

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»  
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

*А.Г. ЦУРИКОВ, Л.М. КАВЕЛЕНОВА, Е.С. КОРЧИКОВ*

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве практикума для обучающихся по основной образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 06.04.01 Биология

САМАРА  
Издательство Самарского университета  
2021

УДК 502(075)  
ББК 20.1я7  
Ц871

Рецензенты: д-р биол. наук, проф. О. Н. Макурин а;  
д-р мед. наук, проф. М. В. Манжос

*Цуриков, Андрей Геннадьевич*

**Ц871 Современные проблемы экологии. Экологические аспекты устойчивого развития: практикум / А. Г. Цуриков, Л. М. Кавеленова, Е. С. Корчиков. – Самара: Издательство Самарского университета, 2021. – 92 с.: ил.**

**ISBN 978-57883-1630-7**

В практикуме описаны теоретические основы и задания к практическим занятиям по курсу «Экологические аспекты устойчивого развития». Рассматриваются понятия экологического следа, биоремедиации территорий, биоиндикации, экосистемных услуг, поднимается вопрос о безопасности генетически модифицированных организмов, уделено внимание энергетическим аспектам устойчивого развития.

Предназначен для обучающихся биологических факультетов университетов, специалистам в области экологии, преподавателям биологии и учащимся средних школ.

Подготовлен на кафедре экологии, ботаники и охраны природы Самарского университета.

УДК 502(075)  
ББК 20.1я7

ISBN 978-57883-1630-7

© Самарский университет, 2021

## **ВВЕДЕНИЕ**

Рассмотрение теоретических и прикладных аспектов устойчивого развития на глобальном, национальном, региональном уровнях является предметом постоянного внимания специалистов. В рамках курса «Современные проблемы экологии. Экологические аспекты устойчивого развития» проводится освещение основ современных представлений о масштабах загрязнения биосферы, действии чужеродных химических соединений на биологические объекты.

Тематика практических работ посвящена одним из наиболее значимых проблем устойчивого развития: загрязнению окружающей среды, внедрению сельскохозяйственной биотехнологии, энергетическим аспектам. Выполнение предлагаемых работ позволит закрепить и расширить полученные в ходе лекционного курса теоретические знания, а также дать самостоятельную оценку тем процессам, которые в настоящее время происходят в мире: рост ресурсо- и энергопотребления, накопление отходов, снижение удельной доли ненарушенных сообществ, продовольственные проблемы.

Практикум предназначен специалистам в области экологии, обучающим биологических факультетов университетов, преподавателям биологии и учащимся средних школ.

## Занятие 1. ЭКОСИСТЕМНЫЕ УСЛУГИ КАК ВАЖНЫЙ КОМПОНЕНТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Точное определение понятию «экосистемные услуги» дать трудно. В простом случае, экосистемными услугами можно назвать преимущества, которые люди получают от природы. Однако это лишь одно из определений (таблица 1).

Таблица 1. Обзор определений экосистемных услуг разными авторами (Hummel et al. 2018)

Источник	Определение экосистемных услуг
1	2
Daily 1997	Широкий спектр условий и процессов, посредством которых природные экосистемы и виды, являющиеся их частью, помогают поддерживать и наполнять человеческую жизнь
Constanza et al. 1997	Преимущества, которые человечество прямо или косвенно извлекает из функций экосистем
De Groot et al 2002	Способность природных процессов и компонентов предоставлять товары и услуги, которые прямо или косвенно удовлетворяют потребности человека
Millennium Ecosystem Assessment 2005	Преимущества, которые люди получают от экосистем
Boyd & Banzhaf 2007	Компоненты природы, потребляемые или используемые для обеспечения благополучия человека
Fisher & Turner 2008	Аспекты экосистем, используемые (активно или пассивно) для обеспечения благосостояния людей
Haines-Young & Potschin 2010, 2013	Вклад, который экосистемы вносят в благосостояние человека, за счет взаимодействия биотических и абиотических процессов
Harrison et al. 2010	Преимущества, которые люди понимают как полученные от экосистем, прямо или косвенно поддерживающих их выживание и качество жизни

1	2
Kumar 2010	Прямой и косвенный вклад экосистем в благосостояние людей
Staub et al. 2011	Аспекты экосистем, которые имеют очевидную связь с благосостоянием людей и которые используются или оцениваются в той или иной форме населением
Landers & Nahlik 2013	Компоненты природы, непосредственно используемые, потребляемые или используемые для обеспечения благополучия человека

Согласно прототипу национального доклада «Экосистемные услуги России. Т. 1. Услуги наземных экосистем», для формирования системы оценки, мониторинга и использования экосистемных услуг России выделены их три основные группы – производционные, средообразующие, информационные услуги и группа рекреационных услуг, имеющих комплексный характер и зависящих от экосистемных функций всех трех первых групп (таблица 2).

Таблица 2. Классификация услуг наземных экосистем России

Категория	Определение	Услуги
1	2	3
Производционные	Производство природными системами биомассы, которая изымается человеком из природы и используется для различных нужд	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ продукция древесины;</li> <li>▪ недревесная продукция леса и других наземных экосистем (грибы, ягоды, орехи, кора, лыко, лекарственные, косметические, декоративные растения и т.п.);</li> <li>▪ производство корма для скота на природных пастбищах и сенокосах;</li> <li>▪ продукция пресноводных экосистем, прежде всего рыбы;</li> <li>▪ охотничья продукция;</li> <li>▪ продукция меда на природных территориях</li> </ul>

1	2	3
<p>Средообразующие</p>	<p>Формирование и поддержание условий среды, благоприятных для жизни человека и развития экономики</p>	<p><b>1. Услуги по регулированию климата и атмосферы</b></p> <p>1.1. Биогеохимическая регуляция климата:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ хранение запасов углерода;</li> <li>▪ регуляция потоков парниковых газов.</li> </ul> <p>1.2. Биогеофизическая регуляция климата:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ регуляция потоков энергии между поверхностью Земли и атмосферой;</li> <li>▪ снижение силы ветра и ущерба от ураганов и штормов растительностью;</li> <li>▪ регуляция потоков влаги между поверхностью и атмосферой.</li> </ul> <p>1.3. Очистка воздуха растительностью (поглощение загрязнений и пылеосаждение).</p> <p><b>2. Услуги по регулированию гидросферы</b></p> <p>2.1. Водоохранные и водорегулирующие услуги:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ обеспечение объема стока воды;</li> <li>▪ регуляция вариабельности (стабилизация) стока воды;</li> <li>▪ снижение интенсивности и ущерба от наводнений.</li> </ul> <p>2.2 Обеспечение качества воды наземными экосистемами (в том числе «биогеохимические барьеры» растительности и почв на пути водной миграции поллютантов).</p> <p>2.3 Обеспечение качества воды пресноводными экосистемами (самоочищение и разбавление).</p>

Продолжение табл. 2

1	2	3
<p>Средообразующие</p>	<p>Формирование и поддержание условий среды, благоприятных для жизни человека и развития экономики</p>	<p><b>3. Услуги по формированию и защите почв</b></p> <p>3.1. Защита почв от эрозии:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ защита почв от водной эрозии;</li> <li>▪ защита почв от ветровой эрозии, предотвращение пыльных бурь;</li> <li>▪ предотвращение ущерба от сноса грунта в водоемы;</li> <li>▪ предотвращение ущерба от оползней и селей.</li> </ul> <p>3.2. Формирование биопродуктивности почв.</p> <p>3.3. Самоочищение почв от загрязнений.</p> <p>3.4. Регуляция криогенных процессов</p> <p><b>4. Услуги по регулированию биологических процессов</b></p> <p>4.1. Регуляция численности живых организмов, имеющих важное экономическое значение: вредителей сельского хозяйства, вредителей леса, опылителей, инвазивных и синантропных видов;</p> <p>4.2. Регуляция численности живых организмов, имеющих важное медицинское, медико-биологическое и ветеринарное значение (компоненты природных очагов заболеваний), включая мигрирующие виды</p>

1	2	3
Информационные	Полезная для человека информация и другие нематериальные блага	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ генетические и биохимические ресурсы природных видов и популяций;</li> <li>▪ информация о структуре и функционировании природных систем, которая может быть использована человеком;</li> <li>▪ эстетическое и познавательное значение природных систем;</li> <li>▪ этическое, духовное и религиозное значение природных систем</li> </ul>
Рекреационные	Формирование природных условий для отдыха людей, совмещающее в себе компоненты из трех первых групп	<p>Формирование природных условий для следующих видов отдыха:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ежедневного отдыха рядом с домом;</li> <li>▪ воскресного отдыха и пикников, дачной рекреации, любительской рыбалки, сбора грибов и ягод (не включая профессиональные заготовки недревесной продукции);</li> <li>▪ познавательного туризма на природе;</li> <li>▪ активного туризма на природе, спортивной рыбалки и охоты;</li> <li>▪ оздоровительного отдыха на курортах (кроме морского побережья)</li> </ul>

Возможность превращения экосистемной функции в актуальную экосистемную услугу зависит от ее пространственного масштаба: глобальные экосистемные функции всегда являются услугами, локальные функции являются услугами только на населенных территориях.

Задача территориального сопоставления объемов потенциальных и используемых экосистемных услуг может быть решена за



счет оценки каждой услуги по трем показателям: предоставленному, необходимому и используемому объемам (таблица 3).

Предоставленный экосистемами объем услуг соответствует потенциальной способности экосистем выполнять полезные для человека функции и удовлетворять его потребности.

Необходимый объем экосистемной услуги – требуемый для удовлетворения потребностей людей и нормального развития хозяйства на конкретной территории в данное время.

Используемый объем соответствует пользе, которую люди получают от экосистемной услуги в данный период времени.

Таблица 3. Предоставленный, необходимый и используемый объемы экосистемных услуг

Категория	Предоставленный объем	Необходимый объем	Используемый объем
1	2	3	4
Продукционные	<p>Допустимый объем изъятия биомассы (численности) ресурсов, не подрывающий устойчивость их популяций, а в идеале – и их экосистемные функции</p> <p><i>Примеры:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ расчетная лесосека,</li> <li>▪ допустимые объемы вылова или отстрела промысловых видов</li> </ul>	<p>Объем добычи биоресурсов, необходимый для удовлетворения запросов населения и перерабатывающих предприятий региона</p>	<p>Объемы добычи биоресурсов</p> <p><i>Примеры:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ заготовка древесины,</li> <li>▪ вылов рыб,</li> <li>▪ отстрел промысловых видов</li> </ul>

1	2	3	4
<p>Средообразующие</p>	<p>Потенциальная способность экосистем поддерживать приемлемые для человека условия среды</p> <p><i>Примеры:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ потенциальная интенсивность самоочищения воды в природных водоемах,</li> <li>▪ максимальное количество загрязнений, которое может быть уловлено растительностью из воздуха без существенного ущерба для нее</li> </ul>	<p>Объем природной регуляции среды, необходимый для хорошего качества жизни людей и развития экономики с учетом существующих нормативов качества окружающей среды</p> <p><i>Примеры:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ количество загрязнений, которое необходимо уловить из воздуха</li> </ul>	<p>Объемы регулирования параметров среды, прямо влияющих на качество жизни людей и состояние экономики</p> <p><i>Примеры:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ количество загрязнений, нейтрализованное в водоемах благодаря природным процессам,</li> <li>▪ количество загрязнений, уловленное растительностью из воздуха,</li> <li>▪ объем стока, обеспечиваемый функционированием наземных экосистем</li> </ul>

1	2	3	4
Информационные	<p>Вся информация, которая хранится в природе и может быть использована человеком</p> <p><i>Примеры:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ разновидности живых организмов, которые могут быть введены в культуру,</li> <li>▪ генетические материалы, которые могут быть использованы генной инженерией,</li> <li>▪ информация о структуре природных экосистем, полезная для создания искусственных экосистем</li> </ul>	<p>Объем информации из природы, необходимый для решения определенной задачи</p>	<p>Информация, полученная человеком из природных систем</p> <p><i>Примеры:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ количество природных генетических последовательностей, использованных в биотехнологических производствах,</li> <li>▪ количество исследований структуры и процессов в природных экосистемах, у видов, в популяциях</li> </ul>
Рекреационные	<p>Допустимые рекреационные нагрузки, не ведущие к деградации природных экосистем</p> <p><i>Примеры:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ предельно допустимое число посетителей природных территорий</li> </ul>	<p>Рекреационная емкость природных территорий, необходимая для удовлетворения запросов всех желающих или нормального экономического развития региона</p>	<p>Количество отдыхающих или туристов, посетивших природные территории, с учетом типа и интенсивности рекреации</p>

Предоставленный экосистемами объем услуг определяется природными факторами и состоянием экосистем (интенсивностью процессов их функционирования, устойчивостью, степенью нарушения) и должен оцениваться с учетом устойчивого использования экосистем и их компонентов, т. е. он равен тому объему услуги, потенциальное использование которого не оказывает серьезного негативного влияния на структуру и функционирование экосистем.

Интенсивная хозяйственная деятельность может наносить существенный ущерб окружающей среде. Например, если реальное использование биоресурса больше предоставляемого объема, происходит перепромысел, деградация объекта промысла, подрыв ресурсной базы. Если реальное использование рекреационных услуг превышает предоставленный объем, наблюдается рекреационная деградация экосистем. Считается, что в слабоосвоенных человеком регионах необходимый объем услуг меньше предоставленного экосистемами. Однако, динамика объемов экосистемных услуг даже в таких регионах выявляет рост используемого объема при постоянно снижающемся предоставленном.

Тропические леса Амазонки являются примером того, насколько современные люди недооценивают роль человека в экосистемах. Крупнейшая тропическая экосистема в мире, в которой сосредоточено более трети мирового биоразнообразия, как в популярной, так и научной среде считается одной из нетронутых, «дикой», лишенной разрушительного воздействия человека. Тем не менее, сегодняшние тропические леса Амазонки сформированы путем длительного воздействия человека, которое изменило ландшафт, естественные экосистемы, и, в результате, предоставляемые экологические услуги. За последние 20 000 лет, местное население одомашнило дикие виды растений, заменило естественную растительность сельскохозяйственными угодьями, изменило продуктивность почвы и ландшафтную топографию для лучшего удовлетворения своих потребностей (таблица 4). Все эти изменения не могли не сказаться на объеме предоставленных экологических услуг.

Таблица 4. Некоторые примеры человеческой деятельности, влияющей на модификацию объема экологических услуг в лесах Амазонки (по Comberti et al. 2015 с изменениями)

Род деятельности или сопутствующие процессы	Затрагиваемый ресурс	Источник
1	2	3
Одомашнивание растений	маниок, папайя, кешью, арахис, какао, ананас, табак, аннатто, гуава, кокос, перец чили, персиковая пальма, бириба и др.	Balée 2013, 1999; Arroyo-Kalin 2010; Clement 2006a,b; Rival 2006
Селекция	персиковая пальма	Clement 2006b
Постоянное культивирование растений	бразильский орех, какао, сметанное яблоко (аннона колючая), асаи (эвтерпа овощная), платония замечательная, пеки (кариоокар бразильский), тукума (астрокариум колючий), пальмы бабассу и бурити	Anderson & Posey 1989; Balée 1999, 2013; Posey 1999; Clement 2006a,b; Rival 2006; Shepard & Ramirez 2011; Erickson 2006
Пересадка или высадка саженцев на новые площади и территории	Многие сельскохозяйственные культуры, садовые растения, пальмы	Erickson 2010; Hugh-Jones 2001
Случайное рассеивание семян	бразильский орех, какао, асаи (эвтерпа овощная), тукума (астрокариум колючий), пальмы <i>Acrocomia aculeata</i> и <i>Oenocarpus bacaba</i>	Clement 2006b; Neves & Petersen 2006; Rival 2006; Balée 2013; Shepard & Ramirez 2011
Охрана растений с ценными свойствами	азотфиксаторы: <i>Trema micrantha</i> , <i>Inga</i> spp.	Balée 1989; Hecht & Posey 1989

Продолжение табл. 4

1	2	3
Удаление «сорняков» при выращивании сельскохозяйственных культур	бразильский орех, различные плодовые деревья	Erickson 2006; Schelhas 1996; Comberti et al. 2015,
Земляные работы: распаивание почвы, сооружение оросительных каналов, рыбных плотин	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ сельскохозяйственные культуры: маниок, батат, арахис, бобы, кабачки, кукуруза, какао;</li> <li>▪ местные виды рыб: гигантская арапаима (<i>Arapaima gigas</i>), светлая аравана (<i>Osteoglossum bicirrhosum</i>), пирания (<i>Serrasalmus</i> spp.), бронированный сом (<i>Hoplosternum littorale</i>);</li> <li>▪ скорпионочная черепаха (<i>Kinosternon scorpioides</i>);</li> <li>▪ крупные виды дичи: олень, тапир, пекари</li> </ul>	Erickson 1994, 2006; Pinedo-Vasquez et al. 2012; Schaan 2010
Ритуальные, культурные предписания, убеждения или запреты, влияющие на регулирование использования ресурсов	крупные виды животных (олень, тапир, паукообразные обезьяны, пекари)	Shepard Jr. 2004; Harner 1973; Arhem 1996; Shepard et al. 2012; Posey 1999.
Выращивание растений, привлекающих диких животных	крупные виды животных (олень, тапир, паукообразные обезьяны, пекари)	Balée 1989, 1999; Erickson & Balée 2006

1	2	3
Поджоги, палы	пальма бабассу; плодородие почв (включая terra preta – искусствен- ные, антропогенные почвы на основе низкотемпера- турного активированного древесного угля); снижение площадей, зани- маемых папоротниками и кустарниками	Hecht 2009; Barbosa & Fearnside 2005; De Toledo & Bush 2007, 2008; Hankins 2013; Clement 2006b; Ratter et al. 2006; Balée, 1999
Повышение пло- дородия почв	питательные вещества почвы, ее состав	Pinedo-Vasquez et al. 2012; Balée 1999; Erick- son & Balée 2006; Clement 2006b; Woods & McCann 1999; Mann 2000; Anderson et al. 1991; Whitmore 1992

Россия обладает крупнейшими в мире массивами природных экосистем, имеющими ключевое значение для сохранения глобального биоразнообразия и поддержания биосферной регуляции (рис. 1). Размеры Российской Федерации и разнообразие ее природных и природно-социальных комплексов определяют ключевую важность анализа пространственных масштабов экосистемных услуг и районирования территории страны для дальнейшей разработки системы их учета, мониторинга и оценки. Однако, экономическая оценка экосистемных услуг, анализ значения биоразнообразия для их поддержания, а также разработка конкретных рекомендаций по мониторингу и использованию экосистемных услуг России до настоящего времени не проводились.

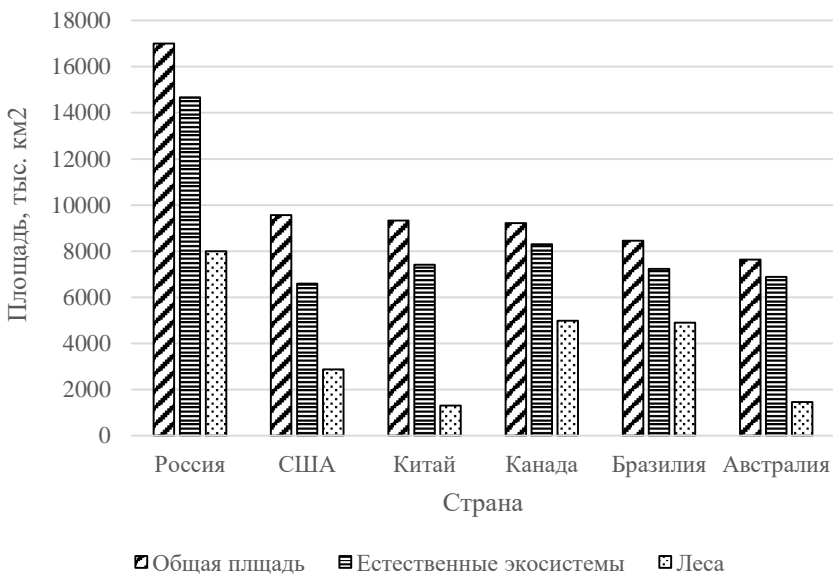


Рис. 1. Общая площадь и доля природных экосистем суши в крупнейших странах мира (Букварёва, Замолодчиков, 2016)

Изданный в 2016 г. прототип национального доклада об экосистемных услугах России (для наземных экосистем) показывает возможности оценки экосистемных услуг на национальном уровне и подчеркивает актуальность и важность начала формирования в России системы оценки экосистемных услуг и интеграции их ценности в экономику и процесс принятия решений (см. Букварёва, Замолодчиков 2016). Он включает классификацию экосистемных услуг, адаптированную для условий России; различные подходы к оценке экосистемных услуг на федеральном и межрегиональном уровнях; предварительную оценку важнейших экосистемных услуг регионов России в естественнонаучных показателях или в баллах; перечень необходимых дополнительных сведений для оценки экосистемных услуг на федеральном уровне. Результаты оценки концентрации потенциальных экосистемных услуг и их потенциальных потребителей в разных регионах России представлены на рис. 2 и 3.





Рис. 2. Доля природных экосистем от площади региона, %  
(Букварёва, Замолотчиков 2016)



Рис. 3. Плотность населения регионов России (Букварёва, Замолотчиков 2016)

Соотношение указывает на преобладание факторов использования экосистемных услуг в округах европейской части России, а природных факторов обеспечения услуг – в округах азиатской части страны и на Урале.

## Задания

1. Ознакомьтесь с классификацией Классификация услуг наземных экосистем России (таблица 2). Какие экосистемные услуги предоставляет наш регион? Какими экосистемными услугами вы пользуетесь? Приведите примеры.

2. Охарактеризуйте значение экосистемных услуг для устойчивого развития экономики и благополучия населения России и нашего региона.

3. Ознакомьтесь с основными показателями экосистемных услуг (таблица 3). Насколько используемый и необходимый объемы экосистемных услуг нашего региона соответствуют предоставленному? Приведите примеры экосистемных услуг, для которых характерен избыток или недостаток.

4. По аналогии с данными таблицы 4, приведите примеры человеческой деятельности, влияющей на модификацию объема экологических услуг в нашем регионе.

## Литература

*Букварёва Е.Н., Замолодчиков Д.Г.* Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 1. Услуги наземных экосистем. – Москва: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2016. 148 с.

*Anderson A.B., May P.H., Balick M.J.* The subsidy from nature: palm forests, peasantry, and development on an Amazonian frontier. – New York: Columbia University Press, 1991. 233 p.

*Anderson A.B., Posey D.A.* Management of a tropical scrub savanna by the Gorotire Kayapó of Brazil. In: *Posey D.A., Balée W.L.* Resource management in Amazonia: Indigenous and folk strategies. – New York: New York Botanical Garden, 1989. P. 159–173.

*Arhem K.* The cosmic food web: human-nature relatedness in the Northwest Amazon. In: *Descola, P., Pálsson, G.* Nature and society; Anthropological perspectives. London: Routledge, 1996. P. 185–204.

*Arroyo-Kalin, M.* The Amazonian formative: Crop domestication and anthropogenic soils // *Diversity*. 2010. Vol. 2. P. 473–504.

*Balée W.* Cultural forests of the Amazon: a historical ecology of people and their landscapes. – Tuscaloosa: University of Alabama Press, 2013. 288 p.

*Balée W.* The culture of Amazonian forests. In: *Posey D.A., Balée W.* Resource management in Amazonia: indigenous and folk strategies. – New York: New York Botanical Garden, 1989. P. 1–21.

*Balée W.L.* Footprints of the forest: Ka'apor ethnobotany – the historical ecology of plant utilization by an Amazonian people. – New York: Columbia University Press, 1999. 416 p.

*Barbosa R.I., Fearnside P.M.* Fire frequency and area burned in the roraima savannas of Brazilian Amazonia // *Forest ecology and management*. 2005. Vol. 204. P. 371–384.

*Boyd J., Banzhaf S.* What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units // *Ecological economics*. 2007. Vol. 63. P. 616–626.

*Clement C.R.* Demand for two classes of traditional afroecological knowledge in modern Amazonia. In: *Posey D.A., Balick M.J.* Human impacts of Amazonia. The role of traditional ecological knowledge in conservation and development. – New York: Columbia University Press, 2006a. P. 33–50.

*Clement C.R.* Fruit trees and the transition to food production in Amazonia. In: *Balée, W. Erickson C.L.* Time, complexity, and historical ecology. New York: Columbia University Press, 2006b. P. 165–186.

*Combetti C., Thornton T.F., de Echeverria V.W.* et al. Ecosystem services or services to ecosystems? Valuing cultivation and reciprocal relationships between humans and ecosystems // *Global Environmental Change*. 2015. Vol. 34. P. 247–262.

*Costanza R., d'Arge R., De Groot R.* et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital // *Nature*. 1997. Vol. 387(6630). P. 253–260.

*Daily G.* Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. – Washington: Island Press, 1997. 392 p.

*De Groot R.S., Wilson M.A., Boumans R.M.* A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services // *Ecological economics*. 2002. Vol. 41. P. 393–408.

*De Toledo M.B., Bush M.B.* A mid-Holocene environmental change in Amazonian savannas // *Journal of Biogeography*. 2007. Vol. 34. P. 1313–1326.

*De Toledo M.B., Bush M.B.* Vegetation and hydrology changes in eastern Amazonia inferred from a pollen record // *The Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2008. Vol. 80. P. 191–203.

*Erickson C.L., Balée W.* The historical ecology of a complex landscape in Bolivia. In: *Balée W., Erickson C.* Time and complexity in historical ecology: Studies in the Neotropical lowlands. – New York: Columbia University Press, 2006. P. 187–234.

*Erickson C.L.* Raised fields as a sustainable agricultural system from Amazonia. In: *Healy K.* Recovery of indigenous technology and resources in Bolivia: XVIII International Congress of the Latin American Studies Association. March 10–12 1994. – Atlanta, 1994.

*Erickson C.L.* The Domesticated landscapes of the Bolivian Amazon. In: *Erickson C.L., Balée W.* Time and complexity in historical ecology. – New York: Columbia University Press, 2006. P. 235–278.

*Erickson C.L.* The transformation of environment into landscape: the historical ecology of monumental earthwork construction in the Bolivian Amazon // *Diversity*. 2010. Vol. 2. P. 618–652.

*Fisher B., Turner R.K.* Ecosystem services: classification for valuation // *Biological Conservation*. 2008. Vol. 141. P. 1167–1169.

*Haines-Young R., Potschin M.* CICES V4.3 – revised report prepared following consultation on CICES version 4, August-December 2012. EEA Framework Contract No EEA. – Nottingham: University of Nottingham, 2013. 34 p.

*Haines-Young R., Potschin M.* The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In: *Raffaelli D.G., Frid C.L.J.* Ecosystem Ecology: A New Synthesis. – Cambridge: Cambridge University Press, 2010. P. 110–139.

*Hankins D.L.* The effects of indigenous prescribed fire on riparian vegetation in central California // *Ecological Processes*. 2013. Vol. 2. P. 24.

*Harner M.J.* The sound of rushing water. In: *Harner M.J.* Hallucinogens and shamanism. – New York: Oxford University Press, 1973. P. 15–27.

*Harrison P.A., Vandewalle M., Sykes M.T.* et al. Identifying and prioritizing services in European terrestrial and freshwater ecosystems // *Biodiversity and Conservation*. 2010. Vol. 19. P. 2791–2821.

*Hecht S.B.* Kayapó savanna management: fire, soils and forest islands in a threatened biome. In: *Woods W.I., Teixeira W.G., Lehmann J.*

et al. Amazonian dark earths: Wim Sombroek's vision. – New York: Springer, 2009. P. 143–161.

*Hecht S.B., Posey D.A.* Preliminary findings on soil management of the Kayapó Indians. In: *Posey D.A., Balée, W.L.* Resource management in Amazonia: indigenous and folk strategies. – New York: New York Botanical Garden, 1989. P. 174–188.

*Hugh-Jones S.* The gender of some Amazonian gifts: an experiment with an experiment. In: *Gregor T.A., Tuzin D.* Gender in Amazonia and Melanesia: an exploration of the comparative method. – Berkeley: University of California Press, 2001. P. 245–278.

*Hummel C., Poursanidis D., Orenstein D.* et al. Protected Area management: Fusion and confusion with the ecosystem services approach // *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 651. P. 2432–2443.

*Kumar P.* The Economics of ecosystems and biodiversity: ecological and economic foundations. – London: Earthscan, 2010. – 456 p.

*Landers D.H., Nahlik A.M.* Final ecosystem goods and services classification system (FECS-CS). Report Number EPA/600/R-13/ORD-004914. – Corvallis: United States Environmental Protection Agency, 2013. 108 p.

*Mann, C.C.* Earthmovers of the Amazon // *Science*. 2000. Vol. 287. P. 786–789.

Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water. 5. – Washington: World resources institute, 2005. 80 p.

*Neves E.G., Petersen J.B.* Political economy and pre-Columbian landscape transformations in central Amazonia. In: *Balée W., Erickson C.L.* Time, complexity, and historical ecology. – New York: Columbia University Press, 2006. P. 279–310.

*Pinedo-Vasquez M., Hecht S., Padoch C.* Amazonia. In: *Parrotta J.A., Trosper R.L.* Traditional forest-related knowledge: sustaining communities, ecosystems and biocultural diversity. – Dordrecht: Springer, 2012. P. 119–155.

*Posey D.A.* Cultural and spiritual values of biodiversity. – Nairobi: Intermediate Technology, 1999. 731 p.

*Ratter J.A., Riberio J.F., Bridgewater S.* The Cerrado of Brazilian Amazonia – a much-endangered vegetation. In: *Posey D.A., Balick M.J.* Human impacts of Amazonia. The role of traditional ecological

knowledge in conservation and development. – New York: Columbia University Press, 2006. P. 85–97.

*Rival L.* Amazonian historical ecologies // The journal of the Royal Anthropological Institute. 2006. Vol. 12. P. S79–S94.

*Schaan D.* Long-term human induced impacts on Marajó Island landscapes, Amazon Estuary // Diversity. 2010. Vol. 2. P. 182–206.

*Schelhas J.* Land use choice and change: intensification and diversification in the lowland tropics of Costa Rica // Human Organization. 1996. Vol. 55. № 3. P. 298–306.

*Shepard Jr G.H.* A sensory ecology of medicinal plant therapy in two Amazonian societies // American Anthropologist. 2004. Vol. 106. № 2. P. 252–266.

*Shepard Jr G.H., Ramirez H.* Made in Brazil: human dispersal of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) in Ancient Amazonia // Economic Botany. 2011. Vol. 65. № 1. P. 44–65.

*Shepard Jr. G.H., Levi E.G., Peres C.A.* et al. Hunting in ancient and modern Amazonia: rethinking sustainability // American Anthropologist. 2012. Vol. 114. № 4. P. 652–667.

*Staub C., Ott W., Heusi F.* et al. Indicators for ecosystem goods and services: framework, methodology and recommendations for a welfare-related environmental reporting. Environmental Studies no 1102. – Bern: Federal Office for the Environment, 2011. P. 17.

*Whitmore T.C.* An introduction to tropical rainforests. – New York: Oxford University Press, 1992. 282 p.

*Woods W.I., McCann J.M.* The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths // Yearbook (Conference of Latin Americanist Geographers). 1999. Vol. 25. P. 7–14.

## **Занятие 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СЛЕД КАК ИНДИКАТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

Ущерб биологическому разнообразию наносится тогда, когда продуктивные возможности биосферы отстают от темпов потребления ресурсов и производства отходов людьми. Экологический след выражает уровень потребления человеком ресурсов биосферы и равен территории, которая теоретически может обеспечить потребление экологических ресурсов и услуг. Другими словами, экологический след – это мера воздействия человека на среду обитания, которая позволяет рассчитать размеры прилегающей территории, необходимой для производства потребляемых нами экологических ресурсов и поглощения отходов.

Экологический след выражается в глобальных гектарах. Глобальный гектар (гга) – это условная единица, обозначающая гектар земной поверхности со среднемировым значением продуктивности для всех биопродуктивных территорий и акваторий за определенный год. Биопродуктивные территории и акватории включают в себя такие участки, как пашни, пастбища, леса, рыбопромысловые зоны; не входят в это понятие пустыни, ледники и открытый океан. Глобальный гектар является универсальной стандартизированной единицей измерения экологического следа и биоемкости во времени и во всех регионах мира. Это не означает, что различные виды землепользования уравниваются по их способности производить полезные для человека продукты и услуги: нельзя отрицать, что один гектар пашни может произвести больше полезных и ценных продуктов питания, чем один гектар пастбищ. Переведя биоемкость разных видов землепользования в глобальные гектары, мы получаем возможность сравнивать продуктивность пашни и пастбищ на равных основаниях.

С конца 80-х годов прошлого века человечество перерасходует ресурсы биосферы, т.е. экологический след превышает биологическую емкость Земли (рис. 4). Под биологической емкостью понимают способность экосистем восстанавливаться и при этом обеспечивать человека необходимыми экосистемными услугами в конечных пределах, определяемых размером биосферы Земли. Т.е. в сущ-

ности, регенеративная способность Земли уже не может не отставать от спроса на ресурсы. Люди превращают ресурсы в отходы быстрее, чем природа успевает обращать эти отходы в ресурсы.



Рис. 4. Экологический след человечества, общемировые данные (2018 Global Footprint Network. National Footprint Accounts)

Однако не все страны имеют одинаковый экологический след. Одни страны находятся в состоянии экологического дефицита («экологические должники») и используют больше биоемкости, чем могут контролировать на своей собственной территории. Для других стран, являющихся «экологическими кредиторами», экологический след меньше их собственной биоемкости (рис. 5).

Россия располагает 941 млн. гга биоемкости, а ее экологический след составляет 569 млн. гга, что дает ей примерно 372 млн. гга запаса биоемкости (согласно данным на 2009 г.). Только Бразилия обладает большим запасом биоемкости, чем Россия. Однако, в отличие от России (рис. 6), в Бразилии биоемкость неуклонно сокращается.



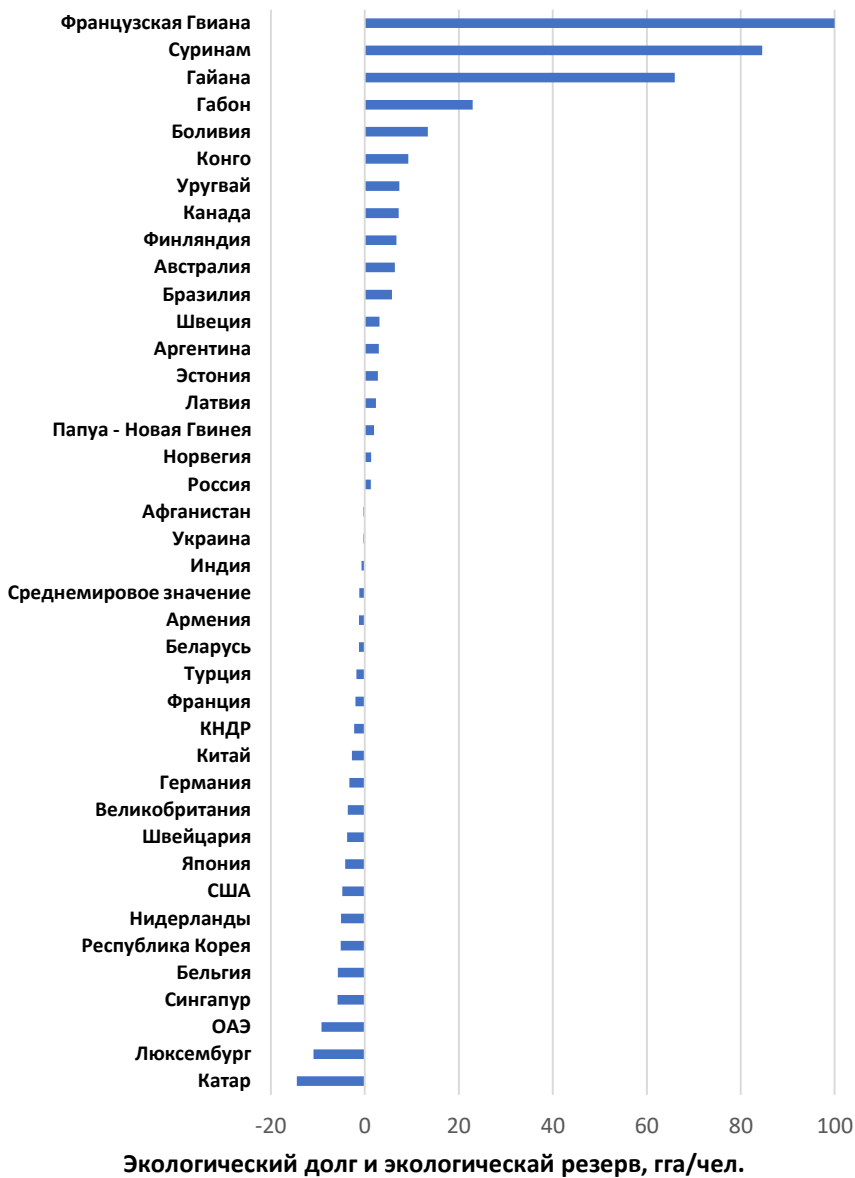


Рис. 5. Экологический долг и экологический резерв некоторых стран, гга/чел.



Рис. 6. Экологический след Российской Федерации  
(2018 Global Footprint Network. National Footprint Accounts)

В 2009 г. экологический след России составлял 4,0 гга на душу населения, в 2017 г. – 5,7 гга (среднее мировое значение – 2,8 гга). Необходимо учитывать, что субъекты Российской Федерации сильно различаются по имеющимся запасам природного капитала и уровню его потребления. В 2009 г. почти половину (49%) биоемкости России обеспечивали 7 субъектов Федерации, в то время как на долю 12 субъектов Федерации приходилось 50% ее экологического следа.

Для определения экологического следа потребления используют формулу (1).

$$EF_{\text{ПОТР}} = EF_{\text{ПР}} + (EF_{\text{И}} - EF_{\text{Э}}), \quad (1)$$

где  $EF_{\text{ПР}}$  – экологический след производства;

$EF_{\text{И}}$  – экологический след импорта;

$EF_{\text{Э}}$  – экологический след экспорта.

Разницу экологического следа импорта и экспорта называют экологическим следом торговли. Это означает, что потребление ресурсов и выделение выхлопных газов автомобилем, произведенным в России, но проданным и эксплуатируемым в Китае, отразятся на экологическом следе Китая, а не России.

Экологический след производства рассчитывается по формуле (2)

$$EF = \frac{P}{Y_N} \times YF \times EQF, \quad (2)$$

где  $P$  – уровень ВВП региона;

$Y_N$  – средний показатель создания ВВП в стране;

$YF$  – коэффициент урожайности, или соотношение национальной и среднемировой урожайностей;

$EQF$  – коэффициент эквивалентности, или фактор, показывающий равноценность типов земли по всему миру.

### Задания

1. Рассчитайте экологический след производства на одного жителя региона. Данные для расчета экологического следа производства представлены в таблице 5. Средний показатель создания ВВП ( $Y_N$ ) рассчитывается как отношение ВВП Российской Федерации к площади ее территории (га). Показатель урожайности земли ( $YF$ ) для России составляет 0,44<sup>1</sup>. Коэффициент эквивалентности ( $EQF$ ) равен 2,52.

2. Определите регионы Российской Федерации с наибольшими и наименьшими значениями экологического следа производства.

3. Регионы каких Федеральных округов характеризуются наибольшими значениями экологического следа производства?

4. Каковы основные пути снижения экологического следа? Почему вопрос снижения экологического следа является важным?

5. Какова связь между значением экологического следа и понятием устойчивого развития?

---

<sup>1</sup> Данные  $YF$  и  $EQF$  предоставлены Global Footprint Network в 2019 г.

Таблица 5. Данные для расчета экологического следа производства  
(за 2016 г.)

Регион	Общая площадь, км <sup>2</sup>	Население, чел.	ВВП, млрд. руб.
1	2	3	4
Алтайский край	167 996	2 376 774	498,8
Амурская область	361 908	805 689	287,6
Архангельская область	413 103	1 130 240	427,9
Астраханская область	49 024	1 018 626	338,7
Белгородская область	27 134	1 550 137	730,6
Брянская область	34 857	1 225 741	285,8
Владимирская область	29 084	1 397 168	392,1
Волгоградская область	112 877	2 545 937	743,3
Вологодская область	144 527	1 187 685	486,2
Воронежская область	52 216	2 333 477	841,4
Еврейская автономная область	36 271	166 120	46,9
Забайкальский край	431 892	1 083 012	262,8
Ивановская область	21 437	1 029 838	179,6
Иркутская область	774 846	2 412 800	1068,7
Кабардино-Балкарская Республика	12 470	862 254	132,7
Калининградская область	15 125	976 439	383,1
Калужская область	29 777	1 009 772	373,4
Камчатский край	464 275	316 116	198,1
Карачаево-Черкесская Республика	14 277	467 797	73,2
Кемеровская область	95 725	2 717 627	858,1
Кировская область	120 374	1 297 474	291
Костромская область	60 211	651 450	160,7
Краснодарский край	75 485	5 513 804	2015,9
Красноярский край	2 366 797	2 866 490	1767,9
Курганская область	71 488	861 896	193,9
Курская область	29 997	1 120 019	364,6
Ленинградская область	83 908	1 778 857	913,8

Продолжение табл. 5

1	2	3	4
Липецкая область	24 047	1 156 093	470,2
Магаданская область	462 464	146 345	146,9
Москва	2 561	12 330 126	14299,8
Московская область	44 329	7 318 647	3565,3
Мурманская область	144 902	762 173	425,8
Ненецкий автономный округ	176 810	43 838	255,5
Нижегородская область	76 624	3 260 267	1182,3
Новгородская область	54 501	615 692	244,5
Новосибирская область	177 756	2 762 237	1084,6
Омская область	141 140	1 978 466	625,9
Оренбургская область	123 702	1 994 762	772,1
Орловская область	24 652	759 721	213,9
Пензенская область	43 352	1 348 703	338,6
Пермский край	160 236	2 634 409	1091,3
Приморский край	164 673	1 929 008	736,9
Псковская область	55 399	646 374	144,4
Республика Адыгея	7 792	451 480	91,4
Республика Алтай	92 903	215 161	46,1
Республика Башкортостан	142 947	4 071 064	1344,4
Республика Бурятия	351 334	982 284	199,2
Республика Дагестан	50 270	3 015 660	597,1
Республика Ингушетия	3 628	472 776	50,9
Республика Калмыкия	74 731	278 733	56,0
Республика Карелия	180 520	629 875	233,4
Республика Коми	416 774	856 831	546,9
Республика Крым	26 081	1 907 106	315,9
Республика Марий Эл	23 375	685 865	160,5
Республика Мордовия	26 128	807 453	198,1
Республика Саха (Якутия)	3 083 523	959 689	868,6
Республика Северная Осетия – Алания	7 987	703 745	125,5

Окончание табл. 5

1	2	3	4
Республика Татарстан	67 847	3 868 730	1937,6
Республика Тыва	168 604	315 637	52,2
Республика Хакасия	61 569	536 781	182,4
Ростовская область	100 967	4 236 000	1270,9
Рязанская область	39 605	1 130 103	337,0
Самарская область	53 565	3 205 975	1275,1
Санкт-Петербург	1 403	5 225 690	3742,2
Саратовская область	101 240	2 487 529	655,1
Сахалинская область	87 101	487 293	767,8
Свердловская область	194 307	4 330 006	1978,1
Севастополь	864	416 263	64,2
Смоленская область	49 779	958 630	262,3
Ставропольский край	66 160	2 801 597	651,9
Тамбовская область	34 462	1 050 295	311,4
Тверская область	84 201	1 304 744	359,3
Томская область	314 391	1 076 762	487,0
Тульская область	25 679	1 506 446	517,7
Тюменская область	160 122	1 454 626	927,0
Удмуртская Республика	42 061	1 517 164	540,1
Ульяновская область	37 181	1 257 621	328,2
Хабаровский край	787 633	1 334 552	637,7
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	534 801	1 626 755	3031,2
Челябинская область	88 529	3 500 716	1260,7
Чеченская Республика	15 647	1 394 172	166,7
Чувашская Республика	18 343	1 236 628	261,6
Чукотский автономный округ	721 481	50 157	66,1
Ямало-Ненецкий автономный округ	769 250	534 104	1963,9
Ярославская область	36 177	1 271 912	469,8
Российская Федерация	17 125 191	146 544 710	69254,1

## Литература

1. *Завалюев В.Э., Медведева Л.Н.* Экологический след и перспективы развития мелиорации земель в Южном федеральном округе // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2017. № 2 (66). С. 137–143.
2. *Кубатко А.В.* Научный подход к определению экологического следа, как индикатора устойчивого развития на уровне региональных экономик // Механізм регулювання економіки. 2009. № 1. С. 194–202.
3. Экологический след субъектов Российской Федерации / общ. ред. П. А. Боева. – Москва: WWF России, 2014. 88 с.
4. Экологический след субъектов Российской Федерации. Основные выводы и рекомендации / общ. ред. П. А. Боева. – Москва: WWF России, 2017. 72 с.

### **Занятие 3. БИОРЕМЕДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ «ЗЕЛЕННЫЕ» МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

Биоремедиация – комплекс методов очистки вод и почв с использованием метаболического потенциала биологических объектов – растений, грибов, бактерий.

Важнейшее преимущество биоремедиационных технологий заключается в их безопасности для окружающей среды: они основаны на процессах самоочищения живой природы, и, как правило, при этом отсутствуют вторичные отходы, образующиеся при других методах ремедиации. Успешное развитие биоремедиационных технологий для восстановления загрязненных почв началось в 1970-е гг., прежде всего, в связи с очисткой земель, остающихся после нефтедобычи, аварий при транспортировке и переработке нефти и применения нефтепродуктов.

Преимущество биоремедиационных технологий связано с широчайшими возможностями живых систем метаболизировать в той или иной степени огромное число различных органических соединений. Кроме того, очень важно, что применение биоремедиационных технологий предполагает мягкое воздействие на очищаемую среду, не приводящее к существенным изменениям основных почвенных показателей.

Наиболее часто в качестве биологических объектов в биоремедиационных технологиях используют микроорганизмы и растения. Комплекс методов очистки окружающей среды с помощью растений называется фиторемедиацией.

Фиторемедиация включает семь основных стратегий (рис. 7):

1. Фитоэкстракция (фитоизоляция, фитоаккумуляция, фитоабсорбция) – накопление в зеленой фитомассе растения опасных загрязнений (например, тяжёлых металлов);

2. Фитодеградация (фитотрансформация) – деградация растениями и симбиотическими микроорганизмами загрязнителей, расщепление их органических молекул до более простых соединений;

3. Фитофильтрация (ризофильтрация) – поглощение воды и химических элементов, их адсорбция и аккумуляция в тканях корней;





Рис. 7. Основные стратегии фиторемедиации (по Fernández-Luqueño et al., 2017)

4. Фитогидравлика – ограничение движения загрязняющих веществ с водой, использование испарения воды растениями для контроля уровня почвенной влаги и движения загрязняющих веществ;

5. Фитостабилизация (фитоиммобилизация) – перевод химических соединений в менее подвижную и активную форму (снижение риска распространения загрязнений);

6. Фитостимуляция (ризодеградация) – стимуляция развития симбиотических микроорганизмов, принимающих участие в процессе очистки;

7. Фитоволатилизация – испарение воды и летучих химических элементов (As, Se) листьями растений.

Известно, что в процессе фиторемедиации растения могут одновременно использовать более одной стратегии из вышеупомянутых.

Однако, несмотря на ряд преимуществ фиторемедиации существует и ряд недостатков метода:

1. Формирование растительного покрова может быть ограничено крайне высокими концентрациями загрязняющих веществ;

2. Загрязняющие вещества, накопленные листьями, могут снова попадать в окружающую среду в результате листопада;

3. Загрязнения могут накапливаться в древесине, используемой в качестве топлива;

4. Может увеличиться растворимость некоторых загрязняющих веществ, что в таком случае приведет к большему ущербу для окружающей среды и/или миграции поллютанта;

5. Процесс фиторемедиации может занять больше времени, чем другие технологии;

6. Растительная биомасса может потребовать дополнительных технологических процессов и/или манипуляций до окончательной утилизации;

7. Может потребоваться использование трансгенных растений или микроорганизмов.

Тем не менее, различные растения были применены и в настоящее время широко используются в фиторемедиационных целях.

Одними из наиболее актуальных биоремедиационных технологий являются методы обезвреживания почв и вод, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Примером успешного использования биоремедиационных технологий в России являются проведенные в республике Коми работы по очистке и восстановлению природных территорий, загрязненных нефтью в результате аварий на магистральном нефтепроводе. Комплексная биоремедиация на загрязненной нефтешламами акватории «Треугольного болота» была проведена на территории железнодорожного депо ст. Бологое Октябрьской железной дороги, где поступление нефтеотходов в болото происходило более десяти лет, практически превратив его в нефтеотстойник.

## Задания

1. По данным таблицы 6 составьте систематический список растений, используемых в фиторемедиации почв. Определите перечень семейств, порядков, классов, составьте соответствующие диаграммы. Растения каких таксонов чаще используются в фиторемедиации почвы?

2. По данным таблицы 6 определите, какие загрязняющие вещества наиболее эффективно устраняются в процессе фиторемедиации?

3. Изучите перечень микроорганизмов и грибов, используемых в биоремедиации почв (таблица 7).

4. Сравните биоремедиационные характеристики растений, грибов и микроорганизмов. Какие виды являются наиболее эффективными в процессе биоремедиации почв?

Таблица 6. Фиторемедиационные характеристики некоторых растений (по Fernández-Luqueño et al. 2017, с изменениями)

Вид растения	Вещество	Степень деградации	Источник литературы
1	2	3	4
<i>Azolla caroliniana</i>	фенантрен	80% 49 дней	Castro-Carrillo et al. 2008
<i>Bassia scoparia</i>	сырая нефть	31–57% 5 месяцев	Moubasher et al. 2015
<i>Bidens maximowicziana</i>	пирен	79% 50 дней	Lu et al. 2010a
<i>Bidens pilosa</i>	сырая нефть	9% 64 дня	Kuo et al. 2014
<i>Brassica juncea</i>	пирен	67% 60 дней	Chigbo & Batty 2013

Продолжение табл. 6

1	2	3	4
<i>Brassica napus</i>	пирен	30% 90 дней	D'Orazio et al. 2013
<i>Chromolaena odorata</i>	сырая нефть	80% 180 дней	Atagana 2011
<i>Cyperus brevifolius</i>	сырая нефть	61–86 1 год	Basumatary et al. 2012
<i>Echinacea purpurea</i>	антрацен, пирен, флуорантен, хризен	93% 50 дней	Liu et al. 2014a
<i>Eichhornia crassipes</i>	нафталин	66% 5 часов	Nesterenko- Malkovskaya et al. 2012
<i>Eleusine indica</i>	полициклические ароматические углеводороды	32% 5 месяцев	Lu et al. 2010b
<i>Festuca arundinacea</i>	полициклические ароматические углеводороды	84% 7 месяцев	Soleimani et al. 2010
<i>Festuca pratensis</i>	полициклические ароматические углеводороды	64–72% 7 месяцев	Soleimani et al. 2010
<i>Fimbristylis littoralis</i>	полициклические ароматические углеводороды	92% 90 дней	Oluchi-Nwaichi et al. 2015
<i>Impatiens balsamina</i>	сырая нефть	18–65% 4 месяца	Cai et al. 2010
<i>Jatropha curcas</i>	смазочные материалы	89–96% 180 дней	Agamuthu et al. 2010
<i>Juncus roemerianus</i>	полициклические ароматические углеводороды	84–100% 1 год	Lin & Mendelssohn 2009
<i>Juncus subsecundus</i>	фенантрен и пирен	97 и 43–63% 10 недель	Zhang et al. 2012

Продолжение табл. 6

1	2	3	4
<i>Kandelia candel</i>	фенантрен и пирен	56 и 47% 60 дней	Lu et al. 2011
<i>Lolium multiflorum</i>	сырая нефть	59% 80 дней	Alarcon et al. 2008
<i>Lolium perenne</i>	пирен	28% 90 дней	D'Orazio et al. 2013
<i>Luffa acutangula</i>	антрацен и флуорантен	98 и 85–96% 45 дней	Somtrakoon et al. 2014
<i>Medicago sativa</i>	антрацен, пирен, флуорантен, хризен	98% 150 дней	D'Orazio et al. 2013 Xiao et al. 2015
<i>Mirabilis jalapa</i>	сырая нефть	41–63% 127 дней	Peng et al. 2009
<i>Onobrychis viciifolia</i>	фенантрен и пирен	85 и 74% 120 дней	Baneshi et al. 2014
<i>Potamogeton crispus</i>	фенантрен и пирен	18–34% и 14–27% 54 дня	Meng & Chi 2015
<i>Sagittaria trifolia</i>	дизельное топливо	54–85% 50 дней	Zhang et al. 2015
<i>Salix rubens</i>	полициклические ароматические углеводороды	98% 3 года	Da Cunha et al. 2012
<i>Salix triandra</i>	полициклические ароматические углеводороды	98% 3 года	Da Cunha et al. 2012
<i>Scirpus grossus</i>	сырая нефть	66–81% 72 дня	Al-Baldawi et al. 2015
<i>Sorghum</i> sp.	фенантрен и пирен	85 и 73% 120 дней	Baneshi et al. 2014
<i>Tagetes patula</i>	бенз(а)пирен	78–93% 92 дня	Sun et al. 2011

Окончание табл. 6

1	2	3	4
<i>Trifolium repens</i>	пирен	77% 60 дней	Xu et al. 2009
<i>Triticum</i> sp.	фенантрен и пирен	98–100% и 65–70% 90 дней	Shahsavari et al. 2015
<i>Vallisneria spiralis</i>	фенантрен и пирен	53–59% и 50–53% 54 дня	Liu et al. 2014b
<i>Zea mays</i>	полициклические ароматические углеводороды	52–72% 60 дней	Liao et al. 2015
<i>Zostera marina</i>	полициклические ароматические углеводороды	73% 60 недель	Huesemann et al. 2009

Таблица 7. Биоремедиационные характеристики некоторых микроорганизмов и грибов (по Fernández-Luqueño et al. 2017, с изменениями)

Вид/род	Вещество	Степень деградации	Источник литературы
1	2	3	4
<i>Acinetobacter</i> sp.	фенантрен и пирен	90% и 50% 6 дней	Shao et al. 201
<i>Acinetobacter venetianus</i>	дизельное топливо	>95% 60 часов	Lin et al. 2015
<i>Achromobacter xylosoxidans</i>	флуорантен	90% 14 дней	Ma et al. 2015
<i>Aspergillus niger</i>	бенз(а)пирен	45% 5 дней	Machin-Ramirez et al. 2010
<i>Aspergillus sclerotiorum</i>	пирен и бенз(а)пирен	99% и 76.6% 8 и 6 дней	Passarini et al. 2011

Продолжение табл. 7

1	2	3	4
<i>Bacillus</i> sp.	дизельное топливо	74% 60 дней	Cisneros de La Cueva et al. 2014, Liu et al. 2015
<i>Bacillus mycoides</i>	бенз(а)пирен	27% 5 дней	Machin-Ramirez et al. 2010
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	пирен и бенз(а)пирен	42% и 45% 8 и 16 дней,	Passarini et al. 2011
<i>Cycloclasticus</i> sp.	фенантрен, пирен и флуорантен	98%–99% 10 дней 52–63, 49–65% 21 день	Cui et al. 2014
<i>Cycloclasticus</i> sp. в ассоциации с <i>Marinobacter</i> sp.	пирен и флуорантен	63–76 и 65–83% 21 день	Cui et al. 2014
<i>Dietzia maris</i>	фенантрен	63% 21 день	Dellagnezze et al. 2014
<i>Ensifer meliloti</i>	фенантрен	46% 5 дней	Muratova et al. 2014
<i>Fusarium solani</i>	пирен	64–70% 14 дней	Hong et al. 2010
<i>Ganoderma lucidum</i>	фенантрен и пирен	>95% 6 дней	Ting et al. 2011
<i>Halomonas</i> sp. + <i>Marinobacter</i> sp.	фенантрен	90% 12 дней	Dastgheib et al. 2012
<i>Hypocrea lixii</i>	пирен	69% 14 дней	Hong et al. 2010
<i>Kocuria flava</i>	нафталин	53% 10 дней	Ahmed et al. 2010
<i>Kocuria rosea</i>	нафталин и фенантрен	36% и 9% 10 дней	Ahmed et al. 2010

Продолжение табл. 7

1	2	3	4
<i>Martelella</i> sp.	фенантрен	100% 6 дней	Feng et al. 2012
<i>Methylobacterium populi</i>	фенантрен	27% 20 дней	Ventorino et al. 2014
<i>Micrococcus</i> sp.	фенантрен	99% 21 день	Dellagnezze et al. 2014
<i>Mucor racemosus</i>	пирен и бенз(а)пирен	33% и 51% 8 и 16 дней	Passarini et al. 2011
<i>Mycobacterium goodii</i>	полициклические ароматические углеводороды	3–4% за каждые сутки	Brito et al. 2015
<i>Novosphingobium pentaromativorans</i>	фенантрен, пирен и бенз(а)пирен	86%, 31% и 22% 2, 3 и 2 дня	Lyu et al. 2014
<i>Ochrobactrum</i> sp.	антрацен, фенантрен, нафталин, флуорен, пирен	50–98% 4–5 дней	Arulazhagan & Vasudevan 2011
<i>Ochrobactrum</i> sp.	фенантрен	90% 7 дней	Chang et al. 2011
<i>Penicillium</i> sp.	бенз(а)пирен	83% 5 дней	Machin-Ramirez et al. 2010
<i>Penicillium commune</i>	сырая нефть	95% 5 дней	Esmaeili & Sadeghi 2014
<i>Pseudomonas</i> sp.	полициклические ароматические углеводороды и бенз(а)пирен	3–5% 1 день и 12% 5 дней	Brito et al. 2015, Parray et al. 2015, Machin-Ramirez et al. 2010



Продолжение табл. 7

1	2	3	4
<i>Pseudomonas</i> sp.	полициклические ароматические углеводороды и бенз(а)пирен	3–5% 1 день и 12% 5 дней	Brito et al. 2015, Parray et al. 2015, Machin-Ramirez et al. 2010
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	полициклические ароматические углеводороды	100% 28 дней	Patowary et al. 2015, Goswami et al. 2015
<i>Pseudoxanthomonas</i> sp.	фенантрен	100% 5 дней	Patel et al. 2012
<i>Rhizobium tropici</i>	фенантрен и бенз(а)пирен	50% и 45%, 3 дня	Gonzales-Paredes et al. 2013
<i>Rhodococcus</i> sp.	нафталин и фенантрен	100% 9–11 дней	Yang et al. 2014
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	бенз(а)пирен	46% 5 дней	Machin-Ramirez et al. 2010
<i>Serratia marcescens</i>	бенз(а)пирен	32% 5 дней	Machin-Ramirez et al. 2010
<i>Sphingomonas koreensis</i>	нафталин, фенантрен, антрацен и пирен	100, 99, 98, 92% 15 дней	Hesham et al. 2014
<i>Staphylococcus</i> sp.	фенантрен	90% 3 дня	Chang et al. 2011
<i>Streptomyces</i> sp.	нафталин	81–85% 12 дней	Ferrafji et al. 2014

1	2	3	4
<i>Trichoderma asperellum</i>	фенантрен, пирен и бенз(а)пирен	74, 62 и 80% 18 дней	Zafra et al. 2015
<i>Trichoderma harzianum</i>	бенз(а)пирен	77% 5 дней	Machin-Ramirez et al. 2010
<i>Trichoderma longibrachiatum</i>	фенантрен	90% 14 дней	Cobas et al. 2013, Zhang et al. 2014
<i>Trichoderma viride</i>	полициклические ароматические углеводороды	47% 1 год	Szczepaniak et al. 2015
<i>Yarrowia lipolytica</i>	сырая нефть	58–68% 7 дней	Hassanshahian et al. 2012

## Литература

Смольникова В.В., Дементьева Д.М., Дементьев М.С. Особенности биоремедиации нефтезагрязненных почв // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 1(5). С. 1219–1221.

Янкевич М.И., Хадеева В.В., Мурыгина В.П. Биоремедиация почв: вчера, сегодня, завтра // Биосфера. 2015. Т. 7. № 2. С. 199–208.

Agamuthu P., Abioye O.P., Aziz A.A. Phytoremediation of soil contaminated with used lubricating oil using *Jatropha curcas* // Journal of Hazardous Materials. 2010. Vol. 179. P. 891–894.

Ahmed R.Z., Ahmed N., Gadd G.M. Isolation of two *Kocuria* species capable of growing on various polycyclic aromatic hydrocarbons // African Journal of Biotechnology. 2010. Vol. 9. P. 3611–3617.

Alarcon A., Davies F., Autenrieth R. et al. Arbuscular mycorrhiza and petroleum-degrading microorganisms enhance phytoremediation of

petroleum-contaminated soil // International Journal of Phytoremediation. 2008. Vol. 10. P. 251–263.

*Al-Baldawi I.A., Abdullah S.R.S., Anuar N.* et al. Phytodegradation of total petroleum hydrocarbon (TPH) in diesel-contaminated water using *Scirpus grossus* // Ecological Engineering. 2015. Vol. 74. P. 463–473.

*Arulazhagan P., Vasudevan N.* Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by a halotolerant bacterial strain *Ochrobactrum* sp. VA1 // Marine Pollution Bulletin. 2011. Vol. 62. P. 388–394.

*Atagana H.I.* Bioremediation of co-contamination of crude oil and heavy metals in soil by phytoremediation using *Chromolaena odorata* (L) King & H.E. Robinson // Water, Air, & Soil Pollution. 2011. Vol. 215. P. 261–271.

*Baneshi M., Kalantary R., Jafari A.* et al. Effect of bioaugmentation to enhance phytoremediation for removal of phenanthrene and pyrene from soil with *Sorghum* and *Onobrychis sativa* // Journal of Environmental Health Science and Engineering. 2014. Vol. 12. P. 24.

*Basumatary B., Bordoloi S., Sarma H.P.* Crude oil-contaminated soil phytoremediation by using *Cyperus brevifolius* (Rottb.) Hassk // Water, Air, & Soil Pollution. 2012. Vol. 223. P. 3373–3383.

*Brito E.M., Barron M., Carretta C.A.* et al. Impact of hydrocarbons, PCBs and heavy metals on bacterial communities in Lerma River, Salamanca, Mexico: investigation of hydrocarbon degradation potential // Science of the Total Environment. 2015. Vol. 521. P. 1–10.

*Cai Z., Zhou Q., Peng S.* et al. Promoted biodegradation and microbiological effects of petroleum hydrocarbons by *Impatiens balsamina* L. with strong endurance // Journal of Hazardous Materials. 2010. Vol. 183. P. 731–737.

*Castro-Carrillo L.A., Delgadillo-Martinez J., Ferrera-Cerrato R.* et al. Phenanthrene dissipation by *Azolla caroliniana* utilizing bioaugmentation with hydrocarbonoclastic microorganisms // Interciencia. 2008. Vol. 33. P. 591–597.

*Chang C., Lee J., Ko B.* et al. *Staphylococcus* sp. KW-07 contains nahH gene encoding catechol 2,3-dioxygenase for phenanthrene degradation and a test in soil microcosm // International Biodeterioration & Biodegradation. 2011. Vol. 65. P. 198–203.

Chigbo C., Batty L. Phytoremediation potential of *Brassica juncea* in Cu-pyrene cocontaminated soil: comparing freshly spiked soil with aged soil // *Journal of Environmental Management*. 2013. Vol. 129. P. 18–24.

Cisneros de La Cueva S., Martinez-Prado M.A., Rojas-Contreras J.A. et al. Isolation and characterization of a novel strain, *Bacillus* sp. kj629314, with a high potential to aerobically degrade diesel // *Revista Mexicana de Ingenieria Quimica*. 2014. Vol. 13. P. 393–403.

Cobas M., Ferreira L., Tavares T. Development of permeable reactive biobarrier for the removal of PAHs by *Trichoderma longibrachiatum* // *Chemosphere*. 2013. Vol. 91. P. 711–716.

Cui Z., Xu G., Gao W. et al. Isolation and characterization of *Cycloclasticus* strains from Yellow Sea sediments and biodegradation of pyrene and fluoranthene by their syntrophic association with *Marinobacter* strains // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2014. Vol. 91. P. 45–51.

D’Orazio V., Ghanem A., Senesi N. Phytoremediation of pyrene contaminated soils by different plant species // *Clean: Soil, Air, Water*. 2013. Vol. 41. P. 377–382.

Da Cunha A., Sabedot S., Sampaio C. et al. *Salix rubens* and *Salix triandra* species as phytoremediators of soil contaminated with petroleum-derived hydrocarbons // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2012. Vol. 223. P. 4723–4731.

Dastgheib S., Amoozegar M.A., Khajeh K. et al. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by a halophilic microbial consortium // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2012. Vol. 95. P. 789–798.

Dellagnezze B.M., de Sousa G.V., Martins L. et al. Bioremediation potential of microorganisms derived from petroleum reservoirs // *Marine Pollution Bulletin*. 2014. Vol. 89. P. 191–200.

Esmaeili A., Sadeghi E. The efficiency of *Penicillium commune* for bioremoval of industrial oil // *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2014. Vol. 11. P. 1271–1276.

Feng T., Cui C., Dong F. et al. Phenanthrene biodegradation by halophilic *Martellella* sp. AD-3 // *Journal of Applied Microbiology*. 2012. Vol. 113. P. 779–789.

Fernández-Luqueño F., López-Valdez F., Sarabia-Castillo C.R. et al. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons-polluted soils at laboratory and field scale: a review of the literature on plants and

microorganisms. In: *Anjum N.A., Gill S.S., Tuteja N.* Enhancing cleanup of environmental pollutants. Volume 1: Biological approaches. – Cham: Springer Nature, 2017. – P. 43–64.

*Ferrafji F.Z., Mnif S., Badis A.* et al. Naphthalene and crude oil degradation by biosurfactant producing *Streptomyces* spp. isolated from Mitidja plain soil (north of Algeria) // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2014. Vol. 86. P. 300–308.

*Gonzales-Paredes Y., Alarcon A., Ferrera-Cerrato R.* et al. Tolerance, growth and degradation of phenanthrene and benzo[a]pyrene by *Rhizobium tropici* CIAT 899 in liquid culture medium // *Applied Soil Ecology*. 2013. Vol. 63. P. 105–111.

*Goswami D., Patel K., Parmar S.* et al. Elucidating multifaceted urease producing marine *Pseudomonas aeruginosa* BG as a cogent PGPR and bio-control agent // *Plant Growth Regulation*. 2015. Vol. 75. P. 253–263.

*Hassanshahian M., Tebyanian H., Cappello S.* Isolation and characterization of two crude oil-degrading yeast strains, *Yarrowia lipolytica* PG-20 and PG-32, from the Persian Gulf // *Marine Pollution Bulletin*. 2012. Vol. 64. P. 1386–1391.

*Hesham A., Mawad A.M., Mostafa Y.M.* et al. Biodegradation ability and catabolic genes of petroleum-degrading *Sphingomonas koreensis* strain asu-06 isolated from Egyptian oily soil // *BioMed Research International*. 2014. 2014:127674.

*Hong J.W., Park J.Y., Gadd G.M.* Pyrene degradation and copper and zinc uptake by *Fusarium solani* and *Hypocrea lixii* isolated from petrol station soil // *Journal of Applied Microbiology*. 2010. Vol. 108. P. 2030–2040.

*Huesemann M., Hausmann T., Fortman T.* et al. *In situ* phytoremediation of PAH- and PCB-contaminated marine sediments with eelgrass (*Zostera marina*) // *Ecological Engineering*. 2009. Vol. 35. P. 1395–1404.

*Kuo H.C., Juang D.F., Yang L.* et al. Phytoremediation of soil contaminated by heavy oil with plants colonized by mycorrhizal fungi // *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2014. Vol. 11. P. 1661–1668.

*Liao C., Xu W., Lu G.* et al. Accumulation of hydrocarbons by maize (*Zea mays* L.) in remediation of soils contaminated with crude oil // *International Journal of Phytoremediation*. 2015. Vol. 17. P. 693–700.

Lin Q., Mendelssohn I.A. Potential of restoration and phytoremediation with *Juncus roemerianus* for diesel-contaminated coastal wetlands // Ecological Engineering. 2009. 35:85–91.

Liu H., Chen G., Wang G. Characteristics for production of hydrogen and bioflocculant by *Bacillus* sp. XF-56 from marine intertidal sludge // International Journal of Hydrogen Energy. 2015. Vol. 40. P. 1414–1419.

Liu R., Zhao L., Jin C. et al. Enzyme responses to phytoremediation of PAH-contaminated soil using *Echinacea purpurea* (L.) Moench // Water, Air, & Soil Pollution. 2014a. Vol. 225. P. 22–30.

Liu H., Meng F., Tong Y. et al. (2014b) Effect of plant density on phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons contaminated sediments with *Vallisneria spiralis* // Ecological Engineering. Vol. 73. P. 380–385.

Lu H., Zhang Y., Liu B. et al. Rhizodegradation gradients of phenanthrene and pyrene in sediment of mangrove (*Kandelia candel* (L.) Druce) // Journal of Hazardous Materials. 2011. Vol. 196. P. 263–269.

Lu S., Teng Y., Wang J. et al. Enhancement of pyrene removed from contaminated soils by *Bidens maximowicziana* // Chemosphere. 2010a. Vol. 81. P. 645–650.

Lu M., Zhang Z.Z., Sun S.S. et al. The use of goosegrass (*Eleusine indica*) to remediate soil contaminated with petroleum // Water, Air, & Soil Pollution. 2010b. Vol. 209. P. 181–189.

Lyu Y., Zheng W., Zheng T. et al. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by *Novosphingobium pentaromativorans* US6-1 // PLoS One. 2014. Vol. 9. e101438.

Ma Y.L., Lu W., Wan L.L. Elucidation of fluoranthene degradative characteristics in a newly isolated *Achromobacter xylosoxidans* DN002 // Applied Biochemistry and Biotechnology. 2015. Vol. 175. P. 1294–1305.

Machin-Ramirez C., Morales D., Martinez-Morales F. et al. Benzo[a]pyrene removal by axenic- and co-cultures of some bacterial and fungal strains // International Biodeterioration & Biodegradation. 2010. Vol. 64. P. 538–544.

Meng F., Chi J. Interactions between *Potamogeton crispus* L. and phenanthrene and pyrene in sediments // Journal of Soils and Sediments. 2015. Vol. 15. P. 1256–1264.

Moubasher H.A., Hegazy A.K., Mohamed N.H. et al. Phytoremediation of soils polluted with crude petroleum oil using *Bassia*

*scoparia* and its associated rhizosphere microorganisms // International Biodeterioration & Biodegradation. 2015. Vol. 98. P. 113–120.

Muratova A., Pozdnyakova N., Makarov O. et al. Degradation of phenanthrene by the rhizobacterium *Ensifer meliloti* // Biodegradation. 2014. Vol. 25. P. 787–795.

Nesterenko-Malkovskaya A., Kirzhner F., Zimmels Y. *Eichhornia crassipes* capability to remove naphthalene from wastewater in the absence of bacteria // Chemosphere. 2012. Vol. 87. P. 1186–1191.

Oluchi-Nwaichi E., Frac M., Aleruchi-Nwoha P. Enhanced phytoremediation of crude oil-polluted soil by four plant species: effect of inorganic and organic bioaugmentation // International Journal of Phytoremediation. 2015. Vol. 17. P. 1253–1261.

Parray J.A., Kamili A.N., Reshi Z.A. et al. Interaction of rhizobacterial strains for growth improvement of *Crocus sativus* L. under tissue culture conditions // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2015. Vol. 121. P. 325–334.

Passarini M., Rodrigues M., da Silva M. et al. Marine-derived filamentous fungi and their potential application for polycyclic aromatic hydrocarbon bioremediation // Marine Pollution Bulletin. 2011. Vol. 62. P. 364–370.

Patel V., Cheturvedula S., Madamwar D. Phenanthrene degradation by *Pseudoxanthomonas* sp. DMVP2 isolated from hydrocarbon contaminated sediment of Amlakhadi canal, Gujarat, India // Journal of Hazardous Materials. 2012. Vol. 201. P. 43–51.

Patowary K., Kalita M.C., Deka S. Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) employing biosurfactant producing *Pseudomonas aeruginosa* KS3 // Indian Journal of Biotechnology. 2015. Vol. 14. P. 208–215.

Peng S., Zhou Q., Cai Z. et al. Phytoremediation of petroleum contaminated soils by *Mirabilis Jalapa* L. in a greenhouse plot experiment // Journal of Hazardous Materials. 2009. Vol. 168. P. 1490–1496.

Shahsavari E., Adetutu E.M., Taha M. et al. Rhizoremediation of phenanthrene and pyrene contaminated soil using wheat // Journal of Environmental Management. 2015. Vol. 155. P. 171–176.

Shao Y., Wang Y., Wu X. et al. Biodegradation of PAHs by *Acinetobacter* isolated from karst groundwater in a coal-mining area // Environmental Earth Sciences. 2015. Vol. 73. P. 7479–7488.

Soleimani M., Afyuni M., Hajabbasi M.A. et al. Phytoremediation of an aged petroleum contaminated soil using endophyte infected and non-infected grasses // *Chemosphere*. 2010. Vol. 81. P. 1084–1090.

Somtrakoon K., Chouychai W., Lee H. Phytoremediation of anthracene- and fluoranthene-contaminated soil by *Luffa acutangula* // *Maejo International Journal of Science and Technology*. 2014. Vol. 8. P. 221–231.

Sun Y., Zhou Q., Xu Y. et al. Phytoremediation for co-contaminated soils of benzo[a]pyrene (B[a]P) and heavy metals using ornamental plant *Tagetes patula* // *Journal of Hazardous Materials*. 2011. Vol. 186. P. 2075–2082.

Szczepaniak Z., Cyplik P., Juzwa W. Antibacterial effect of the *Trichoderma viride* Fungi on soil microbiome during PAH's biodegradation // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2015. Vol. 104. P. 170–177.

Ting W., Yuan S.Y., Wu S.D. Biodegradation of phenanthrene and pyrene by *Ganoderma lucidum* // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2011. Vol. 65. P. 238–242.

Ventorino V., Sannino F., Piccolo A. *Methylobacterium populi* VP2: plant growth-promoting bacterium isolated from a highly polluted environment for polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) biodegradation // *The Scientific World Journal*. 2014. 2014:931793.

Xiao N., Liu R., Jin C. et al. Efficiency of five ornamental plant species in the phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)-contaminated soil // *Ecological Engineering*. 2015. Vol. 75. P. 384–391.

Xu S., Chen Y., Lin K. et al. Removal of pyrene from contaminated soils by white clover // *Pedosphere*. 2009. Vol. 19. P. 265–272.

Yang H., Jia R., Chen B. et al. Degradation of recalcitrant aliphatic and aromatic hydrocarbons by a dioxin-degrader *Rhodococcus* sp. strain p52 // *Environmental Science and Pollution Research*. 2014. Vol. 21. P. 11086–11093.

Zafra G., Moreno-Montano A., Absalon A. et al. Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil by a tolerant strain of *Trichoderma asperellum* // *Environmental Science and Pollution Research* 2015. Vol. 22. P. 1034–1042.



Zhang S., Gan Y., Xu B. Efficacy of *Trichoderma longibrachiatum* in the control of *Heterodera avenae* // BioControl. 2014. Vol. 59. P. 319–331.

Zhang X., Wang J., Liu X. Potential of *Sagittaria trifolia* for phytoremediation of diesel // International Journal of Phytoremediation. 2015. Vol. 17. P. 1220–1226.

Zhang Z., Rengel Z., Chang H. et al. Phytoremediation potential of *Juncus subsecundus* in soils contaminated with cadmium and polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) // Geoderma. 2012. Vol. 175. P. 1–8.

## Занятие 4. ЭНЕРГИЯ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

С энергетической точки зрения долгую историю человечества можно разделить на два основных периода.

В первом периоде (от зарождения человечества до 1500-х гг.) в качестве источников энергии выступали пища, корм для животных, древесина (дрова), энергия воды (водяные мельницы) и ветра (ветряные мельницы, парусные суда).

Начало второго периода (с 1500-х гг. и по настоящее время) связано с переходом человечества на ископаемые виды топлива (уголь, нефть, природный газ, атомная энергия). Однако, второй период характеризуется не только качественными изменениями типов источников энергии, но и резким количественным ростом потребления энергии в пересчете на 1 человека (рис. 8, таблицы 8, 9). Масштабы проблемы существенно увеличиваются с учетом роста населения планеты.

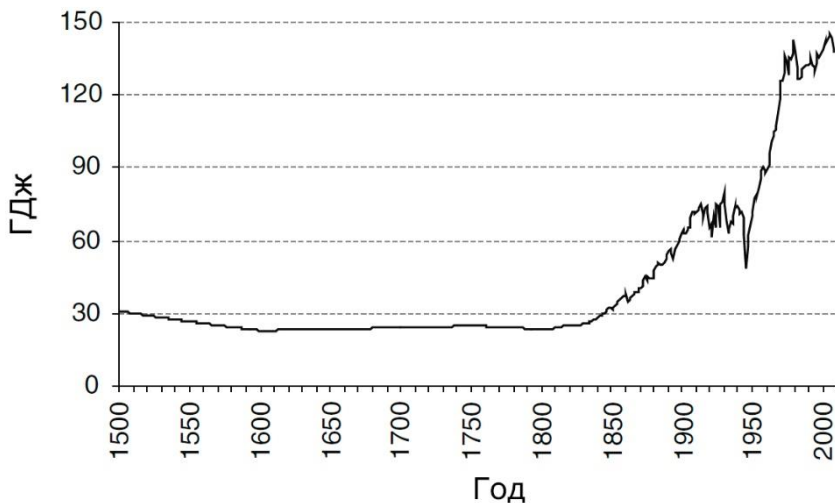


Рис. 8. Потребление энергии на человека в Западной Европе в 1500–2000 гг. (по Kander et al. 2013)

Таблица 8. Потребление энергии в Западной Европе с 1800 по 2000 год (по Kander et al. 2013, Malanima 2014)

Год	Ккал на человека в день	Тонн нефтяного эквивалента на человека в год	Традиционные источники, %	Население, млн. чел.
1800	15300	0,56	77	97,0
1830	16700	0,61	62	118,8
1900	42000	1,53	20	194,8
1950	46500	1,70	13	254,5
1970	82200	3,00	7	293,7
1990	86800	3,17	7	316,9
2000	90700	3,31	8	327,4
2010	88000	3,12	8	336,6

Таблица 9. Мировое потребление энергии с 1800 по 2000 год (по Etemad & Luciani 1991, Fernandes et al. 2007, Malanima 2014)

Год	Ккал на человека в день	Тонн нефтяного эквивалента на человека в год	Традиционные источники, %	Население, млн. чел.
1800	8500	0,31	98	950
1850	9800	0,36	88	1180
1880	13000	0,47	65	1365
1900	18400	0,67	50	1560
1950	28200	1,00	33	2527
1970	45900	1,67	20	3691
1985	48100	1,76	16	4838
2000	49000	1,79	14	6077
2010	55700	2,03	14	6850

В конце XX века потребление энергии на душу населения в мировом масштабе составляло около 50000 ккал в день, или 76 ГДж в год. Около 80% этого потребления приходилось на органические ископаемые источники энергии (уголь, нефть и природный газ), доля атомной энергии составляла 6%, гидроэнергетики – 2%. Остальные 12% приходились на биомассу (в первую очередь – пища и дрова) и биотопливо (таблица 10).

Таблица 10. Мировое потребление энергии в конце XX века

Источник	Ккал на человека в день	Тонн нефтяного эквивалента на человека в год	%
Неорганический вклад	4000	0,15	8
Ископаемое топливо	40000	1,47	80
Биомасса	6000	0,22	12
<b>Всего</b>	<b>50000</b>	<b>1,84</b>	<b>100</b>

Доля возобновляемых источников энергии (солнечной, ветряной и геотермальной энергии) стала существенной лишь в последние годы (таблица 11).

Таблица 11. Мировое потребление энергии (млн. т нефтяного эквивалента в год) (по Martin 1990, ВР 2012)

Год	Уголь	Нефть	Газ	Возобновляемые источники	Всего
1700	3	0	0	0	3
1750	5	0	0	0	5
1800	11	0	0	0	11
1850	48	0	0	0	48
1900	506	20	7	1	534
1950	971	497	156	29	1653
1973	1563	2688	989	131	5371
1987	2249	2968	1550	332	7099
2010	3532	4032	2843	1405	11812

*Примечание:* возобновляемые источники энергии включают солнечную, ветряную и геотермальную энергию.

В начале 19-го века производство энергии было полностью локализовано в Европе (таблица 12). Ситуация изменилась в течение 20-го века, и особенно во второй его половине, когда нефть стала играть центральную роль в энергетических системах развитых стран.

Таблица 12. Производство энергии в различных регионах мира, в процентах (по Etemad & Luciani 1991, Malanima 2014)

Регион	Год				
	1800	1850	1900	1950	1985
Европа	99,09	90,00	61,63	35,66	38,38
Америка	0,91	10,00	35,71	52,38	30,73
Азия	0,00	0,00	1,72	9,99	23,11
Африка	0,00	0,00	0,12	1,24	5,83
Океания	0,00	0,00	0,82	0,73	1,95
<b>Всего</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Тем не менее, разница в коммерческом потреблении энергии на человека между экономическими богатыми и бедными странами достигает 40 раз. Например, в то время как в Нигере и Мали потребление энергии составляет 0,2 тнэ на человека в год, в США оно составляет 8 тнэ. В 1980-х годах в мировом масштабе потребление энергии в странах с развитой рыночной экономикой составляло 50% от общего мирового объема; в странах с централизованно планируемой экономикой – 20%, а в развивающихся странах – 30%. К концу XX века 25% населения мира (1,5 миллиарда человек, проживающих в развитых странах) потребляло 75% мировой энергии за один год, в то время как 75% населения (4,5 миллиардов человек) потребляло всего 25%.

50-кратный рост потребления энергии в мировом масштабе за последние 200 лет привел к резкому повышению уровня парниковых газов в атмосфере. Их присутствие в воздухе стало быстро возрастать с момента начала широкого использования угля и других видов ископаемого топлива. Однако, природный газ гораздо меньше загрязняет окружающую среду, чем нефть, которая, в свою очередь, меньше загрязняет окружающую среду, чем уголь. По мнению большинства палеоклиматологов, повышение температуры в течение прошлого столетия является следствием современной энергетической системы. И хотя снижение энергоемкости с 1990-х годов приводит к относительно меньшему влиянию энергетической отрасли на окружающую среду, быстрый рост энергопотребления в абсолютном выражении нивелирует все положительные эффекты.

С одной стороны, выбросы CO<sub>2</sub> имеют тенденцию к снижению по отношению к ВВП на душу населения, поскольку в экономически развитых странах энергоёмкость уменьшается (таблица 13). Однако, с другой стороны, вследствие высокого уровня производства, выбросы на душу населения в абсолютных значениях в развитых странах намного выше, чем в развивающихся.

Таблица 13. Эмиссии углекислого газа в странах с различным уровнем экономического развития (по данным на 2005 г.)  
(источник <http://www.worldbank.org/>)

ВВП на человека по ППС (в долларах США)	Уровень дохода на человека	Отношение выбросов CO <sub>2</sub> (кг) к ВВП	Отношение выбросов CO <sub>2</sub> (т) к численности населения
менее 995	низкий	0,28	0,28
996–3945	средний	0,73	2,79
3,946–12195	средний	0,48	5,26
более 12195	высокий	0,37	12,49
<b>Среднее значение</b>		0,49	4,63

Выбросы CO<sub>2</sub> увеличились с 18,5 млрд. т. в 1980 г. до почти 30 млрд. т. в 2006 г. Другими словами, рост эмиссии углекислого газа в атмосферу составил 60% менее чем за 30 лет. Попытки сократить выбросы CO<sub>2</sub> с целью стабилизации или уменьшения концентрации парниковых газов в атмосфере (Киотский протокол вступил в силу 16 февраля 2005 г.), как правило, имеют тяжелые последствия для экономики в краткосрочной перспективе. Хотя точную количественную оценку социальных и экономических издержек дать трудно, по предварительной оценке, на начало 21 века такие издержки составляют порядка 20 долларов США за тонну углекислого газа, выбрасываемого в атмосферу. Эта стоимость соответствует примерно 0,5–5% ВВП в экономически развитых странах.

Появление же новых экологически чистых источников энергии происходит медленнее, чем предполагалось в конце прошлого века.

## Задания

1. Сравните данные таблиц 8 и 9. Постройте графики, отражающие общее потребление энергии населением. Каковы основные отличия энергопотребления европейских жителей на общемировом фоне?

2. Ознакомившись с представленными материалами таблицы 10, охарактеризуйте значимость различных источников энергии для человечества к началу XXI века. Приведите примеры источников сырья, относящихся к каждой из названных в таблице групп. Насколько широко они представлены в нашем регионе?

3. Ознакомившись с представленными материалами таблицы 11, охарактеризуйте динамику роста в процентном отношении основных не возобновляемых и возобновляемых источников энергии. Оцените перспективы возобновляемых источников энергии. Насколько широко они используются в нашем регионе?

4. Постройте графики изменения производства энергии в различных регионах мира по данным таблицы 12. Предложите основные сценарии энергетического производства на ближайшие годы. Как, на ваш взгляд, изменится соотношение энергетического производства между основными регионами? Соответствует ли производство энергии в регионах и нужды в ее потреблении?

5. На основании данных таблицы 13 вычислите, насколько энергоемкость производства (отношение выбросов  $\text{CO}_2$  к ВВП) компенсирует общий уровень эмиссий (отношение выбросов  $\text{CO}_2$  к численности населения)?

6. Какие виды энергии не способствуют эмиссии парниковых газов в атмосферу? Какие из них являются наиболее перспективными? Почему? Насколько широко они используются в нашем регионе?

## Литература

*Приддл Р.* Энергия и устойчивое развитие // Бюллетень МАГАТЭ. 1999. Т. 41. № 1. С. 2–6.

BP Statistical review of world energy, June 2012. 12 p.

*Etamad B., Luciani J.* World energy production 1800–1985. Geneva: Droz, 1991. – 280 p.

*Kander A., Malanima P., Warde P.* Power to the people. Energy in Europe over the last five centuries. Princeton: Princeton University Press, 2013. 472 p.

*Malanima P.* Energy in History. In: *Agnoletti M., Neri Serneri S.* The basic environmental history. Cham: Springer International Publishing, 2014. P. 1–29.

*Martin J.M.* L'économie mondiale de l'énergie. Paris: La Découverte, 1990.



## **Занятие 5. БЕЗОПАСНОСТЬ ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ – РЕАЛЬНЫЕ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РИСКИ**

Генная инженерия в настоящее время считается одним из направлений, способных экономически эффективно решить важнейшие проблемы человечества XXI века, связанные с развитием сельского хозяйства, адаптацией к изменению климата, борьбой с бедностью и голодом. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), проблемы питания входят в тройку факторов риска общей смертности населения планеты (вместе с кровяным давлением и курением). К основным рискам, связанным с питанием и приводящим к летальному исходу, относят следующие (Lim 2012; Hansson 2014).

- Ожирение: 3,37 млн. смертей в год. Избыточный вес связан со значительно повышенным риском возникновения большого числа заболеваний, включая диабет, ишемическую болезнь сердца и нескольких видов рака. Ожирение является растущей проблемой не только в богатых регионах, но и в таких странах, как Индия, где недоедание и нехватка продовольствия по-прежнему являются главной проблемой значительной части населения.

- Недостаточный детский вес: 0,86 млн. смертей в год. Число детей, умирающих от голода, значительно сократилось за последние три десятилетия, но все еще остается высоким во многих странах, особенно в странах Африки к югу от Сахары.

- Потребление большого количества обработанного мяса: 0,84 млн. смертей в год. Под обработанным подразумевают мясо, которое обработали специальными химическими добавками, копчением, посолом для увеличения его вкусовых качеств и срока годности. В эту категорию входит колбаса, сосиски, бекон, мясные консервы, ветчина.

- Рацион питания с высоким содержанием красного мяса: 0,04 млн. смертей в год.

- Потребление напитков с высоким содержанием сахара: 0,30 млн. смертей в год.

- Рацион питания с высоким содержанием трансжиров: 0,52 млн. смертей в год. Трансжиры в основном содержатся в продуктах быстрого приготовления и хлебобулочных изделиях.

- Рацион питания с высоким содержанием соли: 3,10 млн. смертей в год.

- Недостаточное грудное вскармливание: 0,55 млн. смертей в год.

- Дефицит железа у матери и ребенка: 0,12 млн. смертей в год.

- Дефицит витамина А у детей: 0,12 млн. смертей в год. Недостаток витамина А также является основной причиной слепоты.

- Дефицит цинка: 0,10 млн. смертей в год.

- Рацион питания с низким содержанием фруктов: 4,90 млн. смертей в год.

- Рацион питания с низким содержанием овощей: 1,80 млн. смертей в год.

- Рацион питания с низким содержанием цельного зерна: 1,73 млн. смертей в год.

- Рацион питания с низким содержанием клетчатки: 0,74 млн. смертей в год.

- Рацион питания с низким содержанием орехов и семян: 2,47 млн. смертей в год.

- Рацион питания с низким содержанием молока: 0,10 млн. смертей в год.

- Рацион питания с низким содержанием кальция: 0,13 млн. смертей в год.

- Рацион питания с низким содержанием омега-3 жирных кислот из морепродуктов: 1,39 млн. смертей в год.

- Рацион питания с низким содержанием полиненасыщенных жирных кислот: 0,53 млн. смертей в год.

Если для решения некоторых из вышеперечисленных проблем может быть достаточно корректировки рациона питания и/или физической активности (ожирение, чрезмерное потребление соли и др.), то другие проблемы могут, по крайней мере, с технической точки зрения, быть решены с помощью сельскохозяйственной биотехнологии. Для этого в настоящее время в культуру вводится все большее число видов генетически модифицированных растений, а площади посевов увеличиваются (таблица 14). К основным

генетически модифицированным возделываемым культурам относятся соя, кукуруза, хлопок, рапс, сахарная свекла, папайя, тыква, томаты и сладкий перец.

Таблица 14. Площади возделываемых земель под генетически модифицированными культурами в 2017 г. (по данным The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications; ISAAA 2013, 2017)

№	Страна	Площадь, млн. га	Изменение за 1 год*, млн. га	Основные культуры
1	2	3	4	5
1	США	75,0	2,1	Кукуруза, соя, хлопчатник, рапс, сахарная свекла, люцерна, папайя, тыква
2	Бразилия	50,2	1,1	Кукуруза, соя, хлопчатник
3	Аргентина	23,6	-0,2	Кукуруза, соя, хлопчатник
4	Канада	13,1	1,5	Рапс, кукуруза, соя, сахарная свекла
5	Индия	11,4	0,6	Хлопчатник
6	Парагвай	3,0	-0,6	Кукуруза, соя, хлопчатник
7	Пакистан	3,0	0,1	Хлопчатник
8	Китай	2,8	0,0	Хлопчатник, папайя, тополь, томат, сладкий перец
9	ЮАР	2,7	0,0	Кукуруза, соя, хлопчатник

1	2	3	4	5
10	Боливия	1,3	0,1	Соя
11	Уругвай	1,1	-0,2	Соя, кукуруза
12	Австралия	0,9	0,1	Хлопчатник, рапс
13	Филиппины	0,6	-0,2	Кукуруза
14	Мьянма	0,3	0,0	Хлопчатник
15	Судан	0,2	0,1	Хлопчатник
16	Испания	0,1	0,0	Кукуруза
17	Мексика	0,1	0,1	Хлопчатник, соя
18	Колумбия	0,1	<0,1	Хлопчатник, кукуруза
19	Вьетнам	<0,1	<0,1	Хлопчатник
20	Гондурас	<0,1	<0,1	Кукуруза
21	Чили	<0,1	<0,1	Кукуруза, соя, рапс
22	Португалия	<0,1	<0,1	Кукуруза
23	Бангладеш	<0,1	<0,1	Хлопчатник
24	Коста Рика	<0,1	<0,1	Хлопчатник, соя
Всего		189,8	5,4	–

\*Примечание – по сравнению с данными за 2016 год.

По мнению многих экспертов и общественных активистов, использование ГМО в первую очередь несет ряд экологических последствий:

- разрушение естественных экосистем: быстрорастущие виды ГМО вытесняют другие сорта растений и породы животных;
- проявление непредсказуемых новых свойств трансгенного организма из-за множественного действия внедренных в него чужеродных генов, причем существуют риски отсроченного характера, проявляющегося через несколько поколений;

- возникновение организмов (например, сорняков) с непредсказуемыми свойствами: неконтролируемый перенос генных конструкций возможен вследствие переопыления ГМ растений с дикорастущими родственными и предковыми видами;

- поражение нецелевых насекомых и других живых организмов: например, в Канаде ГМ рапс распространился как «суперсорняк» после переопыления с дикими близкородственными видами; божьи коровки, которые питались тлями, жившими на ГМ картофеле, становились бесплодными.

Однако, сельскохозяйственная биотехнология может предоставить ряд преимуществ для окружающей среды по сравнению с традиционными культурами. Продолжающийся рост населения планеты неизбежно ведет к увеличению площадей сельскохозяйственных угодий из-за постоянного недостатка в продуктах питания. Необходимо отметить, что к 1990 году 29% лесных массивов мира и 49% лугов, степей и саванн были превращены в сельскохозяйственные угодья. Такое резкое сокращение естественных биотопов приводит к исчезновению многих видов флоры и фауны, уменьшению биологического разнообразия планеты. Кроме того, традиционное сельское хозяйство рождает ряд известных экологических проблем, таких как эвтрофикация почв и водоемов из-за использования удобрений, эрозия и деградация почвы из-за обработки почвы и чрезмерного выпаса скота, изменения гидрологии из-за орошения и ущерб дикой природе от пестицидов. Также сельское хозяйство является одним из основных факторов парникового эффекта: вырубка лесов уменьшает депонирование углекислого газа из атмосферы посредством фотосинтеза, а фермы являются источником парниковых газов: углекислого газа (от сельскохозяйственной техники, использующей ископаемое топливо), метана (от жвачных животных) и оксидов азота (от удобрений). К некоторым экологическим преимуществам ГМ растений можно отнести следующие.

- Уменьшенная обработка почвы. Как уже отмечалось, обработка почвы имеет серьезные экологические недостатки: эрозия почвы, сток поверхностных вод, содержащих удобрения и пести-

циды. Использование сельскохозяйственной техники способствует выбросам парниковых газов. Таким образом, сорта, требующие меньшей обработки почвы, важны для ведения более экологически чистого сельского хозяйства. Поскольку обработка почвы в основном выполняется для борьбы с сорняками, потребность в ней уменьшается, если сорняки можно контролировать другими способами. Например, устойчивые к глифосату культуры позволяют бороться с сорняками с помощью этого гербицида и способствуют ведению непахотного земледелия. С другой стороны, усиление зависимости от гербицидов нежелательно. Интересным вариантом представляется замена однолетних зерновых культур и бобовых на многолетние. Многие однолетние злаки имеют многолетних диких сородичей с генетическим материалом, который можно использовать для создания новых многолетних сортов.

- **Повышенная засухоустойчивость.** Во многих странах орошение играет большую роль в экологических проблемах, которые создает сельское хозяйство. Следовательно, экологические выгоды от культур, требующих меньшего количества воды, будут существенными. Примером является «Программа по водо-эффективной кукурузе для Африки» (WEMA) по созданию засухоустойчивых сортов кукурузы и их бесплатному введению в странах Африки к югу от Сахары.

- **Меньшая потребность в удобрениях.** Азотные удобрения увеличивают урожайность сельскохозяйственных культур, оказывая существенное негативное воздействие на окружающую среду, способствуя как эвтрофикации, так и антропогенному парниковому эффекту. В настоящее время ведутся исследования по созданию сортов со сниженной потребностью в удобрениях, а также с повышенной способностью к поглощению азота. Интересным вариантом представляется также передача способности растений семейства бобовых поглощать азот из атмосферы (в симбиозе с клубеньковыми бактериями) зерновым и другим культурам.

- **Снижение потребности в пестицидах.** Использование пестицидов оказывает негативное воздействие на нецелевых животных (особенно насекомых-опылителей), которые играют важную роль как в сельском хозяйстве, так и в природных экосистемах. Кроме

того, пестициды вызывают серьезные проблемы со здоровьем у сельскохозяйственных рабочих. Устойчивые к вредителям культуры могут потенциально улучшить ситуацию, сократив использование пестицидов. Примером является введение в культуру ГМ растений с генами грамположительных почвенных бактерий *Bacillus thuringiensis* (Bt). В Испании применение Bt-кукурузы привело к значительному сокращению использования инсектицидов при одновременном увеличении урожайности. В Индии выращивание Bt-хлопка сократило использование пестицидов на 50–70%. Однако вредители вырабатывают новые механизмы резистентности, и поэтому необходимо постоянно искать и внедрять новые формы подавления вредителей. Кроме того, подобно пестицидам, вещества, синтезируемые самим ГМ растением, могут быть токсичными, и поэтому необходима тщательная оценка на предмет их воздействия на людей и другие нецелевые организмы.

- Увеличение урожайности. Соотношение между урожайностью сельского хозяйства и его воздействием на окружающую среду является сложным. С одной стороны, высокая урожайность часто связана с интенсивным землепользованием, которое оказывает негативное воздействие на окружающую среду. С другой стороны, высокие урожаи уменьшают общую площадь, необходимую для производства определенного количества пищи, таким образом позволяя сохранить больше естественных мест обитания. Важной задачей биотехнологии является нахождение способов увеличения урожайности без негативного воздействия на окружающую среду.

Кроме обозначенных экологических преимуществ, сельскохозяйственная биотехнология позволяет создавать линии и сорта, обладающие лучшими ростовыми и вкусовыми качествами, а также обогащенные витаминами, микроэлементами и др., что является важным фактором для решения продовольственной проблемы. В настоящее время культивируются:

- рис, образующий  $\beta$ -каротин (провитамин А) в эндосперме (Golden Rice), а также содержащий повышенное количество фолатов (производных фолиевой кислоты), железа и цинка;
- пшеница с повышенным содержанием железа и цинка;

- картофель, богатый белком и каротиноидами, имеющий лучший аромат и вкусовые качества, меньше темнеющий при разрезании клубней и демонстрирующий пониженную выработку сахаров при низких температурах;
- томаты с повышенным содержанием ликопина и  $\beta$ -каротина;
- бананы, устойчивые к заболеваниям, вызываемым грибами (панамское увядание, почернение листьев) и содержащие повышенные концентрации  $\beta$ -каротина и железа;
- кукуруза с повышенным уровнем витаминов, включая  $\beta$ -каротин (провитамин А), аскорбат (витамин С) и фолат (витамин В9);
- соя с более низким уровнем насыщенных жирных кислот и высоким уровнем ненасыщенных жирных кислот;
- цитрусовые с повышенным уровнем  $\beta$ -каротина и антиоксидантов;
- маниок с улучшенными питательными качествами (высокое содержание крахмала, провитамина А и микроэлементов);
- яблони, устойчивые к парше, бактериальному ожогу (инфекционное заболевание), характеризующиеся более быстрым ростом и имеющие ранние сроки созревания урожая;
- злаковые культуры, обогащенные микроэлементами, антиоксидантами, витаминами (А, В1, С, Е), аминокислотами (лизин) и полиненасыщенными жирными кислотами (омега-3);
- водоросли, содержащие полиненасыщенные жирные кислоты (омега-3).

В последние годы производство и использование генетически модифицированных организмов (ГМО) вызывает серьезную общественную обеспокоенность, и зачастую включение производителями ГМО в продукты питания влечет риск отказа потребителей от их продукции. Тем не менее, сложно дать общую оценку безопасности употребления генетически модифицированных пищевых продуктов для здоровья людей. Необходимо понимать, что различные ГМО включают различные гены, вводимые различными путями. Это означает, что оценку отдельной ГМ продукции и ее безопасности следует проводить на индивидуальной



основе, и что нельзя делать общие заявления о безопасности всех ГМ пищевых продуктов.

Дать общую оценку безопасности употребления в пищу ГМО трудно еще и потому, что исследования безопасности каждой ГМ культуры проводились с использованием как разных животных, так и разных сроков их кормления. Наиболее часто исследования выявляют, что и ГМ, и обычные корма вызывают аналогичные показатели питания и роста лабораторных животных. Стоит, однако, упомянуть, что большинство исследований, демонстрирующих безопасность ГМ продуктов, были выполнены биотехнологическими компаниями или их партнерами, которые производят или коммерциализируют ГМ растения. Тем не менее, также сообщалось и о неблагоприятных эффектах применения некоторых ГМ продуктов на различные органы или ткани (таблица 15).

Одним из поводов для беспокойства является безопасность ГМ соевых бобов. Несмотря на результаты многочисленных исследований некоторые авторы по-прежнему обеспокоены безопасностью ГМ сои и рекомендуют исследовать долгосрочные последствия ГМ диет и возможные синергетические эффекты с другими продуктами.

Известным фактом является исключение издательством Elsevier ранее опубликованную в одном из своих журналов статью о влиянии ГМ кукурузы в сочетании с пестицидом Раундап (глифосат) на возникновение и развитие раковых опухолей крыс. Полученные результаты указывали на то, что у крыс, в чей рацион входила ГМ кукуруза, раковые опухоли возникали чаще. Исключение было аргументировано тем, что высокая частота опухолей вообще характерна для крыс линии Спрег-Доули, использованных в качестве тест-объекта. Кроме того, небольшой размер выборки не позволял определить, действительно ли ГМ продукты явились причиной раковых заболеваний.

Таблица 15. Краткие результаты введения в рацион генетически модифицированных растений различным видам лабораторных животных (по Domingo & Bordonaba 2011, с изменениями)

Растение	Тест-объект	Продолжительность исследования	Побочные эффекты	Источник
1	2	3	4	5
Кукуруза MON 863	Крысы	90 дней	В зависимости от дозы отмечено незначительное изменение веса у самцов (снижение на 3,3%) и самок (увеличение на 3,7%). Признаки гепаторенальной токсичности, повышение уровня триглицеридов у самок (24–40%) и экскреции фосфора и натрия с мочой у самцов (31–35%)	Séralini et al. 2007
Кукуруза MON 863a	Крысы	90 дней	Нет побочных эффектов	Doull et al. 2007
Кукуруза NK 603, MON 810 и MON 863	Крысы	14 недель	В зависимости от дозы и пола основные эффекты связаны с гепаторенальной токсичностью. Кроме того, отмечены эффекты, связанные с сердцем, селезенкой, надпочечниками и кровяной системой	de Vendôme et al. 2009

Продолжение табл. 15

1	2	3	4	5
Кукуруза 1507	Крысы	90 дней	Не отмечено существенных различий в эффективности питания, поведенческих признаках, офтальмологии, клинической патологии и массе органов	MacKenzie et al. 2007
Кукуруза 59122	Крысы	90 дней	Отсутствие неблагоприятных связанных с диетой различий в массе тела, потреблении пищи, клинических признаках, смертности, офтальмологии, поведении, клинической патологии	Malley et al. 2007
Кукуруза 1507×59122	Крысы	92 дня	Не отмечено существенных различий в эффективности питания, поведенческих признаках, офтальмологии, клинической патологии и массе органов	Appenzeller et al. 2009a
Кукуруза DP-Ø9814Ø- 6	Крысы	13 недель	Побочных эффектов не наблюдалось в показателях пищевой эффективности и токсикологии согласно руководству №408 ОЭСР по тестированию химических веществ	Appenzeller et al. 2009b
Кукуруза DP-Ø9814Ø- 6	Куры	42 дня	Не отмечено существенных различий в показателях смертности, роста или развития птиц или органов	McNaughton et al. 2007

1	2	3	4	5
Кукуруза 59122b	Мыши	28 дней	Не отмечено признаков острой токсичности или иных неблагоприятных эффектов из-за диеты с содержанием белков Cry34Ab1 и/или Cry35Ab1 в концентрациях, почти в 1000 раз превышающих таковые в зернах кукурузы 59122	Juberg et al. 2009
Кукуруза DAS-59122-7	Крысы	90 дней	Отмечены значительные различия в некоторых показателях гематологических и химических характеристик сыворотки крови. Однако, эффекты приписывались диетам с высоким содержанием кукурузы по сравнению с контролем. Сделан вывод, что зерна кукурузы DAS-59122-7 были такими же безопасными, как и нетрансгенные	He et al. 2008
Кукуруза Y642 (обогащенная лизинном)	Крысы	90 дней	Не отмечено неблагоприятных побочных эффектов, связанных с питанием, в отношении массы тела, абсолютной и относительной массы органов, потребления корма и гематологии	He et al. 2009
Кукуруза MON 88017	Крысы	13 недель	Нет побочных эффектов	Healy et al. 2008

1	2	3	4	5
Кукуруза 2mEPSPS	Мыши	–	Согласно результатам оценки безопасности сделан вывод, что белок является безвредным и, следовательно, может быть включен в пищу человека или корм для животных	Herouet-Guicheney et al. 2009
Кукуруза MIR 604, MON 88107	–	–	Анализ морфологических, гематологических и биохимических показателей не выявил какого-либо токсического эффекта	Тутельян и др. 2008, 2009
Кукуруза MIR 604, MON 88107	–	–	Анализ повреждений ДНК и структурных хромосомных aberrаций, оценка аллергенного потенциала и иммунореактивных свойств не показали каких-либо генотоксических, аллергенных и иммунореактивных эффектов	Tyshko et al. 2007 Тышко и др. 2008
Рис KMD1	Крысы	90 дней	Не отмечено вредного влияния на поведение животных или увеличение их массы. Некоторые гематологические и биохимические показатели значительно различались в зависимости от диеты, однако, тем не менее, были в пределах нормы для крыс этой породы и возраста. Незначительные отличия наблюдались в массе органов, а также в макроскопических и гистопатологических исследованиях	Schröder et al. 2007

Продолжение табл. 15

1	2	3	4	5
Рис, образующий лектин	Крысы	90 дней	Побочных эффектов не наблюдалось. Тем не менее, диапазон клинических, биологических, иммунологических, микробиологических и патологических параметров значительно различался между группами. Авторы отметили, что они не могут сделать вывод о безопасности продукта	Poulsen et al. 2007a,b
Рис, образующий белок Cry1Ab или лектин РНА-Е	Крысы	28 и 90 дней	Отмечено зависимое от дозы увеличение массы брыжеечных лимфатических узлов и общего иммуноглобулина А при скармливании трансгенного риса РНА-Е или при добавлении 0,1% очищенного лектина РНА-Е в течение 90 дней. Побочных эффектов от скармливания белка Cry1Ab обнаружено не было	Kroghsbo et al. 2008
Rice containing 7Cp	Макаки	26 недель	Не отмечено вредного влияния на поведение или массу тела, гематологические и биохимические показатели. Нет патологических симптомов или гистопатологических нарушений.	Domon et al. 2009
Соя DP-356Ø43-5	Куры	42 дня	Побочных эффектов не обнаружено. Сделан вывод, что соя DP-356Ø43 по питательности эквивалентна не ГМ сое	McNaughton et al. 2008

1	2	3	4	5
Соя DP-356043-5	Крысы	93 дня	Не отмечено неблагоприятных воздействий на прирост массы тела, потребление пищи, клинические признаки, смертность, офтальмологию, поведение, клиническую патологию органов	Appenzeller et al. 2008
Соя DP-305423-1	Крысы	—	Не отмечено неблагоприятных воздействий на прирост массы тела, потребление пищи, клинические признаки, смертность, офтальмологию, поведение, клиническую патологию органов	Delaney et al. 2008
Соя, образующая глицин	Мыши	28 дней	Нет побочных эффектов	Mathesius et al. 2009
Соя, содержащая ген CP4 EPSPS	Мыши	—	У мышей, получавших ГМ сою, вырабатывались белки стрессовых реакций, а также были выявлены изменения в митохондриях и ядрах, свидетельствующие о снижении скорости метаболизма и ускорении процессов старения	Malatesta et al. 2008
Соя	Мыши	—	Не отмечено морфологических различий в зародышах у мышей, подвергавшихся и не подвергавшихся кормлению ГМ соей. Обнаруженные микроскопические и ультрамикроскопические клеточные изменения связаны с потреблением ГМ сои	Cisterna et al. 2008

Окончание табл. 15

1	2	3	4	5
Соя SUPRO 500E	Крысы	30 дней	Не отмечено влияния на показатели питания. Установлены изменения функции поджелудочной железы на основании резкого повышения уровня полиаденилатполимеразы и цитологических показателей	Malatesta et al. 2002a,b
Глифосат- устойчивая соя	Крысы	52 недели	Не отмечено неблагоприятного влияния на основании результатов вскрытия, гематологических и сывороточных биохимических показателей и массы органов	Sakamoto et al. 2007
Глифосат- устойчивая соя	Крысы	104 недели	Не отмечено неблагоприятного влияния на основании результатов вскрытия, гематологических и сывороточных биохимических показателей и массы органов	Sakamoto et al. 2008



## Задания

1. Изучите основные риски, связанным с питанием и влияющие на смертность населения. Какие из них могут быть решены путем введения в культуру ГМ растений? Оцените общий процент смертности населения, обусловленный этими рисками. Обсудите данную проблему: являются ли эти данные достаточными для внедрения ГМО в сельское хозяйство с учетом потенциальных рисков выращивания ГМ растений?

2. Какие риски для окружающей среды имеет введение в культуру ГМ растений. Оправдают ли эти риски приведенные экологические преимущества?

3. Проанализируйте данные таблицы 15. Подготовьте краткое эссе о современном уровне знаний о безопасности генетически модифицированных растений. Сделайте собственный вывод о влиянии ГМ растений на здоровье человека.

## Литература

*Тутельян В.А., Гаппаров М.М.Г., Авреньева Л.И.* и др. Медико-биологическая оценка безопасности генно-инженерно-модифицированной кукурузы линии MON 88017. Сообщение 1. Токсиколого-гигиенические исследования // Вопросы питания. 2008. № 77. С. 4–12.

*Тутельян В.А., Гаппаров М.М.Г., Авреньева Л.И.* и др. Медико-биологическая оценка безопасности генно-инженерно-модифицированной кукурузы линии MIR604. Сообщение 1. Токсиколого-гигиенические исследования // Вопросы питания. 2009. № 78. С. 24–32.

*Тышко Н.В., Брицина М.В., Гмошинский И.В.* и др. Медико-биологическая оценка безопасности генно-инженерно-модифицированной кукурузы линии MON 88017. Сообщение 2. Генотоксикологические, иммунологические и аллергологические исследования // Вопросы питания. 2008. № 77. С. 13–17.

*Ahuja, M.R.* Next generation plant biotechnology. In *Ahuja M.R. Ramawat K.G.* Biotechnology and Biodiversity. – Cham: Springer International Publishing, 2014. – P. 77–100.

*Appenzeller L.M., Malley L., MacKenzie S.A.* et al. Subchronic feeding study with genetically modified stacked trait lepidopteran and coleopteran

resistant (DAS-Ø15Ø7-1×DAS-59122-7) maize grain in Sprague-Dawley rats // *Food and Chemical Toxicology*. 2009a. Vol. 47. P. 1512–1520.

*Appenzeller L.M., Munley S.M., Hoban D.* et al. Subchronic feeding study of herbicide-tolerant soybean DP-356Ø43-5 in Sprague-Dawley rats // *Food and Chemical Toxicology*. 2008. Vol. 46. P. 2201–2213.

*Appenzeller L.M., Munley S.M., Hoban D.* et al. Subchronic feeding study of grain from herbicide-tolerant maize DP-Ø9814Ø-6 in Sprague-Dawley rats // *Food and Chemical Toxicology*. 2009b. Vol. 47. P. 2269–2280.

*Cisterna B., Flach F., Vecchio L.* et al. Can a genetically modified organism-containing diet influence embryo development? A preliminary study on pre-implantation mouse embryos // *European Journal of Histochemistry*. 2008. Vol. 52. P. 263–267.

*de Vendômois J.S., Roullier F., Cellier D.* et al. A comparison of the effects of three GM corn varieties on mammalian health // *International Journal of Biological Sciences*. 2009. Vol. 5. P. 706–726.

*Delaney B., Appenzeller L.M., Munley S.M.* et al. Subchronic feeding study of high oleic acid soybeans (event DP-3Ø5423-1) in Sprague-Dawley rats // *Food and Chemical Toxicology*. 2008. Vol. 46. P. 3808–3817.

*Domingo J.L., Bordonaba J.G.* A literature review on the safety assessment of genetically modified plants // *Environment International*. 2011. Vol. 37. P. 734–742.

*Domon E., Takagi H., Hirose S.* et al. 26-Week oral safety study in macaques for transgenic rice containing major human T-cell epitope peptides from Japanese cedar pollen allergens // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009 Vol. 57. P. 5633–5638.

*Doull J., Gaylor D., Greim H.A.* et al. Report of an expert panel on the reanalysis by Séralini et al. (2007) of a 90-day study conducted by Monsanto in support of the safety of a genetically modified corn variety (MON 863) // *Food and Chemical Toxicology*. 2007. Vol. 45. 2073–2085.

*Hansson, S.O.* Agricultural biotechnology for health and the environment. In *Ahuja M.R. Ramawat K.G.* Biotechnology and Biodiversity. – Cham: Springer International Publishing, 2014. – P. 67–76.

*He X.Y., Huang K.L., Li X.* et al. Comparison of grain from corn root-worm resistant transgenic DAS-59122-7 maize with non-transgenic maize grain in a 90-day feeding study in Sprague-Dawley rats // *Food and Chemical Toxicology*. 2008. Vol. 46. P. 1994–2002.

*He X.Y., Tang M.Z., Luo Y.B.* et al. A 90-day toxicology study of transgenic lysine-rich maize grain (Y642) in Sprague-Dawley rats // *Food and Chemical Toxicology*. 2009. Vol. 47. P. 425–432.

*Healy C., Hammond B., Kirkpatrick J.* Results of a 13-week safety assurance study with rats fed grain from corn rootworm-protected, glyphosate-tolerant MON 88017 corn // *Food and Chemical Toxicology*. 2008. Vol. 46. P. 2517–2524.

*Herouet-Guicheney C., Rouquié D., Freyssinet M.* et al. Safety evaluation of the double mutant 5-enol pyruvylshikimate-3-phosphate synthase (2mEPSPS) from maize that confers tolerance to glyphosate herbicide in transgenic plants // *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2009. Vol. 54. P. 143–153.

ISAAA. 2013. Global status of commercialized biotech/GM crops: 2013. ISAAA Brief № 46. – Ithaca: ISAA, 2013. 332 p.

ISAAA. 2017. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017: Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 Years. ISAAA Brief № 53. – Ithaca: ISAA, 2017. 153 p.

*Juberg D.R., Herman R.A., Thomas J.* et al. Acute and repeated dose (28 day) mouse oral toxicology studies with Cry34Ab1 and Cry35Ab1 Bt proteins used in coleopteran resistant DAS-59122-7 corn // *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2009. Vol. 54. P. 154–163.

*Kroghsbo S., Madsen C., Poulsen M.* et al. Immunotoxicological studies of genetically modified rice expressing PHA-E lectin or Bt toxin in Wistar rats // *Toxicology*. 2008. Vol. 245. P. 24–34.

*Lim S.S., Vos T., Flaxman A.D.* et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010 // *Lancet*. 2012. Vol. 380. P. 2224–2260.

*MacKenzie S.A., Lamb I., Schmidt J.* et al. Thirteen week feeding study with transgenic maize grain containing event DAS-Ø15Ø7-1 in Sprague-Dawley rats // *Food and Chemical Toxicology*. 2007. Vol. 45. P. 551–562.

*Malatesta M., Boraldi F., Annovi G.* et al. A long-term study on female mice fed on a genetically modified soybean: effects on liver ageing // *Histochemistry and Cell Biology*. 2008. Vol. 130. P. 967–977.

*Malatesta M., Caporaloni C., Gavaudan S.* et al. Ultrastructural morphometrical and immunocytochemical analyses of hepatocyte nuclei from mice fed on genetically modified soybean // *Cell Structure and Function*. 2002b. Vol. 27. P. 173–180.

*Malatesta M., Caporaloni C., Rossi L. et al.* Ultrastructural analysis of pancreatic acinar cells from mice fed on genetically modified soybean // *Journal of Anatomy*. 2002a. Vol. 201. P. 409–415.

*Malley L.A., Everds N.E., Reynolds J. et al.* Subchronic feeding study of DAS-59122-7 maize grain in Sprague-Dawley rats // *Food and Chemical Toxicology*. 2007. Vol. 45. P. 1277–1292.

*Mathesius C.A., Barnett Jr J.F., Cressman R.F. et al.* Safety assessment of a modified acetolactate synthase protein (GM-HRA) used as a selectable marker in genetically modified soybeans // *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2009. Vol. 55. P. 309–320.

*McNaughton J., Roberts M., Smith B. et al.* Comparison of broiler performance when fed diets containing event DP-356Ø43-5 (optimum GAT), nontransgenic near-isoline control, or commercial reference soybean meal, hulls, and oil // *Poultry Science*. 2007. Vol. 86. P. 2569–2581.

*McNaughton J., Roberts M., Smith B. et al.* Comparison of broiler performance when fed diets containing event DP-3Ø5423-1, nontransgenic near-isoline control, or commercial reference soybean meal, hulls, and oil // *Poultry Science*. 2008. Vol. 87. P. 2549–2561.

*Poulsen M., Kroghsbo S., Schröder M. et al.* A 90-day safety study in Wistar rats fed genetically modified rice expressing snowdrop lectin *Galanthus nivalis* (GNA) // *Food and Chemical Toxicology*. 2007b. Vol. 45. P. 350–363.

*Poulsen M., Schröder M., Wilcks A. et al.* Safety testing of GM-rice expressing PHA-E lectin using a new animal test design // *Food and Chemical Toxicology*. 2007a. Vol. 45. P. 364–377.

*Sakamoto Y., Tada Y., Fukumori N. et al.* A 104-week feeding study of genetically modified soybeans in F344 rats // *Journal of the Food Hygienic Society of Japan*. 2008. Vol. 49. P. 272–182.

*Sakamoto Y., Tada Y., Fukumori N. et al.* A 52-week feeding study of genetically modified soybeans in F344 rats // *Journal of the Food Hygienic Society of Japan*. 2007. Vol. 48. P. 41–50.

*Sarkar A., Aronson K.J., Patil S. et al.* Emerging health risks associated with modern agriculture practices: a comprehensive study in India // *Environmental Research*. 2012. Vol. 115. P. 37–50.

*Schröder M., Poulsen M., Wilcks A. et al.* A 90-day safety study of genetically modified rice expressing Cry1Ab protein (*Bacillus thuringiensis* toxin) in Wistar rats // *Food and Chemical Toxicology*. 2007. Vol. 45. P. 339–349.

*Séralini G., Cellier D., De Vendomois J.S.* New analysis of a rat feeding study with a genetically modified maize reveals signs of hepatorenal toxicity // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 2007. Vol. 52. P. 596–602.

*Séralini G.E. Clair E. Mesnage R.* RETRACTED: Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize // Food and Chemical Toxicology. 2012. Vol. 50. P. 4221–4231.

*Tyshko N.V., Aksyuk I.N., Tutel'ian V.A.* Safety assessment of genetically modified organisms of plant origin in the Russian Federation // Biotechnology Journal. 2007. Vol. 2. P. 826–832.

## Занятие 6. БИОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Биоиндикация – это определение биологически значимых антропогенных нагрузок на основе реакций на них живых организмов и их сообществ. На практике биоиндикация применяется для ответа на следующие три вопроса.

1. Присутствует ли загрязнитель в среде?
2. Способен ли загрязнитель накапливаться в биологических объектах?
3. Обладает ли загрязнитель биологическим действием?

Для проведения биоиндикационных исследований используют биоиндикаторы – организмы или сообщества организмов, количество или жизненные функции которых так тесно коррелируют с определенными факторами среды, что могут применяться для их оценки.

Живые организмы обладают рядом преимуществ перед химическими методами оценки состояния среды:

- суммируют все без исключения биологически важные данные об окружающей среде и отражают ее состояние в целом;
- в условиях хронической антропогенной нагрузки могут реагировать на очень слабые воздействия в силу аккумуляции дозы;
- иногда позволяют не применять дорогостоящие и трудоемкие физические и химические методы для измерения биологических параметров;
- живые организмы постоянно присутствуют в окружающей человека среде и реагируют на кратковременные и залповые выбросы токсикантов, которые можно не регистрировать при помощи автоматической системы контроля с периодичным отбором проб на анализы;
- фиксируют скорость происходящих в окружающей среде изменений;
- указывают пути и места скоплений различного рода загрязнений в экосистемах и возможные пути попадания этих веществ в пищу человека;
- позволяют судить о степени токсичности синтезированных человеком веществ и контролировать их действие;
- отражают многолетнее воздействие токсикантов (рис. 9).

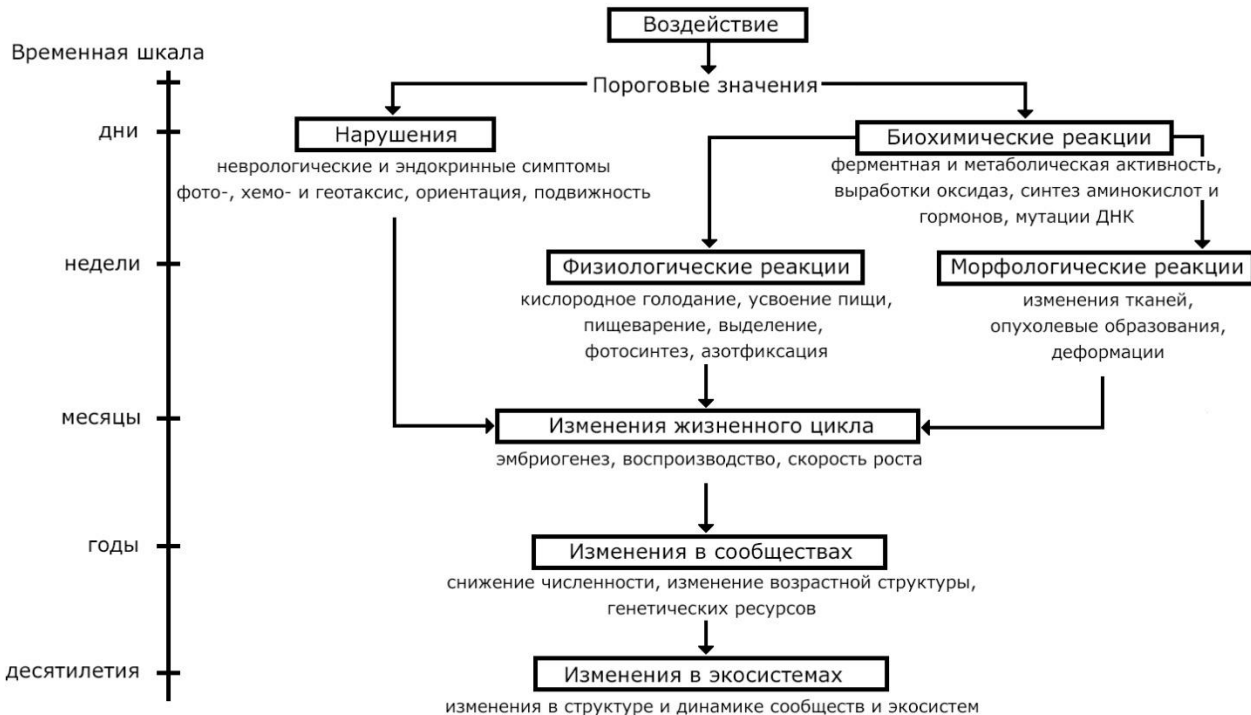


Рис. 9. Среднее время реакции на стресс биологических систем в зависимости от размера и сложности (по Кorte 1987, Fränzle 2006)

Однако, далеко не каждый биологический вид может быть использован в качестве биоиндикатора. Для целей экологического мониторинга и индикации могут использоваться только те виды живых организмов, которые отвечают определенным требованиям:

- эвритопность: биоиндикатор не может быть редким видом, обитающим в каком-то определенном биотопе. Напротив, это должен быть достаточно распространенный организм, типичный для данных условий и легкодоступный для сбора;
- невысокая миграционная активность: организм должен более или менее постоянно обитать в исследуемом биотопе. Это позволяет доказать, что изменения, происходящие с индикатором, вызваны изменениями именно в данном биотопе;
- питание в загрязняемых биотопах: большинство поллютантов попадает в организм с пищей. Поэтому индикаторные организмы должны не только постоянно обитать в исследуемом биотопе, но питаться здесь;
- высокий уровень метаболизма: благодаря ему токсиканты быстро накапливаются в организме, что облегчает последующий химический анализ тканей и общую оценку токсичности веществ;
- быстрое чередование поколений: соблюдение этого критерия позволяет относительно быстро устанавливать генетические последствия воздействия поллютантов;
- принадлежность вида к естественным сообществам: синантропные виды часто отличаются по степени накопления токсикантов от диких животных или растений, обитающих на той же территории, что обычно бывает вызвано разными спектрами питания;
- возможность сбора необходимого числа особей для вынесения статистически значимых суждений.

Ответная реакция биоиндикатора на определенное физическое или химическое воздействие должна быть четко выражена, т. е. специфична, легко регистрироваться визуально или с помощью приборов. Для биоиндикации не пригодны организмы, ослабленные или поврежденные болезнями, вредителями и паразитами.

К настоящему времени, для биологического тестирования окружающей среды было использовано более 500 различных видов растений, позвоночных и беспозвоночных животных, микроорганизмов. Наиболее часто используемые виды представлены на рис. 10.



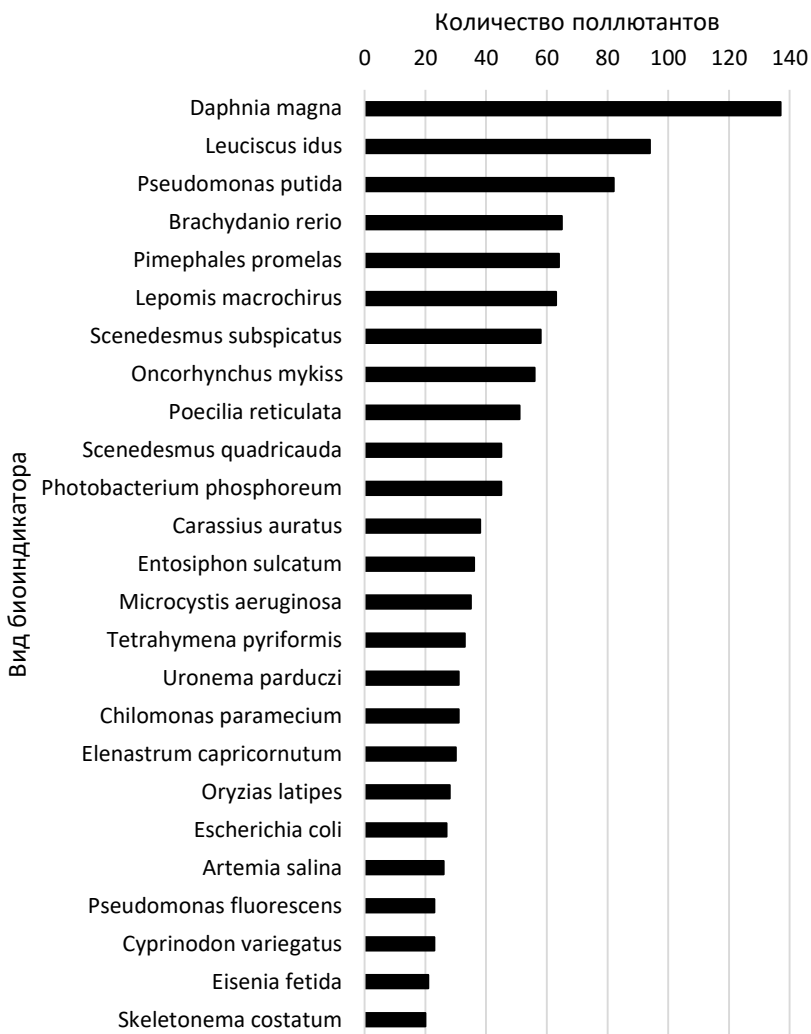


Рис. 10. Частота использования различных организмов в токсикологических анализах по данным отчетов Консультативного комитета по существующим химическим веществам экологической значимости (Fränzle, 2006)

Наиболее простым биоиндикатором является клетка, возможности использования которой в биоиндикации велики ввиду единообразия основных молекулярных и субклеточных структуры у различных живых объектов. Кроме того, на клеточном уровне определяются все основные реакции в совокупности: гибель, повреждение, адаптация, проницаемость, метаболизм токсикантов, синтез белка и ДНК, возбудимость и т.д. (таблица 16).

Таблица 16. Некоторые клеточные показатели (биомаркеры), наиболее часто используемые в биотестах

Биоиндикатор	Число хромосом	Биомаркеры	Источник
<i>Allium cepa</i>	2n = 16	Митотический индекс, хромосомные aberrации, микроядра	Leme & Marin-Morales 2009; Rodríguez et al. 2015
<i>Vicia faba</i>	2n = 12	Митотический индекс, хромосомные aberrации, микроядра, сестринский хроматидный обмен	Sta et al. 2012; Iqbal 2016
<i>Arabidopsis thaliana</i>	2n = 10	Рекомбинации и точечные мутации	Filkowski et al. 2003
<i>Tradescantia</i> spp.	2n = 12	Микроядра и точечные мутации	Mišík et al. 2011; Pereira et al. 2013
<i>Hordeum vulgare</i>	2n = 14	Хромосомные aberrации	Geras'kin et al. 2005

Для оценки качества водной среды оптимальным объектом являются водные и околоводные крупные высшие сосудистые растения. Листья у них формируются каждый год, что позволяет проводить ежегодный мониторинг; многие виды имеют массовое распространение и четко выраженные признаки, по которым возможно проводить

исследование. Оценка воздушной среды, или интегральная оценка качества среды обитания живых организмов, проводится по состоянию высших древесных и травянистых форм растений.

Наиболее удобными для целей биоиндикации являются следующие виды растений: травянистые – сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*), древесные – тополь бальзамический (*Populus balsamifera*), клен остролистный (*Acer platanoides*), клен ясенелистный (*Acer negundo*), береза повислая (*Betula pendula*), **водные** – рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus*), рдест блестящий (*Potamogeton lusens*), рдест плавающий (*Potamogeton natans*).

Все перечисленные растения имеют четко выраженную двустороннюю симметрию. Кроме указанных растений часто для биомониторинга стабильности развития используют: подорожник большой (*Plantago major*) как наиболее пластичный вид травянистых растений; манжетку обыкновенную (*Alchemilla vulgaris*), клевер гибридный (*Trifolium hybridum*) и клевер ползучий (*Trifolium repens*) как луговые виды; ячмень (*Hordeum* sp.), овес (*Avena* sp.) и пшеницу (*Triticum* sp.) как сельскохозяйственные культуры для оценки состояния агроценозов.

Одним из перспективных и удобных методов оценки интенсивности антропогенного воздействия и интегральной оценки качества среды и жизнедеятельности древесных растений является оценка состояния живых организмов по стабильности развития, которая характеризуется уровнем флуктуирующей асимметрии морфологических структур. Флуктуирующая асимметрия представляет собой незначительные ненаправленные отклонения от строгой билатеральной симметрии как следствие несовершенства онтогенетических процессов, т. е. является результатом неспособности организмов развиваться по точно определенным путям. При флуктуирующей асимметрии различия между сторонами не являются строго генетически детерминированными. Эта асимметрия (в отличие от направленной асимметрии и антисимметрии) не имеет самостоятельного адаптивного значения. Она является выражением незначительных нарушений симметрии, допускаемых естественным отбором, и отражает стабильность развития. Оценка величины флуктуирующей асимметрии представляет собой корректный способ формализации степени отклонения развития особи и даже популяции от нормы.

Для вычисления коэффициента флуктуирующей асимметрии в качестве биоиндикатора часто используют березу повислую. Сбор листьев начинают после завершения их интенсивного роста. В средней полосе России это соответствует концу мая – началу июня. Выборку листьев необходимо делать с нескольких близко растущих деревьев на площади 10×10 м или на аллее длиной 30–40 м, в исключительных случаях – с 2–3 растений. Всего отбирают не менее 25 листьев среднего размера. Листья отбирают из нижней части кроны, на уровне поднятой руки, с максимального количества доступных веток, направленных условно на север, запад, восток и юг.

Обработку материала проводят в аудитории. Все измерения проводят с точностью до 1 мм. С одного листа снимают показатели по пяти параметрам (рис. 11).

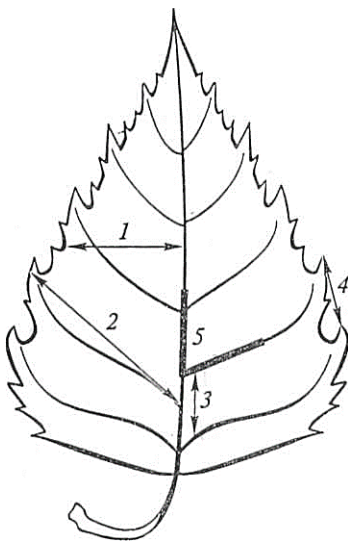


Рис. 11. Параметры промеров листьев для детального расчета (1 – ширина половинки листа (лист складывают пополам, потом разгибают и по образовавшейся складке проводят измерения); 2 – длина второй жилки от основания листа; 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок; 4 – расстояние между концами этих жилок; 5 – угол между главной и второй от основания жилками)

Данные измерений заносят в таблицу 17.

Таблица 17. Результаты замеров листьев  
(л – левая сторона; пр – правая сторона)

№	Ширина половинок		Длина 2-й жилки		Расстояние между основаниями 1- и 2-й жилок		Расстояние между концами 1 и 2-й жилок		Угол между центральной и 2-й жилками	
	л	пр	л	пр	л	пр	л	пр	л	пр
1										
2										

Коэффициент флуктуирующей асимметрии определяют по формуле (3), предложенной В. М. Захаровым:

$$\delta_d^2 = \frac{\sum(d_{l-r} - M_d)}{n-1} \quad (3)$$

где  $M_d = \frac{\sum d_{l-r}}{n}$  – среднее различие между сторонами;

$d_{l-r} = \frac{2(d_l - d_r)}{d_l + d_r}$  – различие значений признаков между левой ( $l$ ) и правой ( $r$ ) сторонами;  
 $n$  – число выборок.

### Задания

1. На основе анализа рисунка 10, представители каких систематических групп живых организмов являются наиболее частыми тест-объектами в токсикологических исследованиях? Почему? Каким из критериев тест-объектов, приведенных в тексте, они соответствуют?

2. К началу практического занятия отберите по 25 листьев березы повислой. Заранее определите, в каких локалитетах будет производиться отбор (по месту жительства, работы, учебы и др.). Желательно, чтобы отбор листьев был проведен в участках с различной степенью антропогенной нагрузки.

3. Рассчитайте коэффициент флуктуирующей асимметрии по формуле (3).

4. Сделайте вывод о качестве окружающей среды согласно балльной шкале оценки (таблица 18).

Таблица 18. Пятибалльная шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития для березы повислой (*Betula pendula*)

Балл	Величина показателя стабильности развития	Качество среды
I	<0,040	чисто
II	0,040 – 0,044	относительно чисто
III	0,045 – 0,049	загрязнено
IV	0,050 – 0,054	грязно
V	>0,054	очень грязно

5. Сравните результаты. Выявите районы города с наибольшей степенью загрязнения окружающей среды.

## Литература

Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубинишвили А.Т. Здоровье среды: методика оценки. Оценка состояния природных популяций по стабильности развития: методическое руководство для заповедников – Москва: Центр экологической политики России, 2000. 318 с.

Середова Е.М. Изучение флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) для оценки качества среды // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2017. № 47. С. 163–166.

Беляев Ю.В. Показатели флуктуирующей асимметрии *Betula pendula* Roth. в условиях антропогенного воздействия (на примере г.о. Тольятти) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т.15. № 3(7). С. 2196–2200.

Aguiar L.L., Andrade-Vieira L.F., David J.A.O. Evaluation of the toxic potential of coffee wastewater on seeds, roots and meristematic cells of *Lactuca sativa* L. // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2016. Vol. 133. P. 366–372.

*de Souza C.P., Guedes T.A., Fontanetti C.S.* Evaluation of herbicides action on plant bioindicators by genetic biomarkers: a review // Environmental Monitoring and Assessment. 2016. Vol. 188. P. 694.

*Filkowski J., Besplug J., Burke P.* et al. Genotoxicity of 2,4-D and dicamba revealed by transgenic *Arabidopsis thaliana* plants harboring recombination and point mutation markers // Mutation Research. 2003. Vol. 542. P. 23–32.

*Fränzle O.* Complex bioindication and environmental stress assessment // Ecological Indicators. 2006. Vol. 6. P. 114–136.

*Geras'kin S.A., Kim J.K., Dikarev V.G.* et al. Cytogenetic effects of combined radioactive ( $^{137}\text{Cs}$ ) and chemical (Cd, Pb, and 2,4-D herbicide) contamination on spring barley intercalary meristem cells // Mutation Research. 2005. Vol. 586. P. 147–159.

*Holt E.A., Miller S.W.* Bioindicators: using organisms to measure environmental impacts // Nature Education Knowledge. – 2010. – Vol. 3. № 10. P. 8.

*Iqbal M.* *Vicia faba* bioassay for environmental toxicity monitoring: a review // Chemosphere. 2016. Vol. 144. P. 785–802.

*Korte F.* Lehrbuch der ökologischen chemie. – Stuttgart; Thieme: 1987. 353 p.

*Leme D.M., Marin-Morales M.A.* *Allium cepa* test in environmental monitoring: a review on its application // Mutation Research. 2009. Vol. 682. P. 71–81.

*Mišík M., Ma T.H., Nersesyan A.* et al. Micronucleus assays with *Tradescantia* pollen tetrads: an update // Mutagenesis. 2011. Vol. 26. № 1. P. 215–221.

*Palmieri M.J., Lubber J., Andrade-Vieira L.F.* et al. Cytotoxic and phytotoxic effects of the main chemical components of spent pot-liner: a comparative approach // Mutation Research. 2014. Vol. 763. P. 30–35.

*Parmar T.K., Rawtani D., Agrawal Y.K.* Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution // Frontiers in Life Science. 2016. Vol. 9. № 2. P. 110–118.

*Pereira B.B., Campos Júnior E.O., Morelli S.* *In situ* biomonitoring of the genotoxic effects of vehicular pollution in Uberlândia, Brazil, using a *Tradescantia* micronucleus assay // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2013. Vol. 87. P. 17–22.

Rodríguez Y.A., Christofolletti C.A., Pedro J. et al. *Allium cepa* and *Tradescantia pallida* bioassays to evaluate effects of the insecticide imidacloprid // *Chemosphere*. 2015. Vol. 120. P. 438–442.

Sta C., Ledoigt G., Ferjani E. et al. Exposure of *Vicia faba* to sulcotrione pesticide induced genotoxicity // *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2012. Vol. 103. P. 9–14.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
Занятие 1. ЭКОСИСТЕМНЫЕ УСЛУГИ КАК ВАЖНЫЙ КОМПОНЕНТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ .....	4
Занятие 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СЛЕД КАК ИНДИКАТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ.....	23
Занятие 3. БИОРЕМЕДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ «ЗЕЛЕННЫЕ» МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ .....	32
Занятие 4. ЭНЕРГИЯ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ .....	50
Занятие 5. БЕЗОПАСНОСТЬ ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ – РЕАЛЬНЫЕ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РИСКИ .....	57
Занятие 6. БИОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	78

Учебное издание

*Цуриков Андрей Геннадьевич,  
Кавеленова Людмила Михайловна,  
Корчиков Евгений Сергеевич*

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ.  
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

*Практикум*

Редактор А.В. Ярославцева  
Компьютерная верстка А.В. Ярославцевой

Подписано в печать 15.06.2021. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печ. л. 5,75.

Тираж 25 экз. Заказ . Арт. – 25(Р1П)/2021.

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА»  
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.**

---

Издательство Самарского университета.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК