Эпифитная лишенофлора – это лишайники, поселившиеся на деревьях и кустарниках.

Основным методом лишеноиндикации является наблюдение за изменениями относительной численности лишайников. Для этого проводят измерения проективного покрытия лишайников на постоянных или переменных пробных площадях и получают среднее значение проективного покрытия (т. е. площадь, которую занимает лишайник на стволе дерева) для исследуемой территории. Затем через определенный промежуток времени проводят повторные измерения. По изменению как общего проективного покрытия, так и отдельных видов можно, используя шкалы чувствительности лишайников, судить об увеличении или уменьшении загрязнения окружающей среды.

В настоящее время для количественного описания эпифитной лишенофлоры в основном используется *метод сеточек-квадратов* с соотношением сторон 1:1 или 1:2. Это жесткий контур прямоугольной или квадратной формы (обычно 10×10), разделенный на квадраты 1×1 см. Наглядность и простота этого метода сделали его общепринятым в лишенологии (рис. 6).

Данный метод очень удобен для подсчета эпигейных (напочвенных) лишайников в тундре.



Рис. 6. Подсчет проективного покрытия лишайников методом сеточек-квадратов

При таком способе общее покрытие в процентах вычисляют по формуле

$$R = 1000a + 50b/c, \quad (27)$$

где a – единичные квадраты, где лишайники занимают весь или почти весь квадратик;

b – лишайники занимают менее половины квадрата;

c – число исследованных площадок.

Одной из наиболее удачных методик измерения относительной численности лишайников является *методика линейных пересечений* (или линейное проективное покрытие). Данная методика заключается в наложении гибкой ленты с миллиметровыми делениями на поверхность ствола с фиксированием всех пересечений её со слоевищами лишайников. В качестве такой ленты удобно использовать обычный портняжный метр (рис. 7).

Первоначально метод линейных пересечений использовался для геоботанических обследований сообществ сосудистых растений, но впоследствии для эпифитных лишайников оказался высокоэффективным.

Все измерения численности лишайников производят на постоянных высотах – 100 или 150 см от комля дерева (на всех экземплярах одинаково) – либо на четырех высотах: 60, 90, 120, 150 см.

На ствол накладывается мерная лента с возрастанием чисел на шкале вправо (по часовой стрелке). Определяют длину окружности поперечного сечения ствола на выбранной высоте. Затем фиксируют начало и конец каждого пересечения ленты с лишайниками. Измерения проводят с точностью до 1 мм.



Рис. 7. Подсчет проективного покрытия лишайников методом линейных пересечений

Электронный архив УГЛТУ

При расчетах статистических параметров используют критерий Стьюдента:

$$t = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}, \quad (28)$$

где M – средняя арифметическая, вычисляемого признака;
 m_M – ошибка среднего, которую рассчитываем по формуле

$$m_M = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (29)$$

где σ – стандартное отклонение, среднеквадратичное отклонение показателей, вариант признака;

n – количество показателей (вариант) признака в столбце.

Интерпретация значений t-критерия Стьюдента

Полученное значение t-критерия Стьюдента необходимо правильно интерпретировать. Для этого нам необходимо знать количество исследуемых показателей (вариант) признака в каждой группе (n_1 и n_2). Находим число степеней свободы df по следующей формуле:

$$df = (n_1 + n_2) - 2. \quad (30)$$

После этого определяем критическое значение t-критерия Стьюдента для требуемого уровня значимости $p = 0,05$ (для биологических исследований) и при данном числе степеней свободы df по табл. 16 делаем вывод о наличии различий между группами.

Таблица 16

Значение t-критерия Стьюдента при разных условиях значимости

df	$p = 0,05$	$p = 0,01$	$p = 0,001$
1	12,70	63,65	636,61
2	4,303	9,925	31,602
3	3,182	5,841	12,923
4	2,776	4,604	8,610
5	2,571	4,032	6,869
6	2,447	3,707	5,959
7	2,365	3,499	5,408

df	p = 0,05	p = 0,01	p = 0,001
8	2,306	3,355	5,041
9	2,262	3,250	4,781
10	2,228	3,169	4,587
11	2,201	3,106	4,437
12	2,179	3,055	4,318
13	2,160	3,012	4,221
14	2,145	2,977	4,140
15	2,131	2,947	4,073
16	2,120	2,921	4,015
17	2,110	2,898	3,965
18	2,101	2,878	3,922
19	2,093	2,861	3,883
20	2,086	2,845	3,850
21	2,080	2,831	3,819
22	2,074	2,819	3,792
23	2,069	2,807	3,768
24	2,064	2,797	3,745
25	2,060	2,787	3,725

Биоиндикация по состоянию хвои

Радиационное воздействие является мощным антропогенным фактором, способным нарушить нормальное функционирование растений, которые в силу прикрепленного образа жизни вынуждены приспосабливаться к изменяющимся условиям среды. На рис. 8 представлена схема движения радиоактивных веществ в окружающей среде.

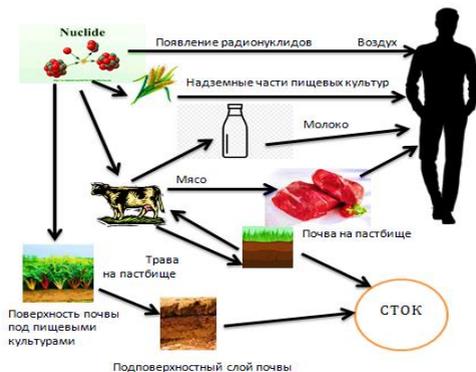


Рис. 8. Схема движения радиоактивных веществ в окружающей среде

Радиоактивное загрязнение – загрязнение местности и находящихся на ней объектов радиоактивными веществами.

При радиоактивном облучении наблюдаются: гибель почек, хвои, побегов; торможение роста побегов и хвои; двойной прирост в течение одного года вегетации; неравномерный рост хвои на побегах; нарушение ориентации хвои и побегов в пространстве (появление «мятой» хвои); искривление побегов; изменение формы хвои и многое другое. Известно, что репродуктивные органы сосны обыкновенной более чувствительны к облучению, чем вегетативные.

Устойчивость организмов к действию радиации тем меньше, чем выше уровень их эволюционного развития (рис. 9).

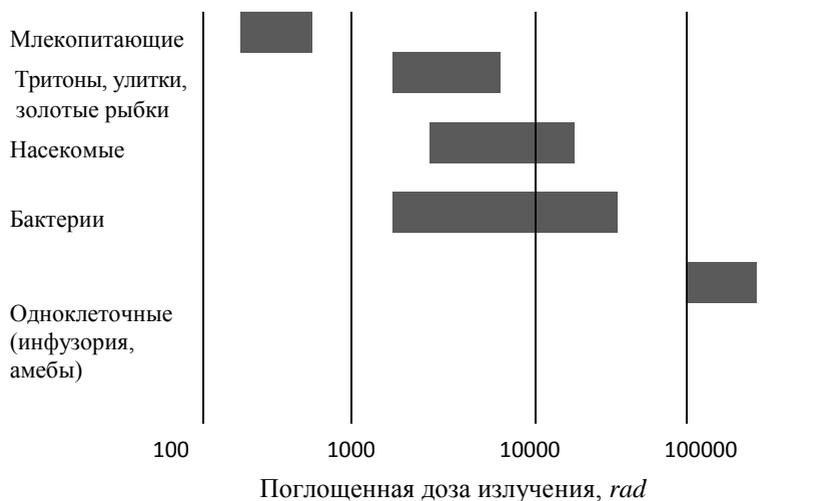


Рис. 9. Устойчивость организмов к действию радиации тем меньше, чем выше уровень их эволюционного развития

Выделено шесть уровней биоиндикации [33]:

- 1) биохимические физиологические реакции;
- 2) анатомические, морфологические, биоритмические и поведенческие отклонения;
- 3) флористические, фаунистические и хорологические изменения;
- 4) ценотические изменения;
- 5) биогеоценотические изменения;
- 6) изменения ландшафтов.

Загрязнение атмосферы причиняет биогеоценозу большой вред. Главный враг леса – диоксид серы, или иначе сернистый газ. Больше всего от него страдают сосновые леса. Сосновые насаждения – очистители воздуха от пыли, что зависит от хвои, её количества и поверхности. У хорошо развитого взрослого дерева сосны общая длина хвоинок превышает 200 км. Этим определяется высокая фильтрующая способность дерева.

Чувствительность хвойных пород к сернистому газу убывает в последовательности ель – пихта – сосны Веймутова и обыкновенная – лиственница. Продолжительность жизни хвои сосны в нормальных условиях составляет 3–4 года. За это время она накапливает такое количество сернистого газа, которое существенно превышает пороговое значение. Под влиянием токсиканта хвоя сосны в зонах сильного загрязнения становится темно-красной, окраска распространяется от основания иглы к её острию, и, просуществовав всего один год, хвоя отмирает и опадает. Лиственница, ежегодно сбрасывающая хвою, значительно устойчивее к сернистому газу. Поэтому по продолжительности жизни хвои сосны и характеру некрозов можно определить степень поражения сосновых насаждений сернистым газом.

По наблюдению ученых, толщина воскового слоя на хвое сосны тем больше, чем выше концентрация или продолжительность воздействия на нее сернистого газа. Это послужило основанием для разработки количественного метода индикации данного соединения в атмосфере, или метода «помутнения по Гертелю»: оценка степени помутнения экстракта хвои прямо пропорциональна количеству воска, покрывающего хвою. Чем выше мутность, устанавливаемая фотоколориметрически, тем больше концентрация сернистого газа в воздухе.

Биоиндикация позволяет легко диагностировать атмосферное загрязнение. В качестве биоиндикатора можно выбрать сосну обыкновенную – вид, реагирующий на загрязнение среды обитания и широко распространенный на всей территории Свердловской области [24, 34].

Для проведения камеральных работ потребуется лупа и хвоя разной степени поврежденности. Данную диагностику также можно проводить с заранее приготовленной хвоей с повреждениями разной степени. Примеры повреждения хвои представлены на рис. 10.



Рис. 10. Примеры повреждения хвои

Сбор материала проводится на открытой местности. Выбирают сосенки высотой 1–1,5 м с 8–15 боковыми побегами. Осмотр производится у хвоинок предыдущего года (вторые сверху мутовки) каждого дерева. Степень повреждения хвои определяют по наличию хлоротичных пятен, некротических точек, некрозов и т. д. (рис. 11). А также определяется продолжительность жизни хвои (рис. 12). Результаты учетов заносят в табл. 17.

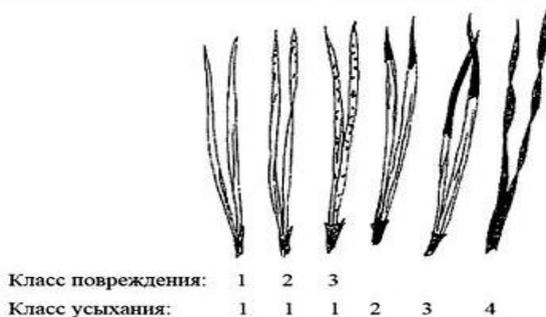


Рис. 11. Классы повреждения и усыхания хвои:

повреждения: 1 – хвоинки без пятен; 2 – с небольшим числом мелких пятнышек; 3 – с большим числом черных и желтых пятен, некоторые из них крупные, во всю ширину хвоинки;

усыхание: 1 – нет сухих участков; 2 – усох кончик на 2–5 мм; 3 – усохла треть хвоинки; 4 – вся хвоинка желтая или более половины ее длины сухая

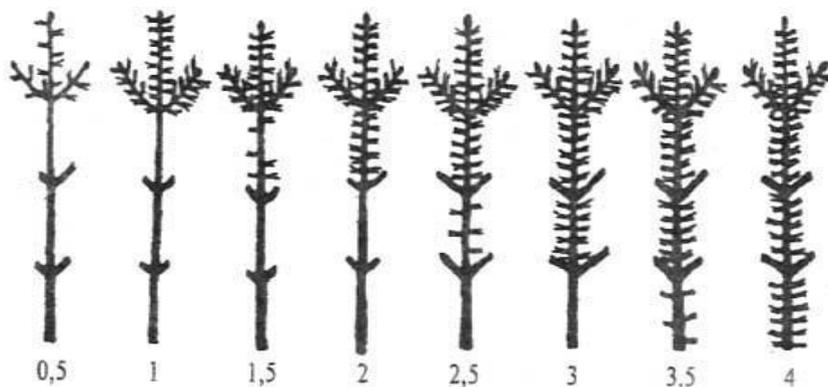


Рис. 12. Продолжительность жизни хвои в годах

Таблица 17

Состояние обследованной хвои сосны

Состояние хвои	Количество хвоинок	Доля хвоинок от общего количества обследованных, %
Обследовано		100
Повреждение хвои:		
1-й класс		
2-й класс		
3-й класс		
Усыхание хвои:		
1-й класс		
2-й класс		
3-й класс		
4-й класс		

Экспресс-оценку загрязнения воздуха по классу повреждения хвои на побегах второго года жизни можно определить по критериям, представленным в табл. 18.

Экспресс-оценка загрязнения воздуха (I–VI)
с использованием сосны обыкновенной

Максимальный возраст хвои, лет	Класс повреждения хвои на побегах второго года жизни		
	I	I–II	III
4	I	I–II	III
3	I	II	III–IV
2	II	III	IV
2	НС	IV	IV–V
1	НС	IV	V–VI
1	НС	НС	VI

Примечание. I – воздух идеально чистый; II – чистый; III – относительно чистый («норма»); IV – загрязненный («тревога»); V – грязный («опасно»); VI – очень грязный («вредно»); НС – невозможные сочетания.

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЕГО ОЦЕНКА

Действие экотоксикантов в окружающей среде

Экотоксиканты (от гр. οἶκος – жилище, местопребывание и τοξικόν – яд) – устойчивые в природных условиях вредные химические вещества, загрязняющие окружающую среду и в концентрациях, которые превышают естественный уровень, отравляющие находящиеся в ней организмы; способны мигрировать на значительные расстояния в атмосфере, гидросфере, почве [35].

Эмиссии (в экологии) – поступления загрязняющих веществ от антропогенных объектов в атмосферный воздух, воду, на землю или под ее поверхность.

Один из примеров экотоксиканта – свинец.

Основной источник свинца в водопроводной воде – сплавы для соединения труб. Содержание свинца в хлорированной воде больше, чем в нехлорированной. При суточном потреблении человеком 5 л воды полученная доза составляет таким образом 15 мкг,

т. е. примерно 6 % от дозы пищевого свинца (250 мкг). Токсическое действие свинца прежде всего связано с блокированием сульфгидрильных групп белков, что приводит к инактивации ферментов.

Кроме того, свинец проникает в нервные и мышечные клетки, образуя лактат, а затем фосфат, которые создают клеточные барьеры для проникновения ионов кальция. В результате свинец способен накапливаться в костном скелете (заменяет кальций), действует на нервную систему и почки. Следствием этого являются головные боли, потеря памяти, головокружения, повышенная утомляемость.

Ежедневно с пищей в организм человека поступает около 250 мкг, а с водой – 20 мкг свинца. Величина ПДК свинца в питьевой воде составляет 0,05 мг/л [31], а в воздухе – 3 мкг/м³ [36].

Организм взрослого человека способен усвоить до 10 % поступившего свинца, а детским организмом усваивается около 40 %.

Дефицит кальция, железа, меди, магния приводит к увеличению степени всасывания свинца в кровь. Связывают свинец пектины, содержащиеся в достаточном количестве в апельсиновых корках [37]. Среднее содержание свинца в растениях – 2–3 мг/кг.

Рассмотрим загрязнение окружающей среды экотоксикантами на двух примерах.

1. При сжигании угля на ТЭЦ и на мусоросжигательном заводе с золой происходит значительный выброс тяжелых металлов (табл. 19). Оценить суммарную эмиссию токсикантов стоит по трем классам опасности (табл. 20) за расчетный период (год, месяц).

Таблица 19

Удельный выброс тяжелых металлов с золой при сжигании угля на ТЭЦ и мусора, мг/кг топлива

Металл	Мусоросжигательный завод	Угольная электростанция
Барий	2100	1900
Бериллий	4	30
Ванадий	160	850
Кадмий	500	30
Кобальт	140	40
Медь	1450	300
Мышьяк	180	490
Ртуть	130	5
Свинец	20000	2100

Металл	Мусоросжигательный завод	Угольная электростанция
Стронций	290	1800
Хром	650	370
Цинк	48000	2800

Таблица 20

Классы опасности химических веществ

Класс опасности	Химическое вещество
I	Мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк, фтор, бенз(а)пирен
II	Бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром
III	Барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций, ацето-фен

Рассчитать количество токсикантов, кг, по группам опасности при работе ТЭЦ можно по следующей формуле:

$$M_{1i} = 30q_{1i}m_1t, \quad (31)$$

где q_{1i} – удельный выброс i -го металла, мг/кг топлива;
 m_1 – расход угля на ТЭЦ, т/сут;
 t – расчетный период, мес.

Количество токсикантов, кг, по группам опасности при работе мусоросжигательного завода подсчитывается по формуле

$$M_{2i} = 30q_{2i}m_2t, \quad (32)$$

где q_{2i} – удельный выброс i -го металла, мг/кг топлива;
 m_2 – масса сжигаемого мусора, т/сут;
 t – расчетный период, мес.

Зная количество дней работы мусоросжигательного завода в году, например 320, и если известно, что из 3,5 т мусора получается 1 т шлаков, можно определить количество образовавшихся шлаков за год при сжигании мусора.

Если определить, какое количество населения можно обеспечить электроэнергией при сгорании полученной сухой фитомассы

(при сжигании 1 кг сухой массы выделяется $4 \cdot 10^3$ ккал энергии, расход электроэнергии в РФ приходится на 1 чел в сутки 7 кВт·ч), то можно рассчитать, сколько сэкономится невозобновляемых природных ресурсов на производство этого объема электроэнергии: угля, нефти, природного газа, торфа [38].

2. Тяжелые металлы попадают в организм человека через загрязненный воздух, воду, почву и потребительские товары. Основным источником – это продукты питания, поэтому санитарными нормами жестко нормируется содержание в них и в продовольственном сырье тяжелых металлов.

В сертифицированной лаборатории, определяющей качество продуктов питания, получены следующие данные по содержанию тяжелых металлов в пересчете на 100 г навески (табл. 21). Охарактеризовать наличие тяжелых металлов с точки зрения допустимости употребления продуктов человеком можно, используя сведения о ПДК (табл. 22).

Таблица 21

Содержание тяжелых металлов в продуктах питания, мг

Токсиканты	Рыба морская мороженая	Крупа	Сахарный песок	Шоколад	Молоко
Свинец Pb	0,05	0,020	0,050	0,20	0,010
Кадмий Cd	0,01	0,005	0,010	0,05	0,002
Мышьяк As	0,40	0,010	0,060	0,06	0,008
Ртуть Hg	0,10	0,001	0,002	0,04	0,005
Медь Cu	0,70	0,800	0,050	6,00	0,070
Цинк Zn	3,00	3,000	0,200	10,00	5,000

Таблица 22

Предельно-допустимые концентрации (ПДК) тяжелых металлов в продовольственном сырье и продуктах, мг/кг

Пищевые продукты	Pb	Cd	As	Hg	Cu	Zn
Хлебобулочные и кондитерские изделия						
Крупы	0,5	0,10	0,2	0,03	10	50
Хлеб	0,3	0,05	0,1	0,01	5	25
Соль поваренная	2,0	0,10	1,0	0,01	3	10
Сахар-песок	1,0	0,05	0,5	0,01	1	3

Пищевые продукты	Pb	Cd	As	Hg	Cu	Zn
Конфеты	1,0	0,10	0,5	0,01	15	30
Печенье	0,5	0,10	0,3	0,02	10	30
Какао-порошок и шоколад	1,0	0,50	1,0	0,1	50	70
Молоко и молочные продукты						
Молоко	0,05	0,03	0,05	0,05	1,0	5
Сыры, творог	0,30	0,20	0,20	0,03	4,0	50
Масло сливочное, животные жиры	0,10	0,03	0,10	0,03	0,50	5
Мясные продукты						
Мясо и птица (свежие и мороженые)	0,5	0,05	0,1	0,03	5	70
Яйца	0,3	0,01	0,1	0,02	3	50
Рыбные продукты						
Рыба морская свежая и мороженая	1	0,2	5	0,4	10	40

Возобновимые природные ресурсы и их учет

Природные ресурсы (или естественные ресурсы) – это совокупность элементов и систем живой и неживой природы, которые на конкретном уровне развития производительных сил используются человеком в качестве средств производства или предметов потребления и служат для удовлетворения материальных и культурных потребностей общества. Природные ресурсы применяются как сырьё и материалы (полезные ископаемые, биологические ресурсы, вода и т. п.), средства труда (земля, вода и др.), источник энергии (горючие ископаемые, биотопливо, энергия Солнца, рек, ветра и пр.), продукты питания (питьевая вода, дикорастущие растения, грибы, продукты охоты и рыболовства), объекты рекреации [39].

Земельные, водные, биологические, лесные ресурсы, минеральное сырьё – основные элементы в системе природопользования. От их количества и качества, совершенства технологий использования и эффективности природоохранных мероприятий зависит результативность развития агропромышленного комплекса (АПК) [40].

В этой связи понятна важность контроля за использованием природных ресурсов, в основе которого лежит их учет.

Функционирование биологических ресурсов построено на связи между объемами биологической продукции. В процессе биологического круговорота идет образование и отмирание органической массы. От соотношения этих процессов зависит изменение накопленных запасов. Динамика накопленных запасов выражается балансовым соотношением:

$$V_k = V_n + (Z - O), \quad (33)$$

где V_k – конечный накопленный запас;
 V_n – начальный накопленный запас;
 Z – прирост органического вещества;
 O – отпад органического вещества.

Пример расчета

V_n (начальный запас) = 200 т;
 Z (прирост органического вещества) – 2 т/год;
 O (отпад органического вещества) – 1,5 т/год.

$$V_k = 200 \text{ т} + (2 \text{ т/год} - 1,5 \text{ т/год}) = 200,5 \text{ т}.$$

На основании полученного ответа можно сделать выводы о балансовом соотношении биологических ресурсов. Динамика накопленных запасов положительна, если конечный накопленный запас больше начального и, соответственно, наоборот.

Лесные ресурсы – часть биологических ресурсов суши, ее постоянный растительный покров, состоящий из древесно-кустарниковых пород [41].

Леса – наиболее сложные и устойчивые комплексы живой природы, которые продуцируют не только разнообразные продукты и органическое сырье, но и оказывают положительное влияние на занимаемые ими и прилегающие к ним территории.

Данные по учету лесных ресурсов необходимы для анализа состояния лесного фонда и его размещения по категориям защитности, природному составу (хвойные, твердолиственные, мягколиственные) и возрастной структуре (спелые и перестойные). При этом учитывают на перспективу изменения лесных площадей в результате развития экономики и проведения лесохозяйственных работ, обосновывают распределение лесных ресурсов по категориям защитности.

По условиям рационального ведения лесного хозяйства устанавливают объем отпуска древесины и рассчитывают технико-экономические показатели, характеризующие экономическую эффективность перспективного использования лесных ресурсов, улучшение их охраны, целесообразность размещения лесозаготовок. Обосновывают объемы работ по созданию зеленых зон, лесопарков, питомников и плантационных хозяйств.

Лес характеризуется несколькими показателями. Это состав, возраст, полнота и производительность. В хозяйственно-биологической оценке имеет значение тип лесов. Их продуктивность определяется величиной ежегодного прироста органического сырья и эффекта природозащитной роли леса.

Производительность леса определяется текущим приростом древесины, текущим накоплением древесины. Эти показатели рассчитывают по формулам:

текущие накопления древесины:

$$Z_n = (M_a - (M_{a-n} + B)) / n, \quad (34)$$

текущий годичный прирост древесины:

$$Z_n = (M_a - (M_{a-n} + B + O)) / n, \quad (35)$$

где M_a – запас древесины в возрасте n лет, m^3 ;

M_{a-n} – запас древесины n лет назад, m^3 ;

B – объем рубки за n лет, m^3 ;

O – фактический отпад за n лет, m^3 .

Например, известен объем рубки B за 5 лет, который равен $20 m^3/га$, запас древесины $M_a = 220 m^3/га$, а запас древесины 5 лет назад $M_{a-n} = 190 m^3/га$.

Также известен фактический отпад $O = 1 m^3/га$.

В этом случае текущие накопления составят:

$$(220 m^3 /га - 190 m^3 /га + 20 m^3/га) / 5 = 2 m^3 /га.$$

Текущий годичный прирост древесины Z_n будет равен:

$$(220 m^3/га - 190 m^3/га + 20 m^3/га + 1 m^3) / 5 = 1,8 m^3 /га.$$

На основании полученного ответа делаются выводы о балансе лесного хозяйства: как меняется производство леса с увеличением текущего годовичного прироста древесины.

Земля является необходимым условием человеческой деятельности. Ее значение для отраслей, занимающихся выращиванием рас продукции или использованием в народном хозяйстве дикорастущей флоры, неопределимо, таких отраслей две: сельское и лесное хозяйство. Для них земля, а точнее, ее *верхний плодородный слой – почва* – средство производства, состояние которого определяет в значительной степени успехи сельскохозяйственного и лесохозяйственного производства и степень удовлетворения общественных потребностей в продуктах питания и сырье для промышленности.

В основе функционирования почв лежат связи между качеством среды обитания, объемами и структурой биологического круговорота наземных и почвенных организмов, системами ведения сельского и лесного хозяйства. При этом важной особенностью почв является накопление в них отходов жизнедеятельности микроорганизмов – *гумуса*, который является наиболее важной составной частью почв. *Динамика гумуса в почве* определяется так же, как и накопленные запасы биомассы, т. е. соотношением

$$V_k = V_n + Z - O, \quad (36)$$

где V_k – конечный запас гумуса;

V_n – начальный запас гумуса;

Z – ежегодный прирост гумуса;

O – ежегодный объем потерь гумуса (смыв и распад).

Основным источником гумуса в пахотном слое почвы являются растительные остатки возделываемых культур. Поэтому определение их количества имеет важное значение для эффективного регулирования уровня почвенного плодородия.

Количество растительных остатков вычисляют по формуле

$$P = \frac{P_1(100 - W_1)P_0}{P_2(100 - W_1)}, \quad (37)$$

где P – вес растительных остатков (живые корни, полуразложившиеся и гумифицированные остатки прошлых лет), кг/га;

Электронный архив УГЛТУ

P_1 – вес растительных остатков, содержащихся в почвенном монолите, кг/га;

W_1 – процент влажности растительных остатков;

P_0 – вес одного гектара слоя почвы по глубине отбора почвенных монолитов, кг;

P_2 – вес почвенного монолита, кг;

W_2 – процент влажности почвенного монолита.

Например, при известных значениях $P_1 = 0,064$ кг и $W_1 = 40$ %, $P_2 = 30$ кг, $W_2 = 20$ %, а также P_0 (при глубине отбора почвенного монолита 30 см) = 3 000 000 кг получаем 4800 кг растительных остатков.

$$P = \frac{0,064 \text{ кг} (100 \% - 40 \%) 3\,000\,000}{30 \text{ кг} (100 \% - 20 \%) } = 4800 \text{ кг}.$$

На основании расчета делаем вывод о динамике гумуса: отношения начального запаса гумуса в почве к конечному.

Вода является неперенным условием жизни. Водные ресурсы обеспечивают благоприятный гидрологический режим на территории страны, они используются в бытовых и производственных целях, в промышленности, сельском и лесном хозяйстве. Реки и водоемы – основа для развития речного транспорта, ведения рыбного хозяйства.

Все воды (поверхностные и подземные) находятся в собственности государства.

Учет и оценка водных ресурсов производятся исходя из потребностей экономики и населения. Объем водопотребления определяется фактическим отбором воды всеми потребителями. Эксплуатационные водные ресурсы рассчитывают как остаток между реально возможным расходом воды и фактическим отбором ее в пределах водного бассейна региона или населенного пункта.

Расчет проводится по формуле

$$V_k = V_n - (V_\phi + C), \quad (38)$$

где V_k – конечный запас воды в водоеме;

V_n – поступление воды;

V_ϕ – фактический отбор воды всеми потребителями;

C – сток воды.

Электронный архив УГЛТУ

Например, есть данные, что:

$$V_n = 5 \text{ млн м}^3, V_\phi = 1,33 \text{ млн м}^3, C = 3,0 \text{ млн м}^3.$$

Тогда, используя формулу, получаем:

$$V_k = 5 \text{ млн м}^3 - (1,33 \text{ млн м}^3 + 3,0 \text{ млн м}^3) = 0,67 \text{ млн м}^3.$$

По результату накопленного (конечного) запаса воды относительно начального делается вывод.

Атмосферная оболочка нашей планеты – важнейший компонент биосферы. Чистота воздушного бассейна – фактор особой важности для сохранения здоровья человека, создания комфортных условий жизнедеятельности людей. Между атмосферой и природными, производственными и социальными системами существуют обратные связи. Состояние атмосферы зависит от состояния и функционирования связанных с нею систем, т. е. от состояния поверхности литосферы, промышленных и других выбросов, бытовых отходов. Оно же оказывает большое влияние на тепловой баланс планеты, живую природу, влагооборот, биологический кругооборот и другие процессы.

Круговорот веществ в атмосфере выражается балансовым соотношением

$$V_k = V_n + П - P, \quad (39)$$

где V_k – конечный объем вещества;

V_n – начальный объем вещества;

П – приход вещества за счет выбросов, ветровой эрозии и других причин;

P – расход веществ в связи с промыванием осадками, перемещением воздушных масс, осаждением частиц.

Результат показывает, является ли круговорот вещества сбалансированным.

Экологические задачи и пути их решения

По сводкам Министерства природных ресурсов, земли лесного фонда Российской Федерации за 2020 г. приросли на 38 тыс. га, и теперь их площадь составляет 1,15 млрд га. Из них площадь, покрытая лесной растительностью, – 766 млн га. При этом общая площадь

Электронный архив УГЛТУ

всех лесов нашей страны достигает 1,19 млрд га, из них площадь, покрытая лесной растительностью, – 795 млн га.

Площадь лесов особо охраняемых природных территорий (ООПТ) также возросла на 2,6 тыс. га. ООПТ относятся к объектам общенационального достояния. Это государственные заповедники и заказники, нацпарки, ботанические сады и дендрарии. Общая площадь лесов на землях ООПТ в нашей стране составляет 28,2 млн га.

По данным Глобальной оценки лесных ресурсов ФАО ООН за 2020 г., Российская Федерация является мировым лидером по площади лесов. На территории нашей страны растет 20 % всех лесов планеты. Земли лесного фонда и лесов, не входящих в лесной фонд, составляют около 70 % территории суши России. Лесистость, т. е. доля покрытых лесом земель от площади страны, достигает 46,4 % [42].

Одна из задач экологии – определить потребности населения Земли в кислороде в год.

Для этого используем следующие данные.

Взрослое дерево производит кислорода 180 л/сут.

Содержание кислорода во вдыхаемом воздухе – 21 об%.

Содержание в выдыхаемом воздухе: O_2 – 0,16 об%, CO_2 – 4 об%.

Объем воздуха при вдохе – 0,5 л.

Количество вдохов – 20 в 1 мин.

Радиус земли – 6400 км.

1/3 – суша, 2/3 – мировой океан

Население земли – 7 млрд чел.

Сколько деревьев обеспечат потребность населения Земли кислородом за год и какую площадь займут эти деревья, если одно дерево занимает в среднем 3 м²? Какую долю займет эта площадь от земель фонда планеты?

Чтобы ответить на эти вопросы, стоит произвести расчеты.

Находим, сколько литров O_2 производит 1 дерево за год:

$$180 \cdot 365 = 65700 \text{ л/год.}$$

Всему населению Земли понадобится за год кислорода: в сутки человеком потребляется воздуха:

$$0,5 \cdot 20 \cdot 60 \cdot 24 = 14400 \text{ л/сут;}$$

Электронный архив УГЛТУ

население Земли за год нуждается в кислороде:

$$7 \cdot 10^9 \cdot 365 \cdot 14400 = 36792 \cdot 10^9 \text{ м}^3;$$

содержание O_2 в воздухе – 21 об%;

найдем процент от общего количества воздуха, потребляемого населением Земли за год:

$$36792 \cdot 10^9 = 100 \% \quad x = 21 \%,$$

$$772632 \cdot 10^8 / 65700 = 1176 \cdot 10^8 \text{ дер.};$$

деревья займут поверхность земли:

$$1176 \cdot 10^8 \cdot 3 = 3528 \cdot 10^8 \text{ м}^2,$$

$$S_{\text{поверх. суши}} = 4 \cdot 3,14 \cdot (6400)^2 / 3 = 17 \cdot 10^7.$$

В результате вычислений получаем $1176 \cdot 10^8$ деревьев, которые понадобятся для обеспечения людей кислородом и $17 \cdot 10^7 \text{ м}^2$ займут деревья от площади поверхности суши.

Площадь лесного фонда можно взять из открытых источников на сайтах Министерства природных ресурсов регионов. Например, данные по Свердловской области представлены в гл. 4. «Сведения о распределении площади лесов Свердловской области» Лесного плана Свердловской области [25].

Лесопарковую зону можно рассчитать, зная требования Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) к этому параметру и численность населенного пункта. Например, рассчитаем размеры лесопарковой зоны г. М, учитывая, что число городского населения составляет 520 тыс. чел. Сделаем вывод о том, насколько г. М отвечает требованиям ВОЗ по размерам лесопарковой зоны. ВОЗ считает, что на 1 горожанина должно приходиться 50 м^2 городских насаждений и 300 м^2 пригородных.

Рекомендуемые размеры лесопарковой зеленой зоны в городах РФ численностью населения:

до 100 тыс. чел – 10 га/тыс. чел. 100–150 тыс. чел. – 15 га/тыс. чел.;
250–500 тыс. чел – 20 га/тыс. чел. 500–1000 тыс. чел. – 25 га/тыс. чел.

Размер лесопарковой зоны города с населением 520 тыс. чел. равен

$$520 \cdot 25 = 13\,000 \text{ га.}$$

По требованиям ВОЗ, на 1 чел. должно приходиться 50 м^2 городских насаждений + $300 \text{ м}^2 = 350 \text{ м}^2 = 0,035 \text{ га}$.

Для данного города должно приходиться

$$520\,000 \cdot 0,035 = 18200 \text{ га.}$$

$$18,2 \text{ га/тыс. чел.} > 13,0 \text{ га/тыс. чел.}$$

В данном примере расчета размер лесопарковой зоны города не соответствует требованиям ВОЗ.

Градиентный анализ растительности как один из методов ординации

Градиентный анализ растительности проводится с целью нахождения основных экологических факторов (градиентов), определяющих общую структуру и направления варьирования растительности изучаемой территории.

Растительный покров – компонент экосистем, элемент ландшафта, имеющий огромное значение в их формировании и динамике. Растительность служит индикатором почвенных разностей – ее изменение чаще всего связано с изменением физических и химических свойств почв. Состояние растительного покрова в значительной мере определяет состав и количество животного населения. В лесных экосистемах основным компонентом является древостой, от таксационных показателей которого во многом зависят показатели других ярусов растительности.

Для анализа поврежденности растительного покрова по градиентам используют ординационные методы.

Ординация в экологии – любое упорядочивание объектов вдоль некоторой оси или осей. Объекты располагаются так, чтобы представить графически весь комплекс взаимосвязей между ними и выявить тем самым основную структуру (или структуры) данных. Результаты ординации дают представление о том, как изменяется видовая структура (состав и обилие видов на площадках) вдоль гипотетических или реально измеренных средовых градиентов.

Различают два типа градиентного анализа – прямой и непрямой. При прямом отображается изменение видового состава от экологического фактора, выбранного для исследований (влажности, температуры, высоты над уровнем моря и т. д.).

При непрямом градиентном анализе описывается изменение видового состава от максимальной изменчивости некоторой абстрактной оси в структуре данных.

Впервые прямой градиентный анализ растительности был предложен Л. Г. Раменским в 1956 г. Для него объем выборки должен быть 100–300 описаний, которые впоследствии группируются по классам выбранного градиента и распределяются в 5–7 групп.

В англоязычной литературе прямой градиентный анализ впервые ввел Уиттекер и применил его в виде простого графического метода анализа связи растительного покрова с высотным градиентом [43].

Методы прямой ординации достаточно просты и эффективны в использовании [44].

При использовании прямого градиентного анализа поврежденности растительного покрова очень важно определить плотность повреждения p_i по заданному градиенту (направлению) в зависимости от расстояния по формуле

$$p_i = \frac{I_i}{\sum_{i=1}^n I_i}, \quad (40)$$

где I_i – индекс жизненного состояния древостоя для расстояния i ;
 n – количество индексов, используемых в анализе.

Для более быстрых и точных результатов вычисления проводят в программе Excel.

По полученным значениям p_i для удобства представления строится график зависимости плотности повреждения растительного покрова от удалённости до источника аэротехногенного загрязнения. Для каждого варианта может быть свой тип диаграммы, наиболее наглядно представляющий анализ данных, например линейчатая диаграмма.

Электронный архив УГЛТУ

А определить значения плотности повреждения по всем остальным градиентам направлений ветров можно, используя формулу

$$p_{гр} = p_i \frac{g_{гр}}{g_i}, \quad (41)$$

где $p_{гр}$ – плотность повреждения в искомом направлении на расстоянии i ;

p_i – плотность повреждения в известном направлении на расстоянии i ;

$g_{гр}$ – повторяемость ветров в искомом направлении, %;

g_i – повторяемость ветров в известном направлении, %.

Например, $g_{гр}$ – искомые направления С, СВ и т. д., g_i – известное направление, по варианту – В.

Наибольшую плотность повреждения смотрят по вычисленным значениям. По результатам, представленным в табл. 23, наибольшая плотность повреждения наблюдается в южном направлении на расстоянии 4 км – 1,848 и в западном направлении на этом же расстоянии – 1,496.

Таблица 23

Плотность повреждения
по градиентам направлений ветров

Расстояние L, км	Градиент							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
4,0	0,528	0,176	0,44	0,704	1,848	1,144	1,496	0,792
7,0	0,324	0,108	0,27	0,432	1,134	0,702	0,918	0,486
13,0	0,252	0,084	0,21	0,336	0,882	0,546	0,714	0,378
21,0	0,096	0,032	0,08	0,128	0,336	0,208	0,272	0,144

На компьютере (или на листе масштабной-координатной бумаги) построить график – это самое наглядное представление размеров поврежденности. Для построения графика в пространственно ориентированной системе можно выбрать тип диаграммы лепестковый.

На график наносят значения плотности повреждения p_i на каждом градиенте в пространственно ориентированной системе, соблюдая масштаб расстояний, и строят изолинии, соединяющие сходные значения плотности повреждения.

Зонировать территорию по степени повреждённости растительного покрова (рис. 12), выделить три зоны повреждения (сильного, умеренного и слабого)* и дать им характеристику – логическое завершение данного анализа.

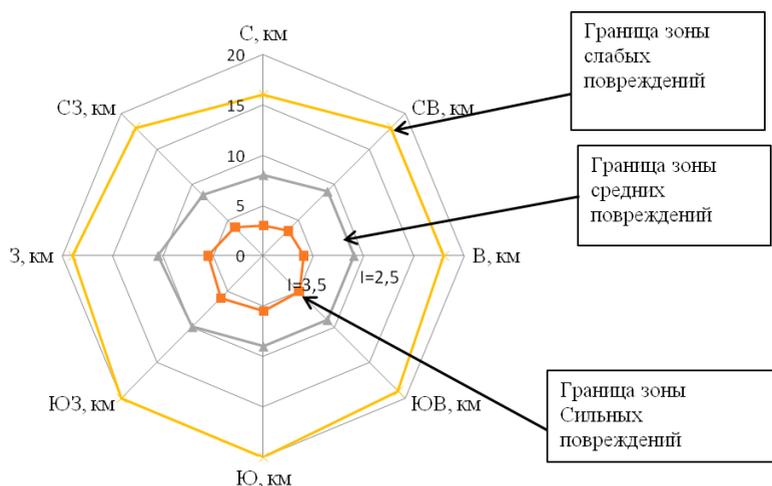


Рис. 12. Пример определения размеров площадей зон повреждения

Таким образом, при зонировании по степени поврежденности растительного покрова выделяют три зоны поврежденности: сильной степени, умеренной и слабой. С учетом пороговых значений индекса жизненного состояния, по нашим данным, плотность повреждений имеется только умеренная на расстоянии 4 км в направлениях Ю (1,848) и З (1,496). Остальные значения относятся к показателю слабого повреждения.

* Пороговые значения индекса жизненного состояния (I) для зон:
 сильного повреждения → $I > 2,5$;
 умеренного повреждения → $I = 1,5...2,5$;
 слабого повреждения → $I < 1,5$.

На рис. 13 представлен график, на котором нанесены значения плотности повреждения p_i на каждом градиенте в пространственно ориентированной системе.

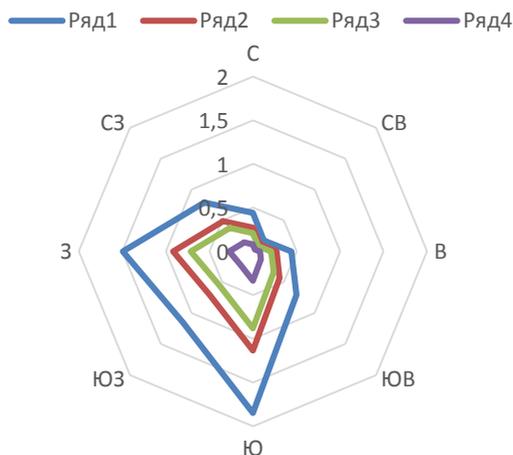


Рис. 13. Плотность повреждения по градиентам в зависимости от расстояния

Оценка емкости лесопарков

Определение допустимых нагрузок на лесные комплексы проходит согласно ОСТ 56–84–85 [1].

В соответствии с этим ОСТ используем следующие термины и определения.

Рекреационная нагрузка – показатель воздействия на биогеоценоз факторов, обусловленных видом *лесной рекреации*, определяемый через следующие основные величины: площадь объекта лесной рекреации, количество посетителей и время их пребывания на объекте (по ОСТ 56–84–85, п. 3.3) [1].

Посещаемость – это количество отдыхающих на определенной площади за календарный срок (час, день, год), единица измерения – чел/га.

Единовременная максимальная посещаемость – это количество отдыхающих на определенной части объекта в периоды и часы с максимальным посещением (чел./га). Эту единицу используют для сопоставления допустимой емкости объекта и необходимого объема работ по благоустройству дорожно-тропиночной сети, при строительстве плоскостных сооружений, площадок отдыха и спорта, количества МАФ (скамейки, навесы и др.) [45].

Выявленные закономерности по посещаемости имеют большое практическое значение, так как часто связаны с определенным моментом в жизни леса: началом вегетации, цветения, плодоношения и т. д. В этот период многие виды животных и растений наиболее уязвимы к антропогенным воздействиям и необходимо проведение оперативных работ по сохранению лесов.

Учеты посещаемости лесопарков в хвойно-широколиственной подзоне выявили различия в единовременной посещаемости летом и зимой, суммарное время пребывания отдыхающих на единице площади и плотность их размещения в зависимости от расстояния до границ леса независимо от источника возникновения рекреации: жилой застройки, автостоянки, ж/д станции и т. д.

Посещаемость в выходные и будние дни зависит от времени суток, погодных условий и сезона года. В будние дни посещаемость в 2–3 раза ниже, чем в выходные дни.

В течение дня выявлены 2 пика посещаемости:

1 – более четко выраженный, характерный для всех сезонов года и любых погодных условий, независим от дня недели, приходится на первую половину дня – с 11 до 13 часов;

2 – менее выраженный, характерный в основном для летнего периода – с 16 до 18 часов.

Наиболее стабильна посещаемость в выходные дни с 11 до 13 часов.

Суммарное ее значение за это время составляет в среднем 29,4 % таковой за день, что позволяет рассчитать общую посещаемость в течение дня, имея данные учета за этот период. Для этого достаточно провести двухчасовой учет с 11 до 13 часов и умножить значение на коэффициент 3,4. Средняя посещаемость зимой при кратковременном отдыхе составляет 0,7 летней, а в ранневесенний и позднесенний периоды снижается и составляет 0,6 летней.

Электронный архив УГЛТУ

На теплый период года (4,5 мес.) приходится 50 % общегодовой посещаемости, максимальная же приходится на *июль и сентябрь*. Весной, летом и осенью рекреация в лесопарках при кратковременном отдыхе, как и при целевом посещении лесов других категорий защитности, сопровождается сбором цветов, ягод, грибов, орехов (90–97 % всех посещений в отдельные годы). Грибники, обычно рассредоточиваются по территории всего лесного массива. На периферийной части леса преобладающий вид отдыха – прогулки.

Зонирование лесопарка

Лесопарк разделен на следующие зоны: *центральную, буферную, периферийную* (периферийная зона – до 1,5–2 км, буферная зона – 2–4 км, центральная часть – более 4 км вглубь лесопарка).

На основе этого, а также многолетних наблюдений за соотношением ясных и пасмурных дней, выходных и будней по сезонам года, исходя из значений двухчасовых учетов в местах с максимальной посещаемостью (до 1,5 км от периферии лесного массива), *можно определить ее суммарную величину на 1 га лесопарка в целом или его различных зон.*

Показатели средней суммарной посещаемости вычисляют по формулам

$$E = 113a, \quad (42)$$

$$E_1 = 294a, \quad (43)$$

$$E_2 = 29a, \quad (44)$$

$$E_3 = 15a, \quad (45)$$

где E – суммарная посещаемость объекта (лесопаркового массива, используемого для кратковременного отдыха);

E_1 – суммарная посещаемость периферийной части до 2 км;

E_2 – суммарная посещаемость буферной части массива вглубь от 2 до 4 км;

E_3 – суммарная посещаемость центральной части массива более 4 км;

a – средняя посещаемость изолированного лесного массива за 2 ч с 11 до 13 часов в выходной ясный день в июле или сентябре на периферии массива.

По данным формулам сравнительно просто рассчитать общую емкость лесного массива и его отдельных частей, имеющих различную рекреационную нагрузку.

Анализ кратковременного отдыха позволил установить виды отдыха и их соотношение в зависимости от удаленности от периферии лесного массива (табл. 24).

Таблица 24

Анализ кратковременного отдыха или соотношение различных видов отдыха на различных участках, в %

Виды отдыха	Расстояние от периферии вглубь массива, %			В среднем по массиву, %
	до 2 км	2–4 км	от 4 км	
Пешие прогулки	78	42	26	45
Отдых в благоустроенных местах	11	3	–	4
Прогулки на велосипеде	3	4	10	6
Занятия спортом	1	2	3	2
Пикники	3	6	4	4
Сбор ягод, грибов, цветов, орехов и т. п.	4	43	57	39

Согласно данным табл. 24, общая численность отдыхающих в благоустроенных местах (на дорогах, тропах с использованием МАФ) на периферии лесного массива составляет 89 %. Следовательно, *благоустройство периферии лесных массивов – первоочередная задача*, позволяющая сократить время нахождения отдыхающих на участках с живым напочвенным покровом и тем самым уменьшить отрицательные последствия рекреационного воздействия на лес.

В целях охраны насаждений по защитно-запретной хозяйственной части, природоохранной, эксплуатационной, а также по культурно-оздоровительной (городские лесопарки, лесопарковые части, зеленые зоны) при проектировании объектов кратковременного отдыха проведено его нормирование (допустимое количество посетителей на единицу площади, для удобства расчетов переведенное в норму площади на одного человека, га.

Допустимые нагрузки, на основании которых определяется емкость рекреационных участков, рассчитывают чаще всего по степени устойчивости нижних ярусов растительности против вытаптывания и повреждения.

Наиболее чувствительными к вытаптыванию являются группы *малоустойчивых видов* растений, это лесные и лесолуговые виды: *папоротник-орляк, майник двулистный, купена аптечная, костяника, чины весенняя, луговая, герань лесная, фиалки, дудник лесной, володушка золотистая и др.*

Относительно устойчивые виды: *лесные злаки и осоки, луговые виды*. Наиболее устойчивые (сорные виды): *горец птичий, клевер ползучий, одуванчик лекарственный, подорожник и др.*

Также рассматриваются вопросы *уплотнения почвы*, т. е. увеличения удельного веса почвы (плотномером). От двух и более раз увеличивается плотность почвы.

Рекреационные потребности населения различны, следовательно, и различны нормы площадей. Поэтому рассчитывать допустимую емкость следует для различных категорий площадей (например, зона палаточного городка и прилегающая к ней территория). Кроме того, существует определенная закономерность посещения разных участков леса и ее нужно учитывать при расчетах.

Общая допустимая рекреационная нагрузка на территории парка – это допустимая емкость парка, которая зависит от его площади и площади его отдельных зон, устойчивости природы к рекреационному воздействию, потребности в местах отдыха, транспортной доступности и других показателей.

Нормы площади на одного условного посетителя зависят от степени антропогенной нарушенности лесов (табл. 25), которая, в свою очередь, связана с типами леса, с их расположением относительно городских агломераций, что нашло свое отражение при выделении хозяйственных частей.

Таким образом, зависимость между группами лесов, категориями защитности лесов I группы, хозяйственными частями, рекреационной пригодностью лесов, типами рекреационных участков и группами типов леса и соответственно типами вырубков позволили разработать и использовать при проектировании взаимоувязанную нормативную основу рекреационного лесопользования.

Нормативы единовременной посещаемости
культурно-оздоровительной хозяйственной части
различных лесорастительных подзон

Группа типов леса	Нормативы по подзонам, чел./га			
	Северная тайга	Средняя тайга	Южная тайга	Хвойно-широколиственные леса
<i>Брусничная:</i> без благоустройства лесопарк	1,2 4,8	1,4 6,0	1,6 8,0	2,0 12,0
<i>Черничная:</i> без благоустройства лесопарк	1,4 6,0	1,6 8,0	2,0 12,0	2,4 12,0
<i>Кисличная:</i> без благоустройства лесопарк	1,6 8,0	2,0 12,0	2,4 12,0	3,4 24,0
<i>Сложная:</i> без благоустройства лесопарк	– –	– –	– –	4,8 24,0

Рекреационная нагрузка

Все многообразие видов отдыха, распространенных на природных территориях, объединяют в следующие основные группы: массовый повседневный отдых, туризм, экскурсии.

При одинаковых природных условиях и количестве отдыхающих совокупное влияние факторов рекреационного воздействия на природные комплексы зависит преимущественно от вида отдыха. При преобладании определенного вида отдыха в одинаковых природных условиях степень проявления рекреационного воздействия определяется концентрацией и временем пребывания отдыхающих на единице площади. С учетом этого в качестве меры совокупного влияния факторов рекреационного воздействия на природные комплексы принята рекреационная нагрузка как интегрированный показатель рекреационного воздействия, определяемый количеством отдыхающих на единице площади, временем их пребывания на объекте рекреации и видом отдыха.

Для измерения рекреационной нагрузки допустимо применение двух единиц: P – единовременное количество отдыхающих вида отдыха на единице площади в среднем за учетный период, чел./га; i – суммарное время вида отдыха на единице площади за учетный период, ч/га.

Недопустимо измерять рекреационные нагрузки суммарным количеством отдыхающих на единице площади за учетный период (чел./га в час, день, сезон, год), поскольку эта единица учитывает количество отдыхающих, пребывающих на единице площади как в течение всего, так и части учетного периода, что существенно искажает реальную интенсивность рекреационного использования природных ресурсов.

Продолжительность учетного периода при измерении рекреационных нагрузок следует принимать равной одному году ($T = 1 \text{ год} = 8760 \text{ ч}$), так как продолжительность отдыха в разных природных и экономических условиях существенно различается в связи с длиной дня, числом дней с комфортной погодой, структурой использования свободного времени, что приводит к определению несопоставимых величин рекреационных нагрузок при учете отдыхающих в несопоставимые по времени сроки (день, сезон и т. п.). Годовые учеты полностью охватывают сезонные и суточные изменения посещаемости природных объектов отдыхающими и позволяют определять корректные и сопоставимые величины рекреационных нагрузок. Также в течение года осуществляются циклы нарушения и восстановления основных компонентов природных комплексов, поэтому годовые учеты отдыхающих позволяют объективно оценивать устойчивость комплексов к рекреационному воздействию. И, наконец, при наличии годовых учетов легко определить рекреационную нагрузку для учетного периода любой продолжительности.

Объектом моментных наблюдений могут быть однородные участки природных комплексов с преобладанием определенного вида отдыха, размер которых должен обеспечивать возможность единовременного учета отдыхающих.

В связи с тем, что численность отдыхающих на одних и тех же участках варьирует в зависимости от времени суток, сезона, условий погоды, рабочих и нерабочих дней, на каждом учетном

Электронный архив УГЛТУ

участке определяют численность отдыхающих в момент наблюдений.

Определить допустимую рекреационную нагрузку на лес можно, используя формулы (46)–(49):

$$i_{\Gamma} = P_{\Gamma} T, \quad (46)$$

где i_{Γ} – суммарная годовая рекреационная нагрузка, ч/га;

P_{Γ} – среднегодовая единовременная рекреационная нагрузка, чел./га;

T – продолжительность учетного периода при определении рекреационной нагрузки (8760 ч).

$$P_{\text{сд}} = 8760 P_{\text{гд}} / T_{\text{с}}, \quad (47)$$

где $P_{\text{сд}}$ – среднесезонная допустимая единовременная рекреационная нагрузка, чел./га;

$P_{\text{гд}}$ – среднегодовая допустимая единовременная рекреационная нагрузка, чел./га;

$T_{\text{с}}$ – продолжительность сезона отдыха, ч.

$$P_{\text{гд}} = \sum_1^n P_n f_n / 365, \quad (48)$$

где $P_{\text{гд}}$ – среднегодовая допустимая единовременная рекреационная нагрузка, чел./га;

$P_1 \dots P_n$ – средние за учетный период единовременные нагрузки в разные сезоны года в рабочие и нерабочие дни с комфортной и дискомфортной погодой в различные сезоны года, чел./га;

$f_1 \dots f_n$ – среднее многолетнее количество нерабочих и рабочих дней с комфортной и дискомфортной погодой в разные сезоны года, дни.

Последнее свойство дает возможность снижать трудоемкость определения рекреационных нагрузок.

Хронометражный способ определения рекреационной нагрузки отличается от моментного тем, что суточные моментные

учеты заменяют учетами суммарного времени, проведенного отдыхающими на участке за сутки. Суммарную годовую нагрузку вычисляют по формуле

$$i_{гд} = T_M \Pi_d \cdot 365, \quad (49)$$

где $i_{гд}$ – суммарная годовая допустимая рекреационная нагрузка, ч/га в год;

T_M – время, затраченное на моделирование рекреационной нагрузки, вызвавшей появление пороговых значений коэффициента поверхностного стока, ч/м²;

Π_d – площадь насаждения, выделяемого для рекреационного пользования, м².

Для снижения трудоемкости хронометражных учетов используют коэффициенты соотношения нагрузок, определяемые либо моментным, либо хронометражным способами.

При необходимости проведения оценки допустимой рекреационной нагрузки моделируют различные категории повреждения поверхности почвенного покрова. Их различают трех видов и имитирование этих категорий повреждения в обследуемых насаждениях проводят путем вытаптывания на микроплощадках размером 1×1 м, закладываемых не менее чем в 3-кратной повторности, на участках с ненарушенной поверхностью почвенного покрова.

Рекреационные нагрузки (вытаптывание) моделируют на микроплощадках путем передвижения со скоростью 3,0 км/ч (примерно одно наступание в секунду) человека среднего веса и роста. Наступания на почву делают равномерно по всей площади микроплощадки, а количество их устанавливают эмпирически – до достижения имитируемой категории поверхности почвенного покрова.

Более подробно этот процесс описан во «Временной методике определения рекреационных нагрузок на природные комплексы при организации туризма, экскурсий, массового повседневного отдыха и временные нормы этих нагрузок» [46].

Оценка воздействия лесохозяйственной деятельности на окружающую среду методом матрицы Леопольда

Для оценки воздействия на окружающую среду различных видов деятельности и определения взаимодействия между ними и ее компонентами (характеристиками) могут использоваться матрицы. Одной из наиболее распространенных является матрица Леопольда.

Матрица Леопольда – это простой качественный метод, который предлагает целостный подход к определению возможных воздействий на окружающую среду.

Метод разработан и впервые применен в 1971 г. Луной Леопольд и ее сотрудниками для Геологической службы США. Он используется для выявления и присвоения характера потенциального экологического воздействия (положительного или отрицательного) предлагаемых проектов на окружающую среду. Это стало ответом на Закон о национальной экологической политике 1969 г. [47].

В первоначальном виде матрица содержит 88 компонентов и характеристик окружающей среды (см. строки таблицы) и 100 видов деятельности – операций (см. столбцы таблицы). Соответственно, потенциальные воздействия или взаимодействия, подлежащие оценке, составляют 8 800 ед. Количество строк и столбцов в зависимости от проекта, целей и масштаба оценки может изменяться (пример матрицы Леопольда для заполнения см. в табл. 26) [48].

В ячейках отмечают:

- тип воздействия (прямое, косвенное, совокупное);
- масштаб воздействия (пространственный и временной) (табл. 26, 27);
- степень воздействия (незначительное, слабое, умеренное, сильное) (табл. 28);
- меры по смягчению последствий и др.

Для оценки воздействий в ячейках можно использовать не только баллы, но и значки, например: «?» – требует дополнительной информации, «!!!» – ключевое воздействие, а также использовать заливку ячеек разным цветом и т. д.

Таблица 26

Оценка локального воздействия заготовки древесины

Электронный архив УГЛТУ

на компоненты окружающей среды

Компонент окружающей среды	Виды работ				
	Подготовительные работы	Валка деревьев	Трелевка	Вывозка древесины	Очистка мест рубок
Атмосферный воздух					
Водные объекты					
Почва					
Растительность					
Животный мир					

Таблица 27

Шкала оценки временного воздействия

Градация	Временной масштаб воздействия	Обозначение
Кратковременное воздействие	До 3 мес.	К
Воздействие средней продолжительности	От 3 мес. до 1 года	С
Продолжительное воздействие	От 1 года до 3 лет	П
Многолетнее (постоянное) воздействие	От 3 до 5 лет и более	М

Таблица 28

Шкала оценки степени воздействия

Градация	Описание степени воздействия	Балл
Нет воздействия	Не оказывает воздействия	0
Незначительное воздействие	Изменения в природной среде не превышают существующие пределы природной изменчивости	1
Слабое воздействие	Изменения в природной среде превышают пределы природной изменчивости. Природная среда полностью самовосстанавливается	2

Окончание табл. 28

Градация	Описание степени воздействия	Балл
----------	------------------------------	------

Умеренное воздействие	Изменения в природной среде превышают пределы природной изменчивости, приводят к нарушению отдельных компонентов природной среды. Природная среда сохраняет способность к самовосстановлению	3
Сильное воздействие	Изменения в природной среде приводят к значительным нарушениям компонентов природной среды и/или экосистем. Отдельные компоненты природной среды теряют способность к самовосстановлению	4

В справочных таблицах значения величины воздействия варьируются от +1 до +10, если воздействие является положительным. Когда влияние оценивается как отрицательные, значения присваиваются от -1 до -10.

Все общие значения факторов окружающей среды действий прибавляются. Если полученное значение является отрицательным, считается, что воздействие проекта в глобальном масштабе негативно влияет на окружающую среду.

Если получены положительные значения, проект не оказывает негативного воздействия на окружающую среду. На самом деле можно сделать вывод, что проект может благоприятно увеличивать количество экологических факторов.

Результаты, полученные при применении матрицы Леопольда, можно анализировать с помощью базовой статистики или графически.

При статистической обработке рассчитывается среднее значение и стандартное отклонение для сумм строк и столбцов (агрегация воздействий). Считается, что любое значение ячейки, превышающее стандартное отклонение и среднее значение, влияет на окружающую среду.

При графическом представлении получаем облако точек. В зависимости от того, где сосредоточены точки, наглядно представлено, будет ли влияние проекта отрицательным или положительным.

К сожалению, есть и важный недостаток у данного метода. Он заключается в субъективности в определении воздействий, а также в определении величины и важности, так как исследователь выполняет задания в соответствии со своими критериями.

Рассчитать общую силу воздействия следует по формуле

$$I = \frac{N \sum_{i=1}^n \omega_i}{n}, \quad (50)$$

где I – общая сила воздействия;

ω_i – интенсивность воздействия;

N – общее количество ячеек в матрице;

n – количество значимых ячеек в матрице ($\omega \neq 0$).

Для примера рассмотрим один из вариантов оценки.

Тип леса – сосняк липовый. Породный состав: 6СЗБ1Е. Площадь – 50 га. Форма рубки – сплошная. Технология заготовки – сортиментная с использованием многооперационной техники (харвестер + форвардер). Очистка мест рубок – укладка порубочных остатков на волокни.

Готовая таблица представляет собой заполненные ячейки буквой, цифрой и при необходимости уточнения знаком (табл. 29).

Таблица 29

Оценка локального воздействия заготовки древесины
на компоненты окружающей среды

Компонент окружающей среды	Виды работ				
	Подготовительные работы	Валка деревьев	Трелевка	Вывозка древесины	Очистка мест рубок
Атмосферный воздух	1к	2с	3с	2с	1к
Водные объекты	1к	2с	2с?	3с	2с
Почва	1к	2с	4п	3с	2с!
Растительность	2с	3п!	3с!	3п	3с
Животный мир	2к	2с	2с	2с?	2к

Электронный архив УГЛТУ

В предложенном варианте $n = 25 - 5 = 20$, где 25 – общее количество ячеек, 5 – количество ячеек, где имеются знаки «!»и «?».

Рассчитываем общую силу воздействия по формуле (50):

$$I = \frac{N \sum_{i=1}^n \omega_i}{n} = (25 \cdot 55) / 20 = 68,75.$$

На основании расчетов можно сделать следующие выводы:

- 1) валка деревьев и трелевка древесины оказывают существенное влияние на почву и растительность;
- 2) вывозка древесины имеет негативное влияние на почву и растительность.

Соответственно, стоит предложить следующее по предотвращению негативного воздействия заготовки древесины: использование при вырубке более экологичных мер (например, вместо бензопилы внедрить электропилы), также соблюдение правил заготовки древесины, выделение ключевых биотопов, учет сезона заготовки и типов почв при организации заготовки древесины. Все эти меры позволят минимизировать нарушение экосистемы леса.

В результате значимые объекты в матрице Леопольда становятся индикаторами, которые описывают эффекты влияния каждого субъекта на каждый индикатор. Выбор наиболее чувствительных биоиндикаторов позволяет на предварительном этапе выделить жизненно важные для биосистемы изменения.

Подобные матрицы являются удобной формой, упорядочивающей информацию по качественным связям причина – следствие. Матрицы такого типа позволяют выявить значимые воздействия, которые далее могут детально изучаться и уточняться. Они являются общепринятым методом экспертной оценки для обработки технических проблем с выделением основных значимых элементов.

ОЦЕНКА БИОПРОЦЕССОВ В ЭКОСИСТЕМЕ

Оценка биопроцессов окружающей среды состоит в определении относительной значимости ее отдельных компонентов. И каждый из компонентов среды является жизненно важным.

Биопродуктивность лесов

В 1960-х годах в результате реализации Международной биологической программы был осуществлен настоящий прорыв в направлении биопродуктивности – по многим лесорастительным биомам впервые получена ранее отсутствовавшая информация. Понятие биологическая продуктивность включает две взаимосвязанные составляющие: фитомасса лесного насаждения, выраженная в тоннах абсолютно сухого вещества на 1 га, и первичная продукция – количество фитомассы, произведенной насаждением на единице площади в единицу времени.

Биологическая продуктивность – основная характеристика лесов, определяющая ход процессов в лесных экосистемах и используемая в целях углерододепонирующей емкости лесов, экологического мониторинга, устойчивого ведения лесного хозяйства, моделирования продуктивности лесов с учетом глобальных изменений, изучения структуры и биоразнообразия лесного покрова.

Регулярные биоиндикационные сети (РБС) являются наиболее простым и понятным способом организации отбора модельных деревьев с некоторой заданной территории по строгим и однозначным правилам. Выполнение таких правил позволяет считать осуществленную по ним выборку случайной, и в том случае, если деревьев отобрано достаточное количество, полученные выводы о состоянии лесов на данной территории будут считаться статистически обоснованными.

Первый вопрос, который возникает при организации наземного мониторинга лесов посредством РБС, заключается в обосновании и выборе формы ячейки такой сети. В Европе в качестве основной ячейки РБС был выбран квадрат. *Основными параметрами биоиндикационной сети являются следующие величины:* общее число модельных деревьев N , располагающихся по 24 на каждом постоянном пункте учета (ППУ), число n ППУ, располагающихся в узлах сети, и шаг сети h , от которого зависит ее густота. Все эти величины связаны между собой.

Для оценки необходимого числа модельных деревьев применяется неравенство Чебышева, которое справедливо для любых распределений деревьев по классам повреждения:

$$P(|x - x^*| > a) < s^2 / a^2 N, \quad (51)$$

где x – средний класс повреждения деревьев, определенный по N моделям в результате мониторинга;

x^* – истинный средний класс повреждения деревьев на заданной территории;

a – допустимая погрешность определения среднего класса повреждения;

s^2 – дисперсия распределения деревьев по классам повреждения;

P – вероятность уклонения истинного значения среднего балла повреждения деревьев от рассчитанного по N моделям более чем на a .

Из неравенства Чебышева получаем следующую оценку необходимого числа модельных деревьев в системе мониторинга:

$$N = s^2 / a^2 P. \quad (52)$$

Для расчета по этой формуле нужно задать значения величин, стоящих в его правой части. Допустимую погрешность определения среднего класса повреждения, a целесообразно принять равной 0,1, а вероятность ошибки $P = 0,05$. Оценка дисперсии s^2 целесообразно взять соответствующей равномерному распределению деревьев по классам повреждения. Равномерное распределение имеет максимальную дисперсию s^2 от 1,25 при 4-балльной шкале состояний до 2,0 при 5-балльной шкале. В этом случае необходимое число модельных деревьев $N = 2500$ –4000 шт.

Учитывая тот факт, что оценка необходимого числа модельных деревьев по неравенству Чебышева для здоровых (эталонных) насаждений дает величину около 1500 шт., в качестве оценки при проектировании биоиндикационных сетей целесообразно взять величину необходимого числа модельных деревьев порядка 2500 шт. по каждой породе.

Далее, при обосновании параметров биоиндикационной сети следует: зная необходимое число модельных деревьев N и соответствующее ему число ППУ $n = N/24$, определим шаг сети (длину стороны квадрата как ее элементарной ячейки). Число вершин квадратов, покрывающих территорию заданной площади S , и длина стороны элементарного квадрата связаны следующей зависимостью:

Электронный архив УГЛТУ

$$n = 4S/h^2 - k, \quad (53)$$

где $4S/h^2$ – число вершин элементарных квадратов на площади S ,

k – число общих вершин у покрывающих данную площадь квадратов (эта величина зависит от формы территории, на которой создается регулярная биоиндикационная сеть для лесного мониторинга). Отсюда требуемая для статистической достоверности результатов мониторинга величина шага РБС равна:

$$h = 2 [S/(n + k)]^{1/2}. \quad (54)$$

Минимальное число пробных площадей, минимальный шаг сети и площадь лесов, подлежащих мониторингу, могут быть оценены с помощью следующих зависимостей:

$$n_{\min} = \left[(S^{1/2}) / h + 1 \right]^2, \quad (55)$$

$$n_{\max} = \left[(S^{1/2}) / h_{\min}^{1/2} - 1 \right]. \quad (56)$$

Эти зависимости не учитывают форму территории, подлежащей мониторингу, которая в этом случае представляется в виде квадрата площадью S . Они тем правильнее отражают реальную ситуацию, чем ближе по форме контролируемая площадь к квадрату, и в некоторых случаях могут давать достаточно хорошее приближение к реальности. Такие зависимости могут быть использованы для приближенных и предварительных оценок параметров РБС.

Таким образом, все параметры РБС должны быть обоснованы с целью, с одной стороны, получения достоверной информации о состоянии лесов на изучаемой территории, а с другой – во избежание ненужных затрат на создание избыточных пунктов постоянного учета, не дающих дополнительной информации.

Для оценки роли лесов в глобальных биосферных циклах первоочередное значение имеют экспериментальные данные об их биологической продуктивности.

Доля древостоя в биопродуктивности лесного сообщества обычно достигает 90–95 % [49].

Мортмасса (от лат. *mors (mortis)* – смерть и масса) – мертвый покров, мертвая часть органического вещества биогеоценоза, произведенная биоценозом (отмершее вещество, выраженное в единицах массы и отнесенное к единице площади или объема). В сообществах находится в виде опада (сухостой, старика, омертвевшие органы растений), опада (упавшие на поверхность почвы части растений, трупы животных), торфа, подстилки и детрита (в водных экосистемах). Вместе с биомассой и гумусом составляет органическое вещество биоценоза.

В большей степени состоит из органического вещества растительного происхождения. Количество мортмассы зависит от количества ежегодно отмирающего вещества и интенсивности его разложения. Количество отмирающего вещества связано с внешними и внутренними процессами. Интенсивность разложения зависит от соотношения термических условий и условий разложения, химического состава отмирающего вещества, микроорганизмов-деструкторов и т. п. Мортмасса испытывает существенную динамику в течение года [50, 51].

База данных – совокупность данных, организованных в соответствии с концептуальной структурой, описывающей характеристики этих данных и взаимоотношения между ними, которая поддерживает одну или более областей применения [52].

Применение баз данных для изучения продуктивности лесов может происходить через интернет-ресурсы, например сайт <http://www.biodat.ru>, или с использованием опубликованных материалов, например «Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: метод, база данных и ее приложения», составленная В. А. Усольцевым [53].

А используя атлас монографии Э. Г. Коломыца [54], можно вычислить потенциал продуктивности лесов по формуле А. М. Рябчикова [55] и установить потенциальную продуктивность лесных фитоценозов за различные периоды времени:

$$P = R d / 36B, \quad (57)$$

где P – потенциальная продуктивность, $\text{м}^3/\text{га}$;

R – годовое количество осадков, мм;

d – количество декад в вегетационный период;

B – радиационный баланс за год, $\text{кДж}/\text{см}^2$.

Кроме потенциальной продуктивности лесных фитоценозов, можно провести вычисление биологической продуктивности экосистем по биогидротермическому потенциалу.

При расчетах биологической продуктивности экосистем по биогидротермическому потенциалу учитываются гидротермические особенности региона (приход солнечной радиации и обеспеченность ценозов продуктивной влагой в течение вегетационного периода). Например, в Северо-Западном регионе величина биогидротермического потенциала составляет от 2,5 до 3,5, в Прибалтийском – 4,1–5,2, Центральном – 2,9–4,5. В южных регионах данный показатель имеет ещё большие значения.

Чтобы вычислить биологическую продуктивность экосистем по биогидротермическому потенциалу, необходимо определить, какая продуктивность может сформироваться за счет влагообеспеченности и температурного режима определенного региона. Математическое выражение взаимосвязи этих абиотических факторов объединено в формуле А. М. Рябчикова:

$$K_p = W T / 36 R, \quad (58)$$

где K_p – биогидротермический потенциал продуктивности (баллы);

W – продуктивная влага в почве ($W = P - S$, мм/га или м³/га, где P – среднегодовое количество осадков, S – сток, мм/га или м³/га);

T – период вегетации растений в декадах;

36 – количество декад в году;

R – радиационный баланс за период вегетации растений, ккал/см².

Вегетационный период различается в днях: сухая степь – 80–90, ячменя – 100–110; овса – 120–130; картофеля в зависимости от срока созревания – от 80 до 145; кукурузы на зеленую массу – 110–120; многолетние травы в естественной экосистеме – 150–160; многолетние травы, сеянные на зеленую массу, – 140–150; лес – 150–160. Активный прирост фитомассы происходит при температуре атмосферного воздуха +10 °С или более. В лесной экосистеме содержание продуктивной влаги в почве выше, чем под культурами травянистых экосистем в два раза.

Каждый фитоценоз представляет собой взаимосвязанную систему, которая находится в состоянии постоянной динамики. Изменчивость фитоценоза во времени – одна из наиболее характерных его особенностей.

Значения вегетационного периода должны быть приняты во внимание в целях лучшего использования гидротермического потенциала фитоценозами в том или ином регионе.

Продуктивность растительности изменяется с юга на север. Конечно, и климат имеет важное значение в динамике роста лесных фитоценозов [56].

Квалиметрия как количественная оценка экосистем

В исследованиях биологической продуктивности лесов и их реакции на изменение климата необходимо знание закономерностей динамики их не только количественных, но и качественных характеристик, варьирующих с возрастом, экологическими и другими факторами. Их исследование относится к области квалиметрии – науки о количественной оценке качества [57].

Термин «квалиметрия» (от лат. «*квали*» – какой, какого качества и др.-гр. «*метрео*» – мерить, измерять) впервые был использован для обозначения научной дисциплины, изучающей методологию и проблематику количественного оценивания качества объектов любой природы, главным образом продукции [58].

Квалиметрия – инструмент повышения эффективности любой работы [59].

Квалиметрия как научная дисциплина, охватывающая методологические и практические вопросы оценки качества, начала разрабатываться в конце 60-х годов XX в. в связи с проблемой совершенствования промышленной продукции. Тем не менее принципы и методические подходы, разработанные в рамках этой дисциплины, вышли за их первоначальные пределы и применяются, например, в практике гигиенической оценки атмосферного загрязнения. Поэтому их тоже целесообразно использовать в экологическом мониторинге и картографировании, учитывая при этом специфику предмета.

Рассмотрим последовательно принципы квалиметрии, предложенные Г. Г. Азгальдовым и Э. П. Райхманом.

1. Качество – совокупность свойств, которые представляют интерес для потребителя данного продукта. Для целей экологического мониторинга – это качество окружающей среды, оценивающее совокупность свойств окружающей среды, являющихся важными для субъекта оценки (биологического вида).

Состояние окружающей среды в целом как свойство определенного (достаточно высокого) иерархического уровня является составной частью оценки земель при кадастровом картографировании. Существующие иерархические уровни носят условный характер и предназначаются для удобства процедуры оценки и выдачи результатов по компонентам среды в связи с особенностями организации природоохранных служб. Этим *оценка состояния окружающей среды* отличается от оценки качества продукции, где возможен раздельный учет и анализ, например эстетических свойств и показателей надежности.

2. Отдельные свойства, представляющие структуру качества, путем измерений или вычислений могут получить числовые характеристики P_{ij} – абсолютные показатели. Конкретные свойства или само качество в целом завершается вычислением относительных показателей.

Данный принцип квалиметрии, будучи объективно существующим, широко применяется в практике картографирования как стандартный прием нормирования на ПДК и иные близкие по смыслу нормативы.

3. Показатели качества рассматриваются с точки зрения потребностей большей части членов общества. Этот принцип подразумевает, что требования к качеству носят субъективный характер, в связи с чем следует ориентироваться на усредненные запросы. Практика природоохранной работы фактически соответствует этому принципу, поскольку ПДК и тому подобные нормативы безотносительны к природным условиям и к возрастным, социальным и иным особенностям. Использование данного принципа в природоохранной работе не позволяет отказаться от него и в экологическом мониторинге.

4. Разные шкалы абсолютных показателей должны быть трансформируемы в общую шкалу. Нормирование по ПДК и другим подобным нормативам с последующей интеграцией в покомпонентные показатели обеспечивает реализацию и этого принципа.

5. Любое свойство качества определяется двумя числовыми параметрами: относительным показателем и весомостью. Относительными показателями являются концентрации поллютантов, уровни физических полей, нормированные на ПДК, ПДУ. Показатели весомости учитываются на всех иерархических уровнях. Их роль выполняют период осреднения, класс опасности поллютанта, относительная значимость компонента окружающей среды.

В квалиметрии известны следующие основные методы определения весомости отдельных свойств качества: стоимостный, экспертный, вероятностный и смешанный (комбинации трех предыдущих).

Лесная квалиметрия как количественный метод оценки качества древесного сырья способствует его рационально-целевому использованию. Задачей прикладной квалиметрии является разработка конкретных методик и математических моделей для оценки качества конкретных объектов разного вида и назначения.

Для количественной оценки качества в квалиметрии рекомендуются дифференциальный, комплексный и смешанный методы. Наиболее часто применяют комплексный метод, основанный на комплексных показателях качества.

Квалиметрия древесины различается между видами, в пределах вида, древостоя, а также в пределах ствола отдельного дерева

Квалиметрия лесной фитомассы входит составной частью в дисциплину экологического (биологического) древесиноведения, в котором можно выделить два направления. Одно из них – техническое, включающее исследования анатомических и физико-механических свойств древесины как технологического сырья [55].

Другое направление – ресурсоведческое, располагающее сведениями в основном о плотности и влажности (содержании сухого вещества) фракций фитомассы, необходимыми в расчетах биологической продуктивности лесных фитоценозов. В последние годы в этом же ряду выделяют биоэкономическое направление [55].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Слово «рациональный» означает «относящийся к разуму, разумно обоснованный, целесообразный».

Под рациональным использованием возобновляемых природных ресурсов предложено понимать такое их использование, которое приводит к наращиванию устойчивости естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов. Рациональное использование невозобновляемых природных ресурсов – это максимально полное их использование, экономное расходование с наименьшими потерями при существующем уровне развития техники и технологии и при таком объеме негативного воздействия, который окружающая среда способна самостоятельно переработать.

Отсутствие в российских законах определения понятия «рациональное использование природных ресурсов» привело к его употреблению в различных интерпретациях. В законодательстве РФ исследуемый термин применяется в значении неистощительного использования природных ресурсов; в смысле использования природных ресурсов, не затрудняющих их эксплуатацию; совместно с другими терминами без их четкого разграничения; вообще без наполнения его каким-либо содержанием.

Ученые пытаются вывести одно общее определение «рациональности» для всех природных ресурсов, в то время как рациональное использование возобновляемых и невозобновляемых природных ресурсов будет иметь существенные отличия. И особенности «рациональности» использования природного ресурса зависят не только от его вида, но и от цели такого использования. А снижение негативного воздействия на окружающую среду не является отличительным признаком рационального использования природных ресурсов [60].

Рациональное природопользование предполагает выбор оптимального варианта достижения экологического, экономического и социального эффекта при использовании природных ресурсов.

Электронный архив УГЛТУ

Комплексное использование природных ресурсов подразумевает использование безотходных и малоотходных технологий, повторное использование вторичных ресурсов.

Система деятельности рационального природопользования призвана обеспечить экономную эксплуатацию природных ресурсов и условий и наиболее эффективный режим их воспроизводства с учетом перспективных интересов развивающегося хозяйства и сохранения здоровья людей [61].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ОСТ 56-84-85. Использование лесов в рекреационных целях. Термины и определения. – Введ. 1986-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 8 с.
2. Об охране окружающей среды : фед. закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 26.03.2022). – URL: <http://consultant.ru>.
3. О внесении изменений в статьи 5 и 10 Федерального закона «Об особо охраняемых природных территориях» и отдельные законодательные акты Российской Федерации : фед. закон от 24 ноября 2014 г. № 361-ФЗ. – URL: <http://consultant.ru>.
4. О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха (с изм. и доп.) : фед. закон от 26 июля 2019 г. № 195-ФЗ. – URL: <http://consultant.ru>.
5. О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации (с изм. и доп.) : фед. закон от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ. – URL: <http://consultant.ru>.
6. О внесении изменений в Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» и отдельные законодательные акты Российской Федерации (с изм. и доп.) : фед. закон от 28 декабря 2013 г. № 406-ФЗ. – URL: <http://consultant.ru>.
7. Экологический след. – URL: <https://wwf.ru/what-we-do/green-economy/ecological-footprint>.
8. Экологический след // Википедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Экологический_след.
9. William E. Rees Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out (англ.) // Environment and Urbanization. – 1992-10-01. – Vol. 4, iss. 2. – P. 121–130. – ISSN 1746-0301 0956-2478, 1746-0301. – doi: 10.1177/095624789200400212.
10. Моральные измерения экологического следа. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/moralnye-izmereniya-ekologicheskogo-sleda>.

11. Расчет параметров сбалансированного техноценоза. – URL: https://studopedia.ru/14_84247_glava-raschet-parametrov-sbalansirovannogo-tehnotsenoza.html
12. Экономическая оценка ресурсосбережения. – URL: <https://www.conventions.ru/dictionary.php?word=35595>
13. Экологический энциклопедический словарь. – Кишинев : Гл. ред. Молдав. сов. энцикл., 1989.
14. Загрязнение воздуха выхлопными газами / Ю. А. Старникова, И. М. Костиков, А. А. Левченко, Д. Ю. Соловьева // X Междунар. студ. науч. конф. «Студенческий научный форум – 2018». – Курган, 2018.
15. Википедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org>.
16. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : постановление от 28 января 2021 года № 2. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>
17. Шаповалов А. Л. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха отработавшими газами автомобилей. – М. : Транспорт, 1990. – 160 с.
18. Мониторинг атмосферного воздуха. Ст. 23 : фед. закон от 04.05.1999. № 96-ФЗ (ред. от 11.06.2021). «Об охране атмосферного воздуха». – URL: <http://consultant.ru>.
19. Гаврилова И. П., Касимов Н. С. Практикум по геохимии ландшафта. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1988. – 447 с.
20. РД 52.08.730-2010. Руководящий документ. Производство наблюдений над интенсивностью снеготаяния и водоотдачей из снежного покрова. – Введ. 2010-10-01. – URL: <http://consultant.ru>.
21. Булыгина О. Н., Коршунова Н. Н., Разуваев В. Н. Мониторинг снежного покрова на территории Российской Федерации // Тр. Гидрометцентра России. – 2017. – Вып. 366. – С. 87–96. – URL: <http://method.meteorf.ru/publ/tr/tr366/bulig.pdf>.
22. Решение Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам от 5 ноября 2013 г. / Методический кабинет гидрометцентра России. – URL: <http://method.meteorf.ru/cmkp/nov13.html>.

23. РД 52.04.667-2005. Руководящий документ. Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200067118>.

24. Справочник аналитика: ПДК воздуха населенных мест. – URL: <http://ecmoptec.ru/pdknasmest>.

25. Методы биоиндикации. – URL: https://future4you.ru/index.php?id=4344&Itemid=2759&option=com_%20content&view=article.

26. Захаров В. М. Асимметрия животных (Популяц.-феногенет. подход) / отв. ред. А. В. Яблоков; АН СССР, Ин-т биологии развития им. Н. К. Кольцова. – М. : Наука, 1987. – 215, [1] с. : ил.; 22 см.

27. Билатеральность // Большая Советская Энциклопедия. – URL: <https://rus-bse.slovaronline.com/8594-Билатеральность>

28. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур) : утв. распоряжением Росэкологии от 16 октября 2003 года № 460-р. – URL: <http://teacher.msu.ru/sites/default/files/resursy/9-methods-licenz.pdf>.

29. Федорова Т. А. Флуктуирующая асимметрия листа липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) как биоиндикационный параметр оценки качества среды // Вестник Курган. гос. ун-та. Сер. Естественные науки. – Курган: Изд-во Курган. гос. ун-та, 2013. – Вып. 6. – 134 с.

30. Лебединский И. А., Мочалова К. Ю. Пощадь листовой пластинки как дополнительный критерий оценки выраженности флуктуирующей асимметрии по методике Захарова. – URL: <http://vestnik2.pspu.ru/files/2-2020-1.pdf>.

31. Об утверждении методических рекомендации по подготовке материалов, представляемых на Государственную экологическую экспертизу : утв. приказом МПР России от 9 июля 2003 г. № 575. – URL: <http://docs.cntd.ru>.

32. Захаров В. М., Крысанов Е. Ю. Последствия Чернобыльской катастрофы: здоровье среды. – М., 1996. – 170 с.

33. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Вайнерт Э., Вальтер Р., Ветцель Т. [и др.]; под ред. Р. Шуберта; пер. с нем. Г. И. Лойдиной, В. А. Турчаниновой; под ред. Д. А. Кривоуцкокого. – М. : Мир, 1988. – 348 с. : ил.; 22 см.; ISBN 5-03-000016-X (В пер.).

34. Леонова Н. А., Ильин В. Ю. Фитоиндикация загрязнений лесных экосистем // Нива Поволжья, сельскохозяйственные науки. – 2017. – №1 (42). – С. 39–47.

35. Уткин Ю. Н. Экоотоксиканты // Большая Советская Энциклопедия. – URL: <https://bigenc.ru/chemistry/text/4927353>.

36. Атмосферный воздух и воздух закрытых помещений, санитарная охрана воздуха. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест : ГН 2.1.6.695-98. Гигиенические нормативы / Минздрав России. – М., 1998.

37. Экоотоксиканты : учеб.-метод. пособие для лекционного курса «Химия в экологии» / Н. А. Улахович, М. П. Кутырева, Э. П. Медянцева, С. С. Бабкина. – Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 2010. – 56 с.

38. Сборник задач для практических занятий по курсам «Экология», «Социальная экология», «Природопользование» // сост.: И. Г. Мельцаев, А. Ф. Сорокин. – Иваново : ПресСто, 2013.

39. Тишков А. А. Природные ресурсы // Большая Российская энциклопедия. – URL: <https://bigenc.ru/geography/text/3167984>.

40. Об утверждении «Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года»: распоряжение Правительства РФ от 12 апреля 2020 года № 993-р. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_350437.

41. ОСТ 56-108-98. Лесоводство. Термины и определения : утв. приказом Рослесхоза от 3 декабря 1998 г. № 203. – URL: <https://dikipedia.ru>.

42. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – URL: https://www.mnr.gov.ru/bitrix/urlrewrite.php?special_version=Y.

43. Градиентный анализ растительности. – URL: <http://www.zoofirma.ru/knigi/vostles/8801-gradientnyj-analiz-rastitelnosti.html>.

44. Методы ординации в современной ботанике. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25762233>.

45. ОСТ 56-100-95. Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы : утв. приказом Рослесхоза от 20 июля 1995 г. № 1. – URL: <https://prizoda.gov74.ru>.

46. Временная методика определения рекреационных нагрузок на природные комплексы при организации туризма, экскурсий, массового повседневного отдыха и временные нормы этих нагрузок. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9033131>.

47. Википедия – свободная энциклопедия. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Leopold_matrix.

48. Сборник задач к учебному пособию «Основы устойчивого лесопользования» / сост. и общ. ред. А. В. Беляковой, Н. М. Шматкова ; Всемирный фонд дикой природы (WWF). – М. : WWF России, 2014. – 139, [1] с. : ил. ISBN 978-5-906599-03-2. – URL: https://wwf.ru/upload/iblock/535/forests_manual_tasks.pdf.

49. Усольцев В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: метод, база данных и ее приложения / Урал. центр академ. обслуживания. – Екатеринбург : УрО РАН, 2007.

50. Свойства, классификация и роль мортмасс в функционировании ландшафтов. – URL: <https://poisk-ru.ru/s9858t3.html>.

51. Экологический словарь – URL: <https://ecoportal.su/dict/letter/М/МОРТМАССА.html>.

52. Антопольский А. Б. // Большая российская энциклопедия : [в 35 т.] / гл. ред. Ю. С. Осипов. – М. : Бол. рос. энцикл., 2004–2017. – URL: https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/1845378.

53. Усольцев В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии. Методы, база данных и ее приложения = Biological productivity of Northern Eurasia's forests / ред. С. Г. Шиятов ; рец. С. В. Залесов ; Рос. акад. наук. Урал. отд-ние, Ботан. сад, Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург : УрО РАН, 2007. – 636 с. – Библиогр.: с. 364–416. – URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3281>.

54. Коломыц Э. Г. Бореальный экотон и географическая зональность : атлас-монография [Рос. акад. наук, Ин-т экологии Волж. бассейна, Ин-т фундам. пробл. биологии] – М. : Наука, 2005.

55. Рябчиков А. М. Гидротермические условия и продуктивность фитомассы в основных ландшафтных зонах // Вестник МГУ. Сер. Геогр. – 1968. – № 5. – С. 41–49.

56. Тишин Д. В. Оценка продуктивности древостоев: учеб.-метод. пособие. – Казань: Казанский ун-т, 2011. – 31 с.

57. Усольцев В. А., Цепордей И. С. Квалиметрия фитомассы лесных деревьев: плотность и содержание сухого вещества : моногр. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2020.

58. Классификация экологического мониторинга. – URL: https://bstudy.net/922503/estestvoznanie/klassifikatsiya_ekologicheskogo_monitoringa.

59. Азгальдов Г. Г., Костин А. В., Садовов В. В. Квалиметрия для всех : учеб. пособие. – М. : ИД ИнформЗнание, 2012. – 165 с.: ил.

60. Лунева Е. В. Рациональное использование природных ресурсов: понятие и правовые критерии // Lex russica (Русский закон). 2017;(8):61-72. – URL: <https://doi.org/10.17803/1729-5920.2017.129.8.061-072>.

61. Рациональное использование природных ресурсов. – URL: <https://goaravetisyan.ru/racionalnoe-ispolzovanie-prirodnih-racionalnoe-ispolzovanie-prirodnih>.

Электронный архив УГЛТУ

Учебное издание

Постникова Светлана Сергеевна
Зубова Светлана Сергеевна

ОЦЕНКА РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

ISBN 978-5-94984-849-4



Редактор Е. Л. Михайлова
Оператор компьютерной верстки О. А. Казанцева

Подписано в печать 29.11.2022

Формат 60x84/16
Уч.-изд. л. 4,99 Печ. л. 5,58
Тираж 300 экз. (1-й завод 35 экз.)
Заказ № 7542

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
Редакционно-издательский отдел. Тел. 8(343) 221-21-44

Типография ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР УПИ»
620062, РФ, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2.
Тел. 8(343)362-91-16